

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas – mecánicas de la mezcla de asfalto

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

AUTOR

Claudia Pamela Chavez Samame

ASESOR

Manuel Alejandro Borja Suarez

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

Chiclayo, 2024

Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas – mecánicas de la mezcla de asfalto

PRESENTADA POR
Claudia Pamela Chavez Samame

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Aníbal Teodoro Díaz Orrego
PRESIDENTE

Joaquín Hernán Rojas Oblitas
SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, quienes son mis constantes fuentes de inspiración, quienes me brindan amor, acompañamiento y protección en cada etapa de mi vida. Gracias a ellos y a mi fortaleza, veo cristalizadas mis metas y expectativas de realizarme como persona y como profesional, a ellos, mis padres, que son mi motor y el impulso más importante de mi vida para seguir luchando por la realización de mis más grandes anhelos.

Agradecimiento

Gracias a Dios, por darme la vida y seguir bendiciendo mi camino durante mi día a día, por brindarme la suficiente sabiduría y fortaleza para alcanzar mis metas.

A mis padres, por estar presentes en cada etapa de mi vida, por ser mi lugar seguro y mi constante soporte, por velar por mi cuidado y protección, y por seguir a mi lado brindándome su amor, enseñanzas y apoyo para continuar persiguiendo mis metas personales y académicas.

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

8%

2

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

2%

3

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

2%

4

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

idoc.pub

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

9

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

Índice

Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
Revisión de literatura	17
Antecedentes del problema	17
Bases teóricas científicas.....	19
Asfalto	19
Asfaltos modificados.....	20
Mezcla asfáltica.....	20
Tipos de mezclas asfálticas según su temperatura	20
Diseño de mezcla asfáltica	21
Propiedades físicas de la mezcla de asfalto.....	23
Métodos de adición de polvo de caucho y plástico reciclado en las mezclas asfálticas	26
Método o ensayos para mezclas asfálticas	30
Elaboración, Ensayo de rotura de vacíos de las mezclas compactadas	31
Materiales y métodos	34
Tipo y nivel de investigación	34
Diseño de investigación	34
Población, muestra, muestreo.....	35
Población.....	35
Muestra.....	35
Criterios de selección	37
Operacionalización de variables.....	37
Variable independiente.....	37
Variable dependiente.....	37
Variable interviniente	38
Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
Método Marshall (ASTM – 1559)	38
Técnicas.....	40
Instrumentos	41
Ensayo de agregados	42
Métodos	43
Procedimientos	43

Granulometría.....	44
Gradación	45
Especímenes de ensayo	45
Peso aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas utilizando muestras secas superficialmente saturadas	46
Método Marshall	46
Mezclas asfálticas con la incorporación de polvo de caucho y plástico reciclado.....	48
Plan de procesamiento y análisis de datos.....	49
Fase I:	49
Fase II:.....	49
Fase III:	49
Fase IV:	49
Matriz de consistencia.....	50
Consideraciones éticas	51
Resultados	52
Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico ligero - patrón)	52
Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico mediano - patrón).....	53
Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico pesado - patrón).....	54
Método Marshall	55
Mezcla asfáltica patrón.....	55
Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico ligero - modificada).....	60
Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico mediano - modificada)	61
Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico pesado - modificada).....	62
Método Marshall	63
Mezcla asfáltica modificada	63
Discusión	69
Conclusiones	72
Recomendaciones	75
Referencias.....	76
Anexos	79
Validación de ensayos de laboratorio.....	79
Formatos de ensayos	80
Anexo 01: Granulometría.....	80
Anexo 02: Gravedad específica y absorción	81
Anexo 03: Límite plástico e índice de plasticidad agregado fino	82

Anexo 04: Límite plástico e índice de plasticidad agregado grueso	83
Anexo 05: Durabilidad agregado fino	84
Anexo 06: Durabilidad agregado grueso.....	85
Anexo 07: Valor equivalente de arena	86
Anexo 08: Abrasión Los Ángeles	87
Anexo 09: Sales solubles agregado grueso	88
Anexo 10: Sales solubles agregado fino.....	89
Anexo 11: Granulometría caucho.....	90
Anexo 12: Granulometría PET.....	91
Ensayos de mezclas	92
Anexo 13: Análisis granulométrico de agregados.....	92
Anexo 14: Mezcla asfáltica patrón – Tráfico Ligero	93
Anexo 15: Mezcla asfáltica patrón – Tráfico Mediano.....	94
Anexo 16: Mezcla asfáltica patrón – Tráfico Pesado.....	95
Anexo 17: Mezcla asfáltica modificada – Tráfico Ligero.....	96
Anexo 18: Mezcla asfáltica modificada – Tráfico Mediano	97
Anexo 19: Mezcla asfáltica modificada – Tráfico Pesado.....	98
Anexo 20: Memoria fotográfica – Ensayos en laboratorio y visitas de campo.....	99

