



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Uso de stone mastic asphalt modificada con pet y nanosílice para el desempeño de la carpeta asfáltica Av. Cultura, Cusco 2023”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTOR:

Conya Ascue, Juvenal (orcid.org/0009-0008-5945-0045)

ASESOR:

Dr. Canta Honores, Jorge Luis (orcid.org/0000-0002-9232-1359)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

LIMA – PERÚ

2024

Dedicatoria

La presente tesis de investigación está dedicada a Dios, por darme fuerza, sabiduría y fe para culminar este objetivo profesional, a mis padres Mario e Isabel por darme el apoyo incondicional que necesite en los momentos difíciles, a mi esposa e hija Lisseth y Fernanda por darme la motivación personal para forjar mi superación, finalmente a mis familiares, amigos y docentes por apoyarme en todo lo necesario para lograr la meta propuesta en mi vida profesional.

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por darme salud, y el bienestar emocional que necesite para lograr este objetivo profesional.

A mis padres Mario e Isabel por darme el apoyo moral que necesite a lo largo de mi vida.

A mi esposa e hija Lisseth y Fernanda respectivamente por darme la motivación personal para forjar mi superación.

A mis familiares, amigos y docentes por brindarme apoyo a lo largo de la presente investigación.

Finalmente, a mi asesor Ing. Jorge Luis Canta Honores por su apoyo y paciencia en la elaboración de la presente investigación, así mismo agradezco al Ing. José Alejandro Aguilar Ampuero por su apoyo en el laboratorio de suelos y pavimentos de la UAC.

Declaratoria de Autenticidad del Asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CANTA HONORES JORGE LUIS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, asesor de Tesis titulada: "Uso de stone mastic asphalt modificada con pet y nanosílice para el desempeño de la carpeta asfáltica Av. Cultura, Cusco 2023", cuyo autor es CONYA ASCUE JUVENAL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 28 de Febrero del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CANTA HONORES JORGE LUIS DNI: 10743048 ORCID: 0000-0002-9232-1359	Firmado electrónicamente por: JCANTAHO el 28-02- 2024 12:52:36

Código documento Trilce: TRI - 0738902



Declaratoria de Originalidad del Autor/Autores



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, CONYA ASCUE JUVENAL estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Uso de stone mastic asphalt modificada con pet y nanosílice para el desempeño de la carpeta asfáltica Av. Cultura, Cusco 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
JUVENAL CONYA ASCUE DNI: 45608294 ORCID: 0009-0008-5945-0045	Firmado electrónicamente por: JCONYA el 28-02-2024 11:58:35

Código documento Trilce: TRI - 0738898



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Caratula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor/Autores	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRAFICOS Y FIGURAS	ix
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	45
II. MARCO TEÓRICO.....	55
III. METODOLOGÍA.....	94
3.1. Tipo y diseño de investigación	94
3.2. Variables y operacionalización.....	94
3.3. Población, muestra y muestreo.....	96
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	102
3.5. Procedimientos	102
3.6. Método de análisis de datos	136
3.7. Aspectos éticos.....	136
IV. RESULTADOS	138
V. DISCUSIÓN	166
VI. CONCLUSIONES.....	170
VII. RECOMENDACIONES	171
REFERENCIAS.....	172
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimiento de calidad e inalterabilidad de los A. G.	77
Tabla 2. Requerimiento de calidad e inalterabilidad de los A.F.....	78
Tabla 3. Tipos de mezclas.....	81
Tabla 4. Composición Típica del Concreto Asfáltico	89
Tabla 5. Muestra de dimensión de propiedades de los agregados	98
Tabla 6. Muestra de dimensión de propiedades de la mezcla de asfáltica de masilla de piedra	99
Tabla 7. Cantidades Mínimas de Muestra de Agregado Grueso.....	105
Tabla 8. Tipos de Gradación de Agregados.....	112
Tabla 9. Gradación de las Muestras de Ensayo.....	112
Tabla 10. Porcentaje de Desgaste por Abrasión los Ángeles.....	113
Tabla 11. Porcentaje con una Cara Fracturada en los Agregados.....	114
Tabla 12. Porcentaje con Dos o Mas Caras Fracturadas en los Agregados ..	115
Tabla 13. Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas de Agregados Gruesos.	116
Tabla 14. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso	117
Tabla 15. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.....	118
Tabla 16. Resultados Obtenidos del Ensayo Equivalente de Arena	120
Tabla 17 Datos de Gravedad Especifica Bulk y Gravedad Máxima Rice.	125
Tabla 18 Datos de Gravedad Especifica Bulk y Gravedad Máxima Rice	125
Tabla 19 Datos de Gravedad Especifica Bulk y Gravedad Máxima Rice	126
Tabla 20 Datos de Gravedad Especifica Bulk y Gravedad Máxima Rice	126
Tabla 21 Datos de Gravedad Especifica Bulk y Gravedad Máxima Rice	126
Tabla 22 Determinación del Contenido Optimo de Asfalto Método del Instituto de Asfalto en MS-2.....	127
Tabla 23 SMA (Patrón) Proporciones para el Diseño Marshall.	129
Tabla 24 SMA (Patrón + 6 PET) Proporciones para el Diseño Marshall	129
Tabla 25 SMA (Patrón + 6 PET + 8NS) Proporciones para el Diseño Marshall	129
Tabla 26 SMA (Patrón + 6 PET + 9NS) Proporciones para el Diseño Marshall	129

Tabla 27 SMA (Patrón + 6 PET + 10NS) Proporciones para el Diseño Marshall.	130
Tabla 28 Resumen de Dosificaciones y diseño de Mezcla Asfáltica SMA.	130
Tabla 29. Resultados para obtener la muestra patrón	138
Tabla 30. Dosificación con 6% de PET	141
Tabla 31. Dosificación con 6% de PET + 8%NS	144
Tabla 32. Dosificación con 6% de PET + 9%NS	147
Tabla 33. Dosificación con 6% de PET + 10%NS	150
Tabla 34. Resumen general de dosificaciones en comparativa del % 6.90 asfalto	153
Tabla 35. Influencia en la Estabilidad.....	154
Tabla 36. Influencia en el flujo.....	156
Tabla 37. Influencia en el % de vacíos.....	157
Tabla 38. Influencia en la densidad de las mezclas	159
Tabla 39. Influencia en V.M.A. de las mezclas.....	160
Tabla 40. Pruebas de normalidad	161
Tabla 41. Análisis ANOVA para estabilidad	162
Tabla 42. Prueba ANOVA para flujo.....	163
Tabla 43. Prueba ANOVA para % de vacíos.....	163
Tabla 44. Prueba ANOVA para densidad.....	164
Tabla 45. Prueba ANOVA para V.M.A.....	165

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1 Indicadores de dosificaciones de PET y NS.....	52
Figura 2. Diagrama de reciclado de PET.....	67
Figura 3. Partículas de nano sílice	70
Figura 4. Ecuación de la gravedad específica aparente	87
Figura 5. Ecuación de la gravedad específica efectiva.....	87
Figura 6. Propiedades Peso-Volumen en Mezclas Asfálticas Compactadas ...	88
Figura 7. Esquema de una Muestra HMA Compactada	88
Figura 8. Mecanismo típico de deformación permanente en la trayectoria de la rueda externa	90
Figura 11. Ubicación de la Cantera de Agregados Pétreos.....	103
Figura 12. Recolección de Materiales Pétreos	104
Figura 13. Cuarteo Manual del Agregado Grueso	104
Figura 14. Secado de la muestra en el horno.....	105
Figura 15. Pesado de la muestra	106
Figura 16. Ejecución del tamizado por medio de un tamizador mecanico.....	106
Figura 17. Cantidades retenidas de agregado grueso en cada tamiz	107
Figura 18. <i>Curva granulométrica de agregados grueso 3/4</i>	107
Figura 19. Curva granulométrica de agregados grueso 1/2	108
Figura 20. <i>Curva granulométrica de agregado fino</i>	108
Figura 21. <i>Curva granulométrica de la Combinación de Agregados</i>	109
Figura 22. Recepción del aditivo GAIA nano sílice.....	109
Figura 23. Recolección de tereftalato de polietileno (PET) de la planta de reciclaje	110
Figura 24. Proceso de Desgaste de Residuos de Botellas Descartables.....	110
Figura 25. Procedimiento para la elaboración y obtención del aditivo PET....	111
Figura 26. Los agregados pétreos son secados en el horno.....	111
Figura 27. Procedimiento para el Ensayo Abrasión los Ángeles	113
Figura 28. Desarrollo del Ensayo	114
Figura 29. Procedimiento para Determinar el Índice de Aplanamiento y Alargamiento.	115

Figura 30. Procedimiento para Ensayo Peso Específico.....	116
Figura 31. Preparación de la Muestra	117
Figura 32. Obtención de la Gravedad Especifica.	118
Figura 33. Procedimiento del Ensayo.....	119
Figura 34. Obtención de la Lectura de Arena y Arcilla	119
Figura 35 Granulometría de Agregado de ¾ de pulgada	120
Figura 36 Granulometría de Agregado de 1/2 de Pulgada.....	121
Figura 37 Granulometría de Agregado Arena Gruesa.....	121
Figura 38 Granulometría del Filler Mineral.	121
Figura 39 Resumen de diseño de Mezcla.	122
Figura 40 Análisis Granulométrico de la combinación de Agregados.	122
Figura 41. Obtención de Pesos de los Agregados Pétreos.....	122
Figura 42. Procedimiento para la Elaboración de Probetas de Asfalto	123
Figura 43 Muestras de Mezclas Asfálticas SMA.	123
Figura 44 Registro de Características de los Especímenes.....	124
Figura 45 Resultados del Diseño Marshall.....	127
Figura 46 Graficos de tablas de Porcentajes de Asfalto.....	127
Figura 47 Resultados de Contenido Optimo de Asfalto para Diseño SMA.....	128
Figura 48 Resultado Contenido Optimo de Asfalto	128
Figura 49 Preparación de Especímenes de SMA.....	131
Figura 50 Preparación de la SMA Hasta Lograr una Mezcla Homogénea	131
Figura 51 Preparación de la SMA Mezcla Patron.....	132
Figura 52 Pesos de los Aditivos Como Adicion a la SMA	132
Figura 53 Ensayo Marshall para la Obtención de la Estabilidad	133
Figura 54 Elaboración de Briquetas para la Obtención del Flujo Marshall	133
Figura 55 Ensayo Resistencia de Mezclas Bituminosas Flujo Marshall	134
Figura 56 Obtención de Resultados Flujo Marshall.....	134
Figura 57 Determinación de Peso Específico Bulk.....	135
Figura 58 Determinación del Peso Específico Rice.....	135
Figura 59 Certificado de Conducta Responsable en Investigación	137
Figura 60. Estabilidad de la muestra patrón.....	138
Figura 61. Flujo de la muestra.....	139
Figura 62. Porcentaje de vacíos de la muestra patrón	139
Figura 63. Densidad de la muestra patrón	140

Figura 64. V.M.A de la muestra patrón.....	141
Figura 65. Estabilidad con 6% de PET.....	142
Figura 66. Flujo con 6% de PET.....	142
Figura 67. Porcentaje con 6% de PET.....	143
Figura 68. Densidad con 6% de PET.....	143
Figura 69. VMA con 6% de PET.....	144
Figura 70. Estabilidad con 6% de PET + 8%NS.....	145
Figura 71. Flujo con 6% de PET + 8%NS.....	145
Figura 72. Porcentaje con 6% de PET + 8%NS.....	146
Figura 73. Densidad con 6% de PET + 8%NS.....	146
Figura 74. VMA con 6% de PET + 8%NS.....	147
Figura 75. Estabilidad con 6% de PET + 9%NS.....	148
Figura 76. Flujo con 6% de PET + 9%NS.....	148
Figura 77. Porcentaje con 6% de PET + 9%NS.....	149
Figura 78. Densidad con 6% de PET + 9%NS.....	149
Figura 79. VMA con 6% de PET + 9%NS.....	150
Figura 80. Estabilidad con 6% de PET + 10%NS.....	151
Figura 81. Flujo con 6% de PET + 10%NS.....	151
Figura 82. Porcentaje con 6% de PET + 10%NS.....	152
Figura 83. Densidad con 6% de PET + 10%NS.....	152
Figura 84. VMA con 6% de PET + 10%NS.....	153
Figura 85. Ensayo de Estabilidad.....	154
Figura 86. Ensayo de Flujo.....	155
Figura 87. Ensayo % de Vacíos.....	157
Figura 88. Ensayo de Densidad.....	158
Figura 89. Ensayos de V.M.A.....	160

RESUMEN

La investigación lleva como título “Uso de mezclas asfálticas de masilla de piedra modificada con PET y nanosílice para el desempeño de la carpeta asfáltica av. Cultura, Cusco 2023” cuyo objetivo fue determinar la influencia de PET y nano sílice en mezclas asfálticas masilla de piedra para el desempeño de la carpeta asfáltica Av. Cultura-Cusco 2023. La metodología fue de tipo aplicada, con un nivel explicativo, diseño de investigación cuasi experimental, con un enfoque cuantitativo. La población de estudio está compuesta por 90 especímenes cilíndricos de mezclas bituminosas compactadas y moldeadas por el método Marshall, que contenían adiciones de PET al 6% y nanosílice al 8%, 9% y 10%, la cual hacen un total de 4 dosificaciones y la muestra patrón, dichos moldes fueron sometidos al ensayo Marshall bajo la norma MTC E 504, ASTM-D6926 y ASTM-D6927, para obtener la **estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos**. Se destaca como resultado y conclusiones que para todas las dosificaciones en cuanto al ensayo de estabilidad y flujo se mantuvo valores constantes para la muestra patrón 6.90% se obtuvo un valor de 12.87 kN, así mismo de la primera dosificación al 6% de PET un valor del ensayo de estabilidad de 26.24 kN, para la segunda dosificación de 6% de PET Y 8% de NS se logra apreciar que se obtuvo un valor del ensayo de estabilidad de 26.86 kN , para la tercera dosificación de 6% de PET + 9%NS se logra apreciar que se obtuvo una estabilidad de 29.00 kN y para la cuarta dosificación 6% de PET + 10%NS se logra apreciar que se obtuvo una estabilidad de 15.13 kN. Por otro lado, para el ensayo de flujo para la muestra patrón un valor del 6.90%, así mismo con la primera dosificación un valor de 6.02 mm, para la segunda dosificación se logra apreciar que se obtuvo un valor de 8.78 mm, para la tercera dosificación se logra apreciar que se obtuvo un flujo de 4.68 mm y la cuarta dosificación se logra apreciar que se obtuvo un flujo de 8.94 mm y con la dosificación un valor de 7.63 mm.

Palabras clave: Mezclas asfálticas, asfalto de masilla de piedra, PET, nanosílice, pavimento flexible

ABSTRACT

The research is entitled "Use of asphalt mixtures of stone mastic modified with PET and nanosilica for the performance of the asphalt layer of Av. Cultura, Cusco 2023" whose objective was to determine the influence of PET and nanosilica in asphalt mixtures of stone mastic for the performance of the asphalt layer of Av. Cultura-Cusco 2023. The methodology was applied, with an explanatory level, quasi-experimental research design, with a quantitative approach. The study population is composed of 90 cylindrical specimens of compacted bituminous mixtures molded by the Marshall method, containing additions of PET at 6% and nanosilica at 8%, 9% and 10%, which make a total of 4 dosages and the standard sample, these molds were subjected to the Marshall test under the MTC E 504, ASTM-D6926 and ASTM-D6927 standards, to obtain the stability, flow and percentage of voids. It is highlighted as a result and conclusions that for all the dosages regarding the stability and flow test, constant values were maintained for the standard sample 6.90%, a value of 12.87 kN was obtained, likewise for the first dosage of 6% PET a value of 26.24 kN was obtained in the stability test. 24 kN, for the second dosage of 6% PET and 8% NS a stability test value of 26.86 kN was obtained, for the third dosage of 6% PET + 9% NS a stability of 29.00 kN was obtained and for the fourth dosage of 6% PET + 10% NS a stability of 15.13 kN was obtained. On the other hand, for the flow test for the standard sample a value of 6.90% was obtained, likewise with the first dosage a value of 6.02 mm, for the second dosage a value of 8.78 mm was obtained, for the third dosage a flow of 4.68 mm was obtained and for the fourth dosage a flow of 8.94 mm was obtained and with the dosage a value of 7.63 mm was obtained.

Keywords: Asphalt mixtures, Stone mastic asphalt, PET, Nanosilica, Flexible pavement

I.INTRODUCCIÓN

A **nivel internacional**, la problemática identificada se centra en los deterioros prematuros y la baja resistencia de los pavimentos flexibles en diversas vías urbanas y carreteras, el tráfico vehicular intenso, las condiciones climáticas cambiantes y la carencia de calidad en toda mezcla asfáltica tradicionales han resultado en un aumento significativo de fisuras, agrietamientos y desprendimiento del pavimento, por ende este fenómeno no solo afecta negativamente la seguridad vial, sino que también incrementa los costos de mantenimiento y rehabilitación de las infraestructuras viales en todo el mundo (Jianmin y Hesp, 2022).

Los pavimentos flexibles, con diseño para lograr dar soporte todo tipo de carga dinámica y constante, se enfrentan a diversos tipos de contingencias en función a su durabilidad y desempeños a través del tiempo. La carencia de resistencia a la deformación plástica y la fatiga en toda mezcla asfáltica convencionales conllevan a una disminución en lo largo de su vida útil del pavimento, necesitando constantes tipos de reparación y rehabilitación (Santos y Estrada, 2022).

Esto no solo ocasiona problemas para quienes utilizan las carreteras, sino que también representa un peso financiero considerable en todo el presupuesto destinados a los mantenimientos y construcciones de toda infraestructura vial en diversas naciones. (Meftah et al., 2021).

Son evidentes las necesidades de coger estas problemáticas a nivel internacional, dado que el deterioro del pavimento flexible impacta sobre las eficiencias y seguridad de los transportes en todo el mundo. Las inversiones en infraestructuras viales desempeñan un papel crucial en el desarrollo tanto sociales y económicos en toda nación, y todo pavimento flexible desgastado constituyen obstáculos en estos procesos. Las búsquedas de alternativas que incrementen las durabilidades, resistencias y sostenibilidades del pavimento es esencial para asegurar una red vial eficientes y seguras a escala global. (Solomon et al., 2019).

En este contexto, la implementación de tecnologías innovadoras como mezclas asfálticas modificadas con materiales reciclados y nanomateriales se presenta

como posibles soluciones para mejorar el desempeño del pavimento flexible y hacer frente a los desafíos planteados por el deterioro prematuro de las vías (Casanova, 2017).

A **nivel nacional**, se enfrenta una problemática similar. En lo que respecta a los deterioros de tipo prematuro del pavimento flexible en la diversidad de carreteras y vía urbana, las combinaciones de elevados volúmenes de tráfico, fluctuaciones climáticas y las calidades deficientes de la mezcla asfáltica convencionales han contribuido al surgimiento anticipado de fisuras, baches y desprendimientos en los pavimentos. Esta posición no solo compromete la seguridad vial de las personas que lo usan, así también originan impactos económicos adversos debido a los costos recurrentes asociados con los mantenimientos y las reparaciones de toda infraestructura vial (Larrea, 2023)

La red vial del Perú es esencial para el transporte de mercancías, el turismo y la conectividad entre las distintas regiones del país. Sin embargo, la falta de resistencia a la capacidad de soportar toda carga dinámica y la fatiga en el pavimento flexible tradicionales ha resultado en un deterioro prematuro que afecta la calidad del servicio vial. Los tramos carreteros y vías urbanas presentan agrietamientos y deformaciones plásticas que disminuyen su vida útil y aumentan los gastos de mantenimientos para el gobierno y los usuarios (Maita y Miranda, 2023).

Ante esta problemática, es necesario abordar de manera efectiva los diseños, de construcciones y mantenimientos del pavimento flexible en el país. La inversión en infraestructura vial es esencial para los crecimientos económicos y los bienestar de la población, y el deterioro de los pavimentos representa un obstáculo para el desarrollo sostenible. La implementación de soluciones innovadoras como la incorporación de mezclas asfálticas con modificaciones con materiales de tipo reciclado y nanomateriales puede contribuir significativamente a incrementar la resistencia, durabilidad y desempeño de los pavimentos, disminuyendo todo costo de mantenimientos y prolongando su vida útil (Ravelo, 2022).

La exploración de opciones tecnológicas y de diseños adaptadas a las condiciones climáticas y al elevado flujo de tráfico en el Perú resulta fundamental

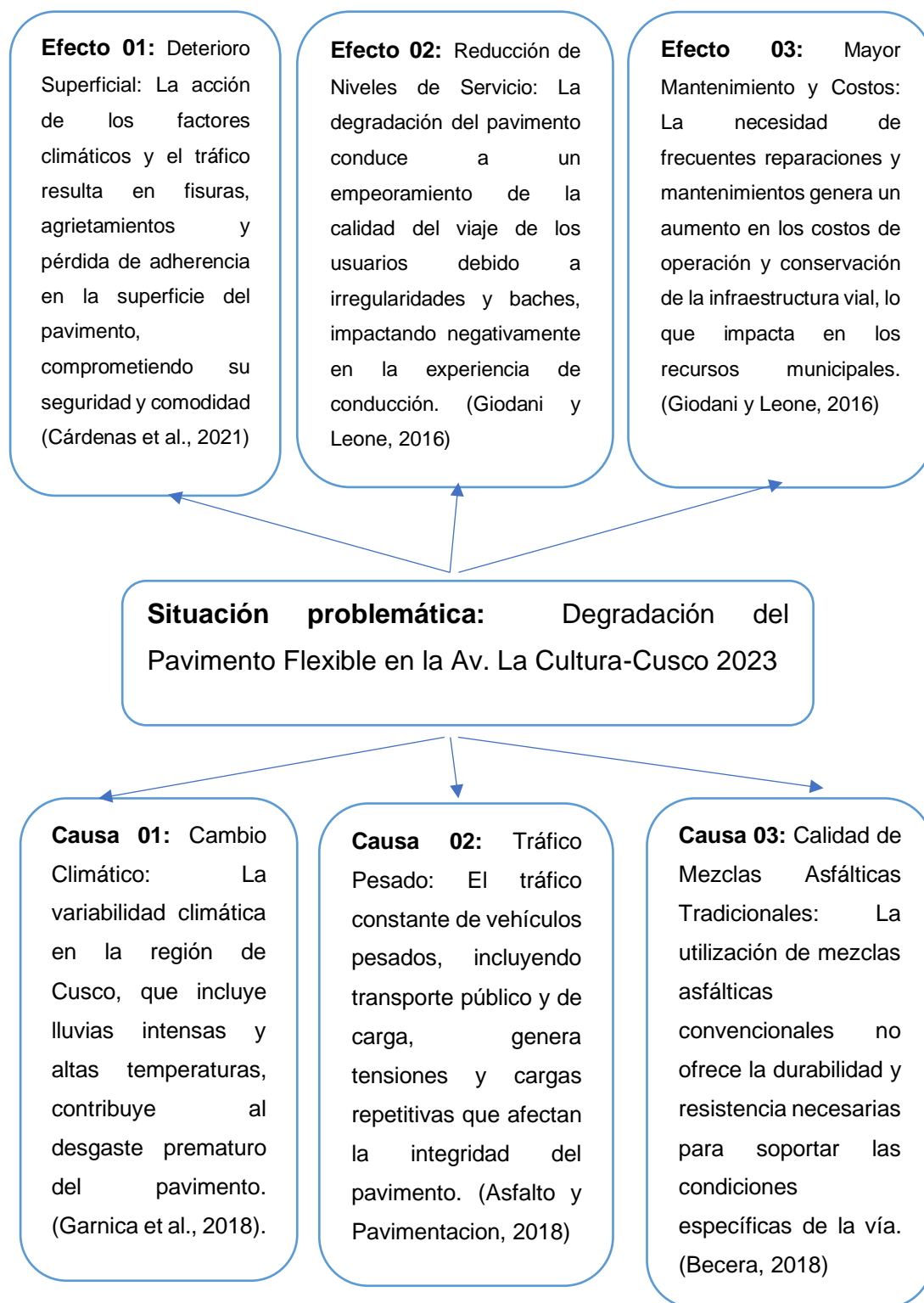
para garantizar las eficiencias, seguridades y sostenibilidades de las redes viales del país. Poner énfasis en soluciones capaces de soportar todo desafío climático y toda carga vehicular contribuirán a sistemas de transportes más confiables y eficientes, generando beneficios tanto para todo usuario como para la economía nacional (Quispe, 2022).

A nivel local, específicamente en la ciudad de Cusco, Perú, se enfrenta un desafío similar en relación al deterioro prematura del pavimento flexible en toda vía urbana clave como la Avenida La Cultura. El alto tráfico vehicular, las variaciones climáticas y las condiciones topográficas propias de la región han contribuido al prematuro deterioro de los pavimentos, manifestándose en forma de grietas, hundimientos y desprendimientos en la superficie de la carretera (Quispe, 2022).

La Avenida La Cultura es una vía de crucial importancia para la ciudad, puesto que conecta diferentes sectores urbanos y es una ruta frecuentemente utilizada por vehículos de todo tipo. Sin embargo, la falta de resistencia del pavimento a las cargas y condiciones cambiantes ha llevado a una disminución en la calidad del servicio vial, aumentando los riesgos para la seguridad de los pilotos y peatones. Además, este deterioro genera un constante gasto público en reparaciones y mantenimiento que podría ser invertido en otros proyectos de desarrollo (Ravelo, 2022).

La problemática del pavimento afecta no solo a la comodidad de los usuarios, sino también a la economía local y al turismo, ya que el estado de las vías influye en la imagen de la ciudad. La necesidad de encontrar soluciones que prolonguen la durabilidad de la vida del pavimento, reduzca los costos de mantenimientos y mejoren la seguridad vial es urgente para garantizar un sistema de transporte eficiente y seguro en Cusco (Santos y Estrada, 2022).

En este contexto, la implementación de mezclas asfálticas modificados con materiales de tipo reciclado y nanomateriales podría representar unas soluciones efectivas para contribuir a la resistencia y durabilidades del pavimento en la Avenida La Cultura y otras vías urbanas de Cusco. Esta iniciativa no solo tendría impactos positivos en la calidad del servicio vial, sino que también contribuiría a la sostenibilidad ambiental y al uso responsable de los recursos.



La problemática general viene a ser ¿Cómo influye el PET y nano sílice en mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023?, y como problemas específicos son (a) ¿En qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en la **estabilidad** de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av.

Cultura-Cusco 2023?, (b) ¿En qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el **flujo** de las mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023? Y (c) ¿En qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el **porcentaje de vacíos** de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023?

Esta investigación reviste una importancia significativa al abordar la modificación de mezclas asfálticas con masilla de piedra, PET y nano sílice para mejorar el desempeño del pavimento en la Av. La Cultura en Cusco. Esta propuesta no solo busca extender la vida útil de los pavimentos y disminuir el deterioro prematuro, sino que también contribuye al desarrollo de soluciones sostenibles y eficientes en los sectores de las construcciones viales (Meftah et al., 2021). Al lograr un pavimento flexible más resistente, duradero y adaptable a la condición climática y de tráfico, la investigación promueve una infraestructura vial de mayor calidad y un entorno urbano más funcional y seguro, beneficiando tanto a la comunidad local como a los visitantes de la ciudad (Jianmin y Hesp, 2022).

Se tiene la **Justificación teórica**; La indagación propuesta se basa en el primer vacío teórico, puesto que es necesario investigar y evaluar las propiedades de rendimiento de ingeniería, así como las propiedades mecánicas y de deformación, a consecuencia de la combinación de la Nano sílice (NS) y tereftalato de polietileno (PET) reciclado como un "aditivo híbrido sostenible" (Mashaan et al., 2022). Por otro lado en relación con la modificación de mezclas asfálticas de masilla de piedra (SMA) y en base a un segundo vacío teórico el cual indica que a pesar de los avances en la indagación sobre la influencia de PET y nano sílice en mezclas asfálticas, existe un vacío teórico en cuanto a ensayos más completos lo cual nos recomienda realizar pruebas a diferentes tensiones y temperaturas para evaluar la resistencia a la formación de roderas y los comportamientos de la fatiga (Mashaan et al., 2022). A su vez también nos sugiere examinar la vida de fatiga y la deformación en distintos porcentajes del aditivo híbrido, aportando una visión más detallada de su efecto en el desempeño del pavimento (Jianmin y Hesp, 2022). Posteriormente la utilización de nano sílice (NS) combinada con PET reciclado se justifica por sus características complementarias puesto que la nano sílice, debido a su tamaño de partículas

extremadamente pequeñas, refuerza la matriz asfáltica y mejora la resistencia a la fatiga, mientras que el PET reciclado contribuye a aminorar todo impacto ambiental y a la resistencia ante deformaciones, logrando la combinación de estos aditivos podría mejorar simultáneamente las resistencias a la fatiga, las deformaciones permanentes y las resistencias al agrietamiento, creando un pavimento más duradero y sostenible (Meftah et al., 2021).

Este estudio busca abordar estos vacíos teóricos mediante la propuesta de ensayos a diferentes tensiones y temperaturas para evaluar la resistencia a la formación de roderas y los comportamientos a la fatiga, así como analizar la vida de fatiga y la deformación en distintos porcentajes del aditivo híbrido. La combinación de nano sílice y PET reciclado se justifica por sus características complementarias, donde la nano sílice refuerza la matriz asfáltica y mejora la resistencia a la fatiga, mientras que el PET reciclado contribuye a reducir el impacto ambiental y mejorar la resistencia al agrietamiento por retracción. Este enfoque integral podría resultar en un pavimento más duradero y sostenible.

En los artículos como el de (Sawan et al., 2018) y (Arshadi y Hasan , 2023), se destacan las ventajas de utilizar NS en mezclas asfálticas para fortalecer la matriz asfáltica y incrementar la resistencia a la fatiga y fisuración. Por otro lado, investigaciones como la de (Meftah et al., 2021) y (Jianmin y Hesp, 2022) han demostrado el potencial de incorporar PET reciclado para minimizar el impacto ambiental y incrementar la resistencia al agrietamiento por retracción. Sin embargo, como se mencionó anteriormente en los vacíos teóricos encontrados persisten en la evaluación conjunta de estos materiales en mezclas asfálticas, limitando la comprensión de cómo interactúan y complementan sus efectos para potenciar las características físico mecánicas del pavimento (Mashaan et al., 2022). En términos de características físico mecánicas, el uso de PET con adición al 6% y NS en dosificaciones del 8%, 9%, y 10%, como propuesta de la presente investigación, podría resultar en un incremento significativo del módulo de rigidez, resistencia a la tracción y durabilidad del pavimento Mashaan et al. (2022). La estabilidad de Marshall, ensayo de seguimiento de ruedas, prueba de módulo elástico y evaluaciones de drenaje son indicadores clave que permitirán evaluar cómo estos aditivos influyen en las facultes de la mezcla asfáltica para

admitir cargas, deformaciones y condiciones ambientales cambiantes (Mashaan et al., 2022).

Análisis de Investigaciones	Cita	Porcentaje de PET Y NS
(Mashaan et al., 2022). Con un 6% de Tereftalato de polietileno (PET) y un 8% de NS el flujo de salida se redujo efectivamente al 0.04%. Los resultados indicaron que la incorporación de PET Y NS podría reducir la tasa de drenaje y la resistencia ala rodadura	(Mashaan et al., 2022).	El contenido optimo ideal fueron 6% de PET Y 8% de NS
(Ravelo, 2022) Los resultados revelaron que al incorporar un 5% y 7% de PET en las mezclas asfálticas	(Ravelo, 2022)	El contenido optimo ideal fueron 5% y 7% de PET.
(Quispe, 2022) Se utilizó nanoarcilla en concentraciones de 0.5%, 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%, así como nano carbonato de calcio al 0.5%.	(Quispe, 2022)	El contenido optimo ideal fueron 0.5% y 3.5% de nano arcilla y nano carbonato de calcio
(Obaid, 2021) La incorporación de 5% de NS y un 3% de polipropileno (PP) tiene un efecto positivo sobre la sensibilidad a la humedad, la vida útil a la fatiga y la resistencia a la rodadura.	(Obaid, 2021)	Se concluye 5% de NS y 3% de PP
(Nguyen, Cheng, & Nguyen, 2021) Esta combinación utiliza 1% de Nanosílice y 5% de policloruro de vinilo (PVC) para proporcionar una mezcla de SMA modificado con alta estabilidad, excelente resistencia a la fractura por humedad y alta resistencia a la formación de rodaduras.	(Nguyen, Cheng, & Nguyen, 2021)	Se determina 1% de NS y 5% de PVC

<p>(Zhuangzhuang, 2022)</p> <p>La decisión reveló que se adicionaron en los siguientes porcentajes 3, 6, 9 y 12% que el desempeño de la mezcla asfáltica modificada fue el más equilibrado cuando el contenido de nano aluminio es del 9%. Cuando la dosis óptima del nano aluminio fue del 9 %</p>	<p>(Zhuangzhuang , 2022)</p>	<p>El contenido optimo ideal fueron 9% y de nano aluminio</p>
---	------------------------------	---

Figura 1. *Indicadores de dosificaciones de PET y NS.*

Nota. Dosificaciones de PET y NS según citas y referencias de Artículos de Investigación Fuente. elaboración propia.

Este estudio presenta un aporte sustancial a la ingeniería de pavimentos al abordar dos vacíos teóricos cruciales. En primer lugar, se busca comprender en detalle cómo la combinación de Nano sílice (NS) y tereftalato de polietileno (PET) reciclado, actuando como un "aditivo híbrido sostenible", influye en las cualidades de rendimiento y mecánicas de la mezcla asfáltica. Este enfoque integral proporciona una perspectiva novedosa sobre la aplicación conjunta de estos materiales para mejorar las características del pavimento. En segundo lugar, se busca llenar el vacío teórico al realizar ensayos más completos, considerando tensiones y temperaturas variables, para evaluar la resistencia a la formación de roderas y el comportamiento a la fatiga en mezclas asfálticas modificadas con PET y nano sílice. Este enfoque detallado contribuirá a una comprensión más holística de cómo estos aditivos impactan el desempeño del pavimento, ofreciendo parámetros valiosos para los diseños y las construcciones de un pavimento duraderos y sostenibles.

También Se tiene **Justificación metodológica** La elección de una metodología precisa y rigurosa es crucial para lograr un resultado confiable y significativo en esta indagación. Se justifica el enfoque de investigación cuasi experimental, que permitirá analizar el impacto de la mezcla asfáltica con modificaciones en circunstancias de campo reales. La recolección de todo dato incluirá pruebas de laboratorio y ensayos en sitio con el fin de analizar el desempeño de los pavimentos en el término de resistencia, durabilidad y niveles de servicialidad

vial. También cuenta con **Justificación ambiental** Las incorporaciones de materiales reciclados en las mezclas asfálticas responde a la creciente conciencia ambiental a nivel internacional y nacional. La reducción de la demanda del recurso natural y por consiguiente disminución de la producción de residuos contribuyen directamente a la sostenibilidad ambiental. La utilización de PET reciclado y nano sílice en las mezclas asfálticas no solo puede mejorar el desempeño del pavimento, sino también minimizar las huellas de carbono de las construcciones y operaciones de la infraestructura vial, al tiempo que fomenta la economía circular. También cuenta con **Justificación social**. La mejora de las infraestructuras viales tiene unos impactos directo en las calidades de vida de las poblaciones. La implementación de soluciones que reduzcan los problemas de mantenimiento, aumente la seguridad vial y mejoren la eficiencia en la circulación vehicular contribuirá a una mejor experiencia para los usuarios de las vías. Además, la adopción de tecnologías innovadoras puede generar empleos especializados y fortalecer la capacitación en las áreas de las construcciones y el entorno de la ingeniería civil en la región. También cuenta con **Justificación económica** La inversión en los mejoramientos de las infraestructuras viales puede tener una influencia económica positiva a largos plazos. La implementación de mezclas asfálticas modificadas puede alargar la durabilidad de los pavimentos, reduciendo todo el costo de mantenimientos y evitando gastos innecesarios en reparaciones constantes. Las mejoras en cuanto a calidades y seguridades de las vías también pueden contribuir al desarrollo económico de la región, alentando la inversión y el turismo.

El objetivo general fue Determinar la influencia de PET y nano sílice en mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023, a) Determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en la **estabilidad** de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023, b) Determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el **flujo** de las mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023. Y c) Determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el **porcentaje de vacíos** de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

La hipótesis general fue El PET y nano sílice influyen positivamente en mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023. Y como específicas a) La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en la **estabilidad** de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023, b) La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el **flujo** de las mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023, y c) La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el **porcentaje de vacíos** de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

II.MARCO TEÓRICO

Por otro lado, tenemos como **antecedentes internacionales** a (Seyed y Neda, 2022) en su artículo de título “Performance Evaluation of Stone Matrix Asphalt Mixtures and Low-Temperature Properties of Asphalt Binders Containing Reclaimed Asphalt Pavement Materials Modified with Nanosilica”, el objetivo de su investigación fue evaluar el rendimiento de las mezclas de asfalto tipo Stone Matrix Asfalto (SMA) en conjunto con aglutinantes asfálticos modificados con Nanosílice y materiales reciclados de asfalto (RAP). Aplicando una metodología de tipo aplicada de diseño experimental se fabricaron mezclas de SMA utilizando como muestra diferentes proporciones de RAP (0%, 20%, 30%, 40%, y 50%) y aglutinantes asfálticos modificados con diferentes cantidades de nanosílice (0%, 2%, 4%, y 6%). Se desarrollo mediante el siguiente método, estas mezclas se sometieron a una serie de pruebas, que incluyeron ensayos de deformación dinámica, módulo resiliente, susceptibilidad a la humedad, flexión semicircular (SCB) a temperatura intermedia y ensayos del reómetro de viga flexural (BBR). Lo resultados indicaron que la adición de nanosílice junto con RAP incremento significativamente las resistencias a las deformaciones constantes de las mezclas de SMA. Además, se observará un aumento notable en los valores del módulo resiliente, que fue más evidente a 25°C que a 5°C. Las adiciones simultánea de RAP y nanosílice a las mezclas de SMA incremento la resistencia a la humedad y la resistencia a la fisuración de las mezclas. Sin embargo, la eficacia del nanosílice aumenta la relación de resistencia a la tracción (TSR) de las mezclas se vio disminuida cuando se usa en combinación con RAP. Finalmente concluye que las combinaciones de nanosílice y RAP en las mezclas de SMA mejoró la resistencia a las deformaciones constantes y el módulo resiliente de las mezclas. Sin embargo, la resistencia a la tracción se vio afectadas negativamente cuando se usa nanosílice en combinación con RAP. Además, la modificación de los aglutinantes con nanosílice redujo el rendimiento a bajas temperaturas de los aglutinantes, especialmente en presencia de RAP.

(Mashaan et al., 2022) En su artículo de título “Performance of PET and nano-silica modified stone Mastic”, la finalidad de este estudio es utilizar una combinación de polietileno tereftalato (PET) de desecho y nano-sílice (NS) como aditivo híbrido recién desarrollado en la modificación de mezclas asfálticas de

masilla de piedra (SMA) con el fin de mejorar el desempeño frente al ahuellamiento y la fatiga. Se empleó una metodología de tipo aplicado, diseño experimental se tuvo como muestra, se utilizó un total de 6 % de plástico PET con concentraciones de nanosílice de 0 %, 2 %, 4 %, 6 % y 8 % en peso del aglutinante para preparar el aditivo híbrido. Se siguió el siguiente desarrollo experimental se evaluaron las propiedades de ingeniería mediante pruebas como la estabilidad de Marshall, seguimiento de ruedas, resistencia a la tracción indirecta, módulo elástico y pruebas de drenaje. Los resultados evidenciaron que las incorporaciones del 4-8% de nano-sílice con un 6% de plástico PET de desecho mejoró el desempeño de la mezcla SMA modificadas en término de resistencias a la formación de surcos, módulo de rigidez, relación de resistencia a la tracción y desempeño frente a la fatiga en comparativa con las mezclas no modificadas. Los valores significativos de profundidad de surcos y módulo de rigidez, relación de resistencia a la tracción y drenaje fueron registrados como 1,2 mm, 6100 MPa, 96,4% y 0,04%, respectivamente. Además, se observó que las mezclas modificadas con el aditivo híbrido de 6%PET6%NS presentaron un mejor desempeño en términos de rigidez y resistencia a las formaciones de surcos. Finalmente Concluye que la combinación de nano-sílice y plástico PET de desecho como aditivos híbridos puede incrementar positivamente las cualidades de las mezclas SMA. Las mezclas modificadas presentaron un mejor comportamiento ante la formación de surcos, mayor rigidez y resistencia a la tracción, así como una mejora en la vida de fatiga. Los porcentajes óptimos de aditivos híbridos fueron encontrados y se evidenció que la inclusión de nanosílice con PET redujo las tasas de drenaje y mejoró las resistencias a la formación de ahuellamiento. Estos hallazgos respaldan la viabilidad de utilizar esta combinación de aditivos para incrementar los desempeños de las mezclas asfálticas de masilla de piedra en pavimentos flexibles.

(Arshad et al., 2019) en su artículo "Evaluation of nanosilica modified stone mastic asphalt", el que tuvo como finalidad investigar el uso de nanosílice como modificador de bitumen para incrementar las resistencias a la humedad, rigidez y resistencia a las deformaciones por carga repetida de mezclas de asfalto de matriz pétreas (SMA). Se busca evaluar los desempeños de las mezclas de asfalto modificadas con nanosílice en comparación con las no modificadas, en

comparativa con las aplicaron una metodología aplicada y diseño experimental teniendo como muestra 60 especímenes con dosificaciones entre 0% y 2% de adición de NS, se realizó mediante el siguiente método se utilizó bitumen PEN 60/70 y se modificó con nanosílice al 2% en peso del bitumen. Posteriormente, se evaluó el desempeño de las mezclas de asfalto de matriz pétreas mediante pruebas de susceptibilidades a la humedad, rigidez y resistencias a la deformación por carga repetida. Se llegaron a los siguientes resultados logrados de los ensayos indicaron que las adiciones de nanosílice aumentó el valor del módulo resiliente y redujo la profundidad de la deformación por carga repetida en las mezclas de asfalto de matriz pétreas, al tiempo que se lograba la resistencia requerida a la humedad. Estos resultados sugieren mejoras en las propiedades mecánicas y de resistencia de la mezcla de asfalto modificadas con nanosílice en comparación con las no modificadas. Finalmente concluye que la adición de nanosílice en el bitumen mejora los rendimientos de las mezclas de asfalto de matriz pétreas, particularmente en términos de resistencia a la humedad, rigidez y resistencia a la deformación por carga repetida. Estos hallazgos respaldan la viabilidad y eficacia de la modificación del bitumen con nanosílice como una estrategia para incrementar las características de las mezclas de asfalto.

(Debashish et al., 2021) en su artículo de título “Investigations on Stone Matrix Asphalt Mixes Containing Recycled Concrete Aggregate Treated with Nanosilica” , en el que tuvo como finalidad explorar el empleo de agregados de concreto reciclado (RCA) como reemplazo de agregados naturales (NA) de manera sostenible en mezclas de asfalto de matriz pétreas (SMA) utilizadas como capa bituminosa resistente a la deformación por carga repetida. Utilizo una metodología de tipo aplicada de diseño experimental con enfoques cuantitativos, teniendo como muestra 90 especímenes que fueron desarrollados con porcentajes hasta del 8%, utilizando una experimentación de la siguiente forma, desarrolló un procedimiento de pretratamiento modificado que implican las mezclas de RCA con una solución de emulsión de bitumen modificada con nanosílice al 8% (en peso), seguida de un periodo de curado de 24 horas. El RCA tratado (TRCA) se utilizó como agregado grueso, reemplazando por completo al NA grueso, con dos tipos diferentes de bitumen, VG 30 y VG 40,

para la preparación de las mezclas SMA. Se empleó el método Marshall para determinar el contenido óptimo de bitumen (OBC) para distinto tipo de mezcla. Se llegaron a los siguientes resultados Se abordaron varias características de rendimiento pertinentes, como el contacto piedra con piedra, el drenaje, los parámetros Marshall, la resistencia a la tracción indirecta, la susceptibilidad a la humedad, el módulo resiliente y el potencial de deformación por carga repetida para diversas mezclas SMA preparadas en sus respectivos OBC. Los resultados indicaron que el uso de TRCA como agregado y VG 40 como aglutinante en la mezcla SMA contribuyó a los mejores resultados en términos de varias características de rendimiento consideradas. Finalmente concluye que la utilización de TRCA como agregado y VG 40 como aglutinante en la mezcla SMA ofrece beneficios significativos en términos de resistencia y durabilidad, según se evidencia en las diversas características de rendimiento evaluadas. Estos resultados respaldan la viabilidad y efectividad de las propuestas de utilizar RCA de manera sostenible en mezclas asfálticas.

(Khairil et al., 2020) en su artículo de título “Morphological and Physical Characteristic of Stone Mastic Asphalt Mixture Incorporating Nano Silica”, el que tuvo como fin evaluar las propiedades morfológicas de los ligantes asfálticos modificados con nanosílice para determinar las propiedades de estructura interna de la muestra modificada. Utilizando una metodología de tipo aplicada, enfoque cuantitativo teniendo como muestra 36 especímenes con distintas dosificaciones que varían entre 0% y 6% de adición de nanosílice a su vez tiene como método de desarrollo el ligante asfáltico solía modificarse con un modificador polimérico. Pero este tipo de modificador tiene una baja susceptibilidad a la temperatura. Para superar este problema, se introducen nanomateriales para mejorar el rendimiento de la ligante asfáltica virgen. Una de las evaluaciones cruciales de la nanomodificación es evaluar sus cambios microestructurales mediante la evaluación de las propiedades morfológicas. La adición de nanomaterial entonces mejorará significativamente la estructura interna del ligante asfáltico y reducirá el efecto de esos problemas, llegando a los siguientes resultados Entre las pruebas morfológicas realizadas para el ligante asfáltico en este estudio se encuentran el microscopio electrónico de barrido (SEM), la difracción de rayos X (XRD) y el microscopio de fuerza atómica

(AFM). A partir del análisis de imagen SEM y la evaluación XRD, la existencia de Nanosílice (NS) dentro del ligante asfáltico estaba bien dispersa y a partir de estas dos pruebas, se verificó la existencia de NS dentro del ligante asfáltico. A partir de los resultados de AFM, la mayoría de las imágenes de NS-MB antes y después de las condiciones de envejecimiento mostraban la típica estructura de abeja (Fase Catana). Finalmente concluyo que que la adición de NS en el ligante asfáltico mejoraba su rigidez superficial. La rigidez superficial global del ligante asfáltico después del envejecimiento aumentó y la superficie se hizo más sólida.

Tenemos como **antecedentes nacionales** a (Ravelo, 2022) En su tesis de título “Incorporación del sistema PET en mezclas asfálticas para mejorar las propiedades físicas-mecánicas de un pavimento flexible, Av. Marginal, Pichanaqui 2022”, la principal finalidad central de esta indagación fue evaluar los impactos de la incorporación del sistema PET en mezclas asfálticas con el fin de mejorar las características física y mecánica de los pavimentos flexibles. Para ello, se desarrollaron pruebas para la evaluación de las estabilidades, impermeabilidades y trabajabilidades de las mezclas asfálticas. La investigación se enmarca en un enfoque aplicado, con diseño experimental de causa y efecto, nivel explicativo y enfoque cuantitativo. Las muestras consistieron en 36 briquetas de mezclas asfálticas con plásticos PET, Los resultados revelaron que al incorporar un 5% y 7% de PET en las mezclas asfálticas, la estabilidad disminuyó en 1,6 KN y 2,5 KN respectivamente, en comparación con la mezcla convencional (12,2 KN). Por otra parte, la impermeabilidad (porcentaje de vacíos) aumentó en 0,9% y 2,0% respectivamente en comparaciones con las mezclas convencionales (4,2%). Asimismo, la trabajabilidad (flujo) aumentó en 1,3 mm y 2,0 mm respectivamente en comparación con los flujos de las mezclas convencionales (13,7 mm). En conclusión, se determinó que las incorporaciones del sistema PET en la mezcla asfáltica no genera efectos positivos en la propiedad tanto física y mecánica de los pavimentos flexibles, ya que estos logros no logran con los indicadores de diseño Marshall establecidos.

(Quispe, 2022) En su tesis de título “Análisis de la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica con nano carbonato de calcio y nanoarcilla, Lima, 2022”, con la finalidad principal de este estudio fue analizar los impactos de la incorporación de nano carbonato de calcio y nanoarcilla en las mezclas asfálticas

en términos de resistencias a las deformaciones. Utilizando una metodología de tipo aplicada y diseño experimental además se contó como muestra un total de 105 briquetas modificadas con nano aditivos siendo estas las muestras, se desarrolló la siguiente parte experimental, Se utilizó nanoarcilla en concentraciones de 0.5%, 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%, así como nano carbonato de calcio al 0.5%. Se aplicaron los métodos Marshall ASTM D-1559 y Lottman modificado ASTM D-4867-04 para determinar las deformaciones y las resistencias a las humedades respectivamente. Los resultados indican que las adiciones de nanoarcillas al 3.5% y nano carbonato de calcio al 0.5% contribuyeron a las estabilidades de las mezclas asfálticas. Además, todas las mezclas demostraron valores de resistencia a la humedad superiores al 80%. En conclusión, se evidencia que los nano aditivos utilizados representan una excelente alternativa para reemplazar parcialmente el agregado fino, brindando beneficios en términos funcionales, económicos y ecológicos.

(López y Nonato, 2020) en su tesis de título "Propiedades mecánicas del asfalto en caliente adicionándole Polietileno de Tereftalato (PET) en porcentajes de 0.75%, 1% y 1.25%, Nuevo Chimbote, Ancash-2020" en el que tuvo como finalidad la determinación de las propiedades mecánicas del asfalto en caliente al agregarle Polietileno de Tereftalato (PET) triturado en porcentajes de 0.75%, 1.00% y 1.25%. Se empleo una metodología de tipo aplicada con enfoques cuantitativos de diseño experimental teniendo como muestra 48 briquetas con adiciones de Pet de 0.75% al 1.25% a su vez se tuvo como metodología de desarrollo, realizando. Se diseñó una mezcla patrón y, posteriormente, se crearon mezclas modificadas con distintos porcentajes de PET reciclado triturado. Se desarrolló el ensayo Marshall, según las normativas del (MTC E504), para evaluar la estabilidad y el flujo de la mezcla. Llegaron a los siguientes resultados obtenidos a través los procesamientos de datos y representaciones gráficas, empleando el software Excel y el análisis de varianza (Anova), indicaron que las adiciones de 1.00% de PET reciclados triturados incremento significativamente la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica modificada. Este resultado sugiere un impacto positivo en las cualidades mecánicas del asfalto. Finalmente concluyo que Se concluyó que las adiciones de 1.00% de PET reciclado triturado a la mezcla asfáltica resultó en mejoras significativas en la

estabilidad y el flujo del asfalto en caliente. Estos hallazgos respaldan la hipótesis inicial de que la incorporación de PET puede incrementar la propiedad mecánica de los asfaltos, convirtiéndolo en una mezcla modificada con potencial beneficio.

(Díaz, 2022) en su tesis de título “Efectos de la incorporación de Pet reciclado en mezclas asfálticas en caliente para cargas de bajo tránsito en la ciudad de Iquitos – Perú, 2021”, en el que su objetivo determinar los porcentajes de mejoras de la característica física y estructural de las mezclas asfálticas modificadas con plásticos PET en comparaciones con las mezclas tradicionales. Utilizando una metodología investigación de tipo experimental con diseño experimental y enfoque cuantitativo, considerando como muestra constituida por las 40 briquetas de ensayos Marshalls, de lo cual se realizó 20 briquetas patrones y 20 briquetas incorporando a los agregados finos PETs reciclados utilizando una metodología de desarrollo el experimento comenzó con ensayos de materiales, seguidos por la búsqueda de los porcentajes óptimos de PEN 60/70 a utilizar, estableciéndose en un 5.9%. Se realizaron ensayos progresivos con porcentajes de PET (4%, 5%, 6%, 7% con respecto al peso de la briqueta de 1200 gramos) utilizando el ensayo Marshall. Los resultados indican que fueron satisfactorios, con una estabilidad mínima de 9.0202 kN (919.8 kgf) y una estabilidad máxima de 11.526 kN (1175.3 kgf), cumpliendo parcialmente con las normativas para pavimentos flexibles. Finalmente concluye que las incorporaciones de PET en porcentajes específicos a las mezclas asfálticas lograron mejoras significativas en las propiedades, evidenciadas por los resultados satisfactorios en los ensayos Marshall. Aunque no se cumple completamente con todas las normativas, se logra cierta conformidad con los objetivos propuestos.

(Maita y Miranda, 2023) en su tesis de título “Diseño de mezcla asfáltica con caucho y plástico reciclado como alternativa de rentabilidad en San José de los Molinos, Ica, 2022” en el cual su objetivo fue realizar el diseño unas mezclas asfálticas que incorporen cauchos y plásticos reciclados como una alternativa rentable para las construcciones del pavimento. La investigación adopta un enfoque aplicado con un nivel explicativo, utilizando un diseño experimental con 1 grupo control y 4 grupos experimentales. Las muestras constan de 60 briquetas de prueba. Se realizó la metodología siguiente las recolecciones de datos se llevó a través ensayos de laboratorio para suelos, agregado y mezcla asfáltica.

Se llegaron a los siguientes resultados incluyen las caracterizaciones de agregados en el límite inferior y superior de las curvas granulométricas, con unas proporciones del 43% de piedras chancadas y 57% de arena. Se logró unos diseños de mezclas convencionales tipo A, logrando un óptimo porcentaje de asfaltos del 5.4%. Las estabilidades para las muestras experimentales con incorporación de 1% de caucho y 2% de plástico superó el valor requerido de 8.15 kN. Se compararon los resultados con la muestra patrón, demostrando que las muestras experimentales no cumplieron con los requisitos requeridos. Además, se observó unas reducciones en los costos de las mezclas con las adiciones de cauchos y plásticos, estimándose en S/ 1.48 por briqueta. Finalmente concluye que se lograron a una condición óptima para todo agregado y un diseño eficiente de mezcla convencional. Sin embargo, la muestra experimental no cumplió con los parámetros requeridos. A pesar de esto, se evidenció unas reducciones en los costos de las mezclas al incorporar caucho y plástico reciclado, señalando una posible alternativa para considerar en futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

Para abordar la indagación de forma más integra, se consideraron los siguientes **antecedentes de artículos de investigación**, los cuales fueron desarrollados por: (Hoang y Peifeng, 2021) en su artículo de título "Properties of Stone Matrix Asphalt Modified with Polyvinyl Chloride and Nano Silica", el cual tuvo como objetivo investigar los efectos de la modificación de mezclas de asfalto tipo piedra asfáltica de matriz (SMA) mediante el uso de cloruro de polivinilo (PVC) y nanosílice (NS). Se evaluaron diferentes proporciones de NS y PVC en las mezclas de SMA y se desarrollaron una serie de pruebas para determinar las propiedades de las mezclas modificadas en comparación con las no modificadas. Utilizando una metodología de tipo aplicada de diseño experimental además se contó como muestra que implicó cinco modos de modificación de las mezclas de SMA: (1) se mezcló un 1% de NS en SMA; (2) se mezcló un 5% de PVC en SMA; (3) se varió la proporción de NS (1%, 2% y 3%) con un 5% de PVC en SMA. Se utilizó una experimentación de la siguiente forma se desarrollaron pruebas que incluyeron la medición de penetración, punto de reblandecimiento, viscosidad, reología de cizalladura dinámica y recuperación de deformación bajo condiciones de envejecimiento. Se lograron los siguientes

resultados indicaron que la modificación de las mezclas de SMA con PVC y NS tuvieron impactos significativos en sus características tanto físicas como mecánicas. Las mezclas de SMA modificadas exhibieron una alta estabilidad Marshall, resistencia a la humedad y resistencia al desgaste superficial (rutting). La mezcla modificada con un 5% de PVC y un 1% de NS mostraron la mejor calidad en términos de rendimiento. Finalmente concluye que el desarrollo de aditivos efectivos en las mezclas de SMA, lo que podría resultar en pavimentos de mayor calidad y durabilidad. La modificación con PVC y NS mostró incrementos significativos en la estabilidad, resistencia a la humedad y resistencias a los desgastes de las mezclas de SMA.

(Herrera & Valencia, 2021) En su tesis de título "Mezcla asfáltica modificada con Pet características que aporta el pet (polietileno tereftalato) en la mezcla de asfalto", el cual tuvo por propósito fundamental decretar si las adiciones de PET a las mezclas asfálticas pueden obtener un resultado similar o superior a la mezcla convencional regulada por INVIA con la finalidad de minimizar las contaminaciones plásticas en el medio ambiente. Empleó una metodología de experimental con enfoques cuantitativos como muestra un total de 45 especímenes, y además desarrollo su metodología que inició obteniendo todo el material requerido para los diseños de los asfaltos modificados, con fibra de PET, siguiendo los ensayos, realizó el laboratorio correspondiente para determinar las proporciones óptimas de fibras de PET en la mezcla, según los estándares y especificaciones marcados por INVÍAS En los hallazgos se pudo apreciar un incremento en los niveles asociados a las briquetas que contenían mezcla asfáltica alterada con PET. Esta disparidad contribuye de manera notable a la prolongación de la durabilidad ante la fatiga de las mezclas modificadas con PET, demostrando incrementos promedio del 220%. Concluye en que para obtener una mezcla homogénea se deberá trabajar con 11.0 % de grava de 1", 20.0% de grava de ¾", 25% de grava de ½", 27% de arena triturada secundaria, 14.5% de arena manufacturada y 2.5% de PET (Polietileno Tereftalato) y que, Después de la preparación de la mezcla alterada con PET, se determina el % óptimo de aglutinante es de 4.5%, lo cual se ajusta a las normas técnicas establecidas por el INVIAS en el artículo 450-13, destinado para una vía de categoría de tráfico NT3.

Romero et al. (2018) En su artículo de título “Diseño y evaluación de mezclas asfálticas en calientes características de pavimentos flexibles o bituminosos con la adición de tereftalato de polietileno como material constitutivo”, El propósito principal de esta investigación fue encontrar un uso beneficioso para la abundante cantidad de desechos plásticos generados en Ecuador. Se buscó incorporar estos desechos plásticos como material adicional en las mezclas asfálticas en caliente, que son la base de los pavimentos flexibles ampliamente utilizados. El diseño de estas mezclas se desarrolló siguiendo el procedimiento determinado por las normativas pertinentes en el país, con el objetivo de desarrollar un enfoque óptimo y viable para la introducción de material plástico en las mezclas. El enfoque se centró en obtener resultados efectivos y beneficiosos en términos de rendimiento y sostenibilidad. Concluyó que los resultados de la investigación exhibieron que el PET triturado, con un tamaño de partícula retenido en el Tmz #4 y pasante del Tmz 3/8”, y con un contenido de vacíos del 4% en las mezclas, exhibió valores de estabilidad inferiores en comparación con una briqueta convencional que contenía un porcentaje óptimo de asfalto del 6.5% y un contenido de vacíos del 4%. Además, se observó que el PET triturado demostró valores de flujo superiores tanto en la briqueta convencional como en los límites establecidos por la norma NEVI-12. En resumen, se concluyó que esta forma de agregar el PET no aporta mejoras significativas a la estructura del pavimento.

En otros idiomas como antecedentes, tenemos a Mashaan et al. (2022) En su artículo de título “Performance of PET and nano-silica modified stone mastic asphalt mixtures”, el cual tuvo por propósito fundamental utilizar una combinación de tereftalato de polietileno (PET) de desecho y nanosílice (NS) como un aditivo híbrido recientemente desarrollado en la modificación de SMA para mejorar el rendimiento de fatiga y ahuellamiento. Contó con una metodología de tipo experimental y tuvo como muestra los residuos de PET y NS se mezclaron con el aglutinante bituminoso C320 mediante el proceso de mezcla húmeda, produciendo mezclas SMA. La nanosílice se añadió al aglutinante C320 (2 %, 4 %, 6 % y 8 % en peso del aglutinante). Realizaron el siguiente tratamiento, las propiedades de ingeniería se evaluaron a través de la estabilidad de Marshall, ensayo de seguimiento de ruedas, indirecta ensayo de relación de

resistencia a la tracción, prueba de módulo elástico y pruebas de drenaje. Los resultados indicaron que agregar 4–8 % de nanosílice con 6 % de plástico PET de desecho mejora el rendimiento de formaciones de surcos, el módulo de rigidez, la relación de resistencia a la tracción y el rendimiento de fatiga de las mezclas SMA modificadas en comparativa con las mezclas no modificadas; las mezclas modificadas con el aditivo híbrido de 6%PET6%NS tienen un desempeño superior en cuanto a mejor rigidez y resistencia a las formaciones de surcos; el incremento en el contenido de Nano-sílice con plástico PET aumentó la vida de fatiga en la mayor medida, hasta 220.490, para el aditivo híbrido de mezclas 6PET6NS. Concluye en que la inclusión de NS con PET minimizo con éxito las tasas de drenaje, incremento las resistencias a las formaciones de surcos y mejoró la vida de fatiga.

Solomon et al. (2019) En su artículo de título “Life Cycle Assessment for the Production Phase of Nano-Silica-Modified Asphalt Mixtures” , el cual tuvo por propósito fundamental evaluar mezclas asfálticas modificadas con nanosílice en términos de emisiones de producción de materiales mediante de la metodología de evaluación del ciclo de vida (LCA), y los resultados se compararon con unas mezclas asfálticas convencionales para comprender la contribución del impacto de la nanosílice en las mezclas asfálticas. Para poder comparar la importancia relativa de cada categoría de impacto, se calculó la puntuación normalizada para cada categoría de impacto utilizando las puntuaciones de impacto y los factores de normalización. Los resultados mostraron que NMAM tenía un potencial de calentamiento global de $7,44563 \times 10^3$ la puntuación normalizada para cada categoría de impacto se determinó aplicando las puntuaciones de impacto y los factores de normalización. Los resultados mostraron que NMAM tenía un potencial de calentamiento global de $7,44563 \times 10^3$ la puntuación normalizada para cada categoría de impacto se determinó aplicando las puntuaciones de impacto y los factores de normalización. Los resultados mostraron que NMAM tenía un potencial de calentamiento global de $7,44563 \times 10^3$ kg CO₂-Eq por unidad funcional (UF) frente a $7,41900 \times 10^3$ kg CO₂-Eq por unidad funcional de la mezcla asfáltica convencional. Concluye en que la aplicación de LCA a NMAM tiene el potencial de guiar a la toma de una decisión en la selección de

aditivos de modificación de pavimentos para darse cuenta de los beneficios del uso de nanomateriales en pavimentos y evitar posibles riesgos ambientales.

(Zhuangzhuang, 2022) En su artículo de título “Performance and overall evaluation of nano-alumina-modified asphalt mixture”, el cual tuvo por propósito fundamental emplear el nano aluminio como modificación de la mezcla asfáltica para mejorar el rendimiento del pavimento. Las propiedades de las mezclas asfálticas, incluidas las propiedades a altas temperaturas, las cualidades a bajas temperaturas, las propiedades de estabilidad del agua y las propiedades de fatiga, se investigaron mediante pruebas de formación de surcos, pruebas de fluencia dinámica, pruebas de flexión a baja temperatura, pruebas de tracción indirecta, pruebas de estabilidad Marshall, división por congelación y descongelación. ensayos y ensayos de fatiga por tracción indirecta. Se tomó en base a 21 conjuntos de datos de rendimiento, y se aclaró aún más la dosis óptima de nano aluminio. Los resultados demuestran que el nano aluminio mejoró todas las cualidades de las mezclas asfálticas, excepto las propiedades a baja temperatura. La decisión reveló que los desempeños de la mezcla asfáltica modificada fue el más equilibrado cuando el contenido de nano aluminio es del 9%. Cuando la dosis óptima del nano aluminio fue del 9 %, la estabilidad dinámica de la mezcla asfáltica a 60 °C aumentó en un 34,2 %, la deformación permanente acumulada se redujo en un 36,5–49,5 %, el rendimiento de la estabilidad del agua mejoró en un 8,3– 19,5 %, y el rendimiento ante la fatiga mejoró entre un 3,8 y un 7,2 %. Concluye en que el nano aluminio se puede utilizar para modificar materiales de pavimento asfáltico en áreas de alta temperatura y lluvia.

Tenemos como bases teóricas El PET (tereftalato de polietileno), La polimerización de tereftalato dimetílico con etilenglicol es un proceso en el que se combinan a una temperatura promedio de 175°C en la primera etapa, mientras que la segunda etapa involucra una fusión a una temperatura promedio de 275°C en un ambiente de vacío. Las características físicas de la resina están influenciadas por la orientación de los cristales, y su densidad se sitúa alrededor de 1.33 g/cm³. A medida que la temperatura lográ los 70°C, la resina puede experimentar una expansión cuatro veces mayor a su tamaño original. Cabe

mencionar que la temperatura de fusión de este compuesto es de 255°C (Rodríguez et al., 2017).

En función al **polietileno tereftalato**, se generará a partir del triturado de botellas plásticas recicladas con el propósito de emplearlas en la investigación. Esta operación se realizará utilizando un molino., y el material resultante de la trituración se empleará para ser incorporado en la subbase de un pavimento flexible como parte del enfoque de la investigación, (Turpo y Vigo, 2021).

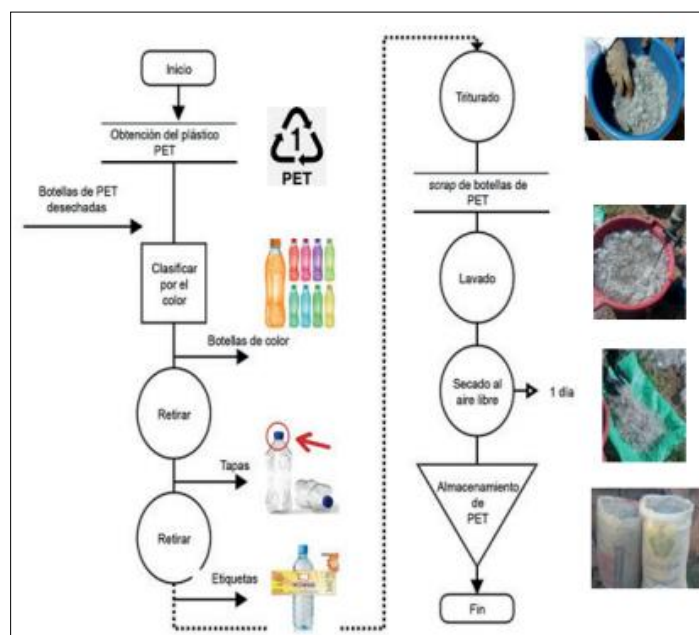


Figura 2. Diagrama de reciclado de PET

Fuente: El diagrama muestra el proceso de obtención del PET triturado.

El PET se utiliza en la fabricación de componentes geosintéticos a través de un proceso que implica la fundición, filtración y extrusión para obtener fibras de poliéster con características de resistencias a la tensión y bajas absorciones de agua. Estas fibras son empleadas para crear geotextiles no tejidos y geomallas utilizados en refuerzo. Además, el PET reciclado también se aprovecha como material de mejora en la producción de concreto, siendo transformado en fibras para este propósito, (Botero et al., 2014).

Según (Carreño, 2020) Los envases fabricados con tereftalato de polietileno (PET) son ampliamente utilizados a nivel global como uno de los materiales

reciclables más prevalentes. Estos recipientes son preferidos para envasar productos debido a sus características de ser irrompibles, económicos, livianos, impermeables y reciclables. Desde la perspectiva ambiental, el PET es una resina con propiedades ideales para el reciclaje. Sin embargo, es importante tener en cuenta que su producción requiere mayor cantidad de petróleo, aproximadamente 24 mll de galones con el fin de fabricar 1.000 millones de botellas. Además, a travez este proceso pueden incluirse todo tipo de sustancia tóxica, metal pesado, todo tipo de químico y pigmento, lo que puede tener un impacto negativo en el aire y, en última instancia, en la salud tanto de ser humano como de animales.

Hay diversos tipos de plásticos, como el **politereftalato de etileno**, **tereftalato de polietileno**, **polietileno tereftalato** o **polietilentereftalato**, que se utilizan extensamente en diversas industrias, especialmente en el ámbito alimentario. Los envases fabricados con PET presentan cualidades y aspectos clave que deben tenerse en cuenta: tienen unas excelentes funciones contra gases como CO₂, O₂, radiación UV y humedad. Son de tipo impermeable e inertes, mostrando alta dureza y rigidez que les confiere resistencia al desgaste. Además, cuentan con destacadas resistencias químicas y propiedades térmicas adecuadas. Sus superficies es barnizable y no se ve afectada por condiciones climáticas que oscilan entre -20°C y 60°C. Aunque los envases de PET no son biodegradables, son completamente reciclables y aptos para uso alimentario en botellas, bandejas y otros usos.

La reutilización y reciclaje del plástico PET ofrecen la oportunidad de reducir la necesidad de producir nuevos plásticos y, por consiguiente, disminuir la cantidad de residuos destinados a vertederos. Para lograr esto, se siguen múltiples etapas de clasificación y transformación del plástico PET, permitiendo La reutilización del PET se extiende a la fabricación de productos como telas de polar, alfombras, botellas y otros. Actualmente, las materias primas utilizadas para producir plástico se obtienen principalmente a partir de petróleo crudo o gas natural mediante procesos químicos. En este contexto, hay dos familias principales de plásticos.

Termoplásticos: Esta categoría de plásticos, como el PET, posee la característica de ser reciclables fácilmente. Pueden ser moldeados y conformados cuando se calientan, sin perder sus propiedades originales. Algunos ejemplos adicionales de termoplásticos son el PEAD, PP, PVC, PS, PC, PEBD y EPS. Termoestables: Estos plásticos son más dificultosos de reciclar debido a que su estructura molecular se descompone al ser fundidos, alterando sus propiedades originales. Entre ellos se incluyen resinas fenólicas, ureica, entre otras. Hay poca compatibilidad entre las estructuras químicas de los termoplásticos y termoestables. Los plásticos ofrecen varias ventajas: su densidad baja los hace ligeros; son maleables, permitiendo diversas formas sin un alto consumo de energía; poseen propiedades aislantes térmicas; resisten la corrosión y ciertos productos químicos; y se utilizan ampliamente en envases.

Según (Arredondo et al., 2021) **La nanosílice** son aditivos líquidos que se obtienen de partículas microfinas de dióxido de silicio amorfo (SiO_2). Estas partículas de nanosílice son de tamaños reducido, alta pureza y reactividad, presentando una estructura cristalina similar al humo de sílice. Debido a estas características, se anticipa que su uso puede proporcionar resultados superiores. Se trata de un nano aditivo en estado líquido, con una apariencia turbia y ligeramente viscosa. Está compuesto principalmente por sílices con un tipo partícula de tamaños nanométricos. Además, actúa como un eficaz reductor de agua y exhibe alta actividad y puzolanidad.

Según (Loaiza et al., 2019) Los avances en **nanotecnología** dentro del campo de los aditivos químicos para el concreto han posibilitado la creación de nano partículas de sílice amorfa reactiva que exhiben unos comportamientos similares al de la micro-sílice convencional. Esto representa una alternativa para las aplicaciones de concreto que normalmente emplearían micro-sílice en polvo. Las nano partículas de sílice reactiva se destacan por su mayor pureza y finura en comparación con la micro-sílice. Su principal ventaja radica en que pueden ser dispersadas en soluciones acuosas, lo que facilita la creación de aditivos líquidos en lugar del uso de micro-sílice en forma de polvo. Esta característica es especialmente beneficiosa en la operación diaria de las plantas de concreto, ya que permite almacenar y dosificar el producto de manera similar a un aditivo líquido convencional.

Características del aditivo basados en dispersiones de nano-sílice Según (Loaiza et al., 2019), Los aditivos líquidos que incorporan nano-sílice consisten en dispersiones acuosas compuestas por partículas altamente puras de sílice reactiva, cuyo tamaño de partícula es hasta 100 veces más pequeño que En contraste con la micro-sílice, que se genera como subproductos de la industria siderúrgica, las partículas de nano-sílice se obtiene mediante el proceso de síntesis química. Este método proporciona una pureza considerablemente mayor, con valores de contenido de SiO₂ que suelen superar el 95%

Izquierda: Polvo de micro-sílice con superficie específica BET de 20 m² /gr - Derecha: Partículas sintéticas de nano-sílice con superficie específica BET de 100 m² /gr.

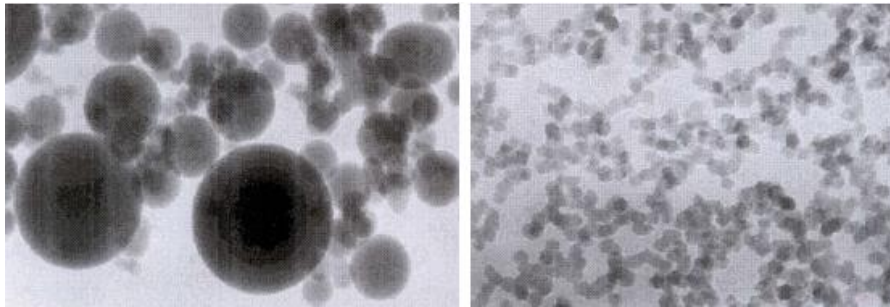


Figura 3. Partículas de nano sílice

Fuente: Loaiza et al (2019)

Según (Loaiza et al., 2019), **La micro-sílice en forma de polvo** suele presentar un tono negro o gris oscuro debido a las impurezas presentes en su composición (siendo las partículas de SiO₂ naturalmente de color blanco). Por el contrario, en señal de su mayor pureza, las partículas de los aditivos a base de nano-sílice sintética exhiben un color blanco.

Según (Loaiza et al., 2019), La mayor pureza del producto, junto con su finura superior, conlleva a una reactividad significativamente mayor en las partículas de nano-sílice en comparación con las de micro-sílice, manteniendo un contenido activo similar. Como resultado, se necesita una cantidad menor de nano-sílice para lograr las propiedades anheladas tanto en el incremento de resistencia como en la mejora de la durabilidad.

Según (Loaiza et al., 2019), **La viabilidad de reemplazar la micro-sílice** La utilización de nano-sílice en polvo, junto con aditivos líquidos que contienen

suspensiones de nano-partículas de sílice reactiva, ha sido extensamente validada en diversas aplicaciones y respaldada por numerosos estudios científicos. Estos aditivos, basados en nano-sílice, han evidenciado ser una alternativa efectiva tanto para mejorar la resistencia mecánica como para aumentar la durabilidad del hormigón. En comparación con la micro-sílice en polvo tradicional, ofrecen ventajas notables en el comportamiento del hormigón fresco y en su manipulación en plantas de hormigón. De igual forma que las partículas de micro-sílice, la nano-sílice presenta propiedades puzolánicas, reaccionando con el Ca(OH)_2 liberados a través la hidratación de los silicatos del cemento (portlandita) para formar gel CSH. Este gel se deposita en las interfaces entre las partículas de cemento, y estas reacciones suceden en la superficie de las partículas, resaltando la importancia de las finuras de las partículas de sílice.

Impacto Ambiental y Sostenibilidad en la pavimentación con mezclas asfálticas de masilla de piedra modificada con PET y nano sílice constituyen un aspecto crucial en el estudio. Las incorporaciones de PET y nano sílice en la mezcla asfáltica no solo buscan mejorar el desempeño del pavimento, sino también abordar el problema de la gestión de residuos plásticos y reducir la huella ambiental. La utilización de desechos de PET como aditivo, en lugar de desecharlos en vertederos, contribuye a la reducción de residuos y minimizan las demandas de materia prima virgen, lo que alinea la investigación con principios de economía circular y sostenibilidad. Además, la nano sílice, al incrementar las cualidades mecánicas y durabilidad del pavimento, puede prolongar la larga durabilidad de vida de las carreteras, disminuyendo la necesidad de mantenimientos y repavimentación frecuente, lo que a su vez reduce los consumos de recursos y las generaciones de residuos asociados con los mantenimientos vial tradicional. (Botero et al., 2014)

Efectos Climáticos y Ambientales Los efectos climáticos y ambientales deben ser considerados al evaluar los desempeños de las mezclas asfálticas modificadas con PET y nano sílice. Las condiciones climáticas extremas, como temperaturas elevadas o cambios bruscos de temperatura, pueden afectar la durabilidad y estabilidad de los pavimentos. La investigación debe explorar cómo la incorporación de PET y nano sílice puede mitigar o acentuar estos efectos.

Por ejemplo, el PET puede contribuir a mejorar las resistencias a los agrietamientos por fatiga en motivo a su flexibilidad, pero también podría verse afectado por temperaturas extremas. La nano sílice, por su parte, puede mejorar la resistencia térmica y reducir la deformación permanente del pavimento. Por lo tanto, es esencial evaluar cómo estos aditivos interactúan con las condiciones climáticas y ambientales locales para garantizar un rendimiento óptimo y duradero del pavimento en diferentes escenarios. (Herrera F. , 2019)

Evaluación a Largo Plazo: La evaluación a largo plazo es crucial para comprender plenamente los efectos de las mezcla asfálticas modificadas con PET y nano sílice en el desempeño del pavimento. La investigación no solo debe considerar el rendimiento inmediato después de la construcción, sino también los comportamientos de los pavimentos durante toda su vida útil. Esto implica observar cómo se mantienen las propiedades mecánicas y durabilidad en el tiempo, especialmente en condiciones de carga repetida y envejecimiento. Mediante estudios de campo y monitoreo continuo, será posible identificar cualquier degradación gradual, cambios en las propiedades y evaluar si las mezclas modificadas cumplen con las expectativas a largo plazo. La evaluación a largo plazo permitirá establecer la durabilidad real de las mezclas asfálticas modificadas y respaldar su viabilidad técnica y económica como solución sostenible en la pavimentación. (Jianmin y Hesp, 2022)

Para la Variable Dependiente tenemos Mezclas asfálticas Masilla de piedra El pavimento de concreto asfáltico con mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA) es una tecnología de pavimentación ampliamente empleada en la construcción de carreteras y autopistas. El SMA es un tipo especializado de mezclas asfálticas diseñadas para proporcionar una mayor durabilidad y resistencia al desgaste en comparativa con la mezcla asfáltica de tipos tradicionales. prosiguiendo, son detallados algunos aspectos clave de los pavimentos de concretos asfálticos con mezclas SMA:

Mezcla Stone Mastic Asphalt (SMA): también conocida como asfalto masticado con piedra, es un tipo especializado de mezcla asfáltica diseñada para resistir la deformación por fatiga y proporcionar una mayor resistencia al deslizamiento en condición de tráfico intenso. Esta variante de mezcla asfáltica

se caracteriza por una gradación gap-graded, donde el tipo de partícula más gruesa ocupan el espacio entre el tipo de partícula más fina, desarrollando unas estructuras densas y duradera. El SMA es una mezcla asfáltica densa que se caracteriza por sus altos contenidos de agregado pétreo, generalmente agregados minerales angulares y resistentes al desgaste, como la gravilla. Esta alta concentración de agregado en la mezcla proporciona al pavimento una mayor resistencia y durabilidad (Minaya, 2008).

Características Principales de la Mezcla SMA: Gradación Gap-Graded: La mezcla SMA presenta una distribución especial de tamaños de partículas, con una proporción más alta de agregados gruesos que llenan los vacíos entre los agregados finos y el asfalto. **Mayor Contenido de Asfalto:** Para mejorar la cohesión y resistencia al deslizamiento, la mezcla SMA contiene un mayor contenido de asfalto en comparativa con la mezcla asfáltica convencionales. **Resistencia a la Deformación por Fatiga:** La estructura gap-graded y el contenido adicional de asfalto proporcionan mayores resistencias a las deformaciones por fatiga, haciéndola ideal para carreteras con alto volumen de tráfico pesado. **Áridos Especiales:** Se utilizan áridos especiales, incluyendo piedra triturada, para incrementar las resistencias al deslizamiento y la durabilidad de la mezcla. **Capa Superficial:** La mezcla SMA se utiliza comúnmente como capa superficial en carreteras para admitir el desgaste causado por el tráfico y las condiciones climáticas adversas (Minaya, 2008).

Ventajas y Aplicaciones: Mayor Durabilidad: Las gradaciones especiales y los mayores contenidos de asfaltos contribuyen a una mayor durabilidad y resistencia a la deformación. Reducción de Salpicaduras: La textura superficial de la mezcla SMA reduce las salpicaduras de agua, mejorando la visibilidad y la seguridad vial. Uso en Zonas de Alto Tráfico: Ideal para áreas con tráfico intenso, como autopistas y carreteras principales. Mejora en la Seguridad Vial: La resistencia a los deslizamientos y la deformación por fatigas mejoran la seguridad y las vidas útil del pavimento. Aplicación en Capa Delgada: Puede aplicarse en capas delgadas, lo que la hace versátil para diversas condiciones y requisitos de diseño (Minaya, 2008).

Capa de Rodadura: El SMA se emplea combinado como capa de rodadura en el pavimento, lo que significa que es la capa superior que entra en contactos directos con todo tráfico vehicular. Esta capa está diseñada para resistir el desgaste causado por las ruedas de los vehículos y proporcionar una superficie segura y antideslizante. La capa de rodadura SMA se compone cuidadosamente, utilizando áridos especiales y un mayor porcentaje de asfalto. Este diseño busca lograr una textura superficial específica y una distribución de áridos que optimice la resistencia al desgaste y mejore la adherencia de los neumáticos. La gradación gap-graded es una característica distintiva en este aspecto. (Minaya, 2008).

La capa de rodadura SMA ofrece ventajas significativas, como una alta resistencia al deslizamiento debido a su textura superficial y gradación gap-graded. Su durabilidad en diversas condiciones climáticas y su facultad para soportar el desgaste la hacen adecuada para carreteras principales y autopistas, contribuyendo así a la mejora de la seguridad vial y disminuyendo todo costo de mantenimientos a largos plazos (Minaya, 2008).

Aglutinante Asfáltico: El aglutinante asfáltico es un componente fundamental en las construcciones de carreteras y pavimentos. Se trata de una sustancia viscosa y pegajosa derivada del petróleo, conocida como asfalto. Su función principal es actuar como adhesivo, uniendo los agregados pétreos para formar una mezcla cohesiva. Además de proporcionar cohesión, el aglutinante asfáltico confiere impermeabilidad y flexibilidad a la capa de pavimento, permitiendo que esta pueda resistir las cargas vehiculares y adaptarse a las deformaciones causadas por factores como la temperatura y la acción del tráfico. Este componente juega un factor importantísimo en la calidad y durabilidad de la infraestructura vial, siendo seleccionado y dosificado cuidadosamente en el diseño de mezclas asfálticas para garantizar unos rendimientos óptimos. El aglutinante asfáltico utilizado en el SMA es generalmente un ligante modificado, como el asfalto modificado con polímeros o con aditivos especiales. Esta modificación mejora las resistencias a la fatiga y la capacidad de recuperación elástica del asfalto, lo que contribuye a la durabilidad del pavimento (Minaya, 2008).

Resistencia al Deslizamiento: La textura superficial del SMA proporciona una excelente resistencia al deslizamiento, lo que mejora la seguridad vial, especialmente en condiciones húmedas (Minaya, 2008).

La resistencia al deslizamiento es una propiedad crucial en los diseños y la evaluación de pavimentos, en especial en entornos donde la seguridad vial es primordial. Es relacionado a las capacidades de la superficies de carretera para proporcionar tracción y evitar los deslizamientos de cualquiera de los 4 neumáticos de todo vehículo, especialmente en condiciones adversas como lluvia, nieve o hielo. Esta resistencia al deslizamiento está directamente en relación con la textura superficial del pavimento, la cual es influenciada por factores como el tipo de agregados, la rugosidad y la presencia de elementos antideslizantes en la capa superficial. Un buen diseño y mantenimiento de la textura del pavimento son fundamentales para garantizar una adecuada resistencia al deslizamiento y, por lo tanto, reducir el riesgo de accidentes (Minaya, 2008).

La medición y evaluación de la resistencia al deslizamiento se realizan mediante pruebas específicas, como el ensayo de fricción, que proporciona datos importantes para la seguridad vial y contribuye a la toma de una decisión en la gestión de la infraestructura de carreteras. La consideración de este aspecto es esencial para proporcionar condiciones de conducción seguras y prevenir situaciones de riesgo en la red vial (Minaya, 2008).

Reducción del Ruido: El SMA puede contribuir a la reducción del ruido de los neumáticos de los vehículos en comparación con otras superficies de pavimento, lo que es beneficioso para áreas urbanas. La reducción del ruido en pavimentos es un aspecto crucial en entornos urbanos y residenciales, donde el tráfico vehicular puede generar niveles significativos de contaminación acústica. Este fenómeno no solo influye en las calidades de vida de la población que residirán cerca de carreteras y calles transitadas, sino que también tiene implicaciones en la salud y los bienestar generales de la comunidad.

Las estrategias para la reducción del ruido en pavimentos se centran en mitigar o absorber las vibraciones y sonidos generados por los contactos entre todo

neumático del vehículo y las superficies de la carretera. Algunas de estas estrategias incluyen: (Minaya, 2008).

Resistencia a las Grietas: La alta concentración de agregado en las mezclas ayudan a la prevención del desarrollo de grietas y grietas en la superficie del pavimento. La resistencia a las grietas en pavimentos asfálticos es un aspecto crucial para garantizar la durabilidad y la funcionalidad a largo plazo de las superficies de carreteras y calles. Las grietas pueden surgir debido a una variedad de factores, incluyendo cargas de tráfico, cambios de temperatura y condiciones climáticas adversas. Mejorar la resistencia a las grietas es esencial para prevenir el deterioro prematuro de los pavimentos y minimizar las necesidades de costosas reparaciones. (Minaya, 2008).

Construcción y Mantenimiento: La construcción de pavimento de concreto asfáltico con mezclas SMA requiere una adecuada dosificación de los materiales y una colocación y compactación precisas. El mantenimiento regular, como el sellado de grietas y el reemplazo de capas de desgaste, es fundamental para mantener su rendimiento a lo largo del tiempo. La construcción y el mantenimiento de pavimentos asfálticos son procesos fundamentales para dar garantía la seguridad, durabilidad y eficiencia de las infraestructuras viales. Desde la fase inicial de construcción hasta las actividades continuas de mantenimiento, diversos aspectos deben ser considerados para asegurar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo (Minaya, 2008).

Materiales Necesarios: Agregados Pétreos: Los agregados pétreos son una parte fundamental de las mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA). Se utilizan para la composición de la capa de rodadura y deben ser resistentes al desgaste y de alta calidad. Se pueden utilizar varios tipos de agregados, como la gravilla o la piedra triturada, dependiendo de la disponibilidad y las especificaciones del proyecto (Minaya, 2008).

Aglutinante Asfáltico Modificado: Se requiere un aglutinante asfáltico modificado para mejorar las propiedades del asfalto. Este aglutinante puede ser asfalto con modificaciones con todo tipo de polímero o con aditivo de tipo especiales que proporcionan resistencia adicional y durabilidad. El aglutinante asfáltico modificado representa unas innovaciones significativa en las industrias

del pavimento, buscando incrementar las cualidades tradicionales del asfalto para hacer de cara a desafíos específicos y alargar las vidas útiles de las carreteras. Así mismo, El aglutinante asfáltico modificado se obtiene al mezclar asfalto con polímeros o aditivos especiales. Estos polímeros pueden incluir elastómeros, polímeros termoplásticos o productos naturales, según las necesidades específicas. Tienen como objetivo incrementar las resistencias a la fatigas y deformaciones constante del asfalto. Aumentar la adhesión y cohesión de la mezcla asfáltica. Optimizar las estabilidades térmicas frente a variaciones de temperatura. (Minaya, 2008).

Agregados Pétreos: Son una parte fundamental de las mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA). Se utilizan para la composición de la capa de rodadura y deben ser resistentes al desgaste y de alta calidad. Se pueden utilizar varios tipos de agregados, como la gravilla o la piedra triturada, dependiendo de la disponibilidad y las especificaciones del proyecto (Minaya, 2008).

Asimismo, se garantiza que los agregados gruesos no serán susceptibles a meteorización o alteración fisicoquímica apreciables sobre la condición más desfavorable en la zona de uso. Por lo tanto, se requiere su clasificación y acopio por separado en áreas designadas para tal fin, evitando así la contaminación y segregación de los materiales. En resumen, los agregados deben satisfacer con los requisitos especificados en la tabla 1 del Manual de Carreteras, "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG-2013).

Tabla 1. *Requerimiento de calidad e inalterabilidad de los A. G.*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m)	
		= < 3000	> 3000
Durabilidades al Sulfato de Magnesio	MTC E 209	15% max	15% max
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	25% max	20% max
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min	35% min
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 221	25% max	15% max
Caras Fracturadas	MTC E 210	100/90	100/90
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% max	0.5% max
Absorción	MTC E 206	2.0% max	1.0% max

Nota. Porcentajes máximos y mínimos de los ensayos de calidad de los AG. Adaptado del Manual de carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG-2013)

Además, los agregados finos deben provenir en su integridad de las trituraciones de piedras de canteras o de gravas naturales, o en parte de fuentes naturales de arenas. Deben satisfacer con los estándares de calidad establecidos en la tabla 2 del Manual de Carreteras, "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG-2013).

Tabla 2. *Requerimiento de calidad e inalterabilidad de los A.F.*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m)	
		=< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del Agregado Fino	MTC E 222	30	40
Durabilidad al Sulfato de Magnesio	MTC E 209	15% Max	15% Max
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 min	35 min
Índice de Plasticidad (malla n° 200)	MTC E 221	4 max	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% max	0.5% max
Absorción	MTC E 206	2.0% max	1.0% max

Nota. Porcentajes máximos y mínimos de los ensayos de calidad de los A.F. Adaptado del Manual de carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG-2013).

Procedimiento de Desarrollo: El desarrollo de un pavimento asfáltico con mezclas SMA implican todos los siguientes pasos: **Diseño de la Mezcla:** Se realizan unos diseños de mezclas que determina las proporciones de cada agregado, aglutinante asfáltico y posibles aditivos. Esto se basa en las especificaciones del proyecto y las condiciones de tráfico esperadas. **Selección de materiales:** Se seleccionan todo material apropiado, como los agregados pétreos de alta calidad y el aglutinante asfáltico modificado. **Mezclado:** Los materiales se mezclan en una planta de asfalto siguiendo la proporción establecida en los diseños de la mezcla. Se debe lograr unas distribuciones homogéneas del material. **Colocación y Compactación:** La mezcla se coloca en la superficie de la carretera y se compacta mediante rodillos pesados para lograr la densidad y la textura requeridas. **Sellado de Grietas:** Si es necesario,

se pueden realizar trabajos de sellado de grietas para mantener la integridad del pavimento (Minaya, 2008).

Aspectos a considerar: Las preparaciones de las superficies existentes previamente de las colocaciones de las mezclas es crítica para asegurar una buena adherencia. la compactación adecuada es esencial para garantizar que la mezcla tenga la densidad y la textura requeridas. la planificación y la coordinación con los proveedores de materiales son esenciales para asegurar la disponibilidad de agregados de calidad y aglutinante asfáltico modificado (Minaya, 2008).

Normas del MTC: En Perú, el (MTC) regula la construcción de carreteras y pavimentos. Las normas peruanas, como las Normas de Diseño y Construcción de Carreteras, especifican los requisitos técnicos y las especificaciones para las construcciones de pavimento de concretos asfálticos, incluyendo la mezcla SMA. Los proyectos deben cumplir con estas normas para de garantía a la calidad y las durabilidades de la infraestructura vial (Minaya, 2008).

El pavimento de concreto asfáltico con mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA) es una tecnología de pavimentación bastante empleada en las construcciones de todo tipo de carretera y autopistas. El SMA es un tipo especializado de mezclas asfálticas diseñadas para proporcionar una mayor durabilidad y resistencia al desgaste en comparativa con las mezclas asfálticas convencionales. A continuación, se detallan algunos aspectos clave de los pavimentos de concretos asfálticos con mezclas SMA:

Granulometría para Mezclas Stone Mastic Asphalt

Tamiz		Porcentaje que pasa			
		Tamaño máximo 20 mm	Tamaño máximo 12,5 mm	Tamaño máximo 10 mm	Tamaño máximo 5 mm
25,0 mm	1"	100	-	-	-
19,0 mm	¾"	90-100	100	-	-
12,5 mm	½"	45-60	90-100	100	-
9,5 mm	3/8"	30-45	60 máx.	90-100	-
6,3 mm	¼"	-	-	-	100
4,75 mm	N.º 4	20-25	30-40	26-60	90-100
2,5 mm	N.º 8	16-23	20-27	20-28	30-40
75 µm	N.º 200	9-13	9-13	9-13	9-13

Fuente: MTC Especificaciones Tenciones EG 2013

El pavimento según (Giodani y Leone, 2016) hace alusión a las estructuras presentes en toda vía de comunicación por tierra, la cual puede estar conformada por una o varias capas de materiales, ya sean manufacturados o naturales, dispuestas sobre una superficie preparada. Su función primordial consiste en posibilitar el desplazamiento de vehículos de manera segura, confortable y eficiente. Entre las cualidades ideales de un pavimento se incluyen: la seguridad de todo usuario, las comodidades en la conducción, la optimización de todo costo operativo, unas superficies uniformes, la capacidad de resistir toda carga repetida, la durabilidad en relación a la condición ambiental, las impermeabilidades, colores y texturas adecuados, así mismo la habilidad para no transferir esfuerzos a las capas inferior que exceda sus resistencias.

El pavimento flexible se define como estructuras compuesta por diversos tipos de capa granular, que incluyen subbase y base, junto con una película superior de rodaduras conformada por una carpeta que utiliza material de tipo bituminoso

como son el aglomerante, agregado y, posiblemente, aditivos. En su mayor parte, esta capa de rodadura está compuesta principalmente por asfalto y puede adecuarse a diversas formas, entre ellas se incluyen morteros asfálticos, tratamientos superficiales bicapas, micros pavimento, macadams asfáltico, mezcla asfáltica en frío y mezclas asfáltica en caliente.

El ICG (2018) menciona que la capa de rodadura constituye las partes superiores de un pavimento, pudiendo ser de naturalezas bituminosas (flexible), de concreto de cemento Portland (rígido) o incluso de tipo adoquines. Su fundamental función es el soporte directo de las cargas de los tránsitos vehiculares. Por su parte, la base se ubica inmediatamente por la parte inferior de las capas de rodaduras y desempeña un papel crucial en las distribuciones, soporte y transmisiones de la carga generada por el tráfico. Puede estar conformada por materiales granulares drenantes (con un CBR \geq 80%) o tratadas con elementos como asfaltos, cales o cemento. La subbase, otra capa esencial, tiene un espesor específico diseñado para proporcionar soporte a la base y las capas de rodaduras, a la vez que cumple la función de drenaje y control de las capilaridades del agua. Su presencia puede variar según las características del pavimento, su diseño y dimensionamiento, y podría estar conformada por materiales granulares (con un CBR \geq 40%) o tratada con asfalto, cal o cementos.

Para (Giodani y Leone, 2016), La mezcla asfáltica se describe como una composición que reúne agregados minerales, aglutinados por ligantes asfálticos y mezclados de tal forma que todo agregado quedarán envueltos por una capa homogénea de asfalto. La proporción relativa entre estos componentes definen las características físicas de la mezcla y, en última instancia, los comportamientos funcionales que esta tendrá como parte de un pavimento.