Listas de tablas

Tabla 1: Clasificación y caracterización de mezclas asfálticas en caliente.....	22
Tabla 2: Gradación granulometría MAC.....	25
Tabla 3: Parámetros de diseño de una mezcla MAC.	25
Tabla 4: Caracterización del polvo de caucho.	28
Tabla 5: Población.....	35
Tabla 6: Representación de la muestra.....	36
Tabla 7: Variable independiente.....	38
Tabla 8: Variable dependiente.....	38
Tabla 9: Gradación granulometría MAC – 2.....	39
Tabla 10: Porcentaje de asfalto y agregado para la mezcla patrón.	39
Tabla 11: Porcentaje de polvo de caucho y PET para la mezcla modificada.....	40
Tabla 12: Ensayos a realizar.....	40
Tabla 13: Técnicas e instrumentos.	41
Tabla 14: Requerimientos para los agregados gruesos.	42
Tabla 15: Requerimientos para los agregados finos.....	43
Tabla 16: Diseño patrón.	46
Tabla 17: Factores de estabilidad de correlación.	47
Tabla 18: Muestras por porcentaje de adición y tráfico de diseño.....	48
Tabla 19: Matriz de consistencia.....	50
Tabla 20: Granulometría agregados (tráfico ligero - patrón).	52
Tabla 21: Granulometría agregados (tráfico mediano - patrón).....	53
Tabla 22: Granulometría agregados (tráfico pesado - patrón).	54
Tabla 23: Resultados Marshall patrón.....	55
Tabla 24: Granulometría agregados (tráfico ligero - modificada).	60
Tabla 25: Granulometría agregados (tráfico mediano - modificada).....	61
Tabla 26: Granulometría agregados (tráfico pesado - modificada).....	62
Tabla 27: Resultados Marshall modificada.	63

Lista de gráficos

Gráfico 1: Curva granulométrica de los agregados (tráfico ligero - patrón).....	52
Gráfico 2: Curva granulométrica de los agregados (tráfico mediano - patrón).....	53
Gráfico 3: Curva granulométrica de los agregados (tráfico pesado - patrón).	54
Gráfico 4: Flujo (mm).	55
Gráfico 5: Estabilidad (kg).....	56
Gráfico 6: Relación estabilidad flujo (kg/cm).....	56
Gráfico 7: Curva granulométrica de los agregados (tráfico ligero - modificada).	60
Gráfico 8: Curva granulométrica de los agregados (tráfico mediano - modificada).....	61
Gráfico 9: Curva granulométrica de los agregados (tráfico pesado - modificada).	62
Gráfico 10: Peso unitario (gr/cm ²) – Patrón vs Modificada	63
Gráfico 11: Vacíos (%) – Patrón vs Modificada	64
Gráfico 12: Flujo (mm) – Patrón vs Modificada.....	64
Gráfico 13: Estabilidad (kg) – Patrón vs Modificada	65
Gráfico 14: Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) – Patrón vs Modificada.....	65

Lista de figuras

Figura 01: Tipología del plástico (Fuente: Medio ambiente, sociedad y plástico, 1990).	29
Figura 02: Ensayo Marshall.	34
Figura 03: Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.	99
Figura 04: Ensayo de abrasión Los Ángeles.	99
Figura 05: Secado superficial al agregado.	100
Figura 06: Tamizado del agregado.	100
Figura 07: Colocación del agregado en la probeta.	101
Figura 08: Plasticidad del agregado.	101
Figura 09: Agregado separado por tamaño de sus partículas.	102
Figura 10: Agregado con agua dentro del frasco volumétrico.	102
Figura 11: Tamizado del agregado.	103
Figura 12: Peso del agregado grueso y del agregado fino.	103
Figura 13: Cemento asfáltico.	104
Figura 14: Colocación de la mezcla a calentar.	104
Figura 15: Mezcla convencional con agregados y cemento asfáltico.	105
Figura 16: Moldeado de briqueta.	105
Figura 17: Espécimen por ser extraído.	106
Figura 18: Extracción del espécimen.	106
Figura 19: Briqueta moldeada y extraída.	107
Figura 20: Especímenes para tráfico pesado.	107
Figura 21: Colocación de la briqueta en el pedestal de compactación.	108
Figura 22: Especímenes para tráfico mediano.	108
Figura 23: Toma de medida de altura de la briqueta.	109
Figura 24: Especímenes para tráfico ligero.	109
Figura 25: Peso en el aire del espécimen.	110
Figura 26: Peso en el agua de la briqueta.	110
Figura 27: Secado superficial de la briqueta.	111
Figura 28: Peso saturado con superficie seca de la briqueta.	111
Figura 29: Colocación de los especímenes en baño de agua a 60°C.	112
Figura 30: Especímenes en un baño de aire a 25°C.	112
Figura 31: Colocación de la briqueta en el segmento inferior del cabezal.	113
Figura 32: Máquina de carga para la rotura de la briqueta.	113