(Minaya, 2008) La mezcla asfáltica en calientes se clasifica en 03 categorías principales: gradaciones densas, opengraded (de combinaciones porosas o abiertas) y gap-graded (de combinación granulométrica incompleta). La siguiente tabla ilustra los distintos diversos tipos de mezcla según sus características granulométricas.

Tabla 3. *Tipos de mezclas*

Gradación densa	Open-Garde	Gap-grade
Convencional, tamaño máximo nominal usualmente de 12.5 a 19mm (0.5 a 0.75 Pulg.)	Poros fricción curse	Gap-grade convencional
Large-stone, tamaño máximo nominal usualmente de 25 a 37.5mm (1 a 1.5 Pulg)	Base permeable tratada con asfalto	Stone Matic Asphalt (SMA)
Arena asfalto, tamaño máximo nominal menos que 9.5 mm (0.375 pulg.)		

Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos, Minaya, 2008

Según de (Minaya, 2008) **las mezclas asfálticas** se categorizan en función de acuerdo a los porcentajes de espacio vacío que quedan después de la compactación, clasificándolos en: espacio denso de aire (presentes en mezcla normal, Superpaves y SMA), semiabiertos (con niveles de vacíos de aires entre 6% y 12%), combinación abierta (donde los vacíos de aires son > al 12%), y combinación porosas (con vacíos > al 20%).

Para (Garnica et al., 2018) la mezcla asfáltica presenta algunas **propiedades** fundamentales a tener en cuenta, Las estabilidades es direccionada con las facultades de las mezclas asfálticas para admitir toda deformación y desplazamientos originados por toda carga generada por los tráficos vehiculares. Un pavimento se considera estables cuando conservan sus formas originales, mientras que se consideren de tipo inestable cuando presenta deformaciones constantes, ondulaciones u otros signos de movimiento en la mezcla (Arredondo et al., 2021).

La durabilidad es referenciada a las capacidades de las mezclas asfálticas para dar el soporte a todos efectos adversos del aire, agua, cambios de temperatura y los tráficos vehiculares que lograrían resultar en los envejecimientos del asfalto, las desintegraciones de los agregados y los desprendimientos de la capa de asfalto de los agregados. La mezcla asfáltica de

alta calidad debe conservar sus integridades a lo largo de su vida útil en servicio, sin desarrollar unos envejecimientos excesivos. La durabilidad está influenciada por todo factor como los grosores de las películas de asfaltos y las cantidades de vacíos de aires existentes en la mezcla. (Sawan et al., 2018).

La resistencia a la fatiga hace referencia a la suficiencia de las mezclas asfálticas para soportar las cargas de forma repetida originadas por todos los tráficos vehiculares. La formación de grieta por fatiga está directamente relacionada con las cantidades y rigideces del asfalto presentes en las mezclas. Por otro lado, niveles elevados de contenido de asfaltos podrían originar que las mezclas tiendan a deformarse de maneras elásticas en lugar de llevar a fracturar bajo toda carga repetida. Es importante destacar que la resistencia a la fatiga también está influenciada por la relación entre los espesores de las capas estructurales y la carga que la estructura debe soportar. (Sawan et al., 2018).

La resistencia al daño por humedad, comúnmente mencionada como impermeabilidad, se relaciona a las capacidades de las mezclas asfálticas para dar soporte a las infiltraciones de agua y aire tanto hacia su parte interna como a través de ella. Estas resistencias se ven afectada por toda propiedad química de las diversas formas de agregados minerales y por el contenido de espacios vacíos en la mezcla compactada. Aspectos como las oxidaciones del asfalto, su capacidad de adherencias y el sistema de drenajes de los pavimentos tienen una relación directa con las capacidades de resistencia al daño originados por las humedades (Sawan et al., 2018).

Estabilidad y Flujo en Mezclas Asfálticas: Indicadores Clave de Rendimiento La estabilidad y el flujo son parámetros fundamentales en la evaluación de mezclas asfálticas, desempeñando un papel importante en la resistencia y durabilidad de las capas de pavimentos. Estos indicadores ofrecen información valiosa sobre cómo una mezcla responderá a las cargas y condiciones del tráfico (Debashish et al., 2021).

Estabilidad: La estabilidad se refiere a sus resistencias a deformaciones constantes bajo cargas repetidas. Método de Medición: Se determina a través el ensayo Marshall, que evalúan las resistencias de las mezclas a las deformaciones plasto métrica. Objetivo: Una alta estabilidad indica que la mezcla

puede soportar cargas sin sufrir deformaciones excesivas. Factores que Influyen en la Estabilidad: Tipos y Cantidades de Agregados: La granulometría y las calidades de todo el agregado impactan de forma directa en la resistencia. Tipo de Asfalto: La elección del aglutinante asfáltico modificado o convencional influye en la estabilidad. Diseño de Mezcla: La proporción óptima de asfalto y agregados es crucial (Debashish et al., 2021).

Flujo: El flujo es referida a las facultades de las mezclas asfálticas de deformarse y fluir durante el ensayo Marshall. Método de Medición: Se evalúa midiendo la deformación vertical de la muestra sometida a cargas repetidas. Objetivo: Un buen flujo indica que la mezcla puede adaptarse a las cargas sin agrietarse ni romperse. Factores que Influyen en el Flujo: Temperatura de Compactación: La temperatura a la que se compacta la mezcla afecta su fluidez. Contenidos de Asfaltos: Un contenido adecuado de asfalto facilita la movilidad de las mezclas. Tipo de Aglutinante: Los aglutinantes modificados pueden influir en las propiedades de flujo (Debashish et al., 2021).

Relación entre Estabilidad y Flujo: Una mezcla equilibrada logra una buena estabilidad sin sacrificar la capacidad de fluir. Un flujo adecuado asegura que la mezcla se compacte correctamente, contribuyendo a su resistencia estructural. Interpretación de Resultados: Valores altos de estabilidad y flujo indican una mezcla bien diseñada y apta para resistir las condiciones del tráfico. Importancia en el Diseño de Mezclas: Ingenieros y diseñadores consideran cuidadosamente estos parámetros para lograr mezclas asfálticas que cumplan con los estándares de rendimiento (Debashish et al., 2021).

Ahuellamiento en Mezclas Asfálticas: Evaluación y Prevención; es un fenómeno preocupante en la ingeniería de pavimentos, especialmente en mezclas asfálticas, ya que puede afectar la superficie de la carretera y comprometer sus durabilidades. A continuación, se ofrecen conceptos clave relacionados con el ahuellamiento: Ahuellamiento: El ahuellamiento se refiere a la deformación constante o hundimiento en la superficie de una mezcla asfáltica debido al tráfico vehicular constante. Mecanismos del Ahuellamiento: Deformación Plástica: La presión y temperatura generadas por las cargas repetidas provocan la deformación gradual y permanente de la mezcla.

Compactación Insuficiente: Una compactación inadecuada durante la construcción puede contribuir al ahuellamiento (Jianmin y Hesp, 2022).

Métodos de Evaluación del Ahuellamiento: Ensayo de Marshall: Se aplican para evaluar las resistencias a las deformaciones plasto métrica, ofreciendo indicadores sobre la susceptibilidad al ahuellamiento. Ensayo de Tracción Indirecta: Ayuda a comprender las resistencias de las mezclas a la deformación. Factores que Influyen en el Ahuellamiento: Tipo de Aglutinante: Los asfaltos modificados suelen mejorar la resistencia al ahuellamiento. Temperatura de Servicio: Las mezclas diseñadas para condiciones climáticas específicas son más resistentes al ahuellamiento. Tipo y Graduación de Agregados: Afectan las capacidades de las mezclas para soportar deformaciones. Prevención del Ahuellamiento: Diseño de Mezcla Adecuado: Considerar cuidadosamente la proporción de asfalto, tipo de aglutinante y características de los agregados. Compactación Eficiente: Garantizar una compactación adecuada durante la construcción para reducir la posibilidad de deformación a largo plazo. Uso de Tecnologías Modificadoras: Aglutinantes modificados y aditivos pueden mejorar la resistencia al ahuellamiento (Jianmin y Hesp, 2022).

Porcentaje de Vacíos en Mezclas Asfálticas: El % de vacíos en mezclas asfálticas es una medida fundamental que proporciona información crucial sobre la estructura y las compactaciones de las mezclas. El % de vacíos, también conocido como contenido de aire, se refiere a las proporciones de espacio vacío en las mezclas asfálticas en comparación con sus volúmenes totales. Compactación: Un porcentaje de vacíos adecuado es esencial para garantizar una compactación óptima de la mezcla durante la construcción. Durabilidad: El contenido de aire afecta la resistencia y durabilidad de las mezclas ante cargas repetidas y cambios climáticos. Drenaje: Un porcentaje de vacíos controlado facilita los drenajes del agua de las superficies, contribuyendo a la seguridad vial (Jianmin y Hesp, 2022).

Tipos de Vacíos en Mezclas Asfálticas: Vacíos de Aire (Voids in the Mineral Aggregate - VMA): Espacio entre partículas minerales. Vacíos con Aglutinante (Voids Filled with Asphalt - VFA): Espacio lleno con aglutinante asfáltico. Vacíos Totales (Total Air Voids - TAV): Suma de vacío de aire y vacío con aglutinante.

Relación entre Porcentaje de Vacíos y Propiedades Mecánicas: Un porcentaje de vacíos demasiado bajo puede resultar en falta de flexibilidad y agrietamiento. Un porcentaje de vacíos excesivamente alto puede comprometer la resistencia estructural. Control del Porcentaje de Vacíos: La compactación adecuada durante la construcción es clave para lograr el porcentaje de vacíos deseado. Se busca un equilibrio para garantizar resistencia, durabilidad y características de drenaje (Jianmin y Hesp, 2022).

La flexibilidad hace referencia a su habilidad para adecuarse y conformarse a los asentamientos y movimientos graduales de la base y la subrasante sin sufrir agrietamientos o fisuraciones. Aunque las flexibilidades son fundamental para tener prevención a daños causados por el asentamiento, en ocasiones puede ocasionar conflicto con el requisito de estabildades de las mezclas asfálticas.

Según (Minaya, 2008) la capa de asfalto constantemente se encara con carga cíclica a través de las resistencias a la flexión, siempre y cuando no experimenten oxidaciones, ya que esto podría ocasionar fisuras debido a la tracción, dando lugar a la conocida falla denominada "piel de cocodrilo". A si mismo, las resistencias a los deslizamientos desempeñan un comportamiento fundamental en las reducciones de los deslizamientos de los neumáticos, especialmente en las temporadas de lluvias. Es importante tener en cuenta que a medida que la forma del agregado se torna más redondeada, sus resistencias a los deslizamientos disminuyen.

Cuando los materiales son porosos, tiene la capacidad de absorber asfaltos y agua en distintos niveles. Se proponen 03 métodos para medir las gravedades específicas de los agregados, los cuales son la gravedad específicas, la gravedad específica aparentes y la gravedad específica efectivas. Estos métodos derivan de los conceptos relacionados con el volumen de los agregados (Minaya, 2008)

Según (Minaya, 2008) la gravedad específica bulk, G_{sb} , se define como la relación entre los pesos permeables del material a temperaturas específicas y el volumen total de los agregados, sin tener en cuenta la presencia de vacíos.

$$G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp})\gamma_w}$$

Figura 1. Ecuación de la gravedad específica Bulk

Fuente: Minaya, 2018

Dónde:

- Gsb: gravedad específica bulk del agregado
- Ws: peso seco
- Vs: volumen de vacíos impermeabilizado
- Vpp: volumen de vacíos permeabilizado
- γ_w : peso específica del agua, 1 gr/cm³

Según (Minaya, 2008) la gravedad Específica Aparente, Gsa, es definida como las relaciones entre los pesos del aire de los materiales impermeabilizado y los volúmenes del material, considerando los vacíos impermeabilizados.

$$G_{sa} = \frac{W_s}{V_s\gamma_w}$$

Figura 4. Ecuación de la gravedad específica aparente

Fuente: Minaya, 2018

Dónde:

- Gsa: gravedad específica aparente

Según (Minaya, 2008), las gravedades Específicas Efectivas, Gse. Relación del peso en el aire de los elementos permeabilizados con volúmenes de vacío impermeabilizado y permeabilizado que no absorban el asfalto.

$$G_{se} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp} - V_{ap})\gamma_w}$$

Figura 5. Ecuación de la gravedad específica efectiva

Fuente: Minaya, 2018

Donde:

- Gse: gravedad específica efectiva

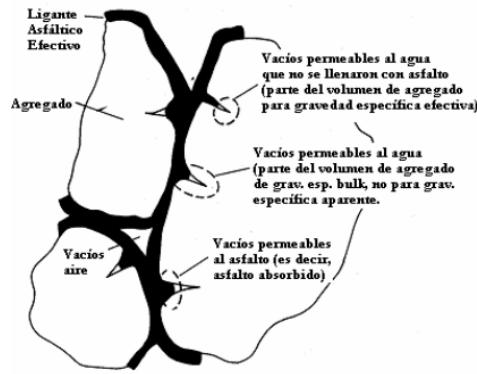


Figura 6. Propiedades Peso-Volumen en Mezclas Asfálticas Compactadas

Fuente: Minaya, 2008

(Minaya, 2008) El Vacío en el Agregado Mineral (VMA) se relaciona como los espacios vacíos presente entre los agregados en unas combinaciones compactas, considerandos tanto el vacío de aire como el contenido de asfalto efectivo. El Contenido de Asfalto Efectivo (P_{be}) representa las cantidades de asfalto en la mezcla, descontandos el asfalto que es absorbido por los agregados. Los Vacíos de Aire (V_a) son los pequeños espacios capilares de aires existentes entre la partícula de agregado recubierta en la combinación compacta, expresados como un porcentaje del volumen total de la combinación. Además, los Vacíos Llenados con Asfalto (VFA) se refieren a la porción del espacio de vacíos entre las partículas de agregado (VMA) que está ocupada por el asfalto efectivo.

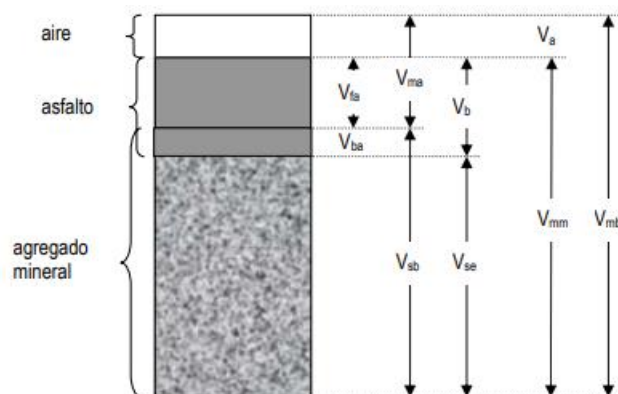


Figura 7. Esquema de una Muestra HMA Compactada

Fuente: Minaya, 2008

Dónde:

- Vma: volumen de vacíos del agregado
- Vmb: volumen bulk de la combinación compacta
- Vmm: volumen de vacíos de la combinación pavimentada
- Vfa: volumen de vacíos repletos de asfalto
- Va volumen de vacíos con aire
- Vb: volumen asfáltico
- Vba: volumen asfáltico que fue absorbido
- Vsb: volumen del agregado mineral (gravedad específica bulk)
- Vse: volumen del agregado mineral (gravedad específica efectiva)

Tabla 4. Composición Típica del Concreto Asfáltico

Tamiz	Tamaño máximo nominal del agregado				
	(1 1/2")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")
Porcentaje acumulado que pasa (por peso)					
50 mm (2")	100				
37,5 mm (1 1/2")	90-100	100			
25,0 mm (1")		90-100	100		
19,0 mm (3/4")	56-80		90-100	100	
12,5 mm (1/2")		56-80		90-100	100
9,5 mm (3/8")			56-80		90-100
4,75 mm (N° 4)	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85
2,36 mm (N° 8)*	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
0,30 mm (N° 50)	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0,15 mm (N° 100)					
0,075 mm (N° 200)**	0-5	1-7	2-8	2-10	2-10
Cemento asfáltico, % en peso de la mezcla total***	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12
	4 y 67	5 y 7	67 o 68	7	
	o	o	o	o	
	4 y 68	57	6 y 8	78	8

Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos, Minaya, 2008

La deformación permanente, basada en el resultado de investigaciones y pruebas de campo realizadas por la AASHTO (Asociación Estadounidense de funcionarios de Carreteras y Transporte) en Estados Unidos, ha sido conceptualizada por varios investigadores como unos canales longitudinales o

unas depresiones que se forman en las huellas del pavimento. Esto ocurre en motivo a la compresión, los movimientos laterales o unas combinaciones de ambos en 1 o más capas que constituyen el pavimento. Estas deformaciones se generan como resultado de las cargas aplicadas por el tránsito vehicular

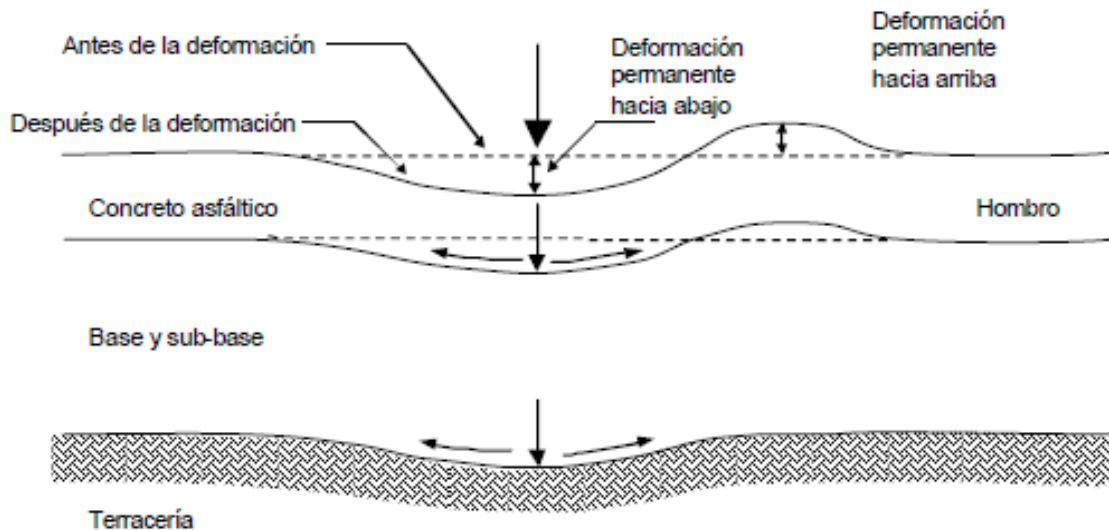


Figura 8. Mecanismo típico de deformación permanente en la trayectoria de la rueda externa

Fuente: Minaya, 2008

- a) Deformación plástica: es referida a la depresión que se forma cerca del centro de las cargas aplicadas, acompañada de pequeños montículos o protuberancias a los lados de la depresión. Esta clase de deformaciones longitudinales es típica de situaciones en las que el contenido de vacíos de aire es insuficiente (menos del 4%) en la capa de rodadura. Bajo estas restricciones, la compactación excesiva hace que el asfalto llene los espacios entre todo agregado, impidiendo su adecuada interconexión.
- b) Deformación por consolidación: En esta situación, se aprecia una depresión cerca del punto de aplicación de la carga, pero sin las presencias de montículo laterales. Esta clase de deformación longitudinal los resultados del exceso de vacíos de aire en las capas de rodaduras (>al 8%) después de las compactaciones. Estas situaciones conducen a unas consolidaciones mediante de las huellas dejadas por la rueda de los vehículos, especialmente durante el 1er verano de servicio.

- c) Deformación mecánica: En esta ocasión, se produce un hundimiento en las bases, subbases o terracerías de los pavimentos, y comúnmente están acompañados por unas alteraciones en los patrones de agrietamientos. Esta forma de deterioro puede manifestarse cuando las estructuras de los pavimentos no ha sido diseñadas adecuadamente en relaciones con la magnitud de las cargas que debe dar soporte (FHWA, 1997).

El Manual de Carreteras del Perú (DG-2013)

Se trata de un conjunto de normas técnicas y especificaciones desarrollado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), que ofrece directrices y estándares para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura vial en el país. Este manual, abarcando aspectos como planificaciones, diseños geométricos, pavimento, drenajes, seguridades viales, entre otros, tiene como objetivo principal garantizar las calidades, seguridades y eficiencias de toda carretera y vía de comunicación terrestre en el territorio peruano (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

Peso Específico (MTC E 206)

La prueba de Peso Específico se llevará a cabo a través la determinación de las densidades y los volúmenes del agregado utilizando balanza y recipiente con agua. Este ensayo reviste gran importancia al evaluar las densidades y compacidades del agregado empleados en las mezclas asfálticas. Los resultados de esta prueba tendrán un impacto directo en las dosificaciones y característica de las mezclas, asegurando un rendimiento óptimos y duraderos de los pavimentos. El procedimiento se rige por la normativa NTP 400.022: Peso Específico y absorción del agregado Fino, que establece la necesidad de realizar el ensayo con un mínimo de tres muestras (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

Absorción (MTC E 205)

Los ensayos de Absorción se desarrollan con la finalidad con los propósitos de determinar las cantidades de agua absorbida por todo el agregado. Este proceso es crucial para evaluar la capacidad de todo el agregado para retener agua, un

factor que puede incidir en las durabilidades y resistencias de los pavimentos. Los resultados obtenidos de este ensayo tienen un impacto directo en la formulación de las mezclas y en la resistencia de las mismas a los deterioros causado por la humedad. Este procedimiento se rige por la normativa NTP 400.022: Peso Específico y absorción del agregado Fino, la cual establece la necesidad de realizar el ensayo con un mínimo de 3 muestras. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

Granulometría (MTC E 204)

El ensayo de Granulometría se desarrolla con el propósito de analizar las distribuciones de tamaño de los agregados. Esta evaluación es fundamental para garantizar que las mezclas asfálticas cuenten con las gradaciones adecuadas y satisfagan con los requisitos de diseño. Consiste en pasar una muestra seca de pesos conocidos mediante

una colección de tamices con aberturas cuadradas, analizando así la distribución de partículas de agregados gruesos y finos. Este procedimiento se ajusta a la norma NTP 400.012: Análisis granulométrico de los agregados finos, gruesos y global. Estas normas especifican que, para el A.F, la cantidad mínima de muestra después del secado debe ser de 300 g, mientras que para los agregados gruesos varía entre 1 kg y 300 kg, dependiendo del TMN, con el fin de realizar el ensayo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

Resistencia (MTC E 513)

El ensayo de Resistencia se lleva a cabo con el propósito de evaluar la capacidad de un agregado para resistir cargas y deformaciones bajo una condición de cargas cíclicas. Además, mide las resistencias a las compresiones de la mezcla bituminosa compactadas, tanto para especímenes de lote como para aquellos que fue mezclado, pesado y fabricado en laboratorios, así como los mezclado y fabricado en plantas. Este ensayo es esencial para comprender cómo los agregados contribuyen a la resistencia general de la mezcla asfáltica. Los resultados obtenidos tienen un impacto significativo en la formulación de mezclas que proporcionen una mayor vida útil a los pavimentos.

Estabilidad y Flujo (MTC E 504)

Los ensayos de Estabilidades y Flujos se llevan a cabo con el propósito de evaluar la capacidad de una mezcla asfáltica para soportar cargas y deformaciones sin colapsar. Esta prueba proporciona información crucial sobre la calidad y las capacidades de carga de la mezcla, y los resultados obtenidos tienen un impacto directo en la optimización de la proporción de los componentes de las mezclas. Estas normas determinan la necesidad de tomar al menos 3 muestras para desarrollar el ensayo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

Porcentaje de Vacíos (MTC E 505)

El ensayo del Porcentaje de Vacío determina la cantidad de espacio no ocupados por los 02 tipos de agregados y asfalto en la mezcla asfálticas. Esta prueba es esencial para determinar la densidad y compacidad de la mezcla, aspectos que inciden en sus resistencias y durabilidades. Los logros obtenidos tienen un impacto directo en las dosificaciones y diseño de mezclas, asegurando la calidad del pavimento. Este ensayo se rige por la normativa ASTM 3203: "Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures", la cual especifica la necesidad de tomar al menos 3 muestras para llevar a cabo los ensayos. Las muestras para estos ensayos provienen de mezclas compactadas en laboratorios y del núcleo de mezclas compactadas resultantes de campo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

III.METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación, la aplicación de teorías previamente definidas en otras indagaciones para llevarlas a la práctica en un caso específico se conoce como investigación aplicada. Estas teorías justifican la investigación mediante la consideración de variables relevantes. Este tipo de indagaciones se distingue por abordar un tema social, y en este caso particular, se enfocará en las mejoras de las cualidades mecánicas del pavimento mediante el uso de materiales orgánicos. El objetivo es mejorar las cualidades de calidad del asfalto. (Hernandez y Mendoza, 2018).

Enfoque de investigación es cuantitativo, Este enfoque implica la utilización de valores cuantificables en una investigación, los cuales se emplean para la recopilación de información y el procesamiento de datos. Estos valores se expresan y miden en unas escalas numéricas. (Hernandez y Mendoza, 2018).

El **diseño de investigación** adoptado es de tipo **experimental-cuasi experimental**. Este enfoque implica que el investigador manipula intencionalmente las variables con el objetivo de alcanzar sus metas. A las variables manipuladas se les aplica una prueba para observar y evidenciar la reacción del objeto de estudio, con el propósito de demostrar y analizar los objetivos planteados. En esta indagación específica, se busca validar las aplicaciones de la adición de PET y nano sílice, permitiendo posteriormente analizar y verificar su impacto en el desempeño del pavimento flexible de la Av. Cultura-Cusco 2023. (Hernandez y Mendoza, 2018).

3.2. Variables y operacionalización

Variables de estudio

Variable Independiente; PET Y NANOSILICE

Definición conceptual: El tereftalato de polietileno (PET) es una materia prima empleada para la producción botellas o envases plásticos de uso tradicional.

Es claro que este elemento es de uso tradicional, pero con lleva una gran problemática ambiental Acevedo y Posada (2019).

La nano sílice (NS) como aditivo concede disminuir el contenido de cemento y contribuye a favorecer las características en estado fresco y en estado fraguado de las mezclas asfálticas. Las adiciones de nano sílice en las mezclas asfálticas generan unos efectos acelerantes debido a sus reactividades superficiales y caracteres puzolánicos, como consecuencias agregan las velocidades de hidrataciones, Loaiza et al. (2019)

Definición operacional: Usar PET reciclados como sustituciones de los agregados en las mezclas asfálticas aumentarían tanto los impactos en las huellas ecológicas de las producciones de mezcla asfáltica como de las industrias del PET. Sustituir partes de los 2 tipos de agregado a cambio de PET desarrollaría mezclas asfálticas con mínimos impactos ambientales en sus etapas de fabricaciones, o de otra forma llegaría a ser un método muy ingenioso en lugares donde exista escasa accesibilidad a los agregados Acevedo y Posada (2019).

La nano sílice contribuye las propiedades de las zonas de transiciones y fortalecerá a las uniones entre los agregados y las pastas de cementos; por lo tanto, su incorporación dificultaría en cierta magnitud el desplazamiento del agua en la mezcla asfáltica, Loaiza et al. (2019)

Variable Dependiente; Mezclas asfálticas de masilla de piedra

Definición conceptual: Las mezclas asfálticas de masilla de piedra son combinaciones de agregados pétreos, ligantes asfálticos y aditivos que se utilizan en las construcciones del pavimento flexibles. Estas mezclas se califican por tener altas proporciones de finos (agregados de pequeño tamaño) que actúan como un relleno mineral, mejorando las densidades y las resistencias de la mezcla. La masilla de piedra también puede

contener otros materiales reciclados o modificadores para mejorar sus propiedades y desempeño (Rodríguez J. , 2021).

Definición operacional:

Desde una perspectiva operacional, las mezclas asfálticas de masilla de piedra se refieren a las combinaciones específicas de agregados minerales de diferentes tamaños, ligantes asfálticos y, posiblemente, aditivos como polímeros o fibras, que se mezclan en una planta asfáltica según una proporción preestablecida. Estas mezclas son producidas a través de un proceso de mezclado en caliente, donde los agregados se calientan y se mezclan con el ligante asfáltico en estado fluido, y luego la mezcla se coloca y compacta en la construcción de pavimentos (Rodríguez J. , 2021).

Las mezclas deben cumplir con una serie de propiedades esenciales para garantizar un comportamiento óptimo y minimizar el daño. Estas incluyen la resistencia mecánica, la facultad de resistir deformaciones plásticas y la determinación de las características estructurales y funcionales necesarias para enfrentar las cargas a las que está sometida. Además, se debe establecer correctamente estas características mencionadas para mantener la flexibilidad, entre otros aspectos relevantes (Asfalto y Pavimentacion, 2018).

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

Una población hace referencia a conjuntos integrales de elementos, individuos, objetos o unidades de estudio que comparten una característica común y son el foco de interés para el análisis. Esta característica común puede abarcar aspectos demográficos, geográficos, sociales, biológicos, u otros elementos que posibiliten la agrupación significativa de estos elementos (Hernandez y Mendoza, 2018).

En el contexto de la investigación y las estadísticas, el término "población" se utiliza para describir conjuntos completos de elementos individuales, objetos, personas, animales o unidades de estudio que comparten características comunes y son pertinentes para el análisis. La población representa la totalidad del grupo que se busca estudiar o describir, con el objetivo de obtener conclusiones generales sobre las propiedades, comportamientos o características de dicho conjunto (Alfaro, 2017).

Por ello, para la investigación se considerarán como población se utilizarán 90 testigos, especímenes que serán desarrolladas en laboratorio de pavimentos con el diseño de mezclas asfálticas de masilla de piedra modificada con Pet y nano sílice como se indica en la tabla 06 para cada ensayo a realizar, en esta investigación se emplea un muestreo no probabilístico, en donde la población es definida por el responsable de la investigación a criterio.

Muestra

El proceso de muestreo para ensayos en pavimentos flexibles inicia con la identificación de áreas representativas en el pavimento, dividiéndolo en secciones que abarquen diversas condiciones. Luego, se eligen ubicaciones específicas dentro de cada sección y se extraen muestras utilizando herramientas apropiadas para garantizar su representatividad. Cada muestra se etiqueta con información esencial y se registra detalladamente. Posteriormente, las muestras se transportan con cuidado a un lugar de almacenamiento temporal que cumple con condiciones adecuadas. Este procedimiento, en concordancia con las normativas del MTC, asegura la integridad y precisión de las muestras, siendo esenciales para garantizar la confiabilidad de los ensayos subsiguientes realizados en laboratorios (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

La elección de utilizar PET (tereftalato de polietileno) y NS (nanosílice) como aditivos en mezclas asfálticas responde a su potencial para mejorar significativamente las propiedades mecánicas y físicas de los pavimentos flexibles. El PET, proveniente de desechos plásticos, y la nano sílice, una forma de sílice a nano escala, ofrecen características únicas que pueden aumentar la resistencia a la fatiga, la capacidad de carga y la durabilidad del pavimento (Mashaan et al., 2022).

La combinación de estos elementos se espera que tenga un efecto positivo en la integridad y rendimiento de los pavimentos, lo cual respalda su aplicación en el proyecto de la Av. La Cultura en Cusco.

Para la muestra se utilizarán 90 testigos, especímenes que serán desarrolladas en laboratorio de pavimentos con el diseño de mezclas asfálticas de masilla de piedra modificada con Pet y nano sílice como se indica en la tabla 5 para cada ensayo a realizar, en esta investigación se emplea un muestreo no probabilístico, en donde la muestra es definida por el responsable de la investigación a criterio suyo.

Tabla 5. Muestra de dimensión de propiedades de los agregados

MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SÍLICE								
DIMENSIÓN	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS							
ENSAYO	NOR MA	SUGIE RE	PAVIMEN TO FLEXIBLE CON MASILLA DE PIEDRA PATRON	Dosificac ión Patrón + 6% de PET	Dosificac ión con 6% de PET + 8%NS	Dosificac ión con 6% de PET + 9%NS	Dosificac ión con 6% de PET + 10NS	PARCI AL
PESO ESPECÍFICO								
MTC ABSORCION	MTC E 205	2	1	1	1	1	1	5
GRANULOME TRIA	MTC E 204	2	1	1	1	1	1	5
DURABILIDAD (Al Sulfato de Magnesio)	MTC E209	2	1	1	1	1	1	5
ABRASION LOS ANGELES	MTC E207	2	1	1	1	1	1	5
ADHERENCIA	MTC	2	1	1	1	1	1	5

	E 517								
ÍNDICE DE DURABILIDAD	MTC E 214	2	1	1	1	1	1	1	5
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	MTC E 221	2	1	1	1	1	1	1	5
CARAS FRACTURADAS	MTC E 210	2	1	1	1	1	1	1	5
SALES SOLUBLES TOTALES	MTC E219	2	1	1	1	1	1	1	5
									50

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Muestra de dimensión de propiedades de la mezcla de asfáltica de masilla de piedra

MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SÍLICE													
DIMENSIÓN	PROPIEDADES DE LA MEZCALA ASFALTICA DE MASILLA DE PIEDRA												
ENSAYO	NORMA	SUGIERE	DETERMINAR EL CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO PATRON					MUESTRA	INCORPORACION DE PET Y NANO SILICE COMO ADITIVOS				PARCIAL
			6.00 %	6.50 %	7.00 %	7.50 %	8.00 %		PATRON	Patrón n+ 6%PET	Patrón n+ 6%PET 8%NS	Patrón n+ 6%PET 9%NS	
ESTABILIDAD	MTC E 504	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
FLUJO	MTC E 504	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
PORCENTAJE DE VACIOS	MTC E 505	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
TOTAL												90	

Fuente: elaboración propia

En el contexto de la investigación que involucra probetas de concreto, los criterios de inclusión y exclusión se centran en características específicas de las probetas para asegurar que la muestra sea

representativa y que los resultados sean aplicables a situaciones concretas. Aquí se detallan los criterios típicos:

Criterios de inclusión: Tipo de Mezcla de Concreto: Se especifica el tipo de mezcla de concreto utilizado en las probetas.

Edad de las Probetas: Se determina la edad de las probetas de concreto para incluir aquellas que han pasado un cierto período de tiempo desde su preparación (por ejemplo, 7, 14, o 28 días).

Dimensiones de las Probetas: Se establecen criterios específicos para las dimensiones de las probetas, como longitud, ancho y altura, para garantizar uniformidad.

Curado: Se especifica el método de curado aplicado a las probetas para garantizar condiciones consistentes (por ejemplo, curado en agua, curado al aire, etc.).

Método de Fabricación: Se define el método de fabricación de las probetas para garantizar consistencia en la preparación.

Probetas de concreto de 28 días de edad.

Probetas de dimensiones estándar (por ejemplo, cilindros de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura). Curado estándar en agua a una temperatura controlada. Probetas con grietas visibles. Probetas con dimensiones fuera de las tolerancias especificadas. Probetas contaminadas durante la fabricación. Probetas con condiciones de curado anómalas. Probetas dañadas durante el transporte. Estos criterios aseguran que la muestra sea homogénea y que los resultados sean confiables y representativos de las condiciones y propiedades específicas del concreto en estudio.

Criterios de exclusión: Tipo de Mezcla de Concreto: Se especifica el tipo de mezcla de concreto utilizado en las probetas (por ejemplo, concreto de alta resistencia, concreto de baja resistencia, etc.). Edad de

las Probetas: Se determina la edad de las probetas de concreto para incluir aquellas que han pasado un cierto período de tiempo desde su preparación (por ejemplo, 7, 14, o 28 días). Dimensiones de las Probetas: Se establecen criterios específicos para las dimensiones de las probetas, como longitud, ancho y altura, para garantizar uniformidad. Curado: Se especifica el método de curado aplicado a las probetas para garantizar condiciones consistentes (por ejemplo, curado en agua, curado al aire, etc.). Método de Fabricación: Se define el método de fabricación de las probetas para garantizar consistencia en la preparación.

Unidad de análisis: La conjunción de estos elementos se anticipa que genere un impacto positivo en la integridad y el rendimiento de los pavimentos, lo cual fundamenta su aplicación. (Baena, 2017).

Muestreo

El enfoque de muestreo utilizado en esta investigación es de tipo no probabilístico, donde se seleccionan intencionalmente muestras o elementos que cumplen con criterios específicos y características deseadas para el estudio. Dado que el objetivo de la investigación es analizar las influencias de materiales particulares en los pavimentos, el muestreo no probabilístico posibilita obtener una muestra representativa de los efectos y resultados específicos asociados con dichos materiales. Esto contribuirá a una comprensión más profunda del comportamiento de estos materiales en términos de sus propiedades mecánicas y su potencial aplicación en los pavimentos de la región mencionada. Además, la elección de este tipo de muestreo facilita el control y la gestión de las variables de interés, asegurando que la muestra esté compuesta por elementos relevantes y representativos para los objetivos del estudio, lo que se traducirá en conclusiones más precisas y enfocadas en la evaluación. (Hernandez y Mendoza, 2018).

La elección de los porcentajes de dosificaciones para la incorporación de PET y NS en las mezclas asfálticas se basa en un enfoque que

indagan lograr equilibrios óptimos entre mejoras en las cualidades y la viabilidad técnica. Los porcentajes de dosificaciones, específicamente, han sido determinados considerando cuidadosamente diversos factores para garantizar tanto mejoras significativas en las características de la mezcla como la factibilidad práctica de su aplicación en el pavimento específicamente 8%, 9% y 10% de nano sílice con un 6% de Pet, han sido definidos en base a indagaciones previas y sus análisis de laboratorio de acuerdo a nuestro artículo guía (Mashaan et al., 2022),

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de investigación

La metodología abarca la forma en que se recopilarán los datos que serán utilizados en la investigación. En esta situación se emplearon técnicas de evaluaciones de laboratorio, así como análisis para dar interpretación a los resultados, conforme a la metodología propuesta por (Hernandez y Mendoza, 2018).. Además, se utilizó la observación directa como técnica, dado que, al tratarse de una investigación experimental, se lleva a cabo a través de lo que se puede medir, observar y comprender.

Instrumentos de recolección de datos

En cuanto a los instrumentos utilizados en esta investigación, se incluyen fichas de observación diseñadas para recopilar información sobre las pruebas realizadas, así como normas técnicas peruanas. Todo este conjunto de datos fue almacenado mediante el programa Microsoft Excel. La ficha de observación, brinda a el investigador una herramienta para tomar apuntes de las situaciones ocurridas dentro del estudio en la parte experimental, logra observar durante el estudio (Hernandez y Mendoza, 2018).

3.5. Procedimientos

Con relación al objetivo general de la presente investigación es determinar la influencia de PET y nano sílice en mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023, para lo

cual se inicia con la recolección de agregados pétreos de la planta de asfalto del PER PLAN COPESCO del Gobierno Regional de Cusco ubicado en el distrito de lucre, provincia Quispicanchi, el mismo que comprende a 44 kilómetros al sur este del centro histórico de la ciudad del cusco, que a continuación muestra la figura 10 de ubicación:

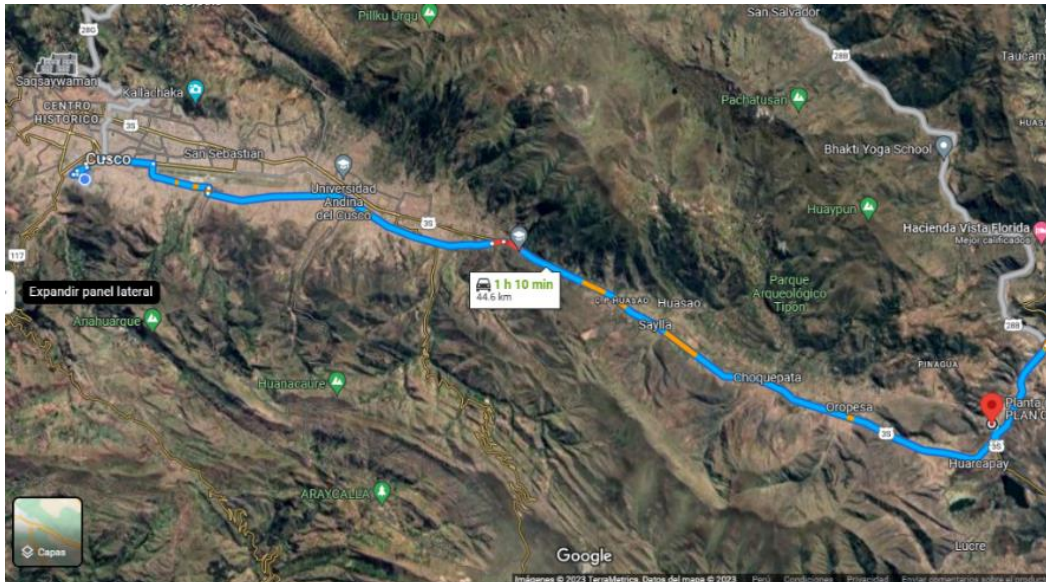


Figura 9. Ubicación de la Cantera de Agregados Pétreos

Nota. Planta de asfalto per plan copesco. Elaboración propia.

La recolección de Materiales pétreos agregados gruesos y finos fueron por peculios propios, tanto en movilidad y gastos de operación, así mismo los agregados recolectados fueron piedra chancada de $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ " y arena gruesa seleccionada producto de la trituración de piedras por la máquina chancadora, agregados que deben cumplir los requisitos mínimos de calidad estipulados en la norma manual de carreteras especificaciones técnicas EG-2013 sección 434 pavimento de concreto asfáltico con mezcla Stone Mastic Asphalt (SMA).



Figura 10. *Recolección de Materiales Pétreos*

Nota. Cantera per plan copesco. Elaboración propia 2023

Posteriormente se realiza el análisis granulométrico del agregado grueso, fino y global según norma NTP 400.012.



Figura 11. *Cuarteo Manual del Agregado Grueso*

Nota. El agregado debe estar completamente mezclado, la cantidad debe ser de acuerdo a lo establecido en la tabla 7. Elaboración propia 2023.

Tabla 7. Cantidades Mínimas de Muestra de Agregado Grueso

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

Nota. Cuadro de tamaño máximo nominal y cantidades de muestra de ensayo. Adaptado de manual de ensayos MTC-2016

Seguidamente se procede al secado de la muestra a temperatura de 110°C por 24 horas hasta obtener un peso constante.



Figura 12. Secado de la muestra en el horno

Nota. El secado se realizará por 24 horas



Figura 13. *Pesado de la muestra*

Nota. En la figura se evidencia el peso que es mayor a la cantidad mínima requerida.

A continuación, se efectúa el tamizado del agregado grueso con el uso de la tamizadora, cabe mencionar q la selección de tamices es acorde al requerimiento de la granulometría para el diseño de Stone Mastic Asphalt, según norma EG-2013.



Figura 14. *Ejecución del tamizado por medio de un tamizador mecánico*

Nota. Elaboración propia 2023

Finalmente se determina el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que satisfaga los requerimientos exigidos en la norma Manual de Ensayos de Materiales 2016, a continuación, se evidencia los tamaños retenidos en la figura



Figura 15. Cantidades retenidas de agregado grueso en cada tamiz

Nota. Elaboración propia 2023

Una vez obtenido los pesos retenidos en el ensayo granulométrico se procesa en un cuadro excel para lograr la curva granulométrica por cada tamaño de agregado.

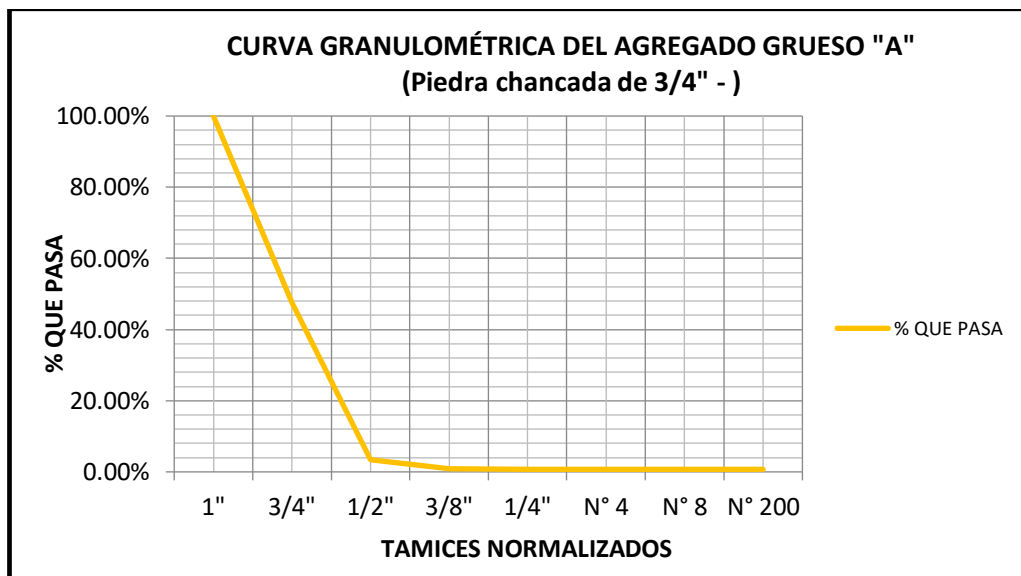


Figura 16. Curva granulométrica de agregados grueso 3/4

Nota. Elaboración propia 2023

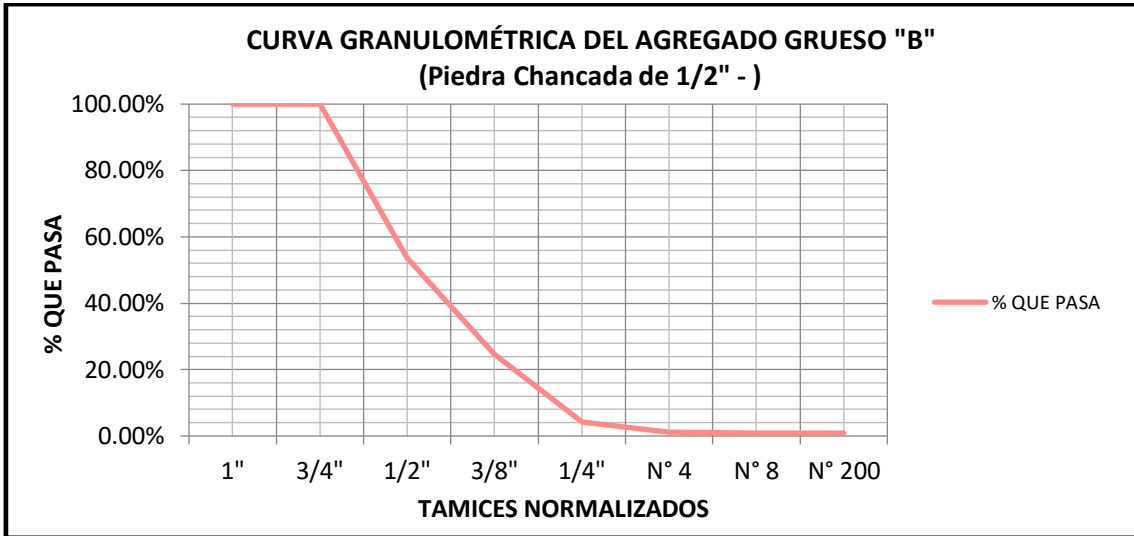


Figura 17. Curva granulométrica de agregados grueso 1/2

Nota. Elaboración propia 2023

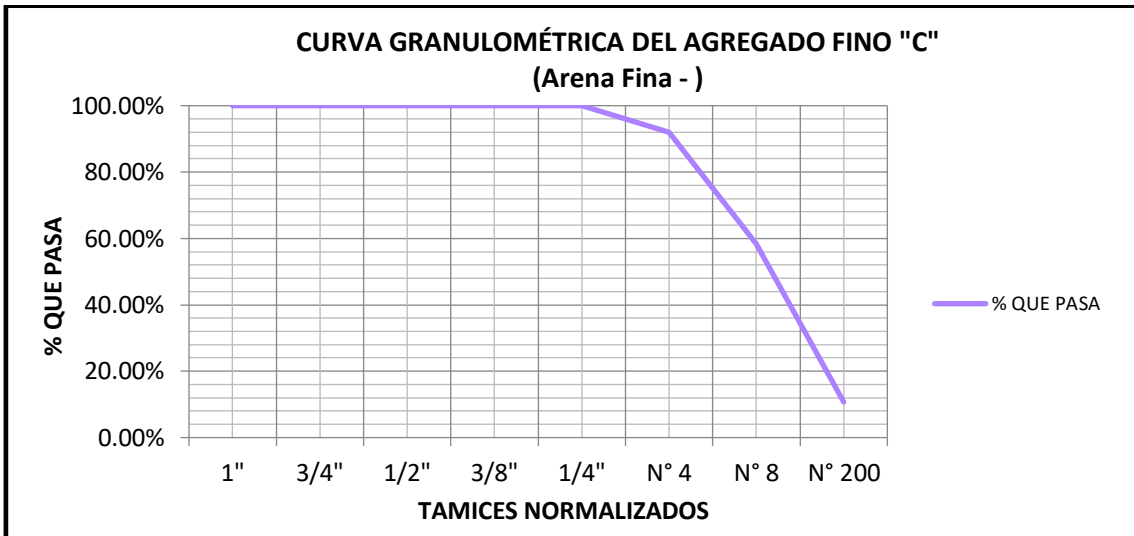


Figura 18. Curva granulométrica de agregado fino

Nota. Elaboración propia 2023

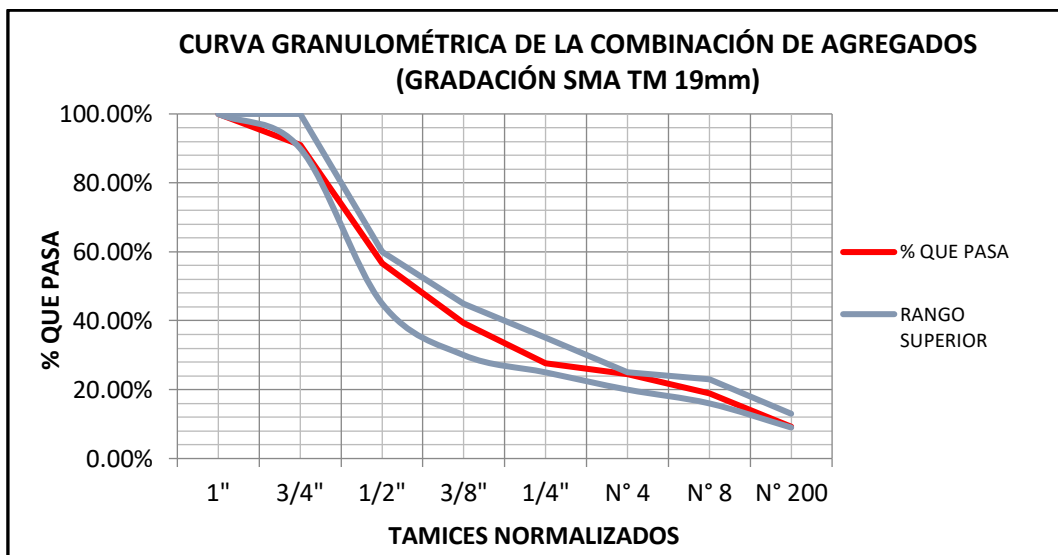


Figura 19. Curva granulométrica de la Combinación de Agregados.

Nota. Elaboración propia 2023

La adquisición del aditivo denominado GAIA nanosílice, fue proveído por industrias ulmen S.A., fabricación y comercialización de aditivos para concretos y mezclas asfálticas, cuya dirección es la Cooperativa las vertientes, calle 4, Mz C-1 Sub Lt 2-F Villa El Salvador – Lima, asimismo dicho aditivo cumple con la normativa ambiental ISO 14001.



Figura 20. Recepción del aditivo GAIA nano sílice

Nota. Verificación del producto, fecha de vencimiento y ficha técnica

La recolección de Tereftalato de polietileno PET se realiza a través de las empresas recicladoras de residuos de botellas de plástico ubicadas en el

distrito de San Jerónimo de la provincia de cusco, una vez recolectadas se procede a realizar su limpieza correspondiente, donde posteriormente serán desgastadas con un motor artesanal con el uso de un esmeril logrando obtener partículas de 0.45 mm de tamaño tomado como referencia de la literatura en inglés, así mismo se utiliza en porcentajes de acuerdo a las dosificaciones propuestas.



Figura 21. *Recolección de tereftalato de polietileno (PET) de la planta de reciclaje*

Nota. Verificación de residuos de botellas de plástico para para la obtención del aditivo

Así mismo se precede a desgastar los residuos de PET con un motor de 1/2 Hp, con el uso de un disco abrasivo esmeril logrando obtener partículas de 0.45 mm de tamaño considerado y validado como referencia y antecedente al artículo de investigación (Mashaan et al., 2022).



Figura 22. *Proceso de Desgaste de Residuos de Botellas Descartables*

Nota. En la figura se muestra la obtención del aditivo PET

Para finalizar la obtención del aditivo PET, se procede a realizar el tamizado en la malla N° 40, ensayo que se realizó en laboratorio de suelos y pavimento de la universidad andina del cusco, lograr la granulometría deseada.



Figura 23. Procedimiento para la elaboración y obtención del aditivo PET
Nota. Elaboración propia 2023

Seguidamente se ejecuta los ensayos de calidad de agregados grueso y fino requeridos para el diseño de mezcla asfáltica masilla de piedra (SMA), determinados en la norma Manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG-2013), que a continuación se detallan:

Ensayo de Abrasión los Ángeles al Desgaste de los Agregados de tamaño menores de 37.5 mm (1 ½), según norma MTC E 207.

El procedimiento del ensayo es para determinar la resistencia al desgaste o abrasión, impacto y trituración de los agregados utilizando la maquina los ángeles con referencia a la NTP 400.019, para lo cual se procede al secado en el horno hasta obtener un peso constante a una temperatura 110 °C.



Figura 24. Los agregados pétreos son secados en el horno

Nota. Elaboración propia 2023.

Posteriormente se selecciona agregados de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ para realizar en pesado correspondiente y la elección del tipo de gradación que a continuación se muestra:

Tabla 8. *Tipos de Gradación de Agregados*

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Nota. Tomado de la norma MTC Manual de Ensayo de Materiales 2016

Así mismo una vez obtenido el tipo de gradación se toma como referencia la tabla donde nos proporciona la cantidad masa de tamaño indicado, cabe recalcar que se utilizo los agregados pétreos de tamiz $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$.

Tabla 9. *Gradación de las Muestras de Ensayo*

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
12,5 mm (½")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (¼")	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
6,3 mm (¼")	4,75 mm (Nº 4)	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-.-	-.-		5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Nota. Tomado de la norma MTC Manual de Ensayo de Materiales 2016

A continuación, la muestra se coloca en la maquina los ángeles, así como también las esferas de acero las cuales comprenden un total de 11 esferas y se configura para la rotación de 500 revoluciones, al término de las revoluciones indicadas se descarga el material de la maquina los ángeles, la cual se procede a realizar una separación mediante el tamiz Nº 12 y obtener el porcentaje de agregados que fueron desgastados con respecto a la muestra total, que a continuación se muestran:



Figura 25. Procedimiento para el Ensayo Abrasión los Ángeles

Nota. Elaboración propia 2023.

Finalmente calcular la pérdida de agregados, la diferencia de la masa inicial y final de la muestra, informar este valor como porcentaje de pérdida:

Tabla 10. *Porcentaje de Desgaste por Abrasión los Ángeles*

DATOS DEL ENSAYO	
Peso de la Muestra seca antes del ensayo (gr)	5001.0
Peso de la Muestra seca retenida en el tamiz N.º 12, después del ensayo (gr)	4480.0
Peso que pasa el tamiz N.º 12, después del ensayo (gr)	521.00
PORCENTAJE DE ABRASION	10.42

Nota. Elaboración Propia 2023.

Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso, según norma MTC E 210.

En el presente ensayo se consideró como objetivo maximizar el esfuerzo cortante mediante en incremento fricción entre partículas, mezclas de agregados sueltos y/o compactados, asimismo como segundo objetivo es suministrar estabilidad a los tratamientos de superficies de agregados usados en pavimentos, para lo cual se siguió los siguientes procedimientos que corresponden como referencia a la norma ASTM D 5821.



Figura 26. Desarrollo del Ensayo

Nota. Elaboración propia 2023

Se determina la cantidad de partículas con una o más caras fracturadas, partículas con dos o más caras fracturadas y partículas redondas con el criterio especificado, así mismo se concluye con el ensayo, obteniendo los datos respectivos.

Tabla 11. Porcentaje con una Cara Fracturada en los Agregados

TAMANO DEL AGREGADO	A	B	C	D	E	
RETENIDO EN TAMIZ	Peso muestra (g)	Peso material con una cara fracturada (g)	% de caras fracturadas ((B/A)*100)	Retenido gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas C*D	
PASA TAMIZ						
1	1"					
1/2"						
1"	3/4"	507.0	125.0	25%	52%	13%
3/4"	1/2"	505.0	75.0	15%	44%	6.57%
1/2"	3/8"					
TOTAL			200	0.4	96.64%	19.49%

Nota. Elaboración propia 2023

Tabla 12. Porcentaje con Dos o Mas Caras Fracturadas en los Agregados

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
RETENIDO EN TAMIZ		Peso muestra (g)	Peso material con mas de 2 caras fracturadas (g)	% de caras fracturadas ((B/A)*100)	Retenido gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas C*D
PASA TAMIZ						
1	1"	0.0			0%	
1/2"						
1"	3/4"	507.0	380.0	75%	52%	39%
3/4"	1/2"	505.0	380	75%	44%	33%
1/2"	3/8"	0.0			0%	
TOTAL		1012.0	760	1.5	96.64%	72.56%

Nota. Elaboración propia 2023.

Ensayo Índice de Aplanamiento y Alargamiento de los Agregados, según norma MTC E 221.

El procedimiento para determinar el porcentaje de partículas chatas y alargadas se utilizó agregados retenidos del tamiz $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$, para lo cual se utilizó calibrador de espesores y longitudes tal como menciona en la norma MTC Manual de Ensayo de Materiales 2016.



Figura 27. Procedimiento para Determinar el Índice de Aplanamiento y Alargamiento.

Nota. Elaboración propia 2023.

En índice de aplanamiento se calcula mediante la relación entre el peso de las partículas que pasa por la ranura y el peso inicial de la muestra

Tabla 13. Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas de Agregados Gruesos.

MALLAS SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS (A)	PESO MUESTRA CHATAS Y ALARGADAS (B)	PORCENTAJE DE CHATAS Y ALARGADAS (C)	ESCALA ORIGINAL (D)	PORCENTAJE PARCIALES DE CHATAS Y ALARGADAS (E)
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050	686.2	121.1	18.0%	52%	10%
1/2"	12.700	739.1	80.2	11.0%	44%	0%
3/8"	9.525					
		1425.3			1.0	0.1
				% DE CHATAS Y ALARGADAS E/D:		10.35%

Nota. Elaboración propia 2023.

Ensayo Peso Específico y absorción de Agregados Gruesos, según norma MTC E 206.

El objetivo del ensayo es determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción, dicho procedimiento con referencia a la normativa NTP 400.021.

Una vez que la muestra haya secado a una temperatura de 110 °C, obtener el peso de la muestra seca, posteriormente sumergir dicho agregado por 24 horas a una temperatura ambiente, para luego obtener en peso sumergido y finalmente la muestra superficialmente seca.



Figura 28. Procedimiento para Ensayo Peso Específico.

Nota. Elaboración propia 2023.

Se concluye obteniendo el resultado del peso específico, peso específico aparente y absorción según se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Peso de la Muestra Seca (gr)	1026.45
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	634.80
Temperatura del Agua (°C)	20.0
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	1036.70
Peso del Agua Desplazada (gr)	401.90
Peso Específico a Temperatura de Ensayo (gr/cm ³)	2.554
Factor de corrección por Temperatura	1.0006716
Peso del Agua Absorbida (gr)	10.25
Peso Específico en masa (gr/cm ³)	2.556
Peso Específico en masa SSS (gr/cm ³)	2.579
Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	2.621
Capacidad de Absorción	0.999%

Nota. Elaboración propia 2023.

Ensayo Gravedad Especifica y absorción de Agregados Finos, según norma MTC E 205.

El objetivo del ensayo determinar el peso específico seco, peso específico saturado superficialmente seco, peso específico aparente y la absorción después de haber sumergido en agua durante 24 horas, seguidamente humedecer el agregado evitando pérdida de finos y remover frecuentemente para el secado uniforme hasta que las partículas no se adhieran entre sí, así mismo rellenar en el molde cónico y apisonar 25 veces con la varilla, posteriormente levantar el molde.



Figura 29. Preparación de la Muestra

Nota. Elaboración propia 2023.

Introducir en el picnómetro una muestra de 300 gramos de agregado fino, llenar parcialmente con agua hasta los 500 cm³, posteriormente agitar el frasco para eliminar el contenido de aire, obtener el peso del frasco, muestra y agua, finalmente remover el agregado fino del picnómetro secar en una estufa hasta obtener un peso constante.



Figura 30. Obtención de la Gravedad Específica.

Nota. Elaboración propia 2023

Se concluye obteniendo datos del ensayo según muestra la siguiente tabla.

Tabla 15. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Volumen del Picnómetro (ml)	500
Peso del Picnómetro (gr)	172.2
Peso de la Muestra Seca (gr)	298.43
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	890.48
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	300.00
Peso del Picnómetro + Agua (gr)	702.81
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	187.67
Peso Específico a Temperatura de Ensayo (gr/cm ³)	2.694
Peso del Agua Absorbida (gr)	1.57
Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	2.696
Peso Específico de masa SSS (gr/cm ³)	2.671
Peso Específico de masa (gr/cm ³)	2.657
Capacidad de Absorción	0.526%

Nota. Elaboración propia 2023.

Ensayo Equivalente de Arena de Agregado Fino, según norma MTC E 114.

El objetivo del ensayo es verificar las proporciones relativas de suelos arcillosos y suelos granulares que existen en la muestra ensayada, así mismo dichos materiales serán los finos que pasan el tamiz N°4, el procedimiento para el ensayo de equivalente de arena se optó por el método preparación de muestra de ensayo tipo A.



Figura 31. Procedimiento del Ensayo.

Nota. Elaboración propia 2023.

Una vez obtenido la muestra indicada se procede a verter el agregado en el picnómetro del kit de equivalente de arena, para posteriormente realizar la irrigación con la solución stock, una vez realizado dicho procedimiento se procede a la agitación manual de forma horizontal por un tiempo indicado en la norma.



Figura 32. Obtención de la Lectura de Arena y Arcilla

Nota. Elaboración propia 2023.

Los resultados obtenidos fueron obtenidos mediante la relación de lectura de la arena entre la lectura de arcilla, q se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 16. Resultados Obtenidos del Ensayo Equivalente de Arena

DATOS DEL ENSAYO	
Lectura de la Arcilla =	149.86 mm
Lectura del Disco Indicador =	350.52 mm
Lectura de la Arena =	96.52 mm
EQUIVALENTE DE ARENA = 64.41%	

Nota. Elaboración propia 2023.

Diseño de Mezcla

Una vez finalizado la recolección de datos de los ensayos de calidad de los agregados pétreos se inicia con el diseño de mezcla asfáltica utilizando el método Marshall y granulometría especificada, para cual se utiliza la gradación que corresponde al tipo de asfalto Gap Graded o Mezclas de Granulometría Incompleta para Asfalto Masilla de Piedra SMA que establece la norma Manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG-2013), los agregados que se realizaron ensayos de granulometria fueron $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, arena gruesa, producto de la trituración de agregados mayores y por último el filler mineral en este caso se utilizó cemento portland tipo I, cuyos resultados fueron las siguientes:

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO "A"									
Basado en la Norma Nacional MTC E204									
ESPECIFICACIONES (SMA)	ABERTURA DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN	
MTC EG-2013	mm	gr	%	gr	%	gr	%	SMA TM 19mm	
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00	0.00%	5265.00	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19.000	2760.00	52.42%	2760.00	52.42%	2505.00	47.58%	90.00%	100.00%
1/2"	12.500	2330.00	44.25%	5090.00	96.68%	175.00	3.32%	45.00%	60.00%
3/8"	9.500	127.00	2.41%	5217.00	99.09%	48.00	0.91%	30.00%	45.00%
1/4"	4.750	10.00	0.19%	5227.00	99.28%	38.00	0.72%	25.00%	35.00%
N° 4	2.360	0.00	0.00%	5227.00	99.28%	38.00	0.72%	20.00%	25.00%
N° 8	1.180	0.00	0.00%	5227.00	99.28%	38.00	0.72%	16.00%	23.00%
N° 200	0.600	0.00	0.00%	5227.00	99.28%	38.00	0.72%	9.00%	13.00%
< 200	< 0.075	38.00	0.72%	5265.00	100.00%				
TOTAL		5265.00	100%						

Figura 33 Granulometría de Agregado de $\frac{3}{4}$ de pulgada

Nota. Elaboración propia 2023

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO "B"									
Basado en la Norma Nacional MTC E204									
ESPECIFICACIONES (SMA)	ABERTURA DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN	
MTC EG-2013	mm	gr	%	gr	%	gr	%	SMA TM 19mm	
1"	25.000	0.00	0.00%	0.000	0.000	2169.000	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00	0.00%	2169.000	100.00%	90.00%	100.00%
1/2"	12.500	1005.00	46.33%	1005.00	46.33%	1164.000	53.67%	45.00%	60.00%
3/8"	9.500	630.00	29.05%	1635.00	75.38%	534.000	24.62%	30.00%	45.00%
1/4"	4.750	440.00	20.29%	2075.00	95.67%	94.000	4.33%	25.00%	35.00%
N° 4	2.360	70.00	3.23%	2145.00	98.89%	24.000	1.11%	20.00%	25.00%
N° 8	1.180	5.00	0.23%	2150.00	99.12%	19.000	0.88%	16.00%	23.00%
N° 200	0.600	0.00	0.00%	2150.00	99.12%	19.000	0.88%	9.00%	13.00%
Fondo	< 0.074	19.00	0.88%	2169.00	100.00%				
TOTAL		2169.00							

Figura 34 Granulometría de Agregado de 1/2 de Pulgada.

Nota. Elaboración propia 2023.

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO "C"									
Basado en la Norma Nacional MTC E204									
ESPECIFICACIONES (SMA)	ABERTURA DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN	
MTC EG-2013	mm	gr	%	gr	%	gr	%	SMA TM 19mm	
1"	25	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	90.00%	100.00%
1/2"	12.5	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	45.00%	60.00%
3/8"	9.5	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	30.00%	45.00%
1/4"	4.75	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	25.00%	35.00%
N° 4	2.36	40.00	7.94%	40.00	7.94%	464.00	92.06%	20.00%	25.00%
N° 8	1.18	170.00	33.73%	210.00	41.67%	334.00	58.33%	16.00%	23.00%
N° 200	0.6	240.00	47.62%	450.00	89.29%	264.00	10.71%	9.00%	13.00%
Fondo	< 0.074	54.00	10.71%	504.00	100.00%				
TOTAL		504.00							

Figura 35 Granulometría de Agregado Arena Gruesa.

Nota. Elaboración propia 2023.

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO "D"									
Basado en la Norma Nacional MTC E204									
ESPECIFICACIONES (SMA)	ABERTURA DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN	
MTC EG-2013	mm	gr	%	gr	%	gr	%	SMA TM 19mm	
1"	1"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	3/4"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	90.00%	100.00%
1/2"	1/2"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	45.00%	60.00%
3/8"	3/8"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	30.00%	45.00%
1/4"	1/4"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	25.00%	35.00%
N° 4	N° 4	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	20.00%	25.00%
N° 8	N° 8	5.00	5.00%	5.00	5.00%	95.00	95.00%	16.00%	23.00%
N° 200	N° 200	25.00	25.00%	30.00	30.00%	75.00	75.00%	9.00%	13.00%
< 0.074	0.00	70.00	70.00%	100.00	100.00%				
TOTAL		100.00							

Figura 36 Granulometría del Filler Mineral.

Nota. Elaboración propia 2023.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE									
TAMIZ	ABERTURA	% RETENIDO A	% RETENIDO B	% RETENIDO C	% RETENIDO D	SUMA RETENIDO PARCIAL	% ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES SMA TM 19mm
MTC EG-2013	mm	17%	58%	15%	10%				
1"	25	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19	8.91%	0.00%	0.00%	0.00%	8.91%	8.91%	91.09%	100.00%
1/2"	12.5	7.52%	26.87%	0.00%	0.00%	34.40%	43.31%	56.69%	60.00%
3/8"	9.5	0.41%	16.85%	0.00%	0.00%	17.26%	60.57%	39.43%	45.00%
1/4"	4.75	0.03%	11.77%	0.00%	0.00%	11.80%	72.36%	27.64%	35.00%
N° 4	2.36	0.00%	1.87%	1.19%	0.00%	3.06%	75.43%	24.57%	25.00%
N° 8	1.18	0.00%	0.13%	5.06%	0.50%	5.69%	81.12%	18.88%	23.00%
N° 200	0.6	0.00%	0.00%	7.14%	2.50%	9.64%	90.76%	9.24%	13.00%
Fondo	< 0.074	0.12%	0.51%	1.61%	7.00%	9.24%	100.00%		
TOTAL		17.00%	58.00%	15.00%	10.00%				

Figura 38 Análisis Granulométrico de la combinación de Agregados.

Nota. Elaboración propia 2023.

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE				
GRADACIÓN	MATERIALES	CANTERA	PROPORCIÓN DE MEZCLA	CEMENTO ASFÁLTICO
SMA TM 19mm	PIEDRA DE 3/4"	CANTERA LUCRE	17%	BETUTEC PG 70-28
	PIEDRA DE 1/2"	CANTERA LUCRE	58%	
(EG - 2013)	Arena Gruesa	CANTERA LUCRE	15%	
	Filler		10%	

Figura 37 Resumen de diseño de Mezcla.

Nota Elaboración propia 2023.

A continuación, se procede a determinar el contenido óptimo de asfalto utilizando diferentes contenidos de asfalto en un rango de 6 % hasta un 8%, porcentajes que están contemplados en la sección 434 pavimentos de concreto asfáltico con mezclas SMA de la norma Manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG-2013), para lo cual se procede a obtener los pesos de cada agregado y filler.



Figura 39. Obtención de Pesos de los Agregados Pétreos.

Nota. Elaboración propia 2013.

Para la obtención de la muestra patrón se realiza el **ensayo resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato marshall**, según norma MTC E 504, el objetivo del ensayo es para determinar el diseño de mezclas asfálticas, a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezclas bituminosas, de altura y diámetro nominal de 64 mm y 102 mm respectivamente, así mismo calcular sus diferentes parámetros de comportamiento.

A continuación, los agregados pétreos pesados de acuerdo al diseño de mezcla se lleva al horno a una temperatura de 130 °C a 140 °C, como también el cemento asfáltico, para posteriormente ser mezclado a temperatura controlada, posteriormente se procede el compactado, cabe mencionar que el número de golpes es de 50 por cara por tratarse una mezcla SMA, una vez compactado la muestra se enfría a temperatura ambiente por lapso de 40 a 60 minutos aproximadamente para extraer las muestras.



Figura 40. Procedimiento para la Elaboración de Probetas de Asfalto

Nota. Elaboración propia 2023.



Figura 41 Muestras de Mezclas Asfálticas SMA.

Nota. Elaboración propia 2023.

Se realiza la toma de datos, así como alturas, diámetros, pesos, estabilidad y flujo, para posteriormente obtener los resultados de la gravedad específica bulk y la gravedad específica máxima rice de dichos especímenes.



Figura 42 Registro de Características de los Especímenes.

Nota. Elaboración propia 2023.

Así mismo para la obtención de la gravedad específica bulk y gravedad máxima rice se determinaron de acuerdo a las siguientes formulas:

$$G_{mb} = \frac{Wd}{W_{ssd} - W_{sub}}$$

Dónde:

G_{mb} = Gravedad específica bulk de espécimen compactado

Wd = Peso del espécimen al aire

W_{ssd} = Peso del espécimen superficialmente seco

W_{sub} = Peso del espécimen sumergido

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$$

Siendo:

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para agregado grueso}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para agregado fino}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para filler}$$

Dónde:

G_{mm} = Gravedad específica Rice

G_{sb} = Gravedad específica bulk

G_{sa} = Gravedad específica aparente

Tabla 17 Datos de Gravedad Específica Bulk y Gravedad Máxima Rice.

	PARÁMETRO	UNIDAD	ASFALTO AL 6%			
			P1	P2	P3	
DATOS DE BRIQUETAS	WD	Peso de la Briqueta al aire	gr.	1174.00	1246.06	1227.72
	WSUB	Peso de la Briqueta sumergido	gr.	682.40	717.60	725.70
	WSSD	Peso de la Briqueta saturada	gr.	1208.12	1276.70	1277.37
	Gmb	Gravedad Específica Bulk del espécimen	gr/cm3	2.233	2.229	2.225
	Gmm	Gravedad Específica Máxima Rice	gr/cm3	2.422	2.422	2.422

Nota. Elaboración propia 2023.

Tabla 18 Datos de Gravedad Específica Bulk y Gravedad Máxima Rice

	PARÁMETRO	UNIDAD	ASFALTO AL 6.5%			
			P4	P5	P6	
DATOS DE BRIQUETAS	WD	Peso de la Briqueta al aire	gr.	1247.99	1254.95	1259.20
	WSUB	Peso de la Briqueta sumergido	gr.	705.90	701.80	707.90
	WSSD	Peso de la Briqueta saturada	gr.	1256.92	1263.46	1267.21
	Gmb	Gravedad Específica Bulk del espécimen	gr/cm3	2.265	2.234	2.251
	Gmm	Gravedad Específica Máxima Rice	gr/cm3	2.389	2.389	2.389

Nota. Elaboración propia 2023.

Tabla 19 Datos de Gravedad Especifica Bulk y Gravedad Máxima Rice

	PARÁMETRO	UNIDAD	ASFALTO AL 7%			
			P7	P8	P9	
DATOS DE LAS BRIQUETAS	WD	Peso de la Briqueta al aire	gr.	1238.97	1303.18	1241.32
	WSUB	Peso de la Briqueta sumergido	gr.	702.70	750.80	705.20
	WSSD	Peso de la Briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1245.82	1309.53	1246.75
	Gmb	Gravedad Específica Bulk del espécimen	gr/cm3	2.281	2.332	2.292
	Gmm	Gravedad Específica Máxima Rice	gr/cm3	2.373	2.373	2.373

Nota. Elaboración propia 2023.

Tabla 20 Datos de Gravedad Especifica Bulk y Gravedad Máxima Rice

	PARÁMETRO	UNIDAD	ASFALTO AL 7.5%			
			P10	P11	P12	
DATOS DE LAS BRIQUETAS	WD	Peso de la Briqueta al aire	gr.	1257.34	1132.50	1425.34
	WSUB	Peso de la Briqueta sumergido	gr.	713.40	646.60	658.10
	WSSD	Peso de la Briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1273.24	1148.66	1289.51
	Gmb	Gravedad Específica Bulk del espécimen	gr/cm3	2.246	2.256	2.257
	Gmm	Gravedad Específica Máxima Rice	gr/cm3	2.362	2.362	2.362

Nota. Elaboración propia 2023.

Tabla 21 Datos de Gravedad Especifica Bulk y Gravedad Máxima Rice

	PARÁMETRO	UNIDA D	ASFALTO AL 8%			
			P13	P14	P15	
DATOS DE LAS BRIQUETAS	WD	Peso de la Briqueta al aire	gr.	1301.7 3	1272.1 5	1281.9 3
	WSU B	Peso de la Briqueta sumergido	gr.	708.70	705.20	703.70
	WSSD	Peso de la Briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1305.1 6	1277.8 5	1287.4 7
	Gmb	Gravedad Específica Bulk del espécimen	gr/cm3	2.182	2.222	2.196
	Gmm	Gravedad Específica Máxima Rice	gr/cm3	2.324	2.324	2.324

Nota. Elaboración propia 2023.

"RESULTADOS DEL DISEÑO SMA - MÉTODO MARSHALL"							
Norma Nacional MTC E 504 e Internacional ASTM D 1559							
PARÁMETRO	UND	PORCENTAJE DE ASFALTO					ESPECIFICACIÓN
		6.00%	6.50%	7.00%	7.50%	8.00%	
Densidad	%	2.229	2.250	2.302	2.253	2.200	
Vacios en el total de la mezcla, VTM	%	7.966	5.795	3.013	4.632	5.340	2% - 4%
Vacios en el agregado mineral, VMA	%	18.663	18.330	16.899	19.103	21.434	Mínimo 17.00
Vacios llenos con asfalto, VFA	%	57.319	68.437	82.395	75.761	75.157	70.00 - 80.00
ESTABILIDAD	kN	15.019	20.310	17.543	12.127	13.603	Mínimo 6.2 Kn
FLUJO	mm	4.28	4.14	2.95	2.61	3.11	-
RELACION ESTABILIDAD/FLUJO	kg/cm	3622.02	5162.48	6191.92	4693.05	4549.71	-
RELACION POLVO/ASFALTO	kg/cm	1.75	1.53	1.41	1.33	1.17	-
Número de golpes de Compactación	n°			50			50
Tiempo de Inmersión en Baño María	min			30			30 - 40
Temperatura de Inmersión en Baño María	°C			60			60° ± 1°

Figura 43 Resultados del Diseño Marshall

Nota. Elaboración propia 2023.

"MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO"	
Obtención del Contenido Óptimo de Asfalto	
CONSIDERACIONES	%CA
PICO DE LA CURVA DE ESTABILIDAD	6.62%
PICO DE LA CURVA DE PESO UNITARIO	6.92%
4% VOLUMEN TOTAL DE LA MEZCLA	
%CA PROMEDIO	6.77%

Tabla 22 Determinación del Contenido Optimo de Asfalto Método del Instituto de Asfalto en MS-2

Nota. Elaboración Propia 2023.

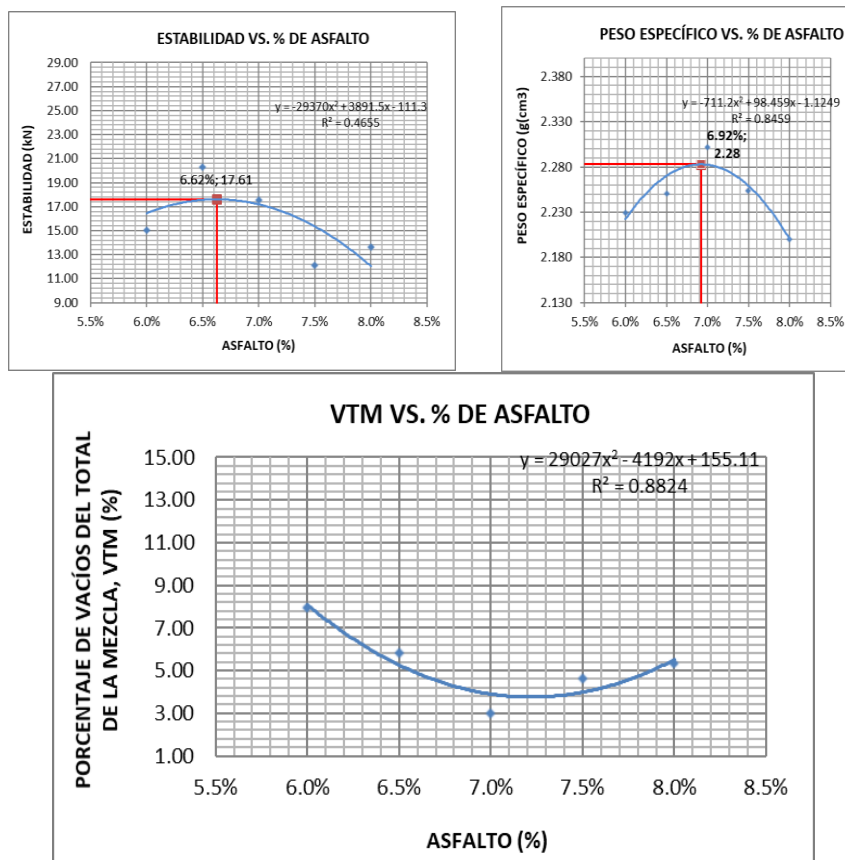


Figura 44 Gráficos de tablas de Porcentajes de Asfalto

Nota. Elaboración propia 2023.

"RESULTADOS DEL DISEÑO SMA - MÉTODO MARSHALL"						
Norma Nacional MTC E 504 e Internacional ASTM D 1559						
PARÁMETRO	UND	PORCENTAJE DE ASFALTO			ESPECIFICACIÓN	CONDICIÓN
		6.70%	6.90%	7.10%		
Vacios en el total de la mezcla, VTM	%	4.68	3.57	2.46	2% - 4%	CUMPLE
Vacios en el agregado mineral, VMA	%	17.76	17.19	16.61	Mínimo 17.00	CUMPLE
Vacios llenos con asfalto, VFA	%	74.02	79.60	85.19	70.00 - 80.00	CUMPLE
ESTABILIDAD	kN	19.20	18.10	16.99	Mínimo 6.2 Kn	CUMPLE
FLUJO	mm	3.66	3.19	2.71	2.00 - 4.00	>3000m.s.n.m.
RELACION ESTABILIDAD/FLUJO	kg/cm	5240.13	5680.06	6275.55	1700 - 4000	CUMPLE
RELACION POLVO/ASFALTO	-	0.90	0.85	0.81	0.6 - 1.3	CUMPLE
Número de golpes de Compactación	n°		75		75	CUMPLE
Tiempo de Inmersión en Baño María	min		30		30 - 40	CUMPLE
Temperatura de Inmersión en Baño María	°C		60		60° ± 1°	CUMPLE

Figura 45 Resultados de Contenido Optimo de Asfalto para Diseño SMA
Nota. Elaboración propia 2023.

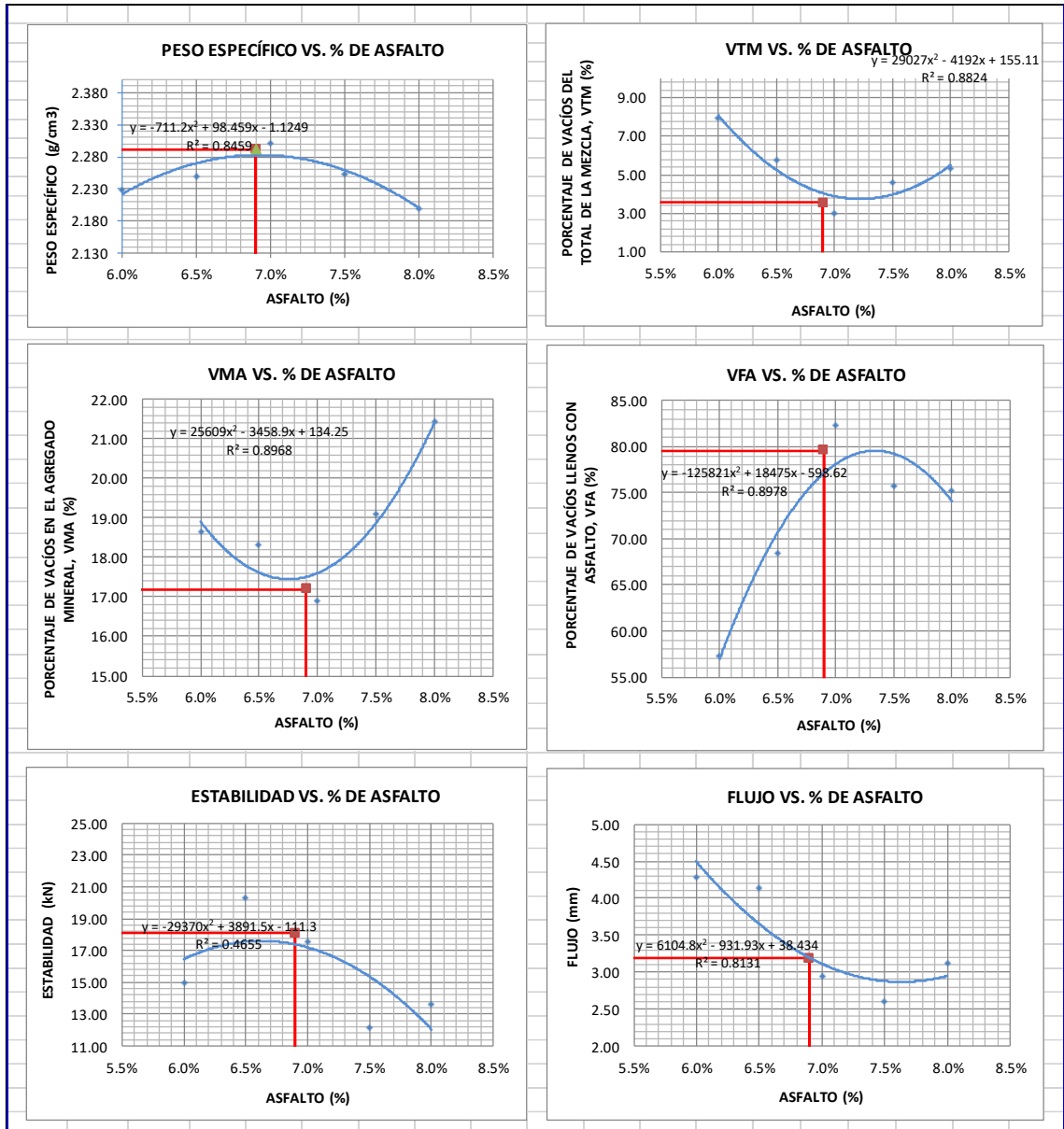


Figura 46 Resultado Contenido Optimo de Asfalto

Nota. Elaboración propia 2023.

Una vez obtenido el porcentaje optimo del asfalto al 6.9 % de cemento asfáltico BETUTEC PG 70-28, se procede a realizar las proporciones de

los materiales, así mismo el desarrollo de los objetivos planteados en la presente investigación.

Tabla 23 SMA (Patrón) Proporciones para el Diseño Marshall.

AGREGADOS PETREOS	PROPORCIONES (%)	PESO DEL MATERIAL (Gr.)
Piedra Chancada 3/4	17	204
Piedra Chancada 1/2	58	696
Arena Gruesa	15	180
filler	10	120
Fibra Celulsa	0.03	3.6
TOTAL		1203.6

Nota. Elaboración propia 2023.

Tabla 24 SMA (Patrón + 6 PET) Proporciones para el Diseño Marshall

AGREGADOS PETREOS	PROPORCIONES (%)	PESO DEL MATERIAL (Gr.)
Piedra Chancada 3/4	17	204
Piedra Chancada 1/2	58	696
Arena Gruesa	15	180
filler	10	120
Fibra Celulsa	0.03	3.6
Aditivo PET	6	72
TOTAL		1275.6

Nota. Elaboración propia 2023.

Tabla 25 SMA (Patrón + 6 PET + 8NS) Proporciones para el Diseño Marshall

AGREGADOS PETREOS	PROPORCIONES (%)	PESO DEL MATERIAL (Gr.)
Piedra Chancada 3/4	17	204
Piedra Chancada 1/2	58	696
Arena Gruesa	15	180
filler	10	120
Fibra Celulsa	0.03	3.6
Aditivo PET	6	72
Aditivo NS	8	96
TOTAL		1371.6

Nota. Elaboración propia 2023.

Tabla 26 SMA (Patrón + 6 PET + 9NS) Proporciones para el Diseño Marshall

AGREGADOS PETREOS	PROPORCIONES (%)	PESO DEL MATERIAL (Gr.)
------------------------------	-----------------------------	------------------------------------

Piedra Chancada 3/4	17	204
Piedra Chancada 1/2	58	696
Arena Gruesa	15	180
filler	10	120
Fibra Celulsa	0.03	3.6
Aditivo PET	6	72
Aditivo NS	9	108
TOTAL		1383.6

Nota. Elaboración propia 2023.

Tabla 27 SMA (Patrón + 6 PET + 10NS) Proporciones para el Diseño Marshall.

AGREGADOS PETREOS	PROPORCIONES (%)	PESO DEL MATERIAL (Gr.)
Piedra Chancada 3/4	17	204
Piedra Chancada 1/2	58	696
Arena Gruesa	15	180
filler	10	120
Fibra Celulsa	0.03	3.6
Aditivo PET	6	72
Aditivo NS	10	120
TOTAL		1395.6

Nota. Elaboración propia 2023.

Tabla 28 Resumen de Dosificaciones y diseño de Mezcla Asfáltica SMA.

DISEÑO DE MEZCLAS – PESO TOTAL DEL MOLDE 1200 gr								
Tipo de diseño SMA	Cemento Asfáltico COA 6.9%	Piedra Chancada 3/4	Piedra Chancada 1/2	Arena Gruesa	Filler	Fibra Celulosa papel bond	Aditivo PET	Aditivo Nano Silice
Patrón	83.00 gr	204.00 gr	696.00 gr	180.00 gr	120 gr	3.6 gr	-	-
6% PET	83.00 gr	204.00 gr	696.00 gr	180.00 gr	120 gr	3.6 gr	72 gr	-
6% PET + 8%NS	83.00 gr	204.00 gr	696.00 gr	180.00 gr	120 gr	3.6 gr	72 gr	96 gr
6% PET + 9%NS	83.00 gr	204.00 gr	696.00 gr	180.00 gr	120gr	3.6 gr	72 gr	108 gr
6% PET + 10%NS	83.00 gr	204.00 gr	696.00 gr	180.00gr	120 gr	3.6 gr	72 gr	120 gr

Nota. Elaboración Propia

Desarrollo de Objetivo Específico 1, determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en la **estabilidad** de las mezclas asfálticas masilla de piedra, según norma MTC E 504.

Se inicia con el pesado y calentado en el horno de los agregados pétreos y cemento asfáltico hasta llegar a una temperatura controlada de 130 °C a 140°C, así mismo se realiza el pesado de los aditivos PET y NS.



Figura 47 Preparación de Especímenes de SMA

Nota. Elaboración propia 2023.



Figura 48 Preparación de la SMA Hasta Lograr una Mezcla Homogénea

Nota. Elaboración propia 2023.

Posteriormente se procede a verter la mezcla asfáltica al molde Marshall, para chusear vigorosamente con una espátula calentada, 15 veces alrededor del molde y 10 veces en el interior, en seguida se ejecuta el compactado con el martillo compactador, programando 50 golpes por cada cara, por tratarse de una mezcla de tipo SMA, para no ocasionar fracturas en los agregados gruesos, una vez enfriado el molde finalmente se extrae los moldes.



Figura 49 Preparación de la SMA Mezcla Patrón

Nota. Elaboración propia 2023.

De la misma forma se ejecutan los moldes adicionando los aditivos PET y NS en proporciones antes mencionados, así de esa forma obtener datos, con el uso del vernier la determinación de diámetros, alturas y por último la gravedad específica bulk y gravedad específica rice.



Figura 50 Pesos de los Aditivos Como Adición a la SMA

Nota. Elaboración propia 2023.

Finalmente se realiza el ensayo resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall para obtener los valores de estabilidad Marshall, la cual comprende la máxima resistencia a la deformación a una

razón constante de carga, aplicados a todos los especímenes, mezclas asfálticas SMA patrón y mezclas asfálticas SMA modificados con PET y NS.



Figura 51 Ensayo Marshall para la Obtención de la Estabilidad

Nota. Elaboración propia 2023.

Desarrollo de Objetivo Específico 2, determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el **flujo** de las mezclas asfálticas masilla de piedra, según norma MTC E 504.

Se ejecuta el procedimiento del ensayo resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, para conocer el flujo Marshall que es la medida de la deformación de dichos especímenes.



Figura 52 Elaboración de Briquetas para la Obtención del Flujo Marshall

Nota. Elaboración propia 2023.



Figura 53 Ensayo Resistencia de Mezclas Bituminosas Flujo Marshall

Nota. Elaboración propia 2023.

Por último se obtiene los datos del flujo Marshall de las mezclas asfálticas SMA patrón y mezclas asfálticas SMA modificados con PET y NS.



Figura 54 Obtención de Resultados Flujo Marshall

Nota. Elaboración propia 2023.

Desarrollo de Objetivo Específico 3, determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el **porcentaje de vacíos** de las mezclas asfálticas masilla de piedra, según norma MTC E 505.

Para ello se ejecuta el ensayo porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas, a partir de su peso seco y su

volumen, así mismo se determina el peso específico teórico máximo mediante la norma MTC E 508.



Figura 55 Determinación de Peso Específico Bulk

Nota. Peso al aire, peso sumergido y peso superficialmente seco de los especímenes elaboración propia 2023.



Figura 56 Determinación del Peso Específico Rice

Nota. Peso de la muestra no compactada, peso sumergido sin aire y peso del recipiente más agua de los especímenes elaboración propia 2023.

La información recopilada de cada ensayo será procesada y analizada. Se llevará a cabo una comparación entre los datos obtenidos de la mezcla asfáltica modificada y aquellos de las mezclas convencionales con el objetivo de identificar mejoras o cambios significativos en las propiedades.

Estos resultados se presentarán de manera visual mediante gráficos y tablas para facilitar su comprensión.

Interpretación de Resultados: Se llevará a cabo la interpretación de los resultados de los ensayos con el fin de determinar la influencia de la adición de masilla de piedra modificada con PET y nano sílice en el rendimiento de la mezcla asfáltica. Se realizará un análisis detallado de las propiedades físicas y mecánicas, con el objetivo de extraer conclusiones sobre la mejora observada en la durabilidad, resistencia y comportamiento general de las mezclas.

3.6. Método de análisis de datos

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación se basa en el método inductivo, ya que busca demostrar sus resultados mediante la observación de hechos y fenómenos. Se centra en la adición de PET y Nanosílice para analizar cómo estos materiales influyen en las propiedades mecánicas. Además, se considera que este enfoque busca generar nuevo conocimiento en el ámbito de las propiedades mecánicas del pavimento a través de la experimentación y la observación de los efectos de la adición de estos materiales.

3.7. Aspectos éticos

Según Hernández y Mendoza (2018) la ética se centra en el análisis y la reflexión sobre la moral profesional. En este contexto, el investigador se compromete a mantener la transparencia en sus resultados y en todo el proceso de investigación, evitando deliberadamente cualquier alteración o tergiversación de la información. Con el propósito de asegurar este principio, se ha incorporado a una persona evaluadora cuya responsabilidad es garantizar la integridad y objetividad en la presentación de los resultados. Esta medida contribuye a fortalecer la credibilidad y confiabilidad de la investigación.

El desarrollo de la presente indagación se ejecutará utilizando normas MTC, ASTM, AASHTO y la norma ISO 690 para la redacción de tesis, por ende también se considera el uso del sistema anti plagio turnitin, así mismo durante el proceso de ejecución de la presente investigación el suscrito realizo el curso conducta responsable en investigador CRI-Concytec.

PERFIL

JUVENAL CONYA ASCUE



Calificación, Clasificación y Registro de Investigadores
[Solicitar Incorporación](#)



Figura 57 *Certificado de Conducta Responsable en Investigación*

Nota. Aprobación del curso de conducta responsable en investigación.

Fuente Concytec

IV.RESULTADOS

De los resultados obtenidos en laboratorio logramos obtener los siguientes resultados:

Tabla 29. Resultados para obtener la muestra patrón

% asfalto BETUTEC IB PG 70-28	Muestras	6.00%	6.50%	6.90%	7.50%	8.00%
Estabilidad	Patrón	15.02	20.31	17.54	12.13	13.6
Flujo	Patrón	4.28	4.14	2.95	2.61	3.11
% de vacíos	Patrón	7.97	5.8	3.01	4.63	5.34
Densidad	Patrón	2.23	2.25	2.3	2.25	2.2
V.M.A.	Patrón	18.66	18.33	16.9	19.1	21.43

En la tabla se mostró los datos obtenidos del laboratorio de la estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos, densidad y VMA.