Figura 33: Rotura de briquetas.....	114
Figura 34: Incorporación del polvo de caucho y PET a la mezcla.....	114
Figura 35: Preparación de la mezcla modificada con polvo de caucho y PET.	115
Figura 36: 36 briquetas moldeadas con la adición de PC y PET para tráfico pesado.	115
Figura 37: 36 briquetas moldeadas con la adición de PC y PET para tráfico mediano.	116
Figura 38: Visita planta de asfalto.....	116
Figura 39: Visita Cantera Tres Tomas.	117
Figura 40: Visita Cantera Pátapo - La Victoria.....	117
Figura 41: Botaderos de llantas.....	118
Figura 42: Trituradora.	118
Figura 43: PET pulverizado.	119

Resumen

La importancia de la presente investigación fue obtener porcentajes óptimos de polvo de caucho y plástico reciclado de manera que influya positivamente en las propiedades físicas-mecánicas de las mezclas de asfalto. El objetivo principal tuvo como finalidad determinar la influencia de las adiciones incorporadas del polvo de caucho y plástico reciclado (PET) en la mejora de las características físicas – mecánicas de las mezclas asfálticas para tráfico ligero, mediano y pesado. La metodología fue experimental ya que se ha trabajado con estímulos que son el caucho y el PET, para lo cual se determinó el porcentaje de contenido óptimo de asfalto en la muestra patrón para ser incorporado a las mezclas modificadas para tráfico ligero, mediano y pesado con la adición de polvo de caucho y plástico PET. El contenido óptimo de asfalto para tráfico ligero, mediano y pesado fue de 5.4%, existiendo una ligera variación de 0.1% entre sí para las mezclas modificadas. Se realizó los especímenes de mezclas modificadas con 1%, 2%, 3% y 4% de polvo de caucho y con 1%, 2%, 3% y 4% de plástico reciclado. Por tanto, se llegó a la conclusión de que, en cuanto a las muestras patrón de asfalto convencional, tenemos que la mayor estabilidad se consigue en el diseño de tráfico mediano con 1691 kg y 1774.27 kg para la modificada. A su vez, se obtuvo una relación de estabilidad – flujo en mejores condiciones para el tráfico pesado siendo este de 1512.73 kg/cm y 1842.22 kg/cm para la modificada. Con la investigación se consiguió incorporar agregados reciclados a la muestra convencional para mejorar e incrementar las propiedades físicas y mecánicas.

Palabras clave: Caucho, cemento asfáltico, polietileno tereftalato.

Abstract

The importance of this research was to obtain optimal percentages of recycled rubber and plastic powder so that it positively influences the physical-mechanical properties of the asphalt mixtures. The main objective was to determine the influence of the incorporated additions of recycled rubber and plastic powder (PET) on the improvement of the physical-mechanical characteristics of asphalt mixtures for light, medium and heavy traffic. The methodology was experimental since it has worked with stimuli that are rubber and PET, for which the percentage of optimal asphalt content in the standard sample was determined to be incorporated into the modified mixtures for light, medium and heavy traffic with the addition of rubber powder and PET plastic. The optimal asphalt content for light, medium and heavy traffic was 5.4%, with a slight variation of 0.1% between them for the modified mixtures. The specimens were made from modified mixtures with 1%, 2%, 3% and 4% of rubber powder and with 1%, 2%, 3% and 4% of recycled plastic. Therefore, it was concluded that, regarding the conventional asphalt pattern samples, we have that the greatest stability is achieved in the medium traffic design with 1691 kg and 1774.27 kg for the modified one. In turn, a stability – flow relationship was obtained in better conditions for heavy traffic, this being 1512.73 kg/cm and 1842.22 kg/cm for the modified one. With the research, it was possible to incorporate recycled aggregates into the conventional sample to improve and increase the physical and mechanical properties.

Keywords: Rubber, asphalt cement, polyethylene terephthalate.