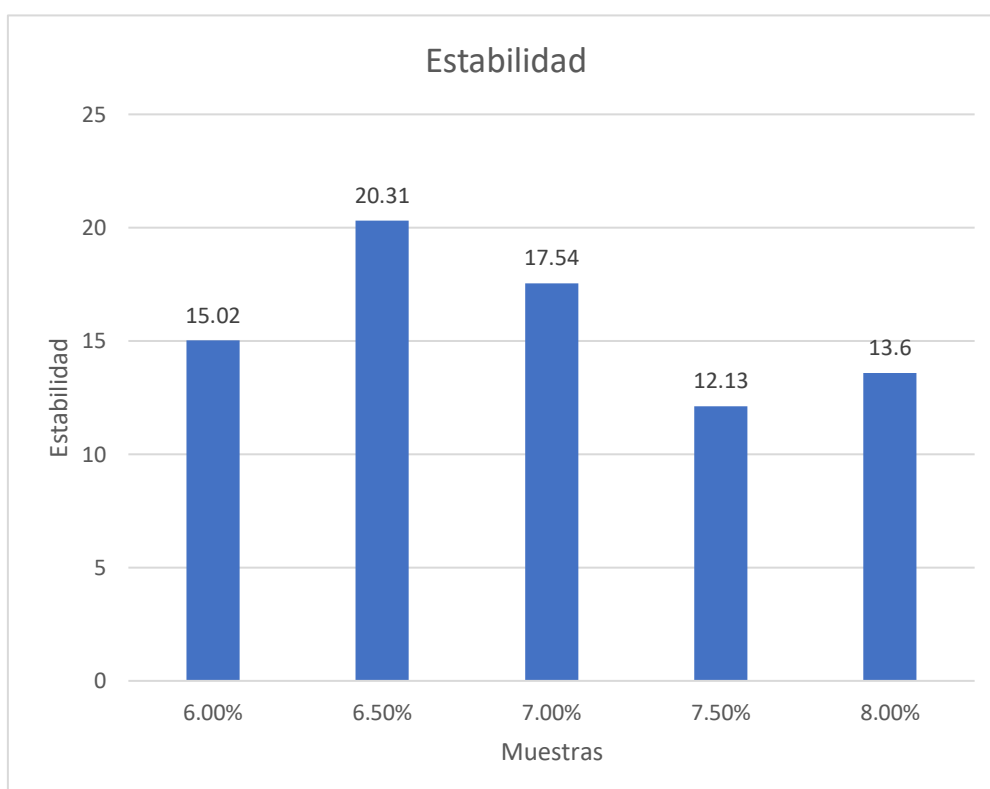


Figura 58. Estabilidad de la muestra patrón

Se logra apreciar que la estabilidad mayor viene ser del 6.50% de porcentaje de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 con valor de 20.31% y el menor valor viene a ser con 7.50% de asfalto con valor de 12.13%.

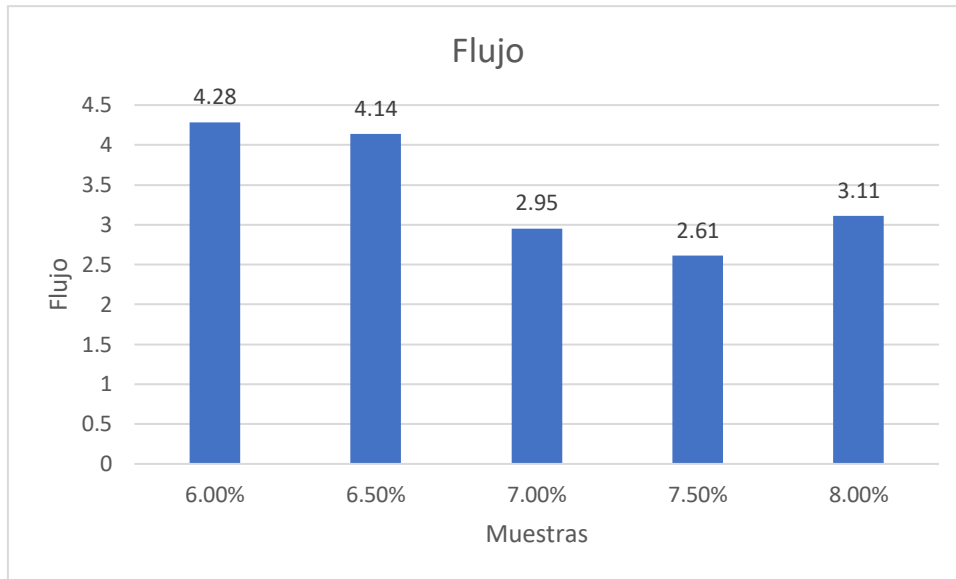


Figura 59. *Flujo de la muestra*

Se logra apreciar en la figura que el valor de flujo del 6.00% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 4.28 mm (mayor valor), de 6.5% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 4.14 mm, de 6.9% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 2.95 mm, de 7.5% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 2.61 mm (menor valor) y de 8.00% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 3.11 mm.

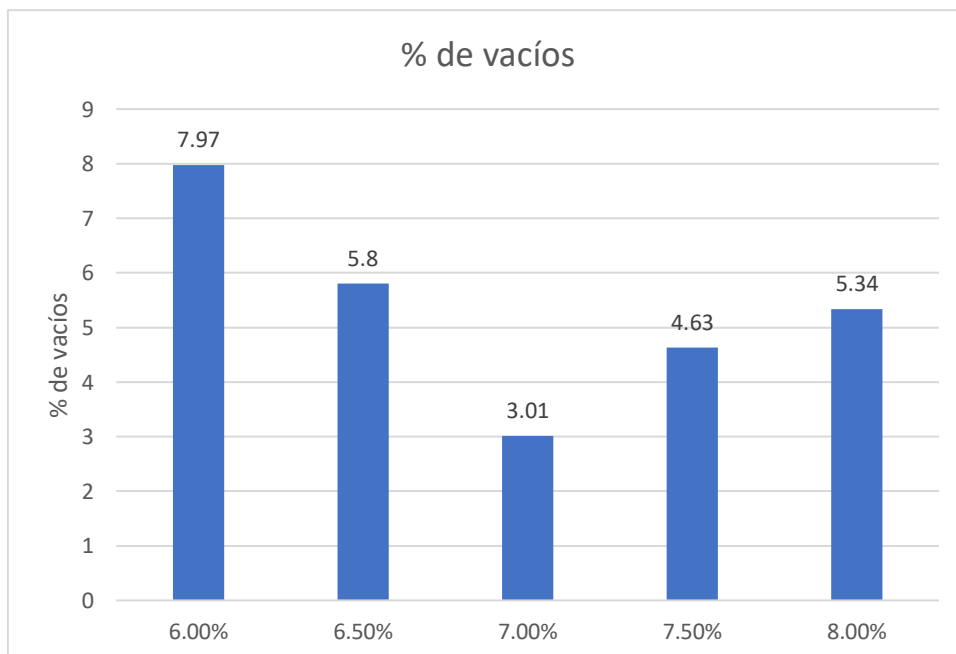


Figura 60. *Porcentaje de vacíos de la muestra patrón*

Se logra apreciar en la figura que el valor de porcentaje de vacíos del 6.00% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 7.97 (mayor valor), de 6.5% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 5.8, de 6.9% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 3.01 (menor valor), de 7.5% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 4.63 y de 8.00% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 5.34.

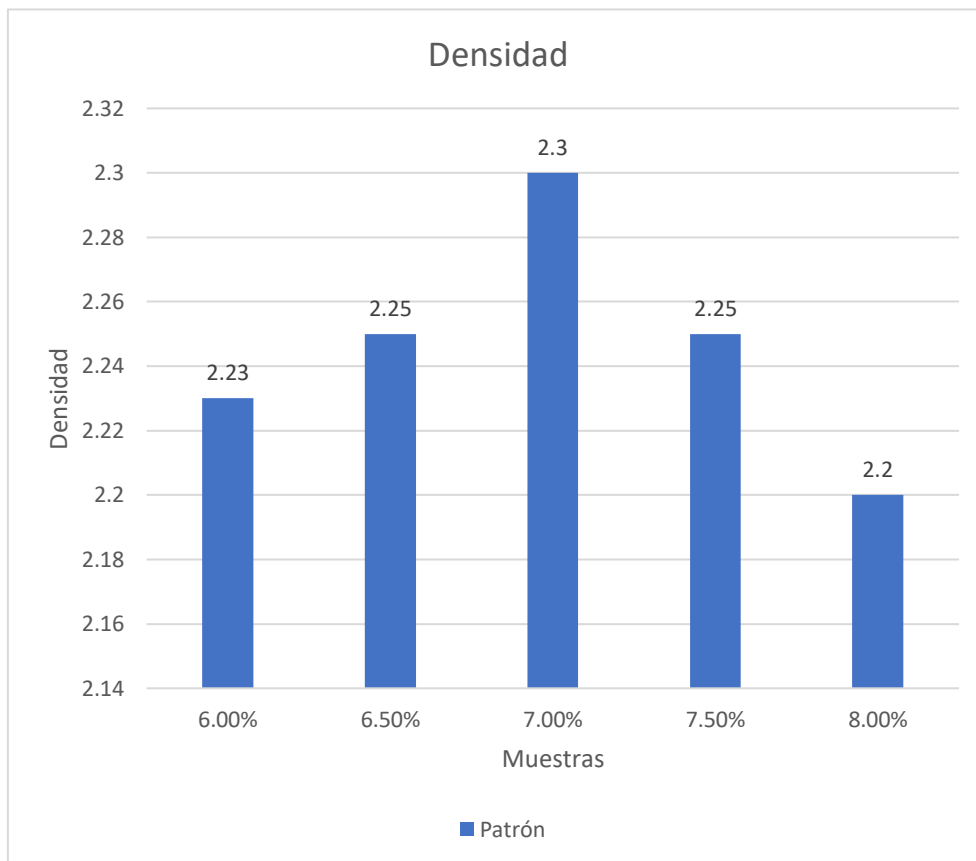


Figura 61. *Densidad de la muestra patrón*

Se logra apreciar en la figura que el valor de la densidad del 6.00% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 2.23 Gmb, de 6.5% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 2.25 Gmb, de 6.9% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 2.30 Gmb (mayor valor), de 7.5% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 2.25 Gmb y de 8.00% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 2.20 Gmb (menor valor).

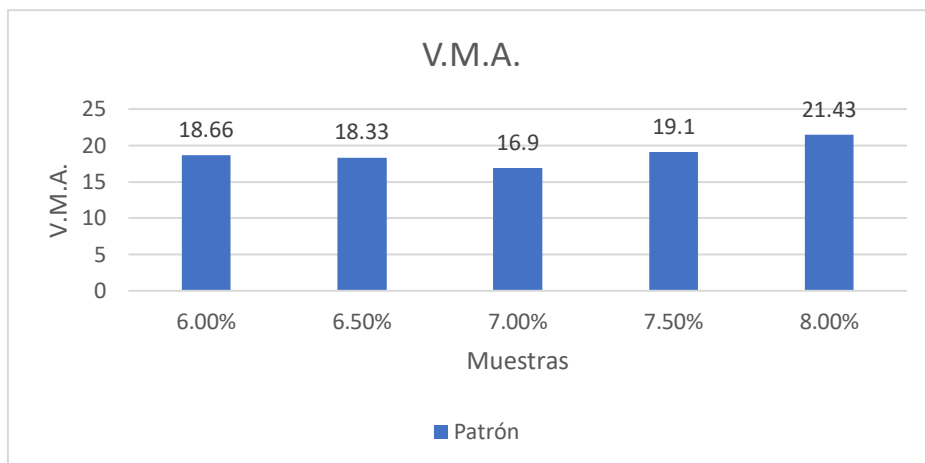


Figura 62. V.M.A de la muestra patrón

Se logra apreciar en la figura que el valor de vacíos de agregado mineral del 6.00% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 18.66%, de 6.5% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 18.33%, de 7.0% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 16.90% (menor valor), de 7.5% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 19.1% y de 8.00% de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 obtuvo un valor de 21.43% (mayor valor).

RESULTADOS CON LAS DOSIFICACIONES

El valor óptimo para la dosificación fue con 6.50% de porcentaje de asfalto BETUTEC IB PG 70-28.

PRIMERA DOSIFICACIÓN

Tabla 30. Dosificación con 6% de PET

% asfalto BETUTEC IB PG 70-28	Muestras	6.90%
Estabilidad (kN)	Patrón	12.87
	6% de PET	26.24
Flujo (mm)	Patrón	8.94
	6% de PET	6.02
% de vacíos (%)	Patrón	5.4
	6% de PET	4.78
Densidad (%)	Patrón	2.3
	6% de PET	2.25
V.M.A. (%)	Patrón	17
	6% de PET	18.9

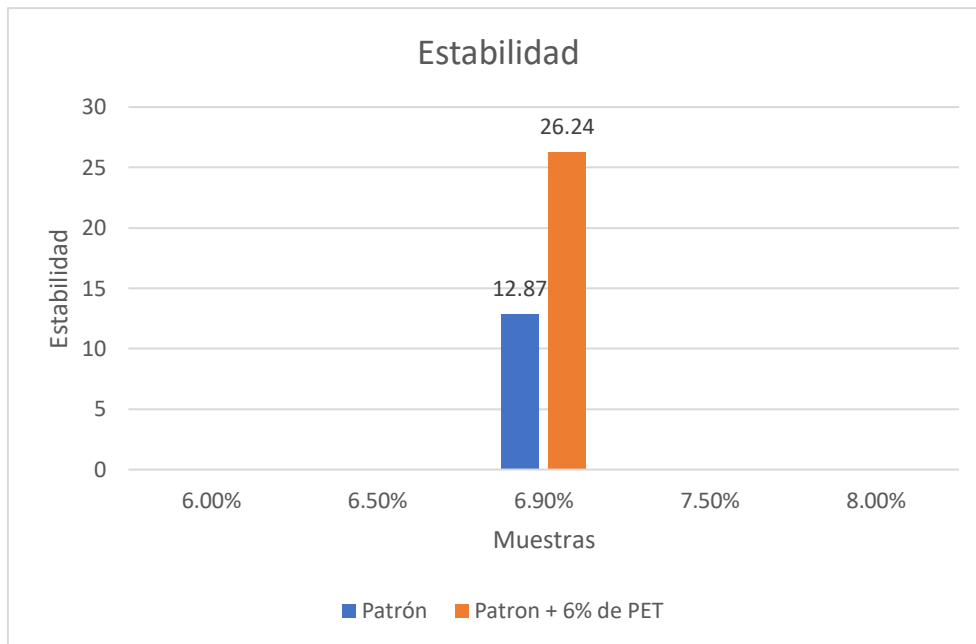


Figura 63. Estabilidad con 6% de PET

De la primera dosificación se logra apreciar que se obtuvo una estabilidad de 12.87 kN y con la dosificación un valor de 26.24 kN.

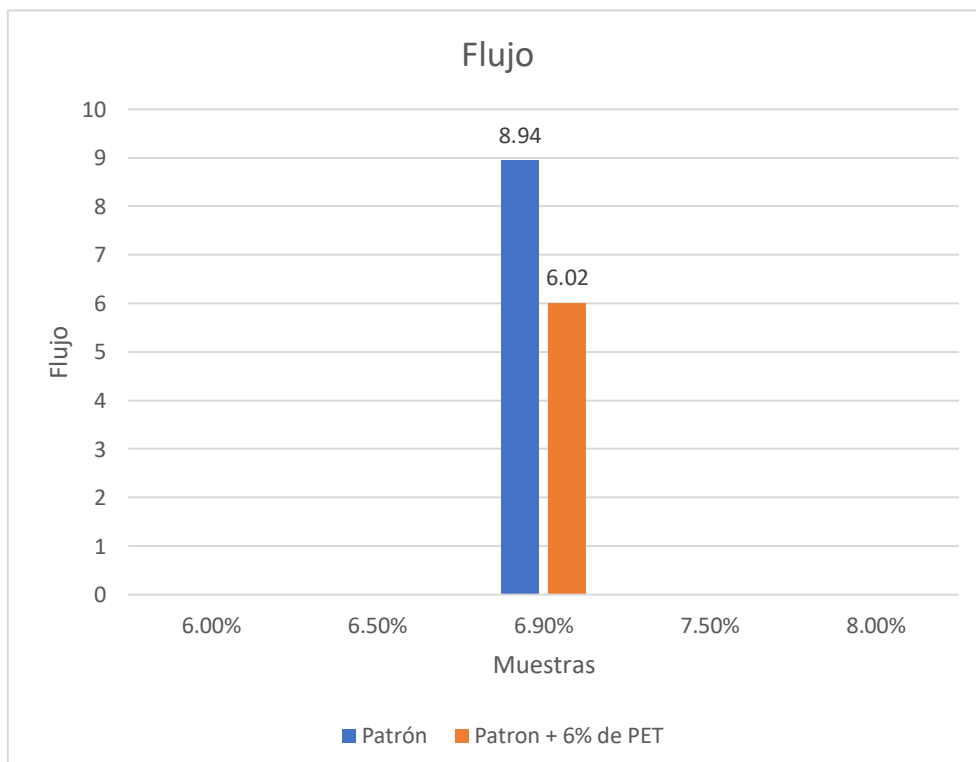


Figura 64. Flujo con 6% de PET

De la primera dosificación se logra apreciar que se obtuvo un flujo de 8.94 mm y con la dosificación un valor de 6.02 mm.

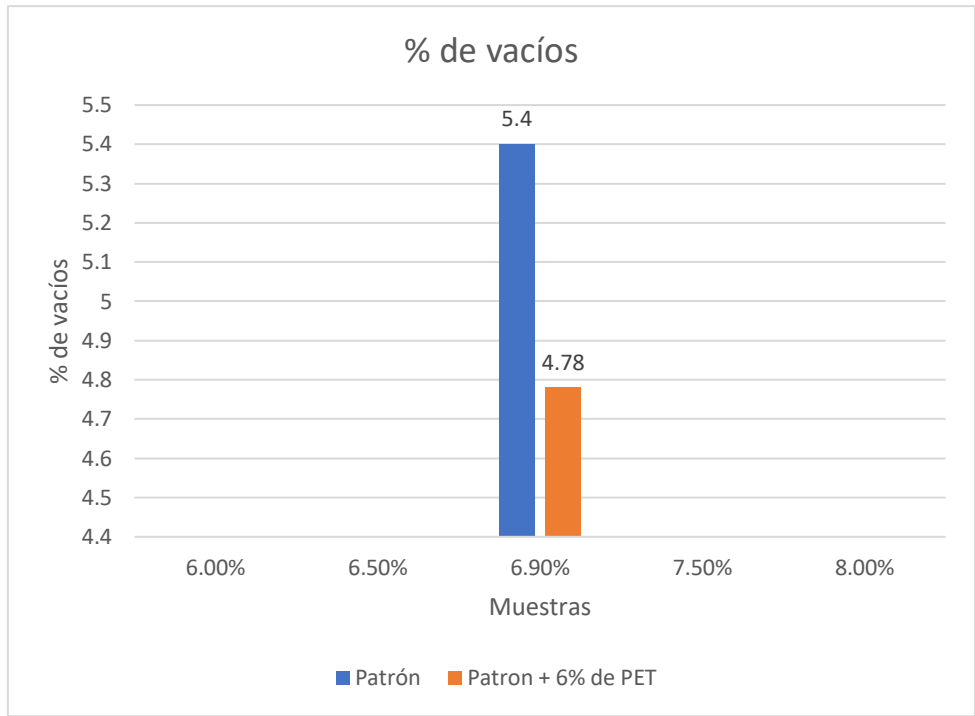


Figura 65. Porcentaje con 6% de PET

De la primera dosificación se logra apreciar que se obtuvo un porcentaje de vacíos de 5.40 % y con la dosificación un valor de 4.78%.

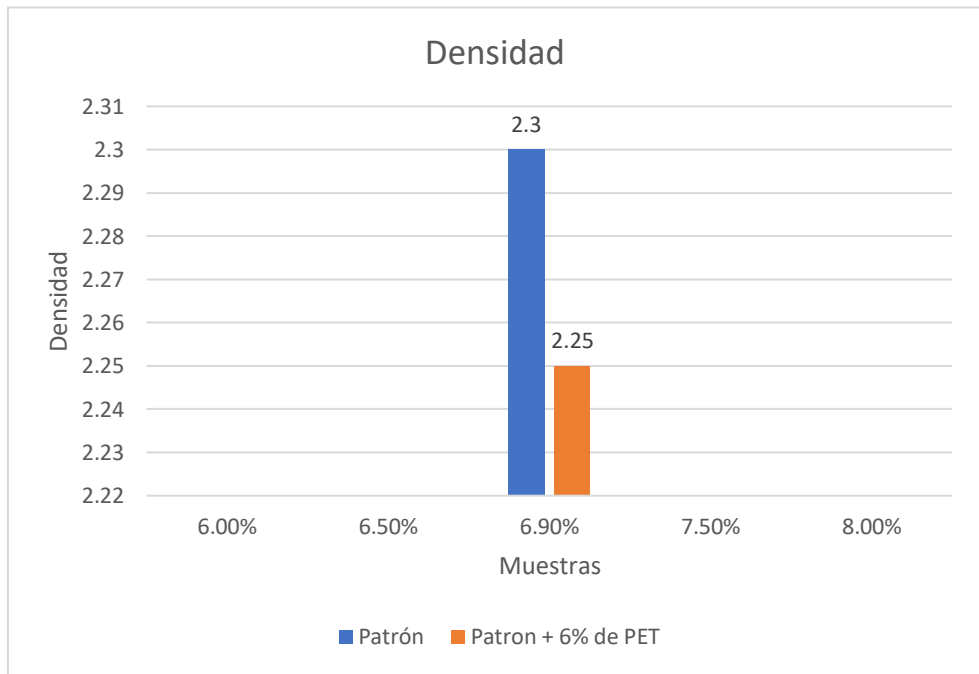


Figura 66. Densidad con 6% de PET

De la primera dosificación se logra apreciar que se obtuvo una densidad de 2.3% y con la dosificación un valor de 2.25%.

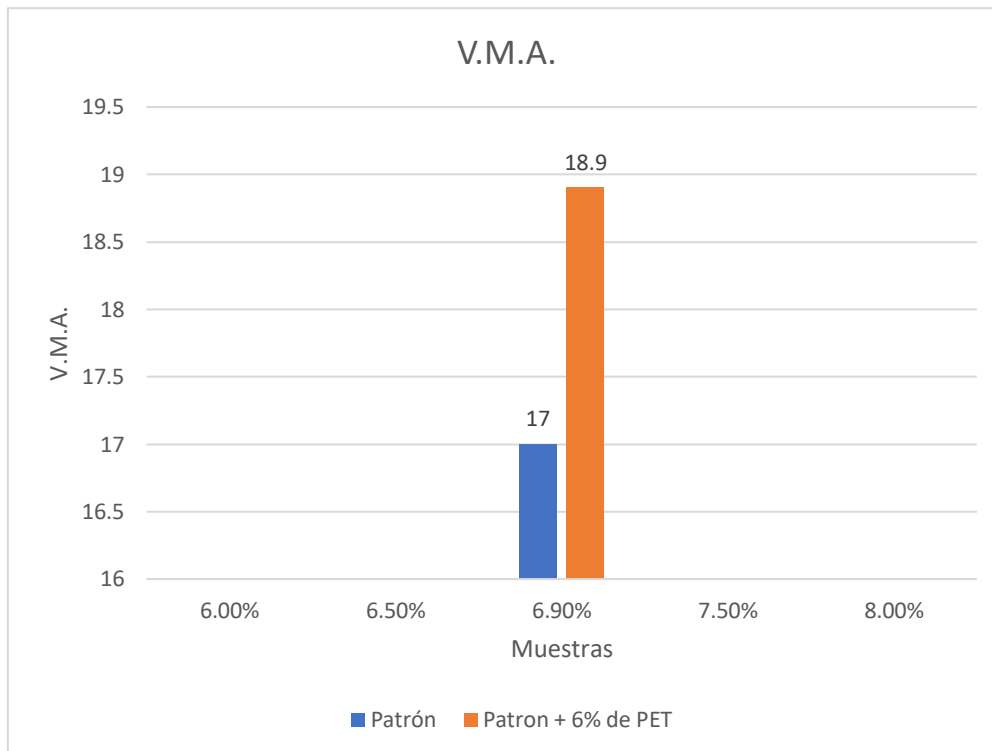


Figura 67. VMA con 6% de PET

De la primera dosificación se logra apreciar que se obtuvo VMA de 17% y con la dosificación un valor de 18.9%.

SEGUNDA DOSIFICACIÓN

Tabla 31. Dosificación con 6% de PET + 8%NS

% asfalto BETUTEC IB PG 70-28	Muestras	6.90%
Estabilidad (kN)	Patrón	12.87
	6% de PET + 8%NS	26.86
Flujo (mm)	Patrón	8.94
	6% de PET + 8%NS	8.78
% de vacíos (%)	Patrón	5.4
	6% de PET + 8%NS	3.6
Densidad (%)	Patrón	2.3
	6% de PET + 8%NS	2.13
V.M.A. (%)	Patrón	17
	6% de PET + 8%NS	23.1

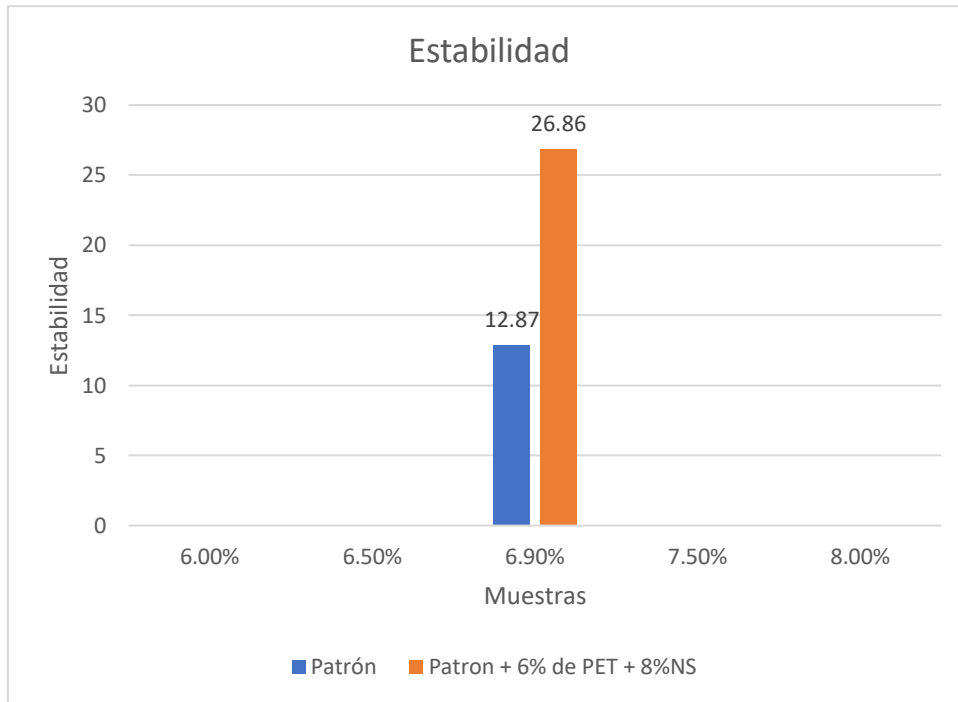


Figura 68. Estabilidad con 6% de PET + 8%NS

De la segunda dosificación se logra apreciar que se obtuvo una estabilidad de 12.87 kN y con la dosificación un valor de 26.86 kN.

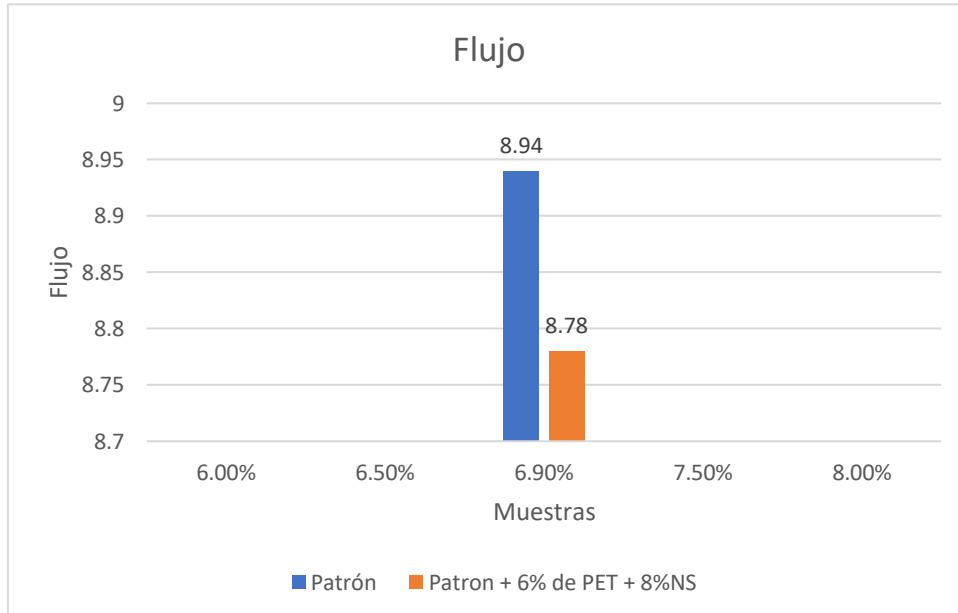


Figura 69. Flujo con 6% de PET + 8%NS

De la segunda dosificación se logra apreciar que se obtuvo un flujo de 8.94 mm y con la dosificación un valor de 8.78 mm.

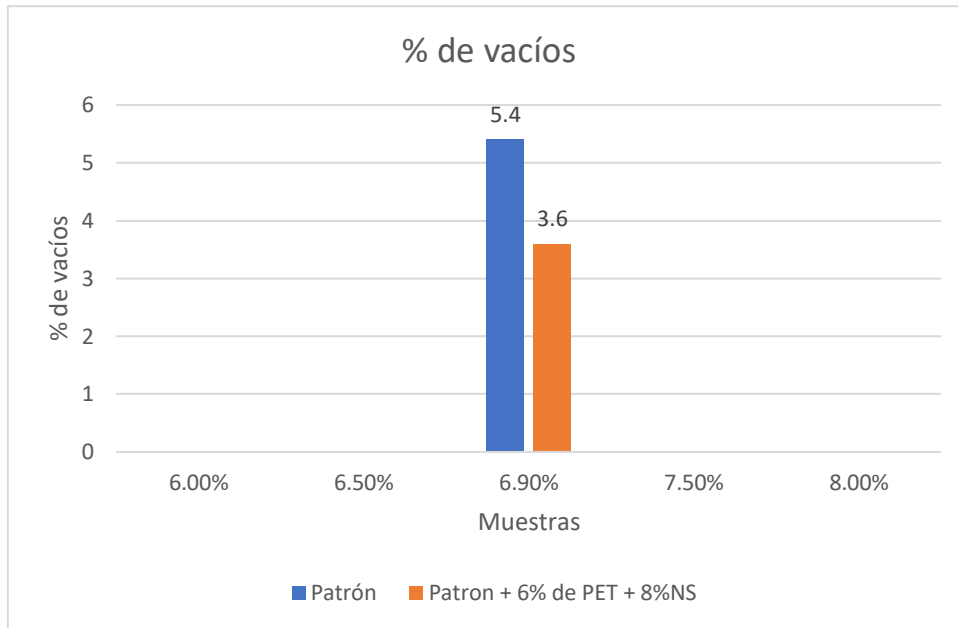


Figura 70. Porcentaje con 6% de PET + 8%NS

De la segunda dosificación se logra apreciar que se obtuvo un porcentaje de vacíos de 5.4 % y con la dosificación un valor de 3.6%.

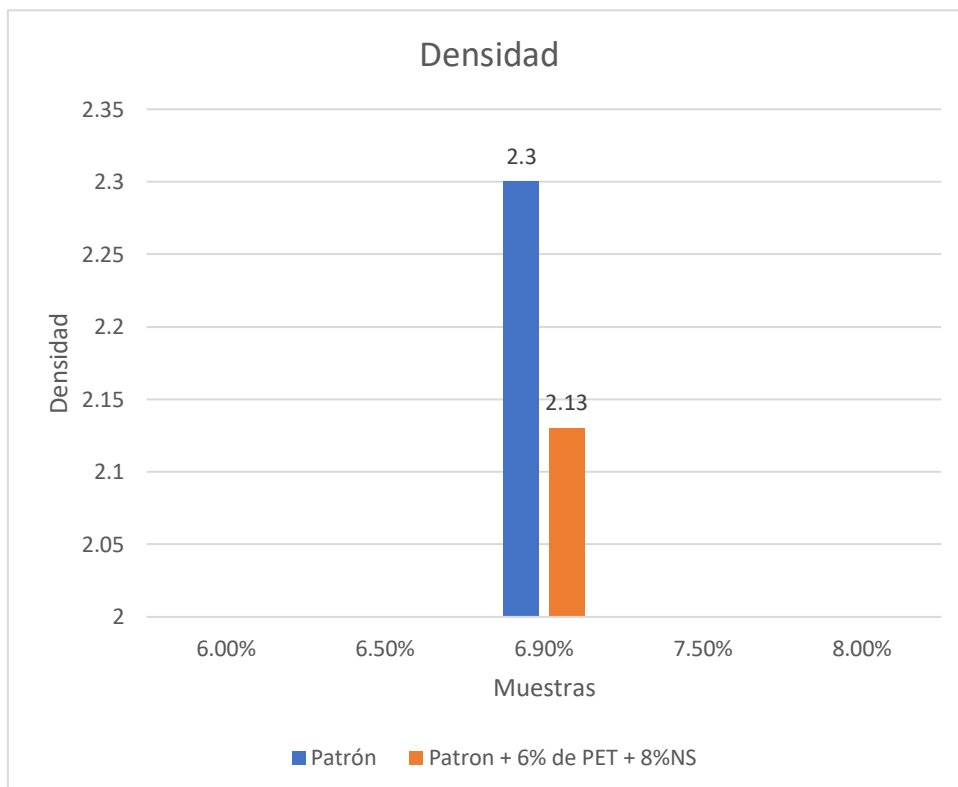


Figura 71. Densidad con 6% de PET + 8%NS

De la segunda dosificación se logra apreciar que se obtuvo una densidad de 2.30 % y con la dosificación un valor de 2.13%.

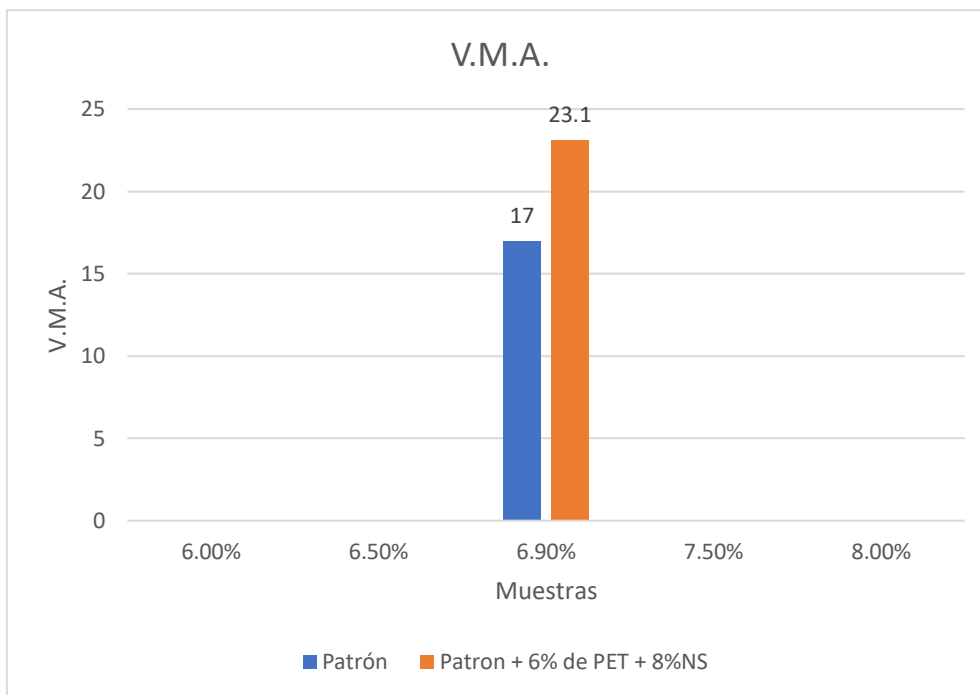


Figura 72. VMA con 6% de PET + 8%NS

De la segunda dosificación se logra apreciar que se obtuvo VMA de 17% y con la dosificación un valor de 23.1%.

TERCERA DOSIFICACIÓN

Tabla 32. Dosificación con 6% de PET + 9%NS

% asfalto BETUTEC IB PG 70-28	Muestras	6.90%
Estabilidad (kN)	Patrón	12.87
	6% de PET + 9%NS	29
Flujo (mm)	Patrón	8.94
	6% de PET + 9%NS	4.68
% de vacíos (%)	Patrón	5.4
	6% de PET + 9%NS	2.31
Densidad (%)	Patrón	2.3
	6% de PET + 9%NS	2.19
V.M.A. (%)	Patrón	17
	6% de PET + 9%NS	20.9

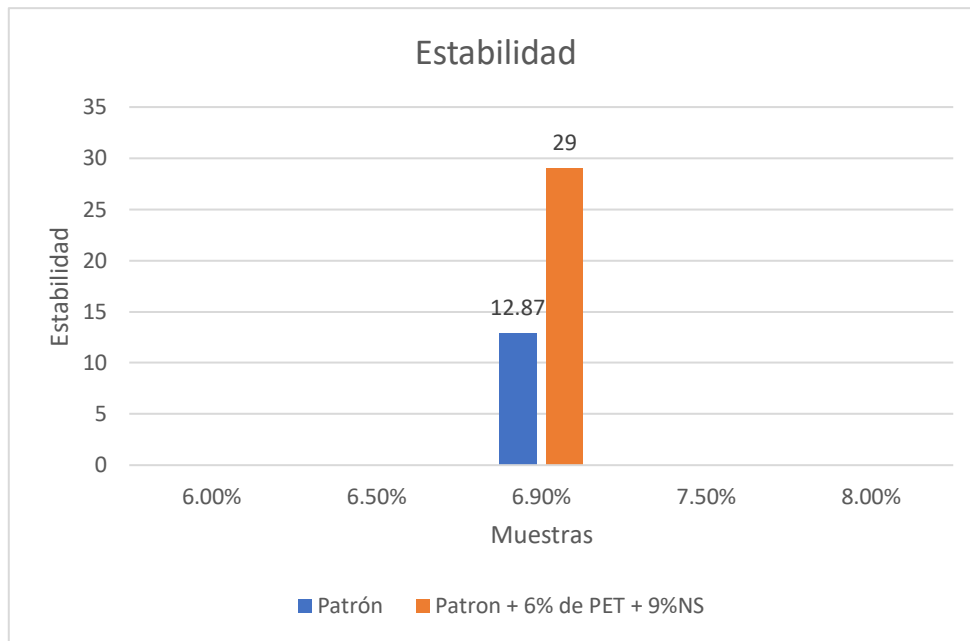


Figura 73. Estabilidad con 6% de PET + 9%NS

De la tercera dosificación se logra apreciar que se obtuvo una estabilidad de 12.87 kN y con la dosificación un valor de 29.00 kN.

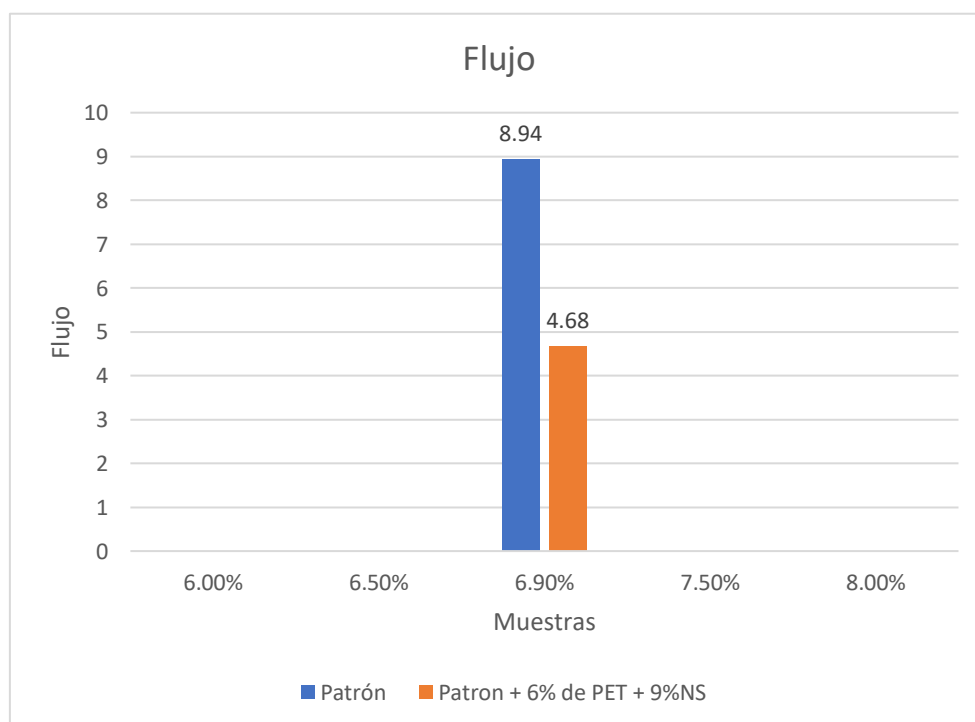


Figura 74. Flujo con 6% de PET + 9%NS

De la tercera dosificación se logra apreciar que se obtuvo un flujo de 8.94 mm y con la dosificación un valor de 4.68 mm.

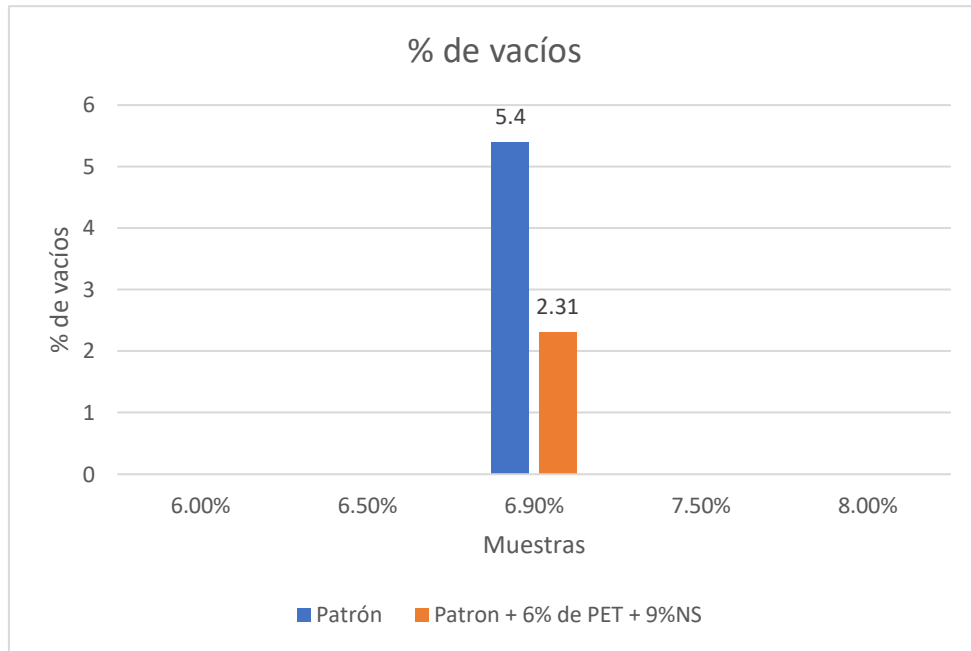


Figura 75. Porcentaje con 6% de PET + 9%NS

De la tercera dosificación se logra apreciar que se obtuvo un porcentaje de vacíos de 5.4 % y con la dosificación un valor de 2.31%.

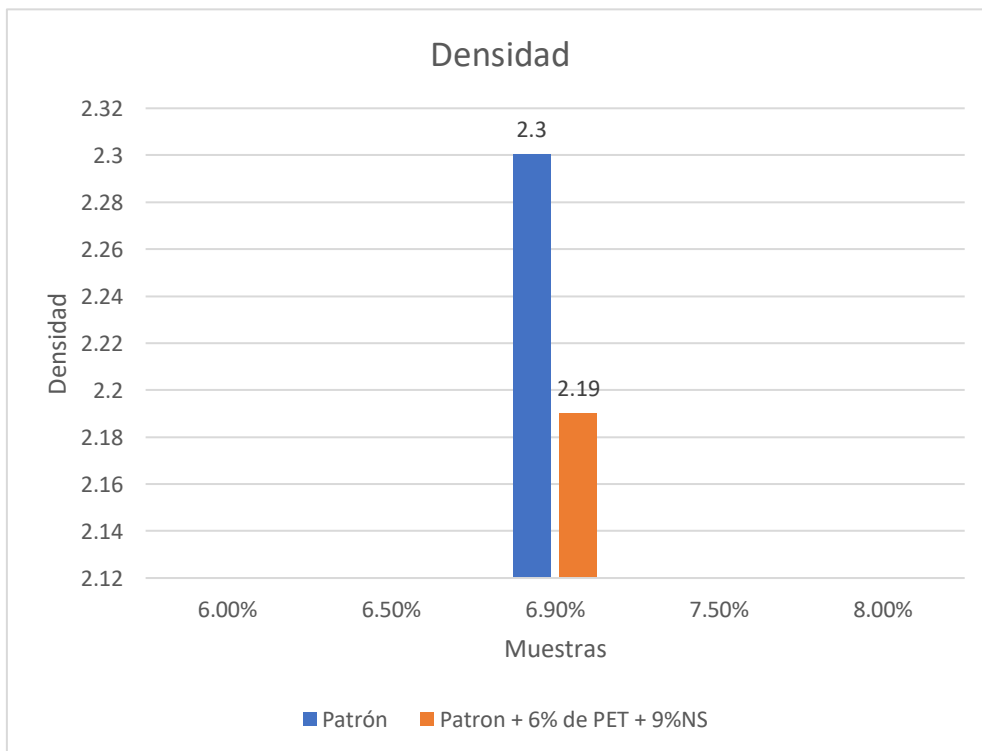


Figura 76. Densidad con 6% de PET + 9%NS

De la tercera dosificación se logra apreciar que se obtuvo una densidad de 2.30 % y con la dosificación un valor de 2.19%.

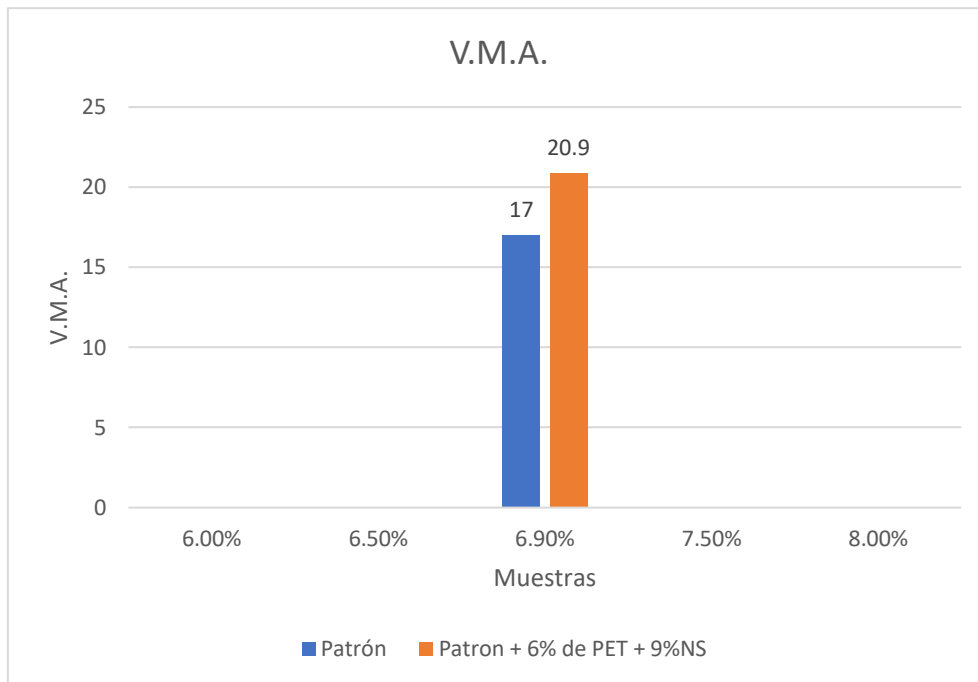


Figura 77. VMA con 6% de PET + 9%NS

De la tercera dosificación se logra apreciar que se obtuvo VMA de 17% y con la dosificación un valor de 20.9%.

CUARTA DOSIFICACION

Tabla 33. Dosificación con 6% de PET + 10%NS

% asfalto BETUTEC IB PG 70-28	Muestras	6.90%
Estabilidad (kN)	Patrón	12.87
	6% de PET + 10%NS	15.13
Flujo (mm)	Patrón	8.94
	6% de PET + 10%NS	7.63
% de vacíos (%)	Patrón	5.4
	6% de PET + 10%NS	1.38
Densidad (%)	Patrón	2.3
	6% de PET + 10%NS	2.17
V.M.A. (%)	Patrón	17
	6% de PET + 10%NS	21.6

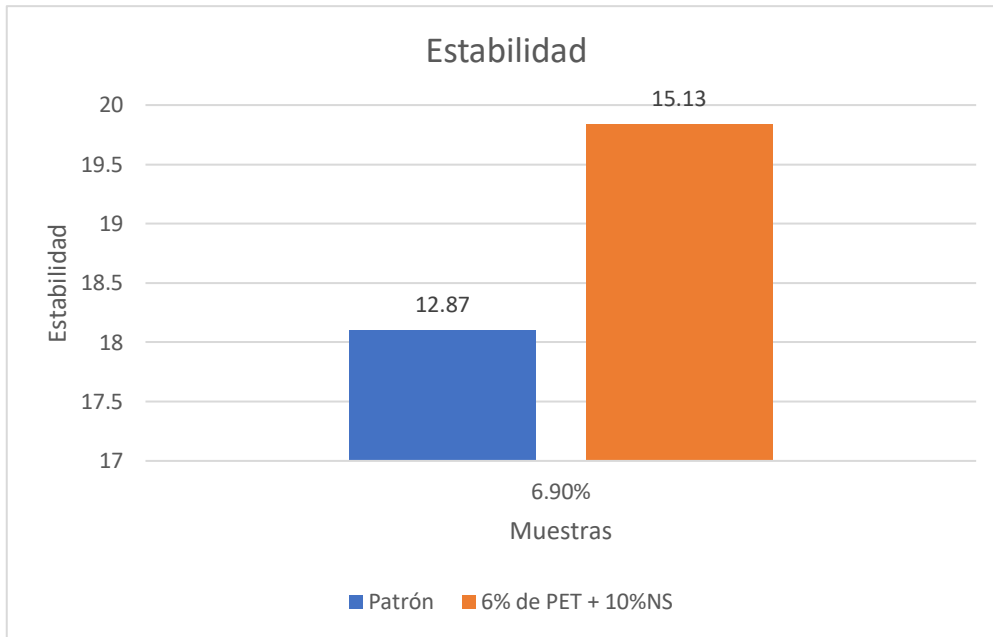


Figura 78. Estabilidad con 6% de PET + 10%NS

De la cuarta dosificación se logra apreciar que se obtuvo una estabilidad de 12.87 kN y con la dosificación un valor de 15.13 kN.

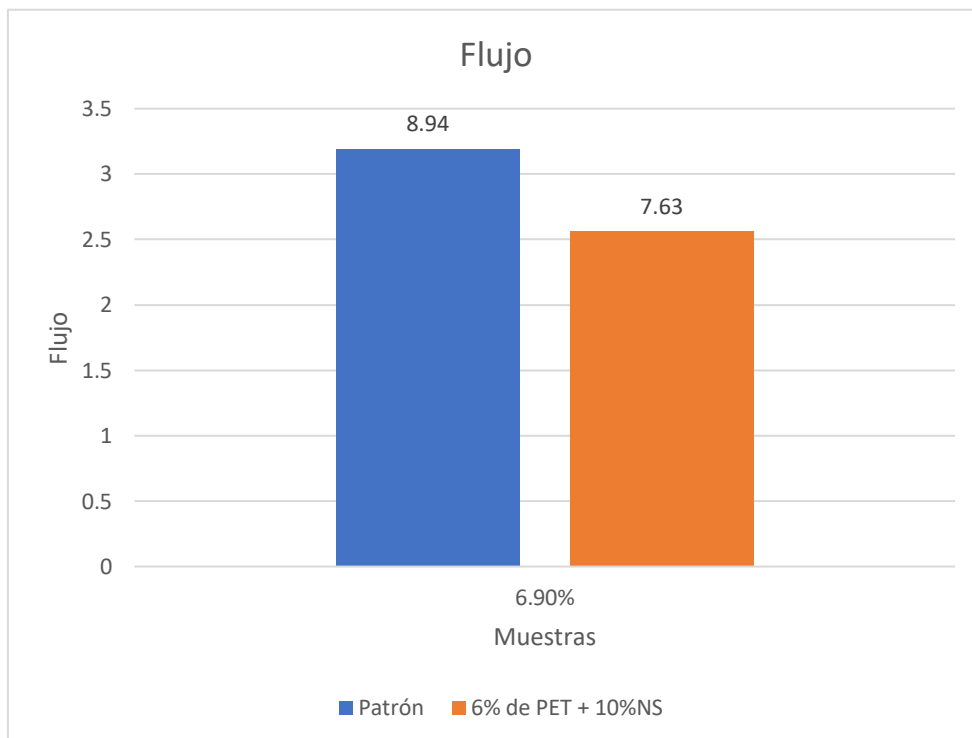


Figura 79. Flujo con 6% de PET + 10%NS

De la cuarta dosificación se logra apreciar que se obtuvo un flujo de 8.94 mm y con la dosificación un valor de 7.63 mm.

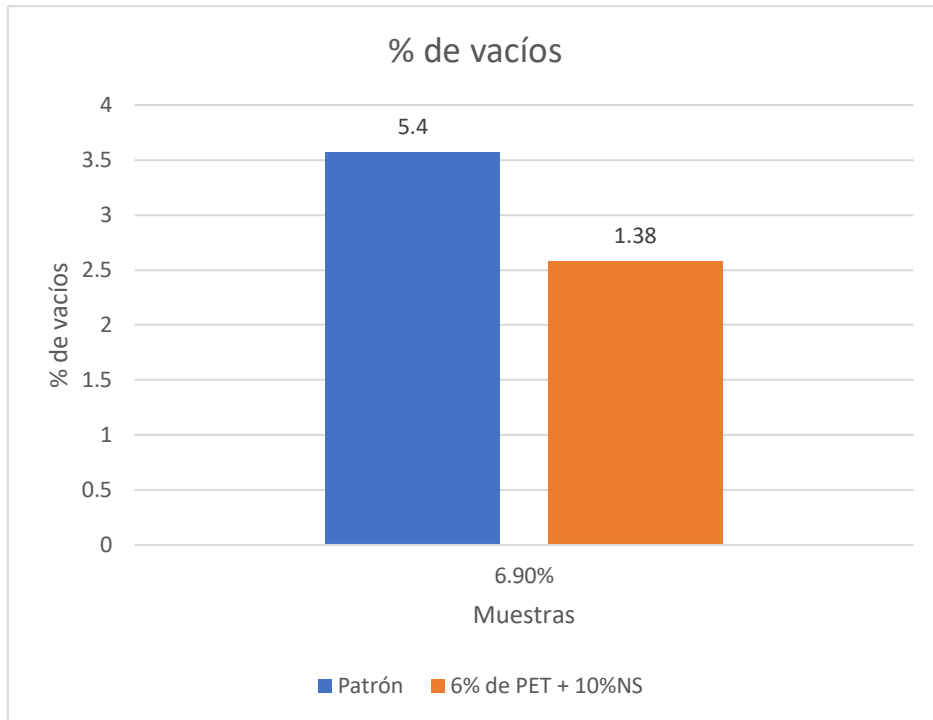


Figura 80. *Porcentaje con 6% de PET + 10%NS*

De la cuarta dosificación se logra apreciar que se obtuvo un porcentaje de vacíos de 5.4 % y con la dosificación un valor de 1.38%.

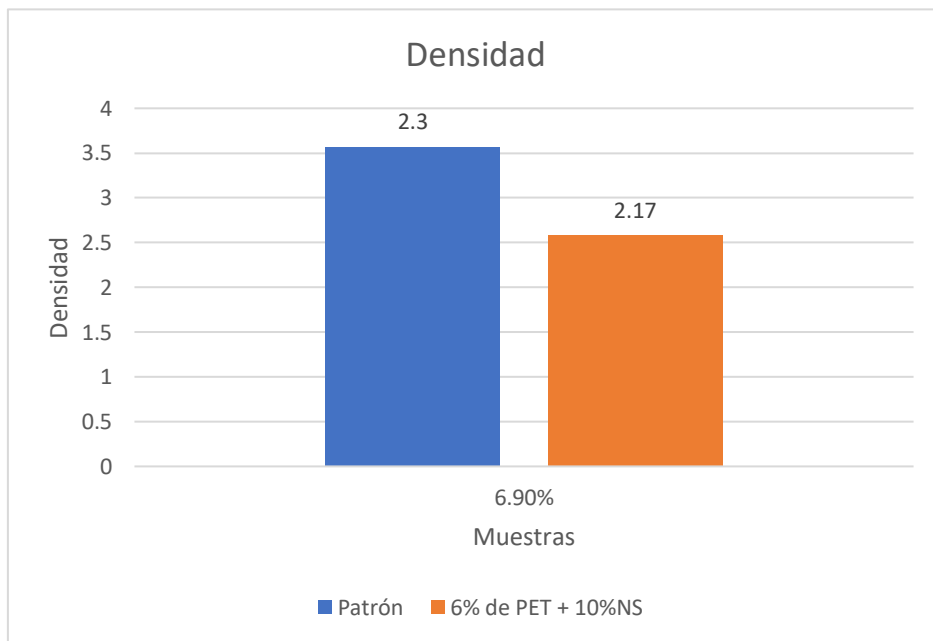


Figura 81. *Densidad con 6% de PET + 10%NS*

De la cuarta dosificación se logra apreciar que se obtuvo una densidad de 2.30% y con la dosificación un valor de 2.17%.

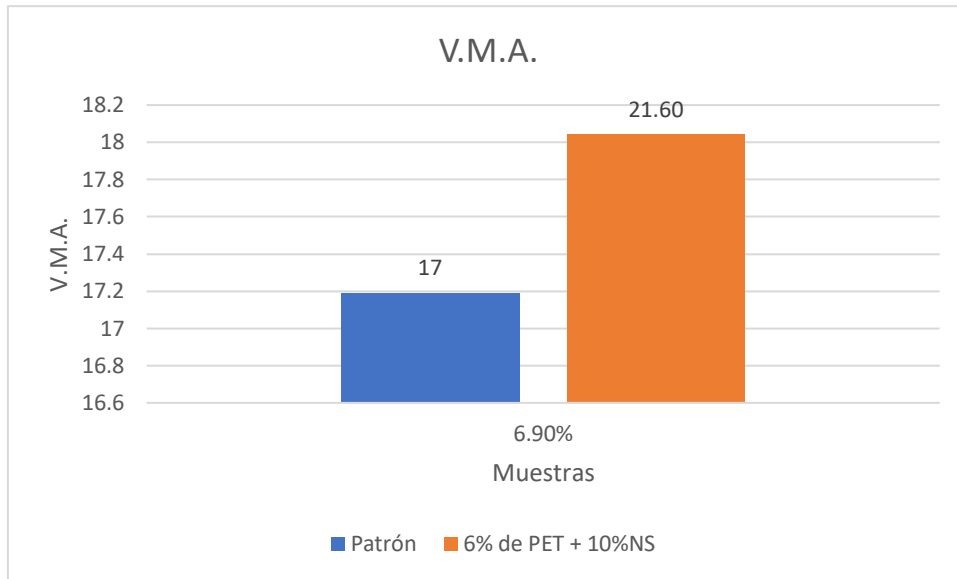


Figura 82. VMA con 6% de PET + 10%NS

De la cuarta dosificación se logra apreciar que se obtuvo VMA de 17% y con la dosificación un valor de 21.60%.

Tabla 34. Resumen general de dosificaciones en comparativa del % 6.90 asfalto

% 6.90 asfalto BETUTEC IB PG 70-28	Muestras	Patrón	Patrón + 6% de PET	Patrón + 6% de PET + 8%NS	Patrón + 6% de PET + 9%NS	Patrón + 6% de PET + 10%NS
Estabilidad	Patrón	12.87				
	Patrón + Aditivos		26.24	26.86	29	15.13
Flujo	Patrón	8.94				
	Patrón + Aditivos		6.02	8.78	4.68	7.63
% de vacíos	Patrón	5.4				
	Patrón + Aditivos		4.78	3.6	2.31	1.38
Densidad	Patrón	2.3				
	Patrón + Aditivos		2.25	2.13	2.19	2.17
V.M.A.	Patrón	17				
	Patrón + Aditivos		18.9	23.1	20.9	21.6

En la tabla se mostró los datos obtenidos del laboratorio de la estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos, densidad y VMA, con resumen de las dosificaciones 6% PET, al 6% PET + 8% NS; 6% PET + 9% NS, 6% PET + 10% NS.

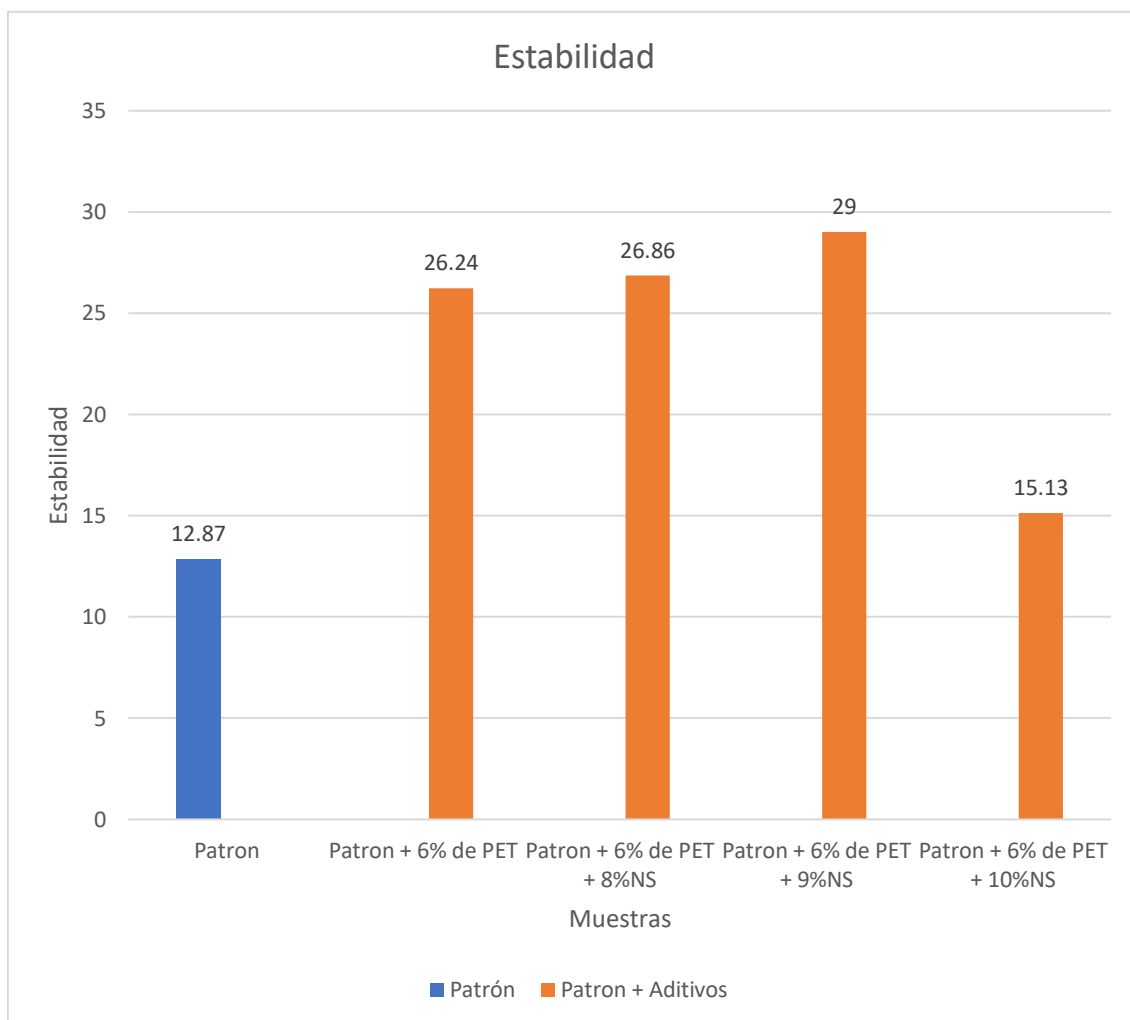


Figura 83. Ensayo de Estabilidad

Se logra apreciar que la estabilidad para la muestra patrón un valor de 12.87kN, para la muestra con adición de 6% PET con valor obtenido de 26.24kN, así mismo para la muestra con adición de 6% PET + 8% NS con valor obtenido de 26.86kN, de igual manera con la adición de 6% PET + 9% NS con valor obtenido de 29kN, finalmente con la adición de 6% PET + 10% NS con valor obtenido de 15.13 kN para la estabilidad.

Determinación y análisis de la influencia propuesta por 1er objetivo

Tabla 35. Influencia en la Estabilidad

Muestra	Estabilidad (kN)	Incremento %
Muestra Patrón	12.87	-
6% PET	26.24	103.6
6% PET + 8% NS	26.86	108.8
6% PET + 9% NS	29.00	125.5
6% PET + 10% NS	15.13	17.56

Este análisis revela una clara influencia positiva de la adición de PET y nano sílice en la estabilidad de las mezclas asfálticas. Se evidencia un efecto acumulativo, indicando que la combinación de estos materiales modifica de manera significativa el comportamiento estructural de la carpeta asfáltica. La mejoría constante en la estabilidad respalda la hipótesis de que estas modificaciones contribuyen de manera efectiva al desempeño y durabilidad del pavimento flexible en la Av. Cultura, Cusco. La combinación óptima, identificada en este estudio, implica la adición de un 6% de PET junto con un 9% de nano sílice, alcanzando la máxima estabilidad medida en 29 kN. Estos resultados sugieren que la propuesta formulada en el objetivo específico tiene un impacto positivo en la estabilidad de las mezclas asfálticas y, por ende, en la calidad y durabilidad del pavimento.

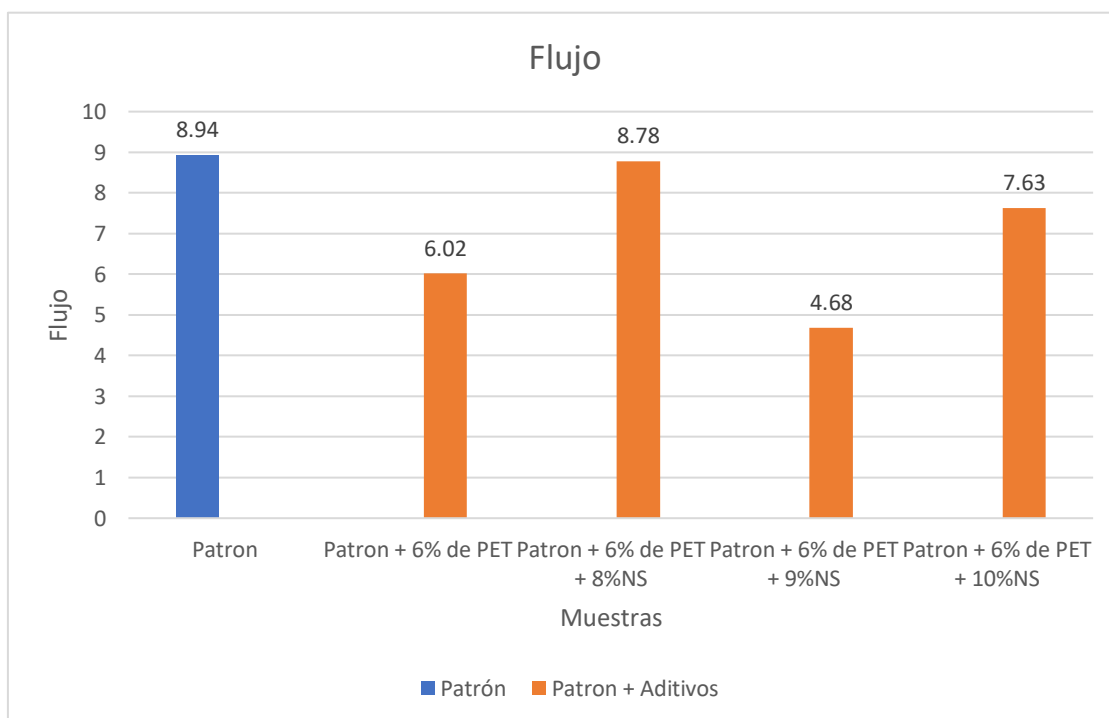


Figura 84. Ensayo de Flujo

Se logra apreciar que el ensayo de flujo para la muestra patrón un valor de 8.94mm, para la muestra con adición de 6% PET con valor obtenido de 6.02mm, así mismo para la muestra con adición de 6% PET + 8% NS con valor obtenido de 8.78mm, de igual manera con la adición de 6% PET + 9% NS con valor obtenido de 4.68, finalmente con la adición de 6% PET + 10% NS con valor obtenido de 7.63 para en el ensayo de flujo.

Determinación y análisis de la influencia propuesta por el 2do objetivo

Tabla 36. *Influencia en el flujo*

Muestra	Flujo (mm)	Incremento %
Muestra Patrón	8.94	-
6% PET	6.02	32.6
6% PET + 8% NS	8.78	-1.8
6% PET + 9% NS	4.68	47.7
6% PET + 10% NS	7.63	14.70

Este análisis revela para la influencia de la adición de PET y nano sílice en el flujo de las mezclas asfálticas revela impactos significativos en las propiedades de deformación. En el ensayo de flujo, la muestra patrón presenta un valor de 8.94 mm. La incorporación de un 6% de PET resulta en una considerable reducción del 32.6% en el flujo, evidenciando una mayor cohesión y resistencia a la deformación en comparación con la muestra patrón. En el caso de la combinación de 6% de PET con 8% de nano sílice, se observa una leve disminución del flujo en un -1.8%, indicando una cierta estabilidad y resistencia a la deformación. Sin embargo, la adición de 9% de nano sílice presenta una reducción drástica del 47.7% en el flujo, señalando una mejora significativa en la cohesión y resistencia al flujo de las mezclas asfálticas. Por otro lado, con la adición de 10% de nano sílice, se logra una reducción del 14.7% en el flujo, sugiriendo una mejora adicional, aunque de menor magnitud en comparación con el caso de 9% de nano sílice.

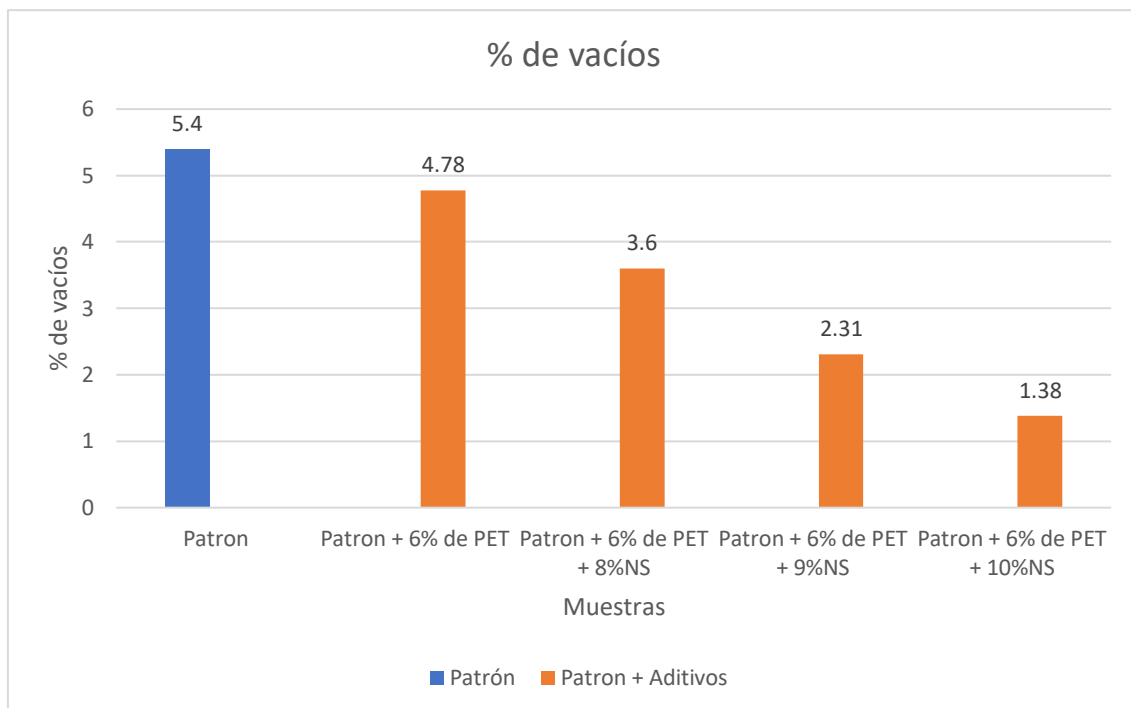


Figura 85. Ensayo % de Vacíos

Se logra apreciar que el porcentaje de Vacíos para la muestra patrón un valor de 5.4%, para la muestra con adición de 6% PET con valor obtenido de 4.78%, así mismo para la muestra con adición de 6% PET + 8% NS con valor obtenido de 3.6%, de igual manera con la adición de 6% PET + 9% NS con valor obtenido de 2.31%, finalmente con la adición de 6% PET + 10% NS con valor obtenido de 1.38% para el porcentaje de vacíos.

Determinación y análisis de la influencia propuesta por el 3er objetivo

Tabla 37. Influencia en el % de vacíos

Muestra	Porcentaje de Vacíos	Incremento %
Muestra Patrón	5.4	-
6% PET	4.78	11.48
6% PET + 8% NS	3.6	33.33
6% PET + 9% NS	2.31	57.22
6% PET + 10% NS	1.38	74.44

Este análisis revela para la influencia de la adición de PET y nano sílice en el % de vacíos de las mezclas asfálticas revela cambios significativos en la porosidad

de las muestras. En la muestra patrón, el porcentaje de vacíos es del 5.4%. La incorporación de un 6% de PET resulta en una reducción del 11.48% en el porcentaje de vacíos, señalando una disminución en la porosidad de las mezclas asfálticas. La combinación de 6% de PET con 8% de nano sílice muestra una disminución más significativa del 33.33%, indicando una mejora sustancial en la compacidad y densidad de la mezcla. Con la adición de 9% de nano sílice, el porcentaje de vacíos se reduce en un 57.22%, lo que destaca una notable disminución en la porosidad de las mezclas asfálticas. La adición de 10% de nano sílice muestra la mayor reducción, con un 74.44%, indicando una influencia significativa en la densificación y minimización de vacíos en las mezclas. Estos resultados respaldan la hipótesis de que la incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en la porosidad de las mezclas asfálticas. La combinación óptima parece ser la adición de 6% de PET con 10% de nano sílice, ya que muestra la mayor reducción en el porcentaje de vacíos, indicando una mejora significativa en la compacidad y densidad de la mezcla asfáltica.

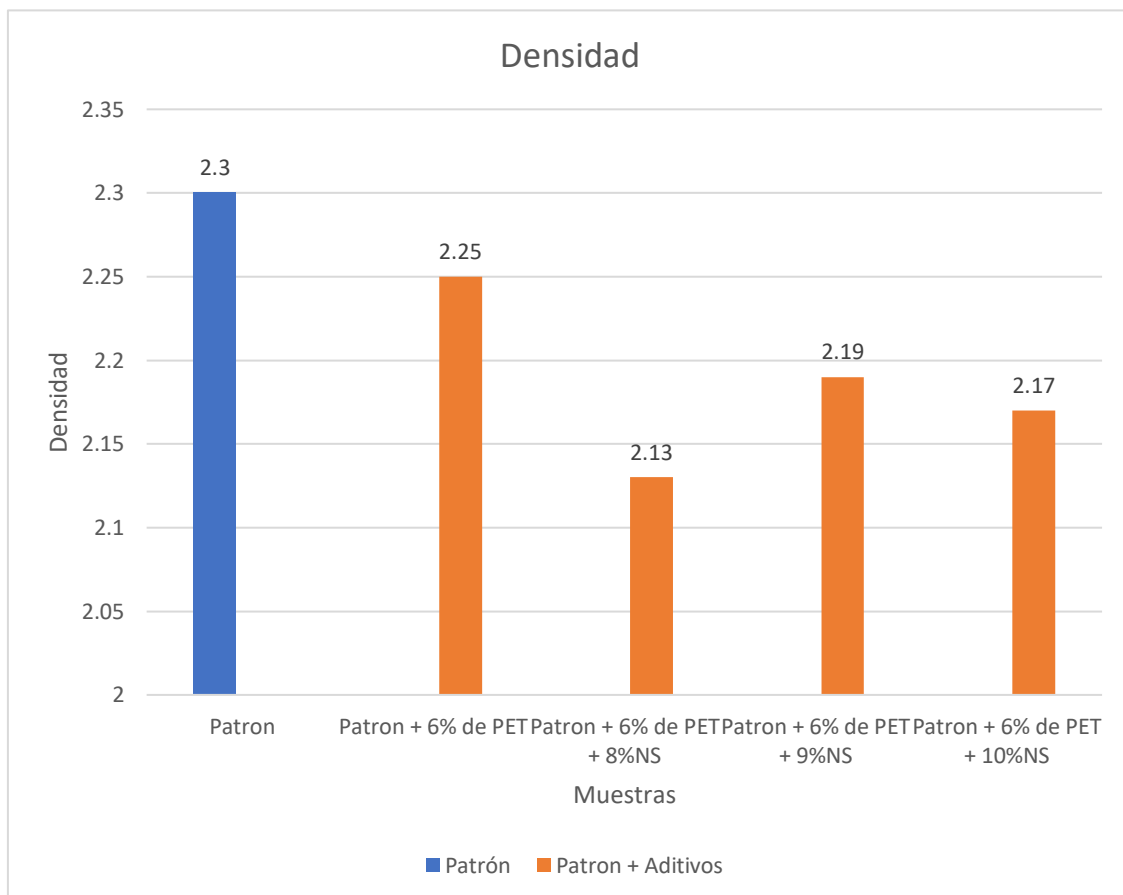


Figura 86. Ensayo de Densidad

Se logra apreciar para el ensayo de Densidad para la muestra patrón un valor de 2.3%, para la muestra con adición de 6% PET con valor obtenido de 2.25%, así mismo para la muestra con adición de 6% PET + 8% NS con valor obtenido de 2.13%, de igual manera con la adición de 6% PET + 9% NS con valor obtenido de 2.19%, finalmente con la adición de 6% PET + 10% NS con valor obtenido de 2.17% para la densidad.

Determinación y análisis de la influencia propuesta por el ensayo

Tabla 38. *Influencia en la densidad de las mezclas*

Muestra	Densidad	Incremento %
Muestra Patrón	2.3	-
6% PET	2.25	2.17
6% PET + 8% NS	2.13	7.39
6% PET + 9% NS	2.19	-5.22
6% PET + 10% NS	2.17	5.65

Este análisis revela para la influencia de la adición de PET y nano sílice en la densidad de las mezclas asfálticas información valiosa sobre la compacidad de las muestras. En la muestra patrón, se registra una densidad del 2.3%. La incorporación de un 6% de PET resulta en una leve reducción del 2.17% en la densidad en comparación con la muestra patrón, indicando una mínima disminución en la compacidad de la mezcla. Sin embargo, la combinación de 6% de PET con 8% de nano sílice muestra una reducción más pronunciada del 7.39% en la densidad, lo que sugiere una disminución significativa en la compacidad de la mezcla. En el caso de 9% de nano sílice, la densidad experimenta un pequeño incremento del -5.22%, indicando una ligera mejora en la compacidad. Por último, la adición de 10% de nano sílice muestra una reducción del 5.65%, señalando una disminución moderada en la densidad de la mezcla.

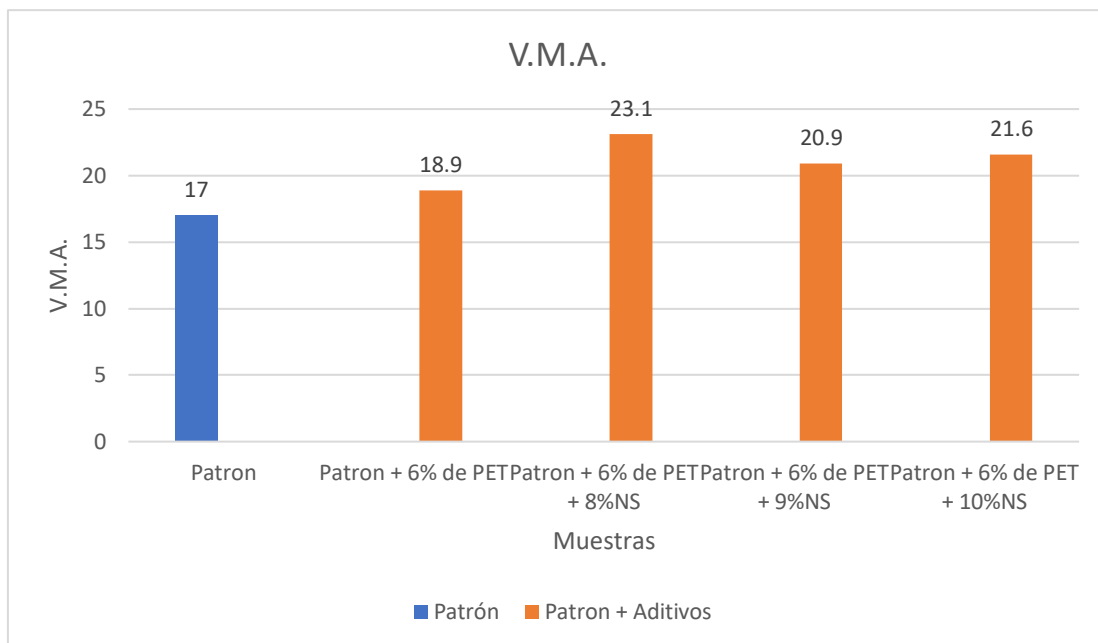


Figura 87. Ensayos de V.M.A.

Se logra apreciar para el ensayo de V.M.A para la muestra patrón un valor de 17.0%, para la muestra con adición de 6% PET con valor obtenido de 18.90%, así mismo para la muestra con adición de 6% PET + 8% NS con valor obtenido de 23.1%, de igual manera con la adición de 6% PET + 9% NS con valor obtenido de 20.9%, finalmente con la adición de 6% PET + 10% NS con valor obtenido de 21.6% para V.M.A.

Determinación y análisis de la influencia propuesta por el ensayo

Tabla 39. Influencia en V.M.A. de las mezclas

Muestra	V.M. A	Incremento %
Muestra Patrón	17	-
6% PET	18.9	11.18
6% PET + 8% NS	23.1	36.47
6% PET + 9% NS	20.90	23.53
6% PET + 10% NS	21.6	27.06

Este análisis revela para la influencia de la adición de PET y nano sílice en el V.M.A. de las mezclas asfálticas información valiosa La muestra patrón exhibe un V.M.A. del 17.0%, y la introducción de un 6% de PET resulta en un aumento del 11.18%, indicando una ligera expansión en el espacio disponible. Sin embargo, la combinación de 6% de PET con 8% de nano sílice presenta un incremento significativo del 36.47%, señalando una expansión sustancial en el

espacio para la mezcla asfáltica. Con 9% de nano sílice, el V.M.A. experimenta un aumento del 23.53%, indicando una expansión moderada en el espacio disponible, mientras que la adición de 10% de nano sílice muestra un aumento del 27.06%, sugiriendo una expansión adicional. Estos resultados subrayan la influencia significativa de PET y nano sílice en el V.M.A.

Contrastación de hipótesis:

Ha: El PET y nano sílice influyen positivamente en mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

H0: El PET y nano sílice no influyen positivamente en mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

En ese sentido, primero se ha examinado la normalidad por la prueba de Shapiro-Wilk de la eficiencia de dosificaciones del PET y nano sílice en las mezclas asfálticas.

Tabla 40. Pruebas de normalidad

Parámetro	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad	0,880	3	0,325
	0,812	3	0,144
	0,801	3	0,118
Flujo	0,886	3	0,342
	0,993	3	0,843
	0,815	3	0,150
%vacíos	0,964	3	0,637
	0,964	3	0,637
	0,824	3	0,174
Densidad	0,785	3	0,080
	0,776	3	0,058
	0,763	3	0,029
V.M.A	0,824	3	0,174
	0,996	3	0,878
	0,923	3	0,463

Nota. Datos analizados y procesados en el SPSS.

En la Tabla 21, se muestra la prueba de normalidad de los datos y se observa que, la mayoría presenta un p por debajo de 0,05, comprobándose que los datos tienen una distribución paramétrica-normal. Por ello, se realizó el análisis de varianzas (ANOVA).

El estadístico empleado fue ANOVA de un factor, se recurrió a este estadístico porque se aplicó diferentes dosis de PET y nano sílice.

Estabilidad

Ha: La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en la estabilidad de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

H0: La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en la estabilidad de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

Tabla 41. *Análisis ANOVA para estabilidad*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1550.822	2	775.411	226.936	.000
Dentro de grupos	82.005	24	3.417		
Total	1632.827	26			

Conforme a la tabla 36, se observa que los resultados obtenidos una significancia de .000, la cual conlleva a aceptar la hipótesis alterna. Esto significa que si existe una diferencia entre los distintos tipos de tratamientos y se logra entender que cada porcentaje de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 es lo suficientemente estable. Es decir, que si existe una influencia sobre el uso de mezclas.

Flujo

Ha: La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el flujo de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

H0: La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el flujo de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

Tabla 42. Prueba ANOVA para flujo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	57.787	2	28.893	698.581	.000
Dentro de grupos	.993	24	.041		
Total	58.779	26			

Conforme a la tabla 37, se observa un resultado estadísticamente significativo de .000, lo cual significa que existe una diferencia entre los diversos tratamientos, en donde las dosificaciones de mayor porcentaje parecen mostrar una mayor influencia sobre el fujo. Es decir, que se acepta la hipótesis alterna y por consiguiente la incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el flujo de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

% de vacíos

Ha: La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el porcentaje de vacíos de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

H0: La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el porcentaje de vacíos de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

Tabla 43. Prueba ANOVA para % de vacíos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	14.806	2	7.403	138.954	.000
Dentro de grupos	1.279	24	.053		
Total	16.084	26			

Conforme a la tabla 38, se observa un valor de significancia de .000, lo que significa que, si existe una diferencia entre las dosificaciones en función al porcentaje de vacíos, aceptando la H_a . Esto significa que cada porcentaje de vacíos son distintos.

Densidad

H_a : La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en la densidad de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

H_0 : La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en la densidad de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

Tabla 44. Prueba ANOVA para densidad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1.389	2	.694	51.901	.000
Dentro de grupos	.321	24	.013		
Total	1.710	26			

Conforme a la tabla 39, se observa una significancia estadística de .000, lo cual implica que si existe una diferencia entre cada tratamiento. Al aceptar la hipótesis alterna, se logra entender que cada tratamiento para favorecer la densidad, son distintamente efectivos.

V.M.A

H_a : La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el V.M.A de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

H_0 : La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el V.M.A de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.

Tabla 45. Prueba ANOVA para V.M.A

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	168.294	2	84.147	509.998	.000
Dentro de grupos	3.960	24	.165		
Total	172.254	26			

Conforme a la tabla 40, se aprecia que se obtuvo una significancia estadística de .000, lo que significa que si existe una diferencia entre los V.M.A. Por consiguiente, se acepta la hipótesis alterna y con ello se logra comprender que cada tratamiento es distintamente efectivo para la V.M.A.

V.DISCUSIÓN

OG. Determinar la influencia de PET y nano sílice en Mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023. revela resultados prometedores en términos de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos. Nuestros hallazgos indican que las mezclas modificadas, especialmente aquellas que incorporan 6% de PET combinado con diferentes proporciones de nanosílice, exhiben mejoras sustanciales en la estabilidad, reducción del flujo y disminución significativa en el porcentaje de vacíos. Estos resultados son consistentes con la tendencia general de fortalecimiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con la adición de PET y nanosílice. Se contrasta la hipótesis y se acepta H_0 indicando que la adición de PET y nanosílice influye positivamente en las Mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023. Al comparar nuestros resultados con el antecedente de (López y Nonato, 2020) como resultados obtenidos que encontraron mejoras significativas en la estabilidad y el flujo con la adición de 1.00% de PET reciclado triturado, observamos similitudes en la tendencia positiva de impacto en las cualidades mecánicas del asfalto. No obstante, nuestra investigación va más allá al explorar la sinergia entre el PET y la nanosílice, revelando mejoras adicionales en la estabilidad y una reducción en los vacíos. La combinación de nuestros resultados y los antecedentes destaca la versatilidad de la adición de PET en las mezclas asfálticas, ya que ambos estudios demuestran mejoras en las cualidades mecánicas. Además, nuestra investigación extiende este conocimiento al explorar la influencia de la nanosílice, revelando beneficios adicionales

OE1. Determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en la estabilidad de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023 Se logra apreciar que la estabilidad para la muestra patrón un valor de 12.87kN, para las muestras con adición de 6% PET con valor obtenido de 26.24kN, así mismo para la muestra con adición de 6% PET + 8% NS con valor obtenido de 26.86kN, de igual manera con la adición de 6% PET + 9% NS con valor obtenido de 29kN, finalmente con la adición de 6% PET + 10% NS con valor obtenido de 29kN para

la estabilidad. Se observa de los resultados obtenidos una significancia de .000, la cual conlleva a admitir la hipótesis alterna. Esto significa que si existe una diferencia entre los distintos tipos de tratamientos y se logra entender que cada porcentaje de asfalto BETUTEC IB PG 70-28 es lo suficientemente estable. Es decir, que si existe una influencia sobre el uso de mezclas. Comparando estos resultados con el antecedente (Maita y Miranda, 2023) donde se utilizó una mezcla convencional con adición de caucho y plástico, nuestra investigación muestra un rendimiento superior en términos de estabilidad. Mientras que su muestra experimental con adición de 1% de caucho y 2% de plástico superó el valor requerido de 8.15 kN, nuestras mezclas modificadas alcanzaron estabilidades considerablemente más altas, proporcionando una mejora sustancial en la resistencia de la carpeta asfáltica. De los resultados revela que la combinación de PET y nanosílice en las mezclas asfálticas han tenido impactos significativos en las mejoras de la estabilidad de la carpeta asfáltica en comparación con los antecedentes que utilizaron caucho y plástico. Este hallazgo subraya la importancia de alinear las adiciones modificadoras con los objetivos específicos del proyecto, en nuestro caso, priorizando la resistencia y durabilidad. Además, destaca la necesidad de considerar aspectos económicos y medioambientales en futuras investigaciones, para una evaluación integral de la viabilidad y sostenibilidad de las mezclas asfálticas propuestas.

OE2.Determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el flujo de las mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023. Se logra apreciar que el ensayo de flujo para la muestra patrón un valor de 8.94mm, para la muestra con adición de 6% PET con valor obtenido de 6.02mm, así mismo para la muestra con adición de 6% PET + 8% NS con valor obtenido de 8.78mm, de igual manera con la adición de 6% PET + 9% NS con valor obtenido de 4.68, finalmente con la adición de 6% PET + 10% NS con valor obtenido de 7.63 para en el ensayo de flujo. Se observa un resultado estadísticamente significativo de .000, lo cual significa que existe una diferencia entre los diversos tratamientos, en donde las dosificaciones de mayor porcentaje parecen mostrar una mayor influencia sobre el fujo. Es decir, que se admite la hipótesis alterna y por consiguiente la incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el

flujo de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023. Estos resultados se contrastaron con los antecedentes de (Mashaan et al., 2022) como resultado mostraron que la incorporación del 4-8% de nano-sílice con un 6% de plástico PET de desecho mejoró el desempeño de las mezclas SMA modificadas en términos de resistencia a la formación de surcos, módulo de rigidez, relación de resistencia a la tracción y desempeño frente a la fatiga en comparación con las mezclas no modificadas. quienes encontraron que la incorporación de 4-8% de nanosílice con un 6% de plástico PET de desecho mejoró el desempeño de las mezclas SMA modificadas. Sin embargo, en nuestra investigación, observamos que la adición de nanosílice no siguió una tendencia uniforme en la mejora del flujo, mostrando variaciones en los resultados dependiendo de la proporción específica de nanosílice. Los resultados contradictorios entre nuestra investigación y los antecedentes resaltan la complejidad de los efectos de las modificaciones en las mezclas asfálticas. Aunque Mashaan et al. encontraron mejoras consistentes con la adición de nanosílice, nuestros resultados sugieren que la influencia de la nanosílice en el flujo puede depender de la proporción específica y la interacción con el PET. Este hallazgo subraya la importancia de considerar las interacciones entre los aditivos y sus efectos combinados en lugar de analizar cada uno de manera aislada.

OE3. Determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en la estabilidad de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023. Se logra apreciar que el % de Vacíos para la muestra patrón un valor de 5.4%, para la muestra con adición de 6% PET con valor obtenido de 4.78%, así mismo para la muestra con adición de 6% PET + 8% NS con valor obtenido de 3.6%, de igual manera con la adición de 6% PET + 9% NS con valor obtenido de 2.31%, finalmente con la adición de 6% PET + 10% NS con valor obtenido de 1.38% para la estabilidad, se observa un valor de significancia de .000, lo que significa que, si existe una diferencia entre las dosificaciones en función al % de vacíos, aceptando la H_0 . Esto significa que cada porcentaje de vacíos son distintos. (Ravelo, 2022) como resultados revelaron que al incorporar un 5% y 7% de PET en las mezclas

asfálticas, la estabilidad disminuyó en 1,6 KN y 2,5 KN respectivamente, en comparación con la mezcla convencional (12,2 KN). Por otra parte, la impermeabilidad (porcentaje de vacíos) aumentó en 0,9% y 2,0% respectivamente en comparaciones con las mezclas convencionales (4,2%). Asimismo, la trabajabilidad (flujo) aumentó en 1,3 mm y 2,0 mm respectivamente en comparación con los flujos de las mezclas convencionales (13,7 mm). La discrepancia entre nuestros resultados y los de Ravelo (2022) resalta la influencia de las condiciones específicas del proyecto y las interacciones complejas entre los componentes modificadores. Mientras que en el estudio previo se observó una minimización en la estabilidad con las adiciones de PET, nuestra investigación muestra una mejora significativa, especialmente al combinarlo con nanosílice. Esto sugiere que la sinergia entre los aditivos es crucial y que los efectos pueden variar según las proporciones y tipos específicos de aditivos utilizados.

VI. CONCLUSIONES

Se concluye en la indagación sobre la influencia de PET y nanosílice en mezclas asfálticas de masilla de piedra para el pavimento flexible de la Av. Cultura-Cusco en 2023 ha arrojado resultados prometedores. La combinación de PET y nanosílice ha demostrado mejorar significativamente propiedades clave como estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos en las mezclas asfálticas. Estos hallazgos sugieren un potencial prometedor para la implementación de mezclas modificadas en la pavimentación flexible, abriendo la puerta a soluciones más duraderas y resistentes.

Se concluye en relación al primer objetivo específico, que buscaba determinar cómo las incorporaciones de PET y nanosílice influyen en la estabilidad de las mezclas asfálticas, los resultados indican mejoras sustanciales en la estabilidad con la adición de PET y nanosílice. El valor de estabilidad aumentó de 12.87 kN en la muestra patrón a 29 kN con la adición de 6% PET + 9% NS la combinación de ambos aditivos ha demostrado ser especialmente eficaz, superando los resultados logrados en comparación con la muestra patrón y proporcionando un avance significativo en términos de rendimiento estructural de la carpeta asfáltica.

Se concluye el segundo objetivo específico, orientado a determinar en qué medida la incorporación de PET y nanosílice influye en el flujo de las mezclas asfálticas, revela una relación compleja. Aunque se observaron variaciones en el flujo, la influencia específica de la nanosílice no siguió una tendencia uniforme. Los datos numéricos respaldan estas observaciones, mostrando fluctuaciones en los valores de flujo con diferentes proporciones de nanosílice.

Se concluye respecto al tercer objetivo específico de determinar en qué medida la incorporación de PET y nanosílice influye en la estabilidad de las mezclas asfálticas, los resultados indican mejoras considerables. El porcentaje de vacíos se redujo significativamente, desde 5.4% en la muestra patrón hasta 1.38% con la adición de 6% PET + 10% NS, sugiriendo una mayor compacidad y durabilidad de la mezcla.

VII.RECOMENDACIONES

Se recomienda dada la complejidad de las interacciones entre PET y nanosílice, se recomienda realizar estudios adicionales para determinar las proporciones óptimas de estos aditivos. Experimentar con diversas combinaciones puede ayudar a maximizar los beneficios en estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos. Además, considerar el impacto ambiental de la producción y disposición de PET, así como las viabilidades económicas de la implementación a gran escala.

Se recomienda explorar aún más las influencias específicas de la nanosílice en la estabilidad de las mezclas asfálticas. Realizar investigaciones adicionales con variaciones en las proporciones de nanosílice para comprender mejor su impacto y optimizar su contribución a la estabilidad. Además de, aunque se observan mejoras en la estabilidad, es crucial comprender la relación costo-beneficio para garantizar la viabilidad económica de la implementación.

Se recomienda conducir estudios más detallados sobre la influencia del flujo en las mezclas asfálticas con la combinación de PET y nanosílice. Investigar las interacciones específicas que afectan el flujo y determinar ajustes necesarios para optimizar esta propiedad. Así ajustar las proporciones en consecuencia para obtener un equilibrio óptimo entre estabilidad y flujo en las mezclas asfálticas.

Se recomienda considerar estudios de durabilidad a largo plazo para evaluar la resistencia de las mezclas asfálticas modificadas con PET y nanosílice. Este análisis contribuirá a comprender cómo estas mezclas mantienen su rendimiento bajo condiciones climáticas y de tráfico cambiantes.

REFERENCIAS

- Acevedo , A., & Posada , J. (2019). Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto. <https://doi.org/https://doi.org/10.22395/rium.v18n34a3>
- Alfaro, C. (2017). *Metodología del trabajo universitario aplicado para ingeniería*. Callao: Repositorio de Universidad del Callao. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/2201>
- Althoey, F., Awoyera, P. O., Inyama, R., Khan, M. A., Mursaleen, M., Hadidi, M., & Najm, H. M. (2022). *Resistencia y propiedades a microescala del hormigón reforzado con fibra de bambú modificado con látex de caucho natural*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmats.2022.1064885/full>
- Arredondo, P. C., Lazo, C. A., & Pico, Á. R. (2021). Optimización del concreto mediante la adición de nanosílice, empleando agregados de la cantera de añashuayco de arequipa. 36(1). [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732021000100071&script=sci_arttext&tIng=es#:~:text=La%20Nanos%20C3%ADlice%20es%20un%20aditivo,silicio%20amorfo%20\(SiO2\)](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732021000100071&script=sci_arttext&tIng=es#:~:text=La%20Nanos%20C3%ADlice%20es%20un%20aditivo,silicio%20amorfo%20(SiO2)).
- Arshadi , M., & Hasan , t. (Julio de 20 de 2023). *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering* . <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40996-023-01196-6>
- Asfalto y Pavimentacion. (2018). *Asfalto y Pavimentacion* (Vol. VIII). España. <https://asefma.es/wp-content/uploads/2018/06/Revista-Asfalto-y-Pavimentaci%C3%B3n-29-ilovepdf-compressed.pdf>
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. Mexico: Grupo editorial patria. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf
- Becera, M. (2018). *Diseño de pavimentos flexibles y rígidos*. Instituto de Capacitacion y Gerencia.

<https://www.construccion.org/index.php?e=cursos/1006-Lim-PavFlexRig/tema.htm>

Bobadilla , J., Tesen , F., & Tigre , J. (2022). Uso de polímeros en asfalto: una revisión. *Gaceta Técnica*, 23(1), 94-109. <https://doi.org/https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.7>

Botero, E., Liliana, A., & Romo, M. P. (2014). Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas. <https://www.redalyc.org/pdf/430/43030033019.pdf>

Cárdenas, I., Vaca, C. L., Cote, R. C., & Flores, C. H. (2021). *Universidad Francisco de Paula Santander*. https://www.researchgate.net/profile/Liseth-Vaca-Caicedo/publication/347507151_ANALISIS_DE_MEZCLAS_ASFALTICAS_MODIFICADAS_CON_MATERIALES_DESECHABLES_ALTERNATIVOS_NO_CONVENCIONALES/links/5fe0c2be45851553a0df059a/ANALISIS-DE-MEZCLAS-ASFALTICAS-MODIFICADAS-C

Cardoza, Z. M., Palomino, C. K., & Angulo, B. G. (2019). *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 10(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.25213/2216-1872.16>

Carreño, F. V. (2020). *Análisis técnico-económico del uso de PET reciclado*. Santiago de Chile-Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/177847/Analisis-tecnico-economico-del-uso-de-Pet-reciclado-como-reemplazo-parcial-de-aridos-finos-en-hormigones.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Casanova, L. (2017). *Empleo de mezclas asfálticas modificadas con nanotecnología para el mejoramiento de la estructura de pavimento flexible en la construcción de los terceros carriles de la vía Bucaramanga-Cuestaboba*. [Tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17065>

- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J., & Delgado, H. (2018). *CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Sanfandila. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>
- Giodani, C., & Leone, D. (2016). *Pavimentos*. https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf
- Google Earth . (2023). *Google Earth 2023*. Google Earth 2023: <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Hernandez, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana Editores.
- Hernandez, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana Editores.
- Herrera, F. (2019). *Propiedades mecánicas del pavimento flexible con incorporación de asfalto reciclado y polietileno (PET) en la Av. Condorcánqui Carabayllo, 2019*. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/79657>
- Herrera, J., & Valencia, A. (2021). *MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON PET CARACTERISTTICAS QUE APORTA EL PET (POLIETILENO TEREFTALATO) EN LA MEZCLA DE ASFALTO*. [Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio UCC. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/da522f2c-d340-4e73-b262-dd717b6be6ce/content>
- Hoang, N., & Peifeng, C. (19 de Junio de 2021). Properties of Stone Matrix Asphalt Modified with Polyvinyl Chloride and Nano Silica. *Polymer Composites for Structural Applications*, 13(14). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym13142358>
- Jianmin , M., & Hesp, S. (2022). *Construction and Building Materials*, 342(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127944>

- Larrea, M. (2023). *Diseño de mezcla asfáltica adicionando cenizas de cascarilla de oryza sativa, Chiclayo – Lambayeque*. Chiclayo : DSpace Principal Señor de Sipan. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11112>
- Loaiza , L., & Diaz , E. (2019). Nanosílice como aditivo para el concreto - caso Colombia. https://www.researchgate.net/publication/341600696_Nanosilice_como_aditivo_para_el_concreto_-_caso_Colombia
- Loaiza, L. I., Díaz González, E. T., & Rojas Manzano, M. A. (2019). Nanosílice como aditivo para el concreto - caso Colombia. https://www.researchgate.net/publication/341600696_Nanosilice_como_aditivo_para_el_concreto_-_caso_Colombia
- Maita, Á., & Miranda, R. (2023). *Diseño de mezcla asfáltica con caucho y plástico reciclado como alternativa de rentabilidad en San José de los Molinos, Ica, 2022*. Ica: Repositorio Universidad Privada San Juan Bautista. <https://hdl.handle.net/20.500.14308/4798>
- Mashaan, N., Chegenizadeh, A., & Hamid , N. (29 de Marzo de 2022). Performance of PET and nano-silica modified stone mastic. *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01044>
- Mashaan, N., Chegenizadeh, A., & Nikraz, H. (2022). *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01044>
- Meftah, M., Fauzan, M., & Ratnasamy, M. (27 de Januray de 2021). *The 10th World Sustainability Forum*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13031303>
- Minaya, S. (2008). *DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS*. Lima. https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_DISE%C3%91O_MODERNO_DE_PAVIMENTOS_ASF%C3%81LTICOS_M_Sc_SILENE_MINAYA_GONZ%C3%81LEZ
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Mayo de 2006). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Retrieved 11 de Agosto de 2023, from

Ministerio de Transportes y Comunicaciones:
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogota.

Quispe, Y. (2022). *Análisis de la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica con nanocarbonato de calcio y nanoarcilla, Lima, 2022*. [Tesis de título, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/108845>

Ravelo, W. (2022). *Incorporación del sistema PET en mezclas asfálticas para mejorar las propiedades físicas-mecánicas de un pavimento flexible, Av. Marginal, Pichanaqui 2022*. [Tesis de título, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/105579>

Rodriguez, J. (2021). *Aditivo plastificante en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto convencional para edificaciones urbanas: una revisión sistemática entre 2009 – 2019*. UPN-Institucional. <https://hdl.handle.net/11537/27092>

Rodriguez, L., Chavez Molina, M. W., Lartategui de Roshardt, L., & Letona Alvarez, A. d. (2017). Factibilidad de uso del PET reciclado en elementos de cubiertas y envolventes.

Romero, F. P., Huertas, C. G., & Cazar, R. J. (2018). *ESPE*, 17(1). <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/508>

Santos, D., & Estrada, C. (2022). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice respecto a una mezcla asfáltica betutec pg 70-28*. Cusco: Repositorio Digital Universidad Andina del Cusco . <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5006>

Saucedo , J., Atoche, J., & Muñoz, S. (2021). Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: revisión de la literatura. *Investigación en Ingeniería*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6942>

- Sawan, A., Al-Taher, M., Hassanin, H., & Mokhtar, E. (2018). *World Applied Sciences Journal*, 35(12). 10.5829/idosi.wasj.2017.2614.2621
- Seyed, S., & Neda, K. (2022). Performance Evaluation of Stone Matrix Asphalt Mixtures and Low-Temperature Properties of Asphalt Binders Containing Reclaimed Asphalt Pavement Materials Modified with Nanosilica. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34(1). [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004016](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004016)
- Solomon, S., Dong, E. L., & Byung, S. K. (2019). *MDPI*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/app9071315>
- Turpo, S. M., & Vigo, J. E. (2021). *Uso de reciclado de plástico tereftalato de polietileno (pet) para la elaboración de adoquín de construcción*. Puno. <https://doi.org/https://doi.org/10.35997/unaciencia.v14i26.617>
- Uribe, J. (2020). *Aplicación del Polietileno (PET) en pavimento flexible para determinar el comportamiento físico - mecánico en la Av. Los Geranios, Huaral 2020*. Lima Norte: Repositorio de la Universidad César Vallejo . <https://hdl.handle.net/20.500.12692/54387>
- Zhuangzhuang, L. Y. (2022). *Nanotechnology Reviews*. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2022-0485>

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SÍLICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023*							
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGÍA
¿Cómo influye el PET y nano sílice en Mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023?	Determinar la influencia de PET y nano sílice en Mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.	El PET y nano sílice influyen positivamente en Mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.	INDEPENDIENTE	Dosificación	Dosificación con 0%	Intervalo	Enfoque
			PET Y NANOSILICE		Dosificación con 6% de PET +4%, 6% ,8%, 10% NS	Intervalo	Cuantitativo
					Dosificación con 7%, 8%, 9% de PET + 8%NS	Intervalo	Tipo
					Dosificación con 7%, 8%, 9% de PET + 8%NS	Intervalo	Aplicado
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS			Peso Especifico	De razón	Diseño
¿En qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en la estabilidad de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023?	Determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en la estabilidad de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023	La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en la estabilidad de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023	DEPENDIENTE	Propiedades	Absorción	De razón	Nivel Explicativo
					Granulometría	Intervalo	Población
¿En qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el flujo de las mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023?	Determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el flujo de las mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.	La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el flujo de las mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023.	Mezclas asfálticas de masilla de piedra	Propiedades	Estabilidad	De razón	Muestra
					Flujo	De razón	99 MUESTRAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SÍLICE
¿En qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en el porcentaje de vacíos de mezclas asfálticas de masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023?	Determinar en qué medida la incorporación de PET y nano sílice influye en la estabilidad de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023	La incorporación de PET y nano sílice influye positivamente en el porcentaje de vacíos de mezclas asfálticas masilla de piedra en el desempeño del pavimento flexible Av. Cultura-Cusco 2023			Porcentaje de vacios	De razón	

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
PET	El tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno tereftalato (PET) es una materia prima utilizada para producir botellas o envases plásticos de uso común. Es claro que esta materia es de uso común, pero conduce a un gran problema ambiental (Acevedo y Posada, 2017).	Usar PET reciclado como sustitución del agregado en el mezcla asfáltica mejoraría tanto el impacto en la huella ecológica de la producción de mezcla asfáltica como de la industria del PET. Reemplazar parte de los agregados por PET produciría mezcla asfálticas con un menor impacto ambiental en su proceso de fabricación, o de otra manera podría ser una metodología muy útil en lugares donde exista poca disponibilidad de agregados (Acevedo y Posada, 2017).	Dosificación	Muestra Patrón Dosificación con 0%
				Muestra Patrón + 6% de PET
				Dosificación con 6% de PET +8%, 9%, 10% NS
NANOSILICE	La nanosilice (NS) como aditivo permite reducir el contenido de cemento y favorece las propiedades en estado fresco y en estado endurecido del mezcla asfáltica. La adición de nanosilice en el mezcla asfáltica genera un efecto acelerante debido a su reactividad superficial y carácter puzolánico, como consecuencia aumenta la velocidad de hidratación, (Loaiza et al. 2019).	La nanosilice mejora las características de la zona de transición y fortalece la unión entre el agregado y la pasta de cemento; por lo tanto, su adición dificulta en cierta medida el movimiento del agua en el mezcla asfáltica, (Loaiza et al. 2019).	Propiedades	Peso Especifico
				Absorción
				Granulometría
Mezclas asfálticas	Las mezclas asfálticas facilitan una rápida y eficiente conservación del pavimento y recuperación de la regularidad superficial, evitando que el deterioro de ésta provoque un aumento de los consumos y emisiones de CO2 de los vehículos." (IRMD 2018)	Las propiedades requeridas que deben cumplir las mezclas para poder comportarse adecuadamente produciendo el menor daño posible, entre ellas se encuentran las características de resistencia mecánica, comportamiento frente a deformaciones plásticas. Determinación de las propiedades estructurales y funcionales que debe tener la mezcla, dadas las sollicitaciones a las que se encuentra expuesta. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras (Asfalto y Pavimentación, 2018).	Propiedades	Estabilidad
				Flujo
				Porcentaje de vacíos

"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SÍLICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023."

CARTA DE PRESENTACIÓN

Ing. César Edilberto Arbulú Jurado

Presente:

Asunto: Validación de Instrumentos.

Me es muy grato comunicarme con usted para expresarle mi saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiante de la **UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO FILIAL ATE VITARTE**, requiero validar los instrumentos con los cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi proyecto de investigación y con lo cual optare el Título de Ingeniero Civil.

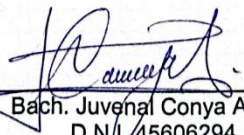
El título del proyecto de investigación es: "**Influencia del uso de mezclas asfálticas masilla de piedra modificada con PET y nano sílice en el desempeño del pavimento flexible Av. la Cultura-Cusco 2023**" y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención. Hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

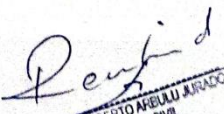
El expediente de validación que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de variables.
- Certificado de validez de contenido de instrumentos.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.


Bach. Juvenal Conya Ascue
D.N.I. 45606294


CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. Nº 115784

EVALUACION DE EXPERTOS

TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

Influencia del uso de masclas asfálticas de mojillo de piedra modificada con PET y nano sílice en el desempeño del pavimento flexible Av. La Cultura - Cusco 2023

EXPERTO

Ing. César Edelberto Arbulú Jurado

Se presenta a usted el instrumento de recolección de datos del proyecto de investigación para su revisión y sugerencias

CRITERIOS	OBSERVACIONES
1. ¿El instrumento de recolección de datos está orientado al problema de investigación?	Si
2. ¿El instrumento de recolección de datos se aprecia las variables de investigación?	✓
3. ¿El instrumento de recolección de datos facilitaran el logro de los objetivos de la investigación?	✓
4. ¿El instrumento de recolección de datos se relacionan con la o las variables de estudio?	Si
5. ¿El instrumento de recolección de datos presenta la cantidad de los ítems apropiados?	✓
6. ¿La redacción del instrumento de recolección de datos es coherente?	✓
7. ¿El diseño del instrumento de recolección de datos facilitara el análisis y procesamiento de los datos?	✓
8. ¿Del instrumento de recolección de datos, usted eliminaría algún ítem?	Si
9. ¿En el instrumento de recolección de datos, usted agregaría algún ítem?	Si
10. ¿El diseño del instrumento de recolección de datos será accesible a la población sujeto de estudio?	Si
11. ¿La recolección del instrumento de recolección de datos es clara, sencilla y precisa para la investigación?	Si

SUGERENCIAS

Atentamente


 CESAR EDELBERTO ARBULU JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CP. N° 115754

"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SÍLICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023."

CARTA DE PRESENTACIÓN

Ing. Camilo Moscoso florez

Presente:

Asunto: Validación de Instrumentos.

Me es muy grato comunicarme con usted para expresarle mi saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiante de la **UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO FILIAL ATE VITARTE**, requiero validar los instrumentos con los cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi proyecto de investigación y con lo cual optare el Título de Ingeniero Civil.

El título del proyecto de investigación es: "**Uso de mezclas asfálticas de masilla de piedra modificada con PET y nano sílice para el desempeño de la carpeta asfáltica Av. Cultura, Cusco 2023**" y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención. Hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de variables.
- Certificado de validez de contenido de instrumentos.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.


Bach. Juvenal Conya Ascue
D.N.I. 45606294



EVALUACION DE EXPERTOS

TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

"Influencia del Uso de mezclas asfálticas de masilla de Piedra modificada con PEI y Nanosilice en el desempeño del pavimento flexible Av. la Cultura, Cusco 2023."

EXPERTO

ing. Camilo Moscoso florez

Se presenta a usted el instrumento de recolección de datos del proyecto de investigación para su revisión y sugerencias

CRITERIOS	OBSERVACIONES
1. ¿El instrumento de recolección de datos está orientado al problema de investigación?	Si
2. ¿El instrumento de recolección de datos se aprecia las variables de investigación?	✓
3. ¿El instrumento de recolección de datos facilitaran el logro de los objetivos de la investigación?	✓
4. ¿El instrumento de recolección de datos se relacionan con la o las variables de estudio?	Si
5. ¿El instrumento de recolección de datos presenta la cantidad de los ítems apropiados?	Si
6. ¿La redacción del instrumento de recolección de datos es coherente?	Si
7. ¿El diseño del instrumento de recolección de datos facilitara el análisis y procesamiento de los datos?	Si
8. ¿Del instrumento de recolección de datos, usted eliminaría algún ítem?	Si
9. ¿En el instrumento de recolección de datos, usted agregaría algún ítem?	Si
10. ¿El diseño del instrumento de recolección de datos será accesible a la población sujeto de estudio?	Si
11. ¿La recolección del instrumento de recolección de datos es clara, sencilla y precisa para la investigación?	Si

SUGERENCIAS

Atentamente



CAMILO MOSCOSO FLOREZ
INGENIERO CIVIL
CIP. 70100



Universidad César Vallejo

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Trujillo, 15 de setiembre de 2023

OFICIO N°149-2023-VI-UCV

Señor:

Ing. Eliot Pezo Zegarra
Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil
Universidad Andina del Cusco
Presente.-


De mi consideración:

Asunto: Solicito autorización para ejecutar investigación.

Me dirijo a usted para expresarle el saludo institucional en mi calidad de Vicerrector de Investigación de la Universidad César Vallejo y al mismo tiempo presentarle a la bachiller en Ingeniería Civil: **JUVENAL CONYA ASCUE**, con correo electrónico: yhuvecito@hotmail.com, autor del proyecto de investigación titulado: "INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023", aprobado y sustentado en el Programa de Titulación-UCV, en la modalidad de Taller de elaboración de Tesis, con la finalidad de solicitar su autorización para la ejecución de dicha investigación.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para reiterarle las muestras de mi especial consideración y estima.

Atentamente,


Dr. Jorge A. Salas Ruiz
Vicerrector de Investigación





UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE TERRELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE INGENIERÍA CIVIL



"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

DECLARACIÓN JURADA DE COMPROMISO

Yo, JUVENAL CONYA ASCUE, identificado con DNI N°
45606294, con código de estudiante N° _____, alumno de
la FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE
UCU,
con domicilio actual en CALLE PERÚ # 79.

_____ y que actualmente desarrollaré en las
instalaciones de los laboratorios de suelos y asfaltos de la Escuela Profesional
de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad
Andina del Cusco, parte de mi trabajo de investigación, tesis denominada
INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y
NANO SILICILE EN EL DESEMPEÑO DEL
PAVIMENTO FLEXIBLE Av. CULTURA CUSCO 2023.

Me comprometo a cumplir con los reglamentos internos para el uso de los
laboratorios de suelos y asfaltos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de
la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Andina del Cusco, así
como de devolver en el mismo estado los equipos que sean prestados a mi
persona o reemplazarlos con equipo de las mismas características y condiciones
en un plazo no mayor de 5 días hábiles de ser el caso que éstos hayan sido
extraviados o se encuentren deteriorados bajo mi uso y cargo. Caso contrario
me someteré a las acciones que sean tomadas en mi contra en los diferentes
niveles de competencia a los cuales recurra la institución o sus agraviados.

Para dar fe de lo dicho, procedo a firmar y colocar huella digital.

Cusco, 04 de OCTUBRE del 2023


JUVENAL CONYA ASCUE
DNI N° 45606294

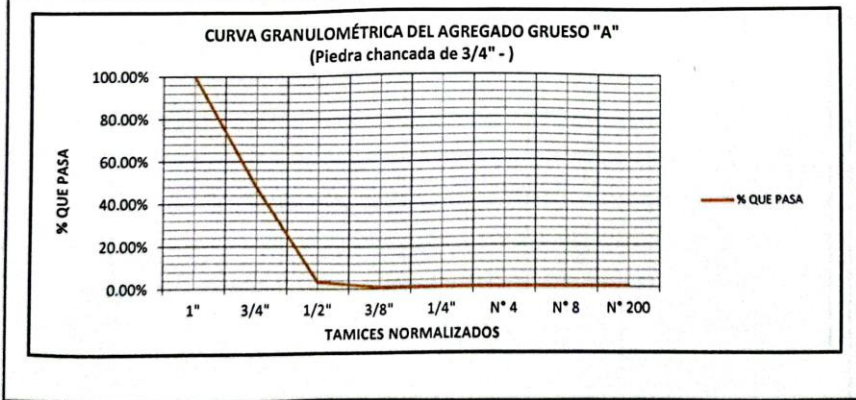


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
UBICACION	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
FECHA	10/10/2023
ENSAYO	ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)
DATOS DE LA MUESTRA	
DENOMINACIÓN	A
MATERIAL	PIEDRA DE 3/4"
CANTERA	HUACARPAY-LUCRE
PESO INICIAL	5265.00

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO "A"									
Basado en la Norma Nacional MTC E204									
ESPECIFICACIONES	ABERTURA DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN	
ASTM	mm	gr	%	gr	%	gr	%	SMA TM 19mm	
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00	0.00%	5265.00	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19.000	2760.00	52.42%	2760.00	52.42%	2505.00	47.58%	90.00%	100.00%
1/2"	12.500	2330.00	44.25%	5090.00	96.68%	175.00	3.32%	45.00%	60.00%
3/8"	9.500	127.00	2.41%	5217.00	99.09%	48.00	0.91%	30.00%	45.00%
1/4"	4.750	10.00	0.19%	5227.00	99.28%	38.00	0.72%	25.00%	35.00%
N° 4	2.360	0.00	0.00%	5227.00	99.28%	38.00	0.72%	20.00%	25.00%
N° 8	1.180	0.00	0.00%	5227.00	99.28%	38.00	0.72%	16.00%	23.00%
N° 200	0.600	0.00	0.00%	5227.00	99.28%	38.00	0.72%	9.00%	13.00%
< 200	< 0.075	38.00	0.72%	5265.00	100.00%				
TOTAL		5265.00	100%						



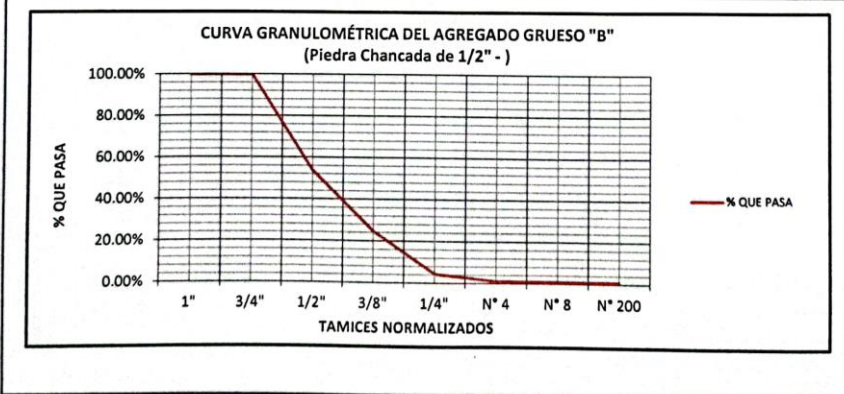
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 ABELARDO LOAYZA B



TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
FECHA	10/10/2023
ENSAYO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)

DATOS DE LA MUESTRA	
DENOMINACIÓN	B
MATERIAL	PIEDRA DE 1/2"
CANTERA	HUACARPAY-LUCRE
PESO INICIAL	2169.00

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO "B"								
Basado en la Norma Nacional MTC E204								
ESPECIFICACIONES	ABERTURA DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN
ASTM	mm	gr	%	gr	%	gr	%	SMA TM 19mm
1"	25.000	0.00	0.00%	0.000	0.00%	2169.000	100.00%	100.00% 100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00	0.00%	2169.000	100.00%	90.00% 100.00%
1/2"	12.500	1005.00	46.33%	1005.00	46.33%	1164.000	53.67%	45.00% 60.00%
3/8"	9.500	630.00	29.05%	1635.00	75.38%	534.000	24.62%	30.00% 45.00%
1/4"	4.750	440.00	20.29%	2075.00	95.67%	94.000	4.33%	25.00% 35.00%
N° 4	2.360	70.00	3.23%	2145.00	98.89%	24.000	1.11%	20.00% 25.00%
N° 8	1.180	5.00	0.23%	2150.00	99.12%	19.000	0.88%	16.00% 23.00%
N° 200	0.600	0.00	0.00%	2150.00	99.12%	19.000	0.88%	9.00% 13.00%
Fondo	< 0.074	19.00	0.88%	2169.00	100.00%			
TOTAL		2169.00						



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA - E.P. INGENIERIA CIVIL

[Firma manuscrita]
 Juvenal Conya Ascue

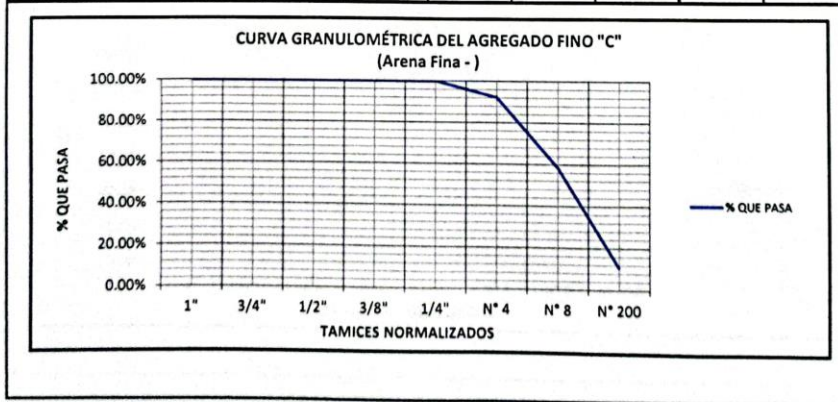


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
FECHA	10/10/2023
ENSAYO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)
DATOS DE LA MUESTRA	
DENOMINACIÓN	C
MATERIAL	Fino
PROCEDENCIA	HUACARPAY-LUCRE
PESO INICIAL	504.00

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO "C"									
Basado en la Norma Nacional MTC E204									
ESPECIFICACIONES	ABERTURA DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN	
ASTM	mm	gr	%	gr	%	gr	%	SMA TM 19mm	
1"	25	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	90.00%	100.00%
1/2"	12.5	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	45.00%	60.00%
3/8"	9.5	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	30.00%	45.00%
1/4"	4.75	0.00	0.00%	0.00	0.00%	504.00	100.00%	25.00%	35.00%
N° 4	2.36	40.00	7.94%	40.00	7.94%	464.00	92.06%	20.00%	25.00%
N° 8	1.18	170.00	33.73%	210.00	41.67%	334.00	58.33%	16.00%	23.00%
N° 200	0.6	240.00	47.62%	450.00	89.29%	264.00	10.71%	9.00%	13.00%
Fondo	< 0.074	54.00	10.71%	504.00	100.00%				
TOTAL		504.00							



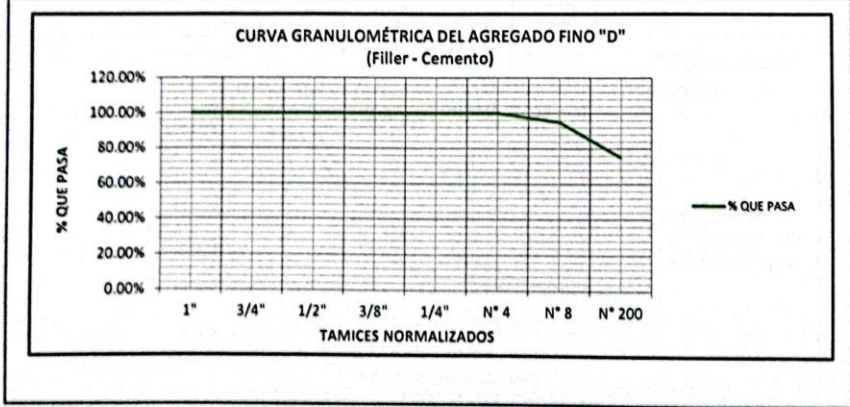
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

[Firma manuscrita]
 ABE LOZDO ZUCO B.



TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
FECHA	10/10/2023
ENSAYO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)
DATOS DE LA MUESTRA	
DENOMINACIÓN	D
MATERIAL	Filler
PROCEDENCIA	
PESO INICIAL	

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO "D"									
Basado en la Norma Nacional MTC E204									
ESPECIFICACIONES	ABERTURA DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RET. ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN	
ASTM	mm	gr	%	gr	%	gr	%	SMA TM 19mm	
1"	1"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	3/4"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	90.00%	100.00%
1/2"	1/2"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	45.00%	60.00%
3/8"	3/8"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	30.00%	45.00%
1/4"	1/4"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	25.00%	35.00%
N° 4	N° 4	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00	100.00%	20.00%	25.00%
N° 8	N° 8	5.00	5.00%	5.00	5.00%	95.00	95.00%	16.00%	23.00%
N° 200	N° 200	25.00	25.00%	30.00	30.00%	75.00	75.00%	9.00%	13.00%
< 0.074	0.00	70.00	70.00%	100.00	100.00%				
TOTAL		100.00							



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

[Signature]
 ALBERTO LOYOLA B.



TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
------	---

UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
-----------	--

TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
---------	---------------------------

FECHA	10/10/2023
-------	------------

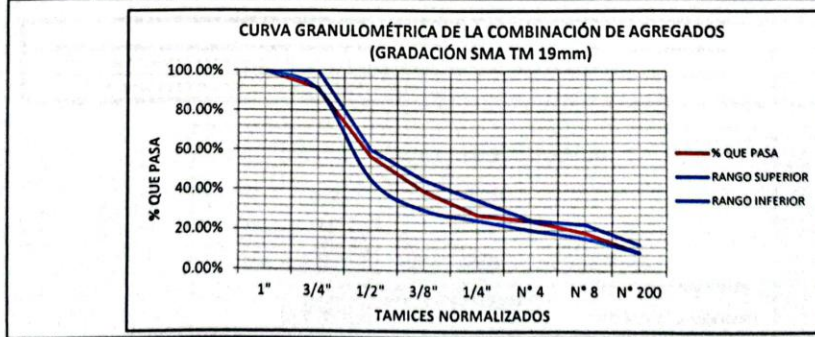
ENSAYO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)
--------	--

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE



GRADACIÓN	MATERIALES	CANTERA	PROPORCIÓN DE MEZCLA	CEMENTO ASFÁLTICO
SMA TM 19mm (EG - 2013)	PIEDRA DE 3/4"	HUACARPAY-LUCRE	17%	
	PIEDRA DE 1/2"	HUACARPAY-LUCRE	58%	
	Fino	HUACARPAY-LUCRE	15%	
	Filler	-	10%	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

TAMIZ	ABERTURA	% RETENIDO A	% RETENIDO B	% RETENIDO C	% RETENIDO D	SUMA RETENIDO PARCIAL	% ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
									SMA TM 19mm	
ASTM	mm	17%	58%	15%	10%					
1"	25	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19	8.91%	0.00%	0.00%	0.00%	8.91%	8.91%	91.09%	90.00%	100.00%
1/2"	12.5	7.52%	26.87%	0.00%	0.00%	34.40%	43.31%	56.69%	45.00%	60.00%
3/8"	9.5	0.41%	16.85%	0.00%	0.00%	17.26%	60.57%	39.43%	30.00%	45.00%
1/4"	4.75	0.03%	11.77%	0.00%	0.00%	11.80%	72.36%	27.64%	25.00%	35.00%
N° 4	2.36	0.00%	1.87%	1.19%	0.00%	3.06%	75.43%	24.57%	20.00%	25.00%
N° 8	1.18	0.00%	0.13%	5.06%	0.50%	5.69%	81.12%	18.88%	16.00%	23.00%
N° 200	0.6	0.00%	0.00%	7.14%	2.50%	9.64%	90.76%	9.24%	9.00%	13.00%
Fondo	< 0.074	0.12%	0.51%	1.61%	7.00%	9.24%	100.00%			
TOTAL		17.00%	58.00%	15.00%	10.00%					



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
SUELOS
Abelardo Lozano B.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"	
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC	
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE	
FECHA	12/10/2023	
ENSAYO		

DESGASTE POR ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

MTC E 207, Basado en la Norma ASTM C-131, ASTM C-535 y AASHTO T-96

CANTERA HUACARPAY-LUCRE

DATOS DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	DATOS DE LA CARGA ABRASIVA (Esferas)
Longitud Interior (cm) = 50.80	Diámetro Promedio (mm) = 46.65
Diámetro Interior (cm) = 71.10	Peso Promedio (gr) = 416.06
Velocidad de Giro del Cilindro (rpm) = 33	Número de Esferas = 11
Número total de vueltas = 500	

GRANULOMETRÍA SEGÚN TIPO DE GRADACIÓN		
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Gradación B
3" (75 mm)	2½" (63 mm)	-
2½" (63 mm)	2" (50 mm)	-
2" (50 mm)	1½" (37.5 mm)	-
1½" (37.5 mm)	1" (25 mm)	-
1" (25 mm)	¾" (19 mm)	-
¾" (19 mm)	½" (12.5 mm)	2500 ± 10
½" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	2500 ± 10
3/8" (9.5 mm)	¼" (6.3 mm)	-
¼" (6.3 mm)	Nº 4 (4.75 mm)	-
Nº 4 (4.75 mm)	Nº 8 (2.36 mm)	-
Total (gr)		5000 ± 10

PESO DE LA MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO
-
-
-
2500.00
2501.00
-
-
5001.00

- DATOS DEL ENSAYO	
Peso de la Muestra seca retenida en el tamiz Nº 12, despues del ensayo (gr)	4480.00
Peso que pasa el tamiz Nº 12, despues del ensayo (gr)	521.00



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

 Juvenal Conya Ascue

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"	
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC	
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE	
FECHA	12/10/2023	
ENSAYO	MTC E 210 (2016) PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS	
CANTERA	HUACARPAY-LUCRE	

A.- CON UNA CARA FRACTURADA

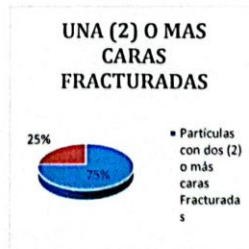
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	Peso muestra (g)	Peso material con una cara fracturada (g)	% de caras fracturadas ((B/A)*100)	Retenido gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas C*D
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	507.0	125.0	25%	52%	13%
3/4"	1/2"	505.0	75.0	15%	44%	6.57%
1/2"	3/8"					
TOTAL			200	0.4	96.64%	19.49%

$$\text{PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA} = \frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = 20.17\%$$

B.- CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	Peso muestra (g)	Peso material con mas de 2 caras fracturadas (g)	% de caras fracturadas ((B/A)*100)	Retenido gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas C*D
1 1/2"	1"	0.0			0%	
1"	3/4"	507.0	380.0	75%	52%	39%
3/4"	1/2"	505.0	380	75%	44%	33%
1/2"	3/8"	0.0			0%	
TOTAL		1012.0	760	1.5	96.64%	72.56%

$$\text{PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS} = \frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = 75.09\%$$





Observaciones:

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

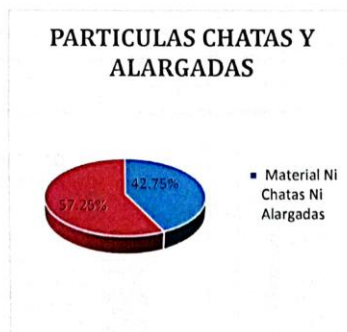
 ABC 16/10/2023 - B.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"	
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC	
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE	
FECHA	12/10/2023	
ENSAYO	ASTM D 4791 PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS DEL AGREGADO GRUESO	

CANTERA HUACARPAY-LUCRE

MALLAS SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS (A)	PESO MUESTRA CHATAS Y ALARGADAS (B)	PORCENTAJE DE CHATAS Y ALARGADAS (C)	ESCALA ORIGINAL (D)	PORCENTAJE PARCIALES DE CHATAS Y ALARGADAS (E)
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050	680.0	335.0	49.0%	52%	30%
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
		680.0			0.5	0.3



% DE CHATAS Y ALARGADAS E/D: 57.25%



Observaciones:

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

[Signature]
A: SUELOS
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
AB: 680.000 B.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"	
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC	
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE	
FECHA	17/10/2023	
ENSAYO		

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

MTC E 206, Basado en la Norma ASTM C-127 y AASHTO T-85

CANTERA

HUACARPAY-LUCRE

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de la Muestra Seca (gr)	1026.45	
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	634.80	
Temperatura del Agua (°C)	20.0	
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	1036.80	
Peso del Agua Desplazada (gr)	402.00	
Peso Específico a Temperatura de Ensayo (gr/cm ³)	2.553	
Factor de corrección por Temperatura	1.0006716	
Peso del Agua Absorbida (gr)	10.35	
Peso Específico en masa (gr/cm ³)	2.555	
Peso Específico en masa SSS (gr/cm ³)	2.579	
Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	2.621	
Capacidad de Absorción	1.008%	



ERROR	
Peso Específico	2.555
Capacidad de Absorción	1.01%



PESO ESPECÍFICO DE MASA = 2.56 gr/cm³
 PESO ESPECÍFICO DE MASA SSS = 2.58 gr/cm³
 PESO ESPECÍFICO APARENTE = 2.62 gr/cm³
 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN = 1.01%

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

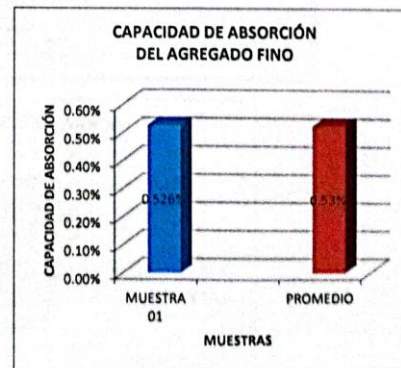
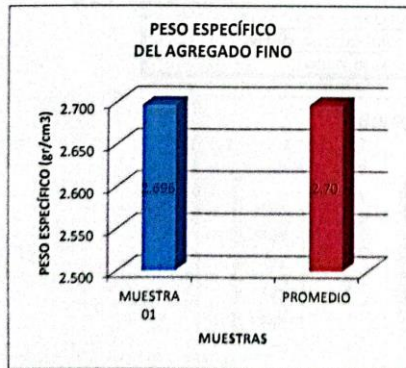
 Y. BACH. JUVENAL CONYA ASCUE - B

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
	TEMA		"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
	UBICACIÓN		Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE		
FECHA	17/10/2023		
CANTERA	HUACARPAY-LUCRE		

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
MTC E 205, Basado en la Norma ASTM C-128 y AASHTO T-84

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Número de Picnómetro	1
Volumen del Picnómetro (ml)	500
Peso del Picnómetro (gr)	172.2
Peso de la Muestra Seca (gr)	298.43
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	890.48
Temperatura del Agua (°C)	20.0
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	300.00
Peso del Picnómetro + Agua (gr)	702.81
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	187.67
Peso del Agua Desplazada (gr)	110.76
Peso Especifico a Temperatura de Ensayo (gr/cm3)	2.694
Factor de corrección por Temperatura	1.0006716
Peso del Agua Absorbida (gr)	1.57
Peso Especifico Aparente (gr/cm3)	2.696
Peso Especifico de masa SSS (gr/cm3)	2.671
Peso Especifico de masa (gr/cm3)	2.657
Capacidad de Absorción	0.526%


ERROR	
Peso Especifico	2.696
Capacidad de Absorción	0.53%



PESO ESPECÍFICO DE MASA = 2.66 gr/cm3
PESO ESPECÍFICO DE MASA SSS = 2.67 gr/cm3
PESO ESPECÍFICO APARENTE = 2.70 gr/cm3
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN = 0.53%

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

 BACH. JUVENAL CONYA ASCUE

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"	
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC	
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE	
FECHA	17/10/2023	
CANTERA	HUACARPAY-LUCRE	

EQUIVALENTE DE ARENA

MTC E 114, Basado en la Norma ASTM D-2419 y AASHTO T-176

DATOS DE LA SOLUCIÓN STOCK O SOLUCIÓN MADRE	
Tipo Cloruro de Calcio (Ca Cl ₂)	
CANTIDADES, REACTIVOS Y MATERIALES PARA SU PREPARACIÓN	
CANTIDAD	REACTIVOS Y MATERIALES
454 gr (1 lb)	Cloruro de Calcio Anhidro
2050 gr (1640 ml)	Glicerina QP o USP
47gr (45 ml)	Formaldehido (el solución al 40% en volumen)
0.5 gal (1893 ml)	Agua Destilada

DATOS DEL RECIPIENTE METÁLICO
Diámetro Interior (mm) = 55
Profundidad (mm) = 35
Capacidad (ml) = 83.15

DATOS DE LA SOLUCIÓN DE TRABAJO	
REACTIVOS Y MATERIALES	CANTIDAD
Solución Stock o Solución Madre (ml)	83.15
Agua Destilada (ml)	3702.26

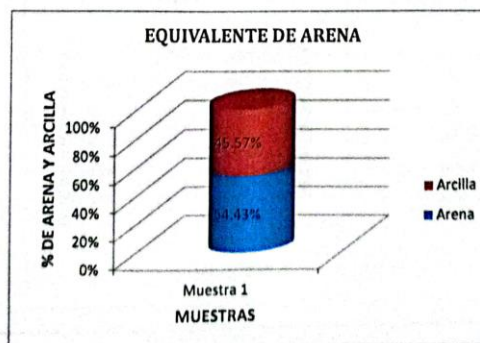
DATOS DE LA PROBETA
Diámetro Interior (mm) = 31.75
Altura (mm) = 430
Graduado en mm hasta una altura de 380 mm

DATOS DEL TUBO IRRIGADOR
Diámetro Exterior (mm) = 6.35
Espesor del Material (mm) = 0.89
Longitud (mm) = 508

DATOS DEL AGITADOR
Recorrido de una Carrera(mm) = 203
Velocidad de agitación (ciclos/min) = 175

DATOS DEL PISÓN
Peso del Pison (gr) = 998.95
Longitud de la barra metálica (mm) = 435



DATOS DEL ENSAYO
Lectura de la Arcilla = 172.70 mm
Lectura del Disco Indicador = 348.00 mm
Lectura de la Arena = 94.00 mm



EQUIVALENTE DE ARENA = 54.43%

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Juvenal Conya Ascue
ABC-114-10-2023

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"	
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC	
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE	
FECHA	17/10/2023	
CANTERA	HUACARPAY-LUCRE	

EQUIVALENTE DE ARENA

MTC E 114, Basado en la Norma ASTM D-2419 y AASHTO T-176

DATOS DE LA SOLUCIÓN STOCK O SOLUCIÓN MADRE	
Tipo Cloruro de Calcio (Ca Cl ₂)	
CANTIDADES, REACTIVOS Y MATERIALES PARA SU PREPARACIÓN	
CANTIDAD	REACTIVOS Y MATERIALES
454 gr (1 lb)	Cloruro de Calcio Anhidro
2050 gr (1640 ml)	Glicerina QP o USP
47 gr (45 ml)	Formaldehido (el solución al 40% en volumen)
0.5 gal (1893 ml)	Agua Destilada

DATOS DEL RECIPIENTE METÁLICO	
Diámetro Interior (mm) = 55	
Profundidad (mm) = 35	
Capacidad (ml) = 83.15	

DATOS DE LA SOLUCIÓN DE TRABAJO	
REACTIVOS Y MATERIALES	CANTIDAD
Solución Stock o Solución Madre (ml)	83.15
Agua Destilada (ml)	3702.26

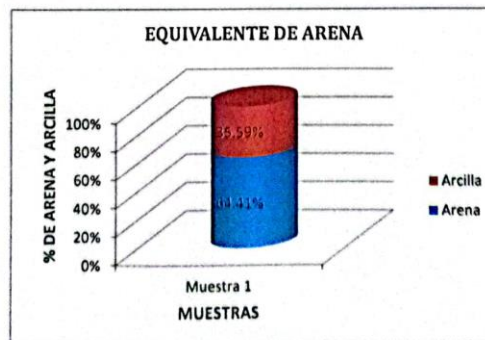
DATOS DE LA PROBETA	
Diámetro Interior (mm) = 31.75	
Altura (mm) = 430	
Graduado en mm hasta una altura de 380 mm	

DATOS DEL TUBO IRRIGADOR	
Diámetro Exterior (mm) = 6.35	
Espesor del Material (mm) = 0.89	
Longitud (mm) = 508	

DATOS DEL AGITADOR	
Recorrido de una Carrera (mm) = 203	
Velocidad de agitación (ciclos/min) = 175	

DATOS DEL PISÓN	
Peso del Pison (gr) = 998.95	
Longitud de la barra metálica (mm) = 435	



DATOS DEL ENSAYO	
Lectura de la Arcilla = 149.86 mm	
Lectura del Disco Indicador = 350.52 mm	
Lectura de la Arena = 96.52 mm	



EQUIVALENTE DE ARENA = 64.41%

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL


Agelindo Louso B.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
	TEMA "INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"	
	UBICACIÓN Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC TESISTA BACH. JUVENAL CONYA ASCUE FECHA 17/10/2023 CANTERA HUACARPAY-LUCRE	

EQUIVALENTE DE ARENA

MTC E 114, Basado en la Norma ASTM D-2419 y AASHTO T-176

DATOS DE LA SOLUCIÓN STOCK O SOLUCIÓN MADRE	
Tipo Cloruro de Calcio (Ca Cl ₂)	
CANTIDADES, REACTIVOS Y MATERIALES PARA SU PREPARACIÓN	
CANTIDAD	REACTIVOS Y MATERIALES
454 gr (1 lb)	Cloruro de Calcio Anhidro
2050 gr (1640 ml)	Glicerina QP o USP
47 gr (45 ml)	Formaldehido (el solución al 40% en volumen)
0.5 gal (1893 ml)	Agua Destilada

DATOS DEL RECIPIENTE METÁLICO	
Diámetro Interior (mm) = 55	
Profundidad (mm) = 35	
Capacidad (ml) = 83.15	

DATOS DE LA SOLUCIÓN DE TRABAJO	
REACTIVOS Y MATERIALES	CANTIDAD
Solución Stock o Solución Madre (ml)	83.15
Agua Destilada (ml)	3702.26

DATOS DE LA PROBETA	
Diámetro Interior (mm) = 31.75	
Altura (mm) = 430	
Graduado en mm hasta una altura de 380 mm	

DATOS DEL TUBO IRRIGADOR	
Diámetro Exterior (mm) = 6.35	
Espesor del Material (mm) = 0.89	
Longitud (mm) = 508	

DATOS DEL AGITADOR	
Recorrido de una Carrera (mm) = 203	
Velocidad de agitación (ciclos/min) = 175	

DATOS DEL PISÓN	
Peso del Pison (gr) = 998.95	
Longitud de la barra metálica (mm) = 435	



DATOS DEL ENSAYO	
Lectura de la Arcilla = 175.26 mm	
Lectura del Disco Indicador = 346.71 mm	
Lectura de la Arena = 92.71 mm	



EQUIVALENTE DE ARENA = 52.90%

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

 Ascobdo Lovon B

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA.CUSCO 2023"		
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC		
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE		
FECHA	14/10/2023		
ENSAYO	DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO		
	DATOS DE LA MUESTRA		
MATERIAL	AGREGADO GRUESO DE 1/2" Y AGREGADO FINO		
CANTERA	HUACARPAY-LUCRE		



ENSAYO	UNIDAD	N° CICLOS	M1	ESPECIFICACION
AGREGADO GRUESO 1/2				
Durabilidad al sulfato de magnesio	%	5	0,15	15 % Max.
AGREGADO FINO				
Durabilidad al sulfato de magnesio	%	5	0,96	15 % Max.

REGISTRO FOTOGRAFICO




 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

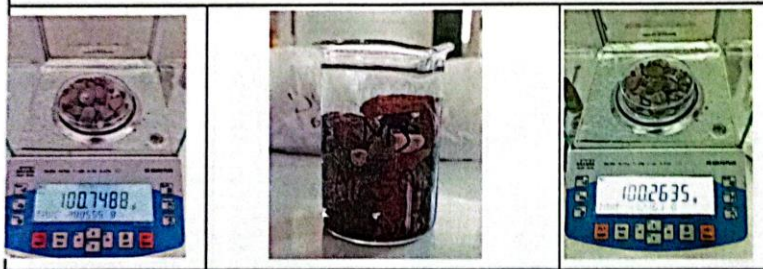
 DR. CARLOS TORRES B.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"		
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E. P. Ing. Civil UAC		
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE		
FECHA	14/10/2023		
ENSAYO	DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO		
	DATOS DE LA MUESTRA		
MATERIAL	AGREGADO GRUESO DE 1/2" Y AGREGADO FINO		
CANTERA	HUACARPAY-LUCRE		

ENSAYO	UNIDAD	N° CICLOS	M1	ESPECIFICACION
AGREGADO GRUESO 3/4				
Durabilidad al sulfato de magnesio	%	5	0,48 %	15 % Max.

REGISTRO FOTOGRAFICO

AGREGADO GRUESO 3/4



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Dr. Juan Carlos Lora B.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
FECHA	14/10/2023
ENSAYO	DETERMINACION DE SALES SOLUBLES

ENSAYO	UNIDAD	N° CICLOS	M1	ESPECIFICACION
--------	--------	-----------	----	----------------

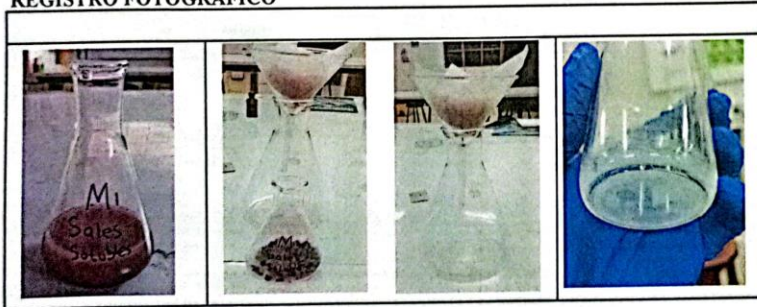
AGREGADO GRUESO 1/2 y 3/4

Determinacion de Sales Solubles %	2	0,1	0.5 % Max.
-----------------------------------	---	-----	------------

AGREGADO FINO



Determinacion de Sales Solubles %	2	0.07	0.5 % Max.
-----------------------------------	---	------	------------

REGISTRO FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

14 de Octubre del 2023

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"	
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC	
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE	
FECHA	16/11/2023	

"DISEÑO SMA - MÉTODO MARSHALL"				
DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFÁLTICO AL 6.00%				
GRADACIÓN	MATERIAL	PROCEDENCIA	% POR PESO DEL TOTAL DE AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA
"SMA" (EG - 2013)	PIEDRA DE 3/4"	-	17.00	15.98
	PIEDRA DE 1/2"	-	58.00	54.52
	Fino	-	15.00	14.10
	Filler	-	10.00	9.40
	Asfalto Modificado	BETUTEC Pg 70-28	6.00	6.00
TOTALES			100% + CA al 6.0%	100%





% QUE PASA	ESPECIFICACIONES SMA TM 19mm	
	100.00%	100.00%
100.00%	100.00%	100.00%
91.09%	90.00%	100.00%
56.69%	45.00%	60.00%
39.43%	30.00%	45.00%
27.64%	25.00%	35.00%
24.57%	20.00%	25.00%
18.88%	16.00%	23.00%
9.24%	9.00%	13.00%



PARÁMETRO	UNIDAD	ASFALTO AL 6%			
		P1	P2	P3	
DOSIFICACIÓN	PIEDRA DE 3/4"	%	17.00	17.00	17.00
	PIEDRA DE 1/2"	%	58.00	58.00	58.00
	Fino	%	15.00	15.00	15.00
	Filler	%	10.00	10.00	10.00
	Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	6.00	6.00	6.00
	PIEDRA DE 3/4"	%	15.98	15.98	15.98
	PIEDRA DE 1/2"	%	54.52	54.52	54.52
	Fino	%	14.10	14.10	14.10
	Filler	%	9.40	9.40	9.40
	Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	6.00	6.00	6.00
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADOS Y MEZCLA	Gsb Bulk	gr/cm ³	2.560	2.560	2.560
	Gsb Bulk	gr/cm ³	2.560	2.560	2.560
	Gsb Bulk	gr/cm ³	2.660	2.660	2.660
	Gsa Aparente	gr/cm ³	2.620	2.620	2.620
	Gsa Aparente	gr/cm ³	2.620	2.620	2.620
	Gsa Aparente	gr/cm ³	2.700	2.700	2.700
	Gsa Aparente	gr/cm ³	1.013	1.013	1.013
	Gsb mezcla	gr/cm ³	2.576	2.576	2.576
Gsa mezcla	gr/cm ³	2.633	2.633	2.633	
DATOS DE BRIQUETAS	WD	gr.	1174.00	1246.06	1227.72
	WSUB	gr.	682.40	717.60	725.70
	WSSD	gr.	1208.12	1276.70	1277.37
	Gmb	gr/cm ³	2.233	2.229	2.225
	Gmm	gr/cm ³	2.422	2.422	2.422
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS	VTM	%	7.800	7.983	8.116
	VMA	%	18.516	18.678	18.796
	VFA	%	57.877	57.261	56.819
	b	gr/cm ³	2.233	2.229	2.225
	Verificación 1	-	2.633	2.658	2.576
Verificación 2	-	2.422	2.422	2.422	
Verificación 3	-	18.516	26.684		
RELACIÓN POLVO ASFALTO	Pbs	%	1.21	1.21	1.21
	Pbe	%	4.98	4.98	4.98
	Polvo	%	8.68	8.68	8.68
	Relación	-	1.75	1.75	1.75
PRENSAS MARSHALL	Estabilidad corregida	kN	15.02	12.86	17.18
	Flujo máximo	mm	3.29	4.79	4.75
	Relación Estabilidad / Flujo	kg/cm	4565.20	2684.34	3616.42

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
A BACH. JUVENAL CONYA ASCUE

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
	TEMA "INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"		
	UBICACIÓN Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. CMI UAC TESISTA BACH. JUVENAL CONYA ASCUE FECHA 16/11/2023		

"DISEÑO SMA - MÉTODO MARSHALL"				
DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFÁLTICO AL 6.50%				
GRADACIÓN	MATERIAL	PROCEDENCIA	% POR PESO DEL TOTAL DE AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA
"SMA" (EG - 2013)	PIEDRA DE 3/4"	-	17.00	7.95
	PIEDRA DE 1/2"	-	58.00	27.12
	Fino	-	15.00	54.23
	Filler	-	10.00	14.03
	Asfalto Modificado	BETUTEC PG 70-28	6.50	6.50
TOTALES			100% + CA al 6.50%	100%





% QUE PASA	ESPECIFICACIONES SMA TM 19mm		
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
91.09%	90.00%	100.00%	
56.69%	45.00%	80.00%	
39.43%	30.00%	43.00%	
27.64%	25.00%	35.00%	
24.57%	20.00%	25.00%	
18.88%	18.00%	23.00%	
9.24%	9.00%	13.00%	



PARÁMETRO		UNIDAD	ASFALTO AL 6.5%			
			P4	P5	P6	
DOSIFICACIÓN	PIEDRA DE 3/4"	%	17.00	17.00	17.00	
	PIEDRA DE 1/2"	%	58.00	58.00	58.00	
	Fino	%	15.00	15.00	15.00	
	Filler	%	10.00	10.00	10.00	
	Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	6.50	6.50	6.50	
	PIEDRA DE 3/4"	%	15.90	15.90	15.90	
% POR PESO TOTAL DE LA MEZCLA	PIEDRA DE 1/2"	%	54.23	54.23	54.23	
	Fino	%	14.03	14.03	14.03	
	Filler	%	9.35	9.35	9.35	
	Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	6.50	6.50	6.50	
	Gsb Bulk	gr/cm3	2.560	2.560	2.560	
	Gsa	gr/cm3	2.620	2.620	2.620	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADOS Y DE MEZCLA	PIEDRA DE 3/4"	gr/cm3	2.560	2.560	2.560	
	PIEDRA DE 1/2"	gr/cm3	2.660	2.660	2.660	
	Fino	gr/cm3	2.620	2.620	2.620	
	PIEDRA DE 3/4"	gr/cm3	2.620	2.620	2.620	
	PIEDRA DE 1/2"	gr/cm3	2.620	2.620	2.620	
	Fino	gr/cm3	2.700	2.700	2.700	
Gsa Aparente	Gravedad Específica Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cm3	1.013	1.013	1.013	
Gsb mezcla	Gravedad Específica Bulk de la combinación	gr/cm3	2.576	2.576	2.576	
Gsa mezcla	Gravedad Específica Aparente de la combinación	gr/cm3	2.633	2.633	2.633	
DATOS DE BRIQUETAS	WD	Peso de la Briqueta al aire	gr.	1247.99	1254.95	1259.20
	WSUB	Peso de la Briqueta sumergido	gr.	705.90	701.80	707.90
	WSSD	Peso de la Briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1256.92	1263.46	1267.21
	Gmb	Gravedad Específica Bulk del espécimen	gr/cm3	2.265	2.234	2.251
	Gmm	Gravedad Específica Máxima Rice	gr/cm3	2.389	2.389	2.389
	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS	VTM	Vacios en el Total de la Mezcla	%	5.180	6.458
VMA		Vacios en el Agregado Mineral	%	17.797	18.905	18.288
VFA		Vacios Llenos con Asfalto	%	70.893	65.840	68.577
p		Densidad	gr/cm3	2.265	2.234	2.251
Verificación 1		Gsa > Gse > Gsb, 2.724 > 2.680 > 2.604, OK	-	2.633	2.638	2.576
Verificación 2		Gmm=Gmb/(100-VTM), 2.476 = 2.476, OK	-	2.389	2.389	2.389
Verificación 3	VMA=100-(%Agreg*Gmb)/Gs, 16.579 = 16.576, OK	-	17.797	26.018		
RELACIÓN POLVO A ASFALTO	Pba	Porcentaje de Asfalto Absorbido	%	0.92	0.92	0.92
	Pbe	Porcentaje de Asfalto Efectivo	%	5.68	5.68	5.68
	Polvo	Agregado más fino que el tamiz 0.075mm en Mezcla	%	8.68	8.68	8.68
	Relación	Relación Polvo - Asfalto Efectivo	-	1.53	1.53	1.53
PRENS A MARSHALL	Estabilidad corregida	kN	21.34	18.12	21.48	
	Flujo máximo	mm	4.67	4.73	3.03	
	Relación Estabilidad / Flujo	kg/cm	4568.52	3829.81	7089.11	


 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 Ing. Juvenal Conya Ascue
 Vicedirector de Suelos

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"	
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. CIVI UAC	
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE	
FECHA	16/11/2023	

"DISEÑO SMA - MÉTODO MARSHALL"				
DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFÁLTICO AL 7.0%				
GRADACIÓN	MATERIAL	PROCEDENCIA	% POR PESO DEL TOTAL DE AGREGADO	% POR PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA
"SMA" (EG - 2013)	PIEDRA DE 3/4"	-	17.00	7.91
	PIEDRA DE 1/2"	-	58.00	26.97
	Fino	-	15.00	53.94
	Filler	-	10.00	13.95
	Asfalto Modificado	BETUTEC PG 70-28	7.00	7.00
TOTALES			100% + CA al 7.0%	100%



% QUE PASA	ESPECIFICACIONES SMA TM 19mm	
100.00%	100.00%	100.00%
91.09%	90.00%	100.00%
56.69%	45.00%	60.00%
39.43%	30.00%	45.00%
27.64%	25.00%	35.00%
24.57%	20.00%	25.00%
18.88%	16.00%	23.00%
9.24%	9.00%	13.00%



PARÁMETRO			UNIDAD	ASFALTO AL 7%		
				P7	P8	P9
DOSIFICACIÓN		PIEDRA DE 3/4"	%	17.00	17.00	17.00
	% POR PESO TOTAL DEL AGREGADO	PIEDRA DE 1/2"	%	58.00	58.00	58.00
		Fino	%	15.00	15.00	15.00
		Filler	%	10.00	10.00	10.00
		Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	7.00	7.00	7.00
DOSIFICACIÓN		PIEDRA DE 3/4"	%	15.81	15.81	15.81
	% POR PESO TOTAL DE LA MEZCLA	PIEDRA DE 1/2"	%	53.94	53.94	53.94
		Fino	%	13.95	13.95	13.95
		Filler	%	9.30	9.30	9.30
		Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	7.00	7.00	7.00
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADOS Y DE MEZCLA	Gsb Bulk	PIEDRA DE 3/4"	gr/cm3	2.560	2.560	2.560
	Gsb Bulk	PIEDRA DE 1/2"	gr/cm3	2.560	2.560	2.560
	Gsb Bulk	Fino	gr/cm3	2.660	2.660	2.660
	Gsa Aparente	PIEDRA DE 3/4"	gr/cm3	2.620	2.620	2.620
	Gsa Aparente	PIEDRA DE 1/2"	gr/cm3	2.620	2.620	2.620
	Gsa Aparente	Fino	gr/cm3	2.700	2.700	2.700
	Gsa Aparente	Gravedad Específica Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cm3	1.013	1.013	1.013
	Gsb mezcla	Gravedad Específica Bulk de la combinación	gr/cm3	2.576	2.576	2.576
Gsa mezcla	Gravedad Específica Aparente de la combinación	gr/cm3	2.633	2.633	2.633	
DATOS DE LAS BRIQUETAS	WD	Peso de la Briqueta al aire	gr.	1238.97	1303.18	1241.32
	WSUB	Peso de la Briqueta sumergido	gr.	702.70	750.80	705.20
	WSSD	Peso de la Briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1245.82	1309.53	1246.75
	Gmb	Gravedad Específica Bulk del espécimen	gr/cm3	2.281	2.332	2.292
Gmm	Gravedad Específica Máxima Rice	gr/cm3	2.373	2.373	2.373	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS	VTM	Vacios en el Total de la Mezcla	%	3.886	1.729	3.424
	VMA	Vacios en el Agregado Mineral	%	17.647	15.799	17.252
	VFA	Vacios Llenos con Asfalto	%	77.980	89.055	80.150
	b	Densidad	gr/cm3	2.281	2.332	2.292
VERIFICACIONES	Verificación 1	Gsa > Gse > Gsb, 2.724 > 2.673 > 2.604, OK	-	2.633	2.640	2.576
	Verificación 2	Gmm=Gmb/(100-VTM), 2.452 = 2.452, OK	-	2.373	2.373	2.373
	Verificación 3	VMA=100-(%Agreg*Gmb)/Gs, 16.090 = 16.090, OK	-	17.647	25.882	
RELACIÓN POLVO A ASFALTO	Pba	Porcentaje de Asfalto Absorbido	%	0.96	0.96	0.96
	Pbe	Porcentaje de Asfalto Efectivo	%	6.15	6.15	6.15
	Povo	Agregado más fino que el tamiz 0.075mm en Mezcla	%	8.68	8.68	8.68
	Relación	Relación Polvo - Asfalto Efectivo	-	1.41	1.41	1.41
PRENSAS MARSHALL		Estabilidad corregida	kN	16.92	20.34	15.37
		Flujo máximo	mm	2.51	4.09	2.24
		Relación Estabilidad / Flujo	kg/cm	6741.04	4973.11	6861.81


 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

JOSE LUIS LOPEZ B.
 Y. O. S. N. de INGENIERIA CIVIL.

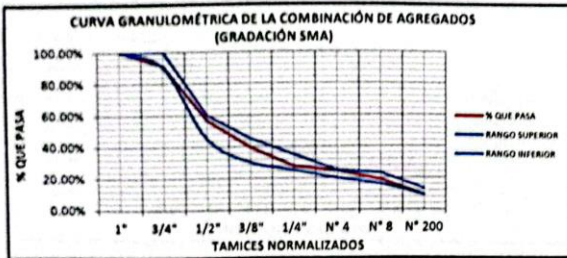


TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
FECHA	16/11/2023

"DISEÑO SMA - MÉTODO MARSHALL"

DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFÁLTICO AL 7.50%

GRADACIÓN	MATERIAL	PROCEDENCIA	% POR PESO DEL TOTAL DE	
			AGREGADO	MEZCLA
"SMA" (EG - 2013)	PIEDRA DE 3/4"	-	17.00	7.85
	PIEDRA DE 1/2"	-	58.00	26.83
	Fino	-	15.00	53.65
	Filler	-	10.00	13.88
	Asfalto Modificado	BETUTEC PG 70-28	7.50	7.50
TOTALS			100% + CA al 7.50%	100%



% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
	SMA TM 19mm	
100.00%	100.00%	100.00%
81.00%	90.00%	100.00%
56.65%	45.00%	60.00%
39.43%	30.00%	45.00%
27.64%	25.00%	35.00%
24.57%	20.00%	25.00%
18.88%	16.00%	23.00%
9.24%	9.00%	13.00%

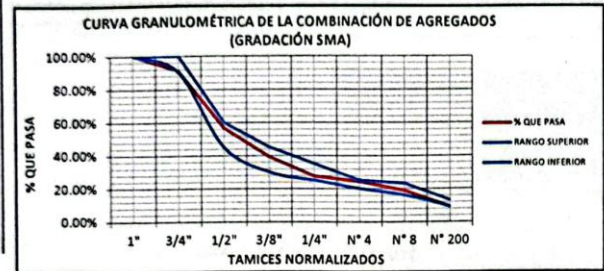


PARÁMETRO		UNIDAD	ASFALTO AL 7.5%			
			P10	P11	P12	
DOSIFICACIÓN	% POR PESO TOTAL DEL AGREGADO	PIEDRA DE 3/4"	%	17.00	17.00	17.00
		PIEDRA DE 1/2"	%	58.00	58.00	58.00
		Fino	%	15.00	15.00	15.00
		Filler	%	10.00	10.00	10.00
		Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	7.50	7.50	7.50
	% POR PESO TOTAL DE LA MEZCLA	PIEDRA DE 3/4"	%	15.73	15.73	15.73
		PIEDRA DE 1/2"	%	53.65	53.65	53.65
		Fino	%	13.88	13.88	13.88
		Filler	%	9.25	9.25	9.25
		Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	7.50	7.50	7.50
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADOS Y DE MEZCLA	Gsb Bulk	PIEDRA DE 3/4"	gr/cm3	2.560	2.560	2.560
	Gsb Bulk	PIEDRA DE 1/2"	gr/cm3	2.560	2.560	2.560
	Gsb Bulk	Fino	gr/cm3	2.660	2.660	2.660
	Gsa Aparente	PIEDRA DE 3/4"	gr/cm3	2.620	2.620	2.620
	Gsa Aparente	PIEDRA DE 1/2"	gr/cm3	2.620	2.620	2.620
	Gsa Aparente	Fino	gr/cm3	2.700	2.700	2.700
	Gsa Aparente	Gravedad Específica Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cm3	1.013	1.013	1.013
Gsb mezcla	Gravedad Específica Bulk de la combinación	gr/cm3	2.576	2.576	2.576	
Gsa mezcla	Gravedad Específica Aparente de la combinación	gr/cm3	2.633	2.633	2.633	
DATOS DE LAS BRIQUETAS	WD	Peso de la Briqueta al aire	gr.	1257.34	1132.50	1425.34
	WSUB	Peso de la Briqueta al sumergido	gr.	713.40	646.60	658.10
	WSSD	Peso de la Briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1273.24	1148.66	1289.51
	Gmb	Gravedad Específica Bulk del espécimen	gr/cm3	2.246	2.256	2.257
Gmm	Gravedad Específica Máxima Rice	gr/cm3	2.362	2.362	2.362	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS	VTM	Vacios en el Total de la Mezcla	%	4.933	4.517	4.446
	VMA	Vacios en el Agregado Mineral	%	10.358	19.006	18.945
	VFA	Vacios Llenos con Asfalto	%	74.519	76.232	76.533
	p	Densidad	gr/cm3	2.246	2.256	2.257
	Verificación 1	$Gsa > Gse > Gsb, 2.724 > 2.681 > 2.604, OK$	-	2.633	2.648	2.576
Verificación 2	$Gmm = Gmb / (100 - VTM), 2.440 = 2.440, OK$	-	2.362	2.362	2.362	
Verificación 3	$VMA = 100 - (\%Agreg * Gmb) / Gs, 16.317 = 16.317, OK$	-	10.358	27.422		
RELACIÓN POLVO - ASFALTO	Pba	Porcentaje de Asfalto Absorbido	%	1.07	1.07	1.07
	Pbe	Porcentaje de Asfalto Efectivo	%	6.55	6.55	6.55
	Poivo	Agregado más fino que el tamiz 0.075mm en Mezcla	%	6.68	6.68	6.68
	Relación	Relación Polvo - Asfalto Efectivo	-	1.33	1.33	1.33
PNEVS A MARSHALL		Estabilidad corregida	kN	13.22	10.27	12.89
		Flujo máximo	mm	3.14	2.25	2.43
		Relación Estabilidad / Flujo	kg/cm	4210.10	4564.44	5304.53

TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. CIVI UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
FECHA	16/11/2023

"DISEÑO SMA - MÉTODO MARSHALL"
DOSIFICACIÓN PARA CEMENTO ASFÁLTICO AL 8.00%

GRADACIÓN	MATERIAL	PROCEDENCIA	% POR PESO DEL TOTAL DE	
			AGREGADO	MEZCLA
"SMA" (EG - 2013)	PIEDRA DE 3/4"	-	17.00	7.82
	PIEDRA DE 1/2"	-	58.00	26.68
	Fino	-	15.00	53.36
	Filler	-	10.00	13.80
	Asfalto Modificado	BETUTEC PG 70-28	8.00	8.00
TOTALES			100% + CA al 8.0%	100%



% QUE PASA	ESPECIFICACIONES SMA TM 19mm	
100.00%	100.00%	100.00%
91.09%	90.00%	100.00%
56.69%	45.00%	60.00%
39.43%	30.00%	45.00%
27.64%	25.00%	35.00%
24.57%	20.00%	25.00%
18.88%	16.00%	23.00%
9.24%	9.00%	13.00%



PARÁMETRO			UNIDAD	ASFALTO AL 8%		
				P13	P14	P15
DOSIFICACIÓN	% POR PESO TOTAL DEL AGREGADO	PIEDRA DE 3/4"	%	17.00	17.00	17.00
		PIEDRA DE 1/2"	%	58.00	58.00	58.00
		Fino	%	15.00	15.00	15.00
		Filler	%	10.00	10.00	10.00
		Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	8.00	8.00	8.00
	% POR PESO TOTAL DE LA MEZCLA	PIEDRA DE 3/4"	%	15.64	15.64	15.64
		PIEDRA DE 1/2"	%	53.36	53.36	53.36
		Fino	%	13.80	13.80	13.80
		Filler	%	9.20	9.20	9.20
		Cemento Asfáltico Modificado BETUTEC PG 70-28	%	8.00	8.00	8.00
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADOS Y DE MEZCLA	Gsb Bulk	PIEDRA DE 3/4"	gr/cm3	2.560	2.560	2.560
	Gsb Bulk	PIEDRA DE 1/2"	gr/cm3	2.560	2.560	2.560
	Gsb Bulk	Fino	gr/cm3	2.660	2.660	2.660
	Gsa Aparente	PIEDRA DE 3/4"	gr/cm3	2.620	2.620	2.620
	Gsa Aparente	PIEDRA DE 1/2"	gr/cm3	2.620	2.620	2.620
	Gsa Aparente	Fino	gr/cm3	2.700	2.700	2.700
	Gsa Aparente	Gravedad Específica Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cm3	1.013	1.013	1.013
DATOS DE LAS BRIQUETAS	WD	Peso de la Briqueta al aire	gr.	1301.73	1272.15	1281.93
	WSUB	Peso de la Briqueta sumergido	gr.	708.70	705.20	703.70
	WSSD	Peso de la Briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1305.16	1277.85	1287.47
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS	Gmb	Gravedad Específica Bulk del espécimen	gr/cm3	2.182	2.222	2.196
	Gmm	Gravedad Específica Máxima Rice	gr/cm3	2.324	2.324	2.324
	VTM	Vacios en el Total de la Mezcla	%	6.095	4.413	5.513
	VMA	Vacios en el Agregado Mineral	%	22.060	20.665	21.577
	VFA	Vacios Llenos con Asfalto	%	72.373	78.646	74.452
	b	Densidad	gr/cm3	2.182	2.222	2.196
	Verificación 1	$Gsa > Gse > Gsb, 2.724 > 2.653 > 2.604, OK$	-	2.633	2.619	2.576
	Verificación 2	$Gmm = Gmb / (100 - VTM), 2.400 = 2.400, OK$	-	2.324	2.324	2.324
	Verificación 3	$VMA = 100 - (\%Agreg * Gmb) / Gs, 17.016 = 17.016, OK$	-	22.060	29.854	
	RELACIÓN POLVO ASFALTO	Pbs	Porcentaje de Asfalto Absorbido	%	0.64	0.64
Pbe		Porcentaje de Asfalto Efectivo	%	7.44	7.44	7.44
Polvo		Agregado más fino que el tamiz 0.075mm en Mezcla	%	8.68	8.68	8.68
Relación		Relación Polvo - Asfalto Efectivo	-	1.17	1.17	1.17
PRENS A MARSHALL	Estabilidad corregida	kN	13.11	14.37	13.33	
	Flujo máximo	mm	3.78	3.24	2.32	
	Relación Estabilidad / Flujo	kg/cm	3468.25	4435.19	5745.69	

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
FECHA	16/11/2023

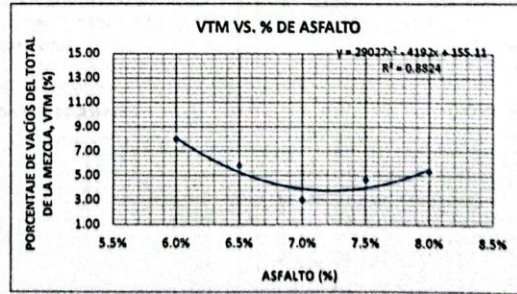
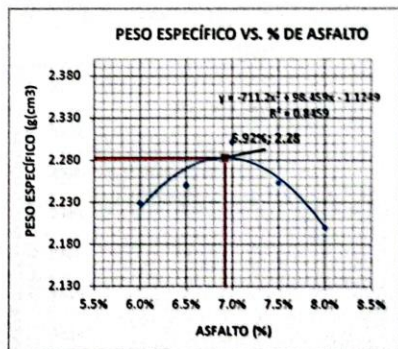
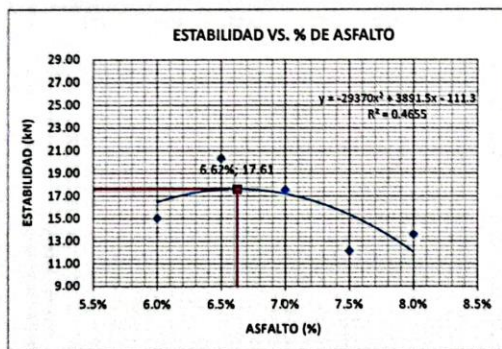
"RESULTADOS DEL DISEÑO SMA - MÉTODO MARSHALL"

Norma Nacional MTC E 504 e Internacional ASTM D 1559

PARÁMETRO	UND	PORCENTAJE DE ASFALTO					ESPECIFICACIÓN
		6.00%	6.50%	7.00%	7.50%	8.00%	
Densidad	%	2.229	2.250	2.302	2.253	2.200	
Vacios en el total de la mezcla, VTM	%	7.966	5.795	3.013	4.632	5.340	2% - 4%
Vacios en el agregado mineral, VMA	%	18.663	18.330	16.899	19.103	21.434	Mínimo 17.00
Vacios llenos con asfalto, VFA	%	57.319	68.437	82.395	75.761	75.157	70.00 - 80.00
ESTABILIDAD	kN	15.019	20.310	17.543	12.127	13.603	Mínimo 6.2 kN
FLUJO	mm	4.28	4.14	2.95	2.61	3.11	-
RELACION ESTABILIDAD/FLUJO	kg/cm	3622.02	5162.48	6191.92	4693.05	4549.71	-
RELACION POLVO/ASFALTO	kg/cm	1.75	1.53	1.41	1.33	1.17	-
Número de golpes de Compactación	n°			50			50
Tiempo de Inmersión en Baño María	min			30			30 - 40
Temperatura de Inmersión en Baño María	°C			60			60° ± 1°

"MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO"
Obtención del Contenido Óptimo de Asfalto

CONSIDERACIONES	%CA
PICO DE LA CURVA DE ESTABILIDAD	6.62%
PICO DE LA CURVA DE PESO UNITARIO	6.92%
4% VOLUMEN TOTAL DE LA MEZCLA	
%CA PROMEDIO	6.77%



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

(Signature)
ABE. JUVENAL CONYA ASCUE
INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL

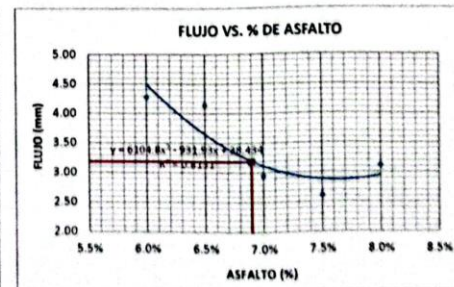
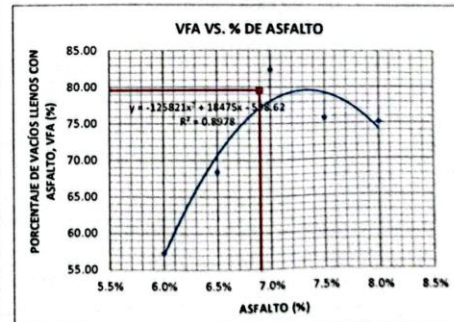
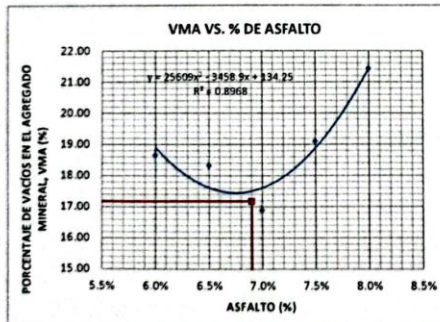
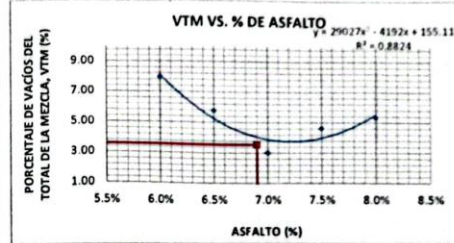
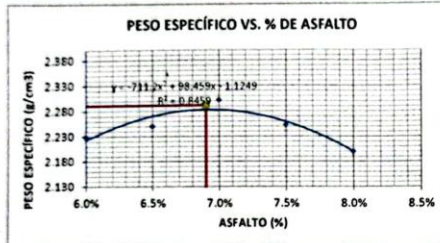


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA	"INFLUENCIA DEL USO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE MASILLA DE PIEDRA MODIFICADA CON PET Y NANO SILICE EN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE AV. LA CULTURA-CUSCO 2023"
UBICACIÓN	Laboratorio de Suelos y Pavimentos E.P. Ing. Civil UAC
TESISTA	BACH. JUVENAL CONYA ASCUE
FECHA	16/11/2023

"RESULTADOS DEL DISEÑO SMA - MÉTODO MARSHALL"						
Norma Nacional MTC E 504 e Internacional ASTM D 1559						
PARÁMETRO	UND	6.70%	6.90%	7.10%	ESPECIFICACIÓN	CONDICIÓN
Vacios en el total de la mezcla, VTM	%	4.68	3.57	2.46	2% - 4%	CUMPLE
Vacios en el agregado mineral, VMA	%	17.76	17.19	16.61	Mínimo 17.00	CUMPLE
Vacios llenos con asfalto, VFA	%	74.02	79.60	85.19	70.00 - 80.00	CUMPLE
ESTABILIDAD	kN	19.20	18.10	16.99	Mínimo 6.2 Kn	CUMPLE
FLUJO	mm	3.66	3.19	2.71	2.00 - 4.00	>3000m.s.n.m.
RELACION ESTABILIDAD/FLUJO	kg/cm	5240.13	5680.06	6275.55	1700 - 4000	CUMPLE
RELACION POLVO/ASFALTO	-	0.90	0.85	0.81	0.6 - 1.3	CUMPLE
Numero de golpes de Compacción	n'		75	75		CUMPLE
Tiempo de Inmersión en Baño María	min		30	30	30 - 40	CUMPLE
Temperatura de Inmersión en Baño María	°C		60	60	60' ± 1"	CUMPLE



VC_{Adrc} = 41.704
6% 7% 7% 8% 8%
VC_{Amix} 34.695 34.076 32.561 33.994 35.548

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
SUELOS

FICHA TÉCNICA

BETUTEC PG 70 - 28

ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO



DESCRIPCIÓN

Es un cemento asfáltico modificado con polímero elastómero del tipo estireno-butadieno-estireno (SBS).

VENTAJAS

Las mezclas asfálticas fabricadas con BETUTEC PG 70 - 28 ofrecen las siguientes ventajas técnicas:

- Reducción de la susceptibilidad térmica.
- Aumento de la flexibilidad y elasticidad a bajas temperaturas.
- Incremento del módulo de rigidez a altas temperaturas.
- Mayor adhesividad de los agregados.
- Aumento de la resistencia a la tracción y a la elongación.
- Incremento de la vida útil de los pavimentos, por su mayor resistencia al envejecimiento, a la propagación de grietas y a la formación de ahuellamientos.
- Reduce los costos de mantenimiento, produciendo rentabilidad económica con el tiempo.

ESPECIFICACIONES

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	BETUTEC PG 70 - 28	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Punto de ablandamiento, °C	D 36	60	75
Penetración, 25°C, 5 s, dmm	D 5	70	---
Punto de inflamación, °C	D 92	235	---
Recuperación Elástica Lineal, 25°C, 20 cm, %	D 6084	70	---
Ductilidad 5°C, 5 cm/min, cm	D 113	15	---
Viscosidad Brookfield, 135°C, cP	D 4402	---	3000
Viscosidad Brookfield, 145°C, cP	D 4402	---	1000
Viscosidad Brookfield, 175°C, cP	D 4402	---	---
Estabilidad al almacenamiento, 163°C, 48 horas	D 7173	MÍNIMO	MÁXIMO
Diferencia en punto de ablandamiento, °C	D 36	---	5
Diferencia en Penetración, dmm	D 5	---	10
Sobre el residuo después de Película Fina Delgada	D 1754	MÍNIMO	MÁXIMO
Variación de masa, %	D 1754	---	1
Penetración, 25°C, 5 s, % del original	D 5	65	---
Ductilidad 5°C, 5 cm/min, cm	D 113	8	---
Punto de Ablandamiento, diferencia del original	D 36	-5	10
Sobre el residuo después del Efecto de Aire y Calor	D 2872	MÍNIMO	MÁXIMO
Deformación Creep y Recuperación Elástica	D 7405	---	---
- Recuperación mínima @ 3,200 Pa, %	D 7405	15	---
- Pérdida máxima de recuperación, 100-3.200 Pa, %	D 7405	---	75

PRESENTACIÓN

A granel

ALMACENAMIENTO

BETUTEC PG70 -28 puede ser dañado por calentamiento a altas temperaturas (encima de 190°C), recalentamientos sucesivos ó prolongados. Normalmente se entrega en planta entre rangos de temperatura altos (160 - 175°C) y deberá ser descargado en tanques exentos de residuos de asfalto convencional u otro material que afecte la calidad del producto. Se recomienda durante el almacenamiento por un período superior a 5 días, almacenar el producto a temperatura más baja que la usual (100 - 120°C), siendo la máxima recomendable para períodos cortos de almacenamiento de 165°C. Almacenar a temperatura ambiente, si el producto quedará por largos períodos (20 días ó más).

La temperatura a lo largo del tanque deberá ser uniforme y la distribución de calor deberá ocurrir de forma homogénea a través de la utilización de una bomba de recirculación. El calentamiento nunca deberá realizarse de forma directa y si, en tanques que cuenten con un serpentín de fluido térmico.



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 508-LF-2023

Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 2

Expediente	: 039-MYC-2023	La incertidumbre reportada en el presente informe es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$.
Solicitante	: UNIVERSIDAD ANDINA CUSCO	La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición".
Dirección	: Urb. Ingeniería, Mza. A Lote 5, Urb. Larapa Grande - San Jeronimo - Cusco	Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.
Instrumento de Medicion	: Maquinas para Ensayos Uniaxiales Estaticos Maquinas de Ensayos de Tension/Compresion	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales y/o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
Equipo Calibrado	: PRENSA MARSHALL - 50 kN	Los resultados son validos en el periodo de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.
Marca	: ELE INTERNATIONAL	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.
Modelo	: E125-3604	La periodicidad de la calibración depende del uso mantenimiento y conservación del instrumento de medición.
Número de Serie	: H081001	
Rango de medición	: 0 kN a 50 kN.	
Identificación	: 675056220001	
Procedencia	: USA	
Indicador de Lectura	: DIAL MECANICO	
Marca	: ELE INTERNATIONAL	
Modelo	: S/N	
Numero de Serie	: 2CD311	
Identificación	: 675056220001	
Alcance de Indicación	: 0.002 a 5 mm	
Procedencia	: USA	
Resolución	: 0.002 mm	
Trasdudor de Fuerza	: ANILLO DE CARGA	
Alcance de Indicación	: 50 kN	
Marca	: ELE INTERNATIONAL	
Modelo	: E125	
Numero de Serie	: S/N	
Lugar de calibración	: Laboratorio de Mecanica de Suelos Universidad Andina	
Fecha de Calibración	: 2023-05-11	


Fecha de Emisión: 2023-05-13

Jefe de Laboratorio de Metrología

Sello

2023-05-13

METROLAB Y CALIDAD S.A.C.


Miguel Aníbal Ruiz Sullca
JEFE LABORATORIO



METROLAB Y CALIDAD SAC - LABORATORIO DE METROLOGIA

Dirección: PASAJE SANTIAGO MZA. E, LOTE N° 2, SANTIAGO CUSCO - PERU Teléfono: (084) 206172 Cel: 976 648 580

www.metrolabycalidad.com

metrolab@metrolabycalidad.com

ventas@metrolabycalidad.com

metrolabycalidad@gmail.com



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 508-LF-2023

Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 2

Método de Calibración

La calibración se realizó por comparación directa utilizando como referencia la Norma Tec. ASTM E74-13a ASTM C39 y de acuerdo con el cliente se procedió a aplicar los valores de carga indicados en el cuadro.

Patrones de Referencia

Trazabilidad	Patron Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia ilac-MRA - UKAS Calibration	Celda de Carga - Impact Test Equipment	DM22036 - 07 November 2022
Patrones de referencia del SNM-INDECOPI - INACAL	Cronometro Patron de Resolucion 9H59 min 59.999s	METROIL - INACAL LT-1733-2022
Patrones de referencia del SNM-INDECOPI - INACAL	Termohigometro TESTO-PC-MT-002, Incertidumbre 2.8 % HR	METROIL - INACAL LT-0039-2022 EXP. 103370-2022

Resultados de medición

LECTURA DEL DIAL DIVISIONES		Lectura del patrón			Promedio	Calculo de errores		Incertidumbre
Nº	0	Primera	Segunda	Tercera		Exactitud	Repetibilidad	
		lbs	lbs	lbs	lbs	q(%)	b(%)	U(%)
1	100	106.0	101.2	98.9	102.0	0.01	15.3	5.2
2	200	504.5	575.5	568.8	549.6	0.00	28.5	8.3
3	300	1355.0	1193.7	1146.5	1231.8	0.00	37.3	10.3
4	400	2015.0	1854.7	1888.4	1919.4	-0.01	18.4	5.1
5	500	2734.6	2688.7	2405.5	2609.6	-0.01	27.8	7.9
6	600	3590.5	3539.6	3274.4	3468.2	-0.01	20.1	5.7
7	700	4374.4	4383.8	4173.6	4310.6	-0.01	10.8	3.2
8	800	5611.5	5440.4	5429.2	5493.7	-0.01	7.3	2.2
9	900	6635.6	6618.4	6766.8	6673.6	-0.01	4.9	1.4
10	1000	7698.5	7793.0	7722.2	7737.9	-0.01	2.7	0.8
Lectura máquina en cero		0	0	0	----	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Temperatura promedio durante los ensayos 22.5 °C Variación de temperatura en cada ensayo < 1 °C

Evaluación de los resultados

De los resultados obtenidos durante la calibración se ha obtenido la siguiente ecuación cuadrática:

$$Y = A \cdot X^2 + B \cdot X + C$$

Donde:

Y = Indicación del Equipo en kgf.

X = Lectura directa del equipo / valores del dial

Los coeficientes obtenidos son:

$$A = 0.0045$$

$$B = 3.6415$$

$$C = -308.16$$

Observaciones

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

Fin del documento





METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 511- LF -2023

Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

Expediente : 039-MYC-2023
Solicitante : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
Dirección : Urb. Ingeniería, Mza. A Lote 5, Urb. Larapa Grande - San Jeronimo - Cusco

Instrumento de Medicion : Maquinas para Ensayos Uniaxiales Estaticos
Maquinas de Ensayos de Tension/Compresion

Equipo Calibrado : PRENSA DIGITAL DE COMPRESION / CONCRETO
Marca : ELE INTERNATIONAL - ACCUTEK
Modelo : EI36-0650106 / 260640707
Número de Serie : 07040000007
Rango de medición : 100,000 kgf
Identificación : 07040000007
Procedencia : EEUU

Indicador de Lectura : DIGITAL
Marca : ADR
Modelo : EI36-0650106
Numero de Serie : 0112AH612
Identificación : 07040000007
Alcance de Indicación : 0 kgf A 100,000 kgf
Procedencia : EEUU

Trasductor de Fuerza : TRASDUCTOR
Alcance de Indicación : 0 a 10 kgf
Marca : SPX CORPORATION
Modelo : A
Numero de Serie : 0112AH61277

Lugar de calibración : Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos de la Universidad Andina

Fecha de Calibración : 2023-05-11

Fecha de Emisión

Jefe de Laboratorio de Metrología

Sello

2023-05-14

METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Miguel Angel Ruiz Sulca
JEFE LABORATORIO



La incertidumbre reportada en el presente informe es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$.

La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales y/o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el periodo de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

La periodicidad de la calibración depende del uso mantenimiento y conservación del instrumento de medición.



Método de Calibración

La calibración se realizó por comparación directa utilizando como referencia la Norma Tec. ASTM E74-13a ASTM C39 y de acuerdo con el cliente se procedió a aplicar los valores de carga indicados en el cuadro.

Resultados de medición

Lectura de la máquina (Fi)		Lectura del patrón			Promedio	Cálculo de errores		Incertidumbre
%	kgf	Primera	Segunda	Tercera		Exactitud	Repetibilidad	
	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	q(%)	b(%)	U(%)
10	10000	10645.7	9886.0	10265.8	10265.8	-2.6	7.4	4.3
20	20000	22158.1	21434.1	21536.1	21709.4	-7.9	3.3	2.1
30	30000	30580.8	29581.5	30336.1	30166.1	-0.6	3.3	2.0
40	40000	39625.5	40329.1	39268.6	39741.1	0.7	2.7	1.6
50	50000	52218.8	52616.5	52749.1	52528.1	-4.8	1.0	0.7
60	60000	65393.4	61559.3	61681.7	62878.1	-4.6	6.1	4.0
70	70000	74091.4	71430.0	72760.7	72760.7	-3.8	3.7	2.1
80	80000	82677.3	83472.6	82147.0	82765.7	-3.3	1.6	1.0
90	90000	93761.4	92303.2	92374.6	92813.1	-3.0	1.6	1.1
100	100000	101888.4	101806.8	99777.6	101157.6	-1.1	2.1	1.4
Lectura máquina en cero		0	0	0	----	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2)
	Exactitud	Repetibilidad	Reversibilidad	Resolución Relativa	
	q (%)	b (%)	v (%)	a (%)	
10000	-2.59	7.4	----	0.02	4.28
20000	-7.87	3.3	----	0.01	2.10
30000	-0.55	3.3	----	0.01	2.01
40000	0.65	2.7	----	0.01	1.59
50000	-4.81	1.0	----	0.00	0.65
60000	-4.58	6.1	----	0.00	4.01
70000	-3.79	3.7	----	0.00	2.13
80000	-3.34	1.6	----	0.00	0.96
90000	-3.03	1.6	----	0.00	1.05
100000	-1.14	2.1	----	0.00	1.39
Error de cero fo (%)	0	0	No aplica	0	Error máx. de cero(0)=0,00