Introducción

El incremento de los últimos años en las diversas industrias ha generado un consumo masivo de recursos naturales renovables y no renovable, con ello también se ve el alto índice de desperdicios que acarrearán las diversas actividades para la elaboración de los productos. La inexistencia de estrategias, metodologías y poca sensibilización con respecto al trato de los residuos sólidos, eléctricos, entre otros; esto ocasiona ratios de contaminación muy amplios que son negativos para el medioambiente y los mayores perjudicados son las poblaciones vulnerables a lo largo del mundo. Pero, hay algunas industrias que están empezando a reutilizar y reciclar sus productos tras ser desechados, un claro ejemplo es, la industria del caucho y plástico, uno de los principales usos tras su primer uso es en las mezclas asfálticas requeridas para las infraestructuras viales. [1]

El desarrollo de estas mezclas modificadas influye en la disminución de energía, minoración de emisiones de gases tóxicos y reducción de materiales reciclados. Además, estas combinaciones modificadas tienen grandes propiedades físicas y mecánicas porque pueden adaptarse a diferentes entornos. Por ello, es trascendental continuar investigando para comprender esta nueva opción ecológica, incluyendo sus propiedades como: resistencia, desplazamiento, aislamiento, flexibilidad, etc., y sus diversos usos en nuestro medio. [2]

En Latinoamérica existen empresas constructoras que utilizan materiales reciclados como llantas y plásticos para mejorar las carreteras y alargar la vida de estas vías, ofreciendo alternativas más sostenibles a lo largo de los años. Este fue el caso de las empresas El Cóndor y Esentia, quienes lograron construir unos 1.634 metros de largo en la Guajira, Colombia, utilizando asfalto modificado con más de una tonelada de plástico y caucho reciclado. Nuevamente, esta prueba experimental nos permitió recopilar información importante sobre las características de este recubrimiento. En síntesis, estos materiales en base a su uso, nos permite obtener nuevas herramientas para proteger las vías de comunicación de nuestra sociedad nacional de manera ecológica, sostenible y sustentable. [3]

Las empresas constructoras peruanas ejecutan las carreteras de la manera tradicional, es decir, se compone de agregados de piedra y materiales asfálticos que se combinan para formar el producto final. Sin embargo, este proceso no logra necesariamente entregar una infraestructura vial adecuada y sostenible debido a la mala administración, el uso inadecuado de los recursos, las adquisiciones dirigidas y el uso inadecuado de los materiales. Asimismo, no existen en nuestro país políticas o normativas que se centren en el uso de materiales alternativos que ayuden a mejorar sus componentes físicos y mecánicos y con ello mejorar el desempeño vial. [4]

Como parte de la realidad problemática, en nuestro país se generan más de 900'000,000.00 tn de desechos plásticos, donde el 4% se reutiliza para fabricar nuevos envases. Además, solo hay una empresa involucrada en la producción de nuevos contenedores, que utiliza aprox. 49,000.00 toneladas de plástico [5]. En 2014 se reciclaron aproximadamente 55,000.00 toneladas de neumáticos y en 2018 esta cifra aumentó a 110,000.00 toneladas. Sin embargo, las instituciones públicas y privadas han hecho pocos esfuerzos para promover el uso comercial de dragas recicladas. [6]

Asimismo, a diferencia de otros países, nuestro país no depende de llantas usadas y plástico reciclado como parte del desarrollo de su infraestructura vial y ha logrado buenos resultados técnicos y económicos. Los materiales están regulados por la Ford Tustin Society of América, que creó el modelo compuesto de asfalto porque el caucho y el plástico reciclados mejoran las características del asfalto. Para ello, las llantas de desecho y el plástico reciclado se someterán a un proceso modificado para convertirlos en polvo de caucho y gránulos de plástico reciclado, que se agregarán a la mezcla modificada para producir una superficie vial ambientalmente sostenible. [7]

En cuanto a las deficiencias encontradas en la pavimentación de la ciudad de Chiclayo, se pudo evidenciar los problemas frecuentes sobre la durabilidad, rigidez y resistencia de los pavimentos flexibles, derrumbamiento y uso de materiales deficientes, llegando a provocar el deterioro y pérdida de la vida útil de estas vías.

De la misma manera, el estudio demuestra que el uso de residuos plásticos triturados al 6.5% es la combinación óptima de asfalto, la cual mejora las características y las condiciones ambientales mediante el uso eficiente de los residuos sólidos. [8]

De lo manifestado líneas arriba nos planteamos la siguiente interrogante: ¿Cómo contribuye la incorporación del polvo de caucho y plástico reutilizado en la mejora de las propiedades físicas – mecánicas de las mezclas de asfalto en caliente? En este sentido, nuestra hipótesis que se quiere demostrar es que las adiciones incorporadas del polvo de caucho y plástico reutilizado contribuyen al mejoramiento de las propiedades físicas – mecánicas de las mezclas de asfalto en caliente.

Al respecto, el estudio se justifica desde el punto de vista: social, ambiental y tecnológico. Lo primero tiene sentido porque ayuda al desarrollo del país al permitir el uso de residuos de caucho y plástico como parte del agregado fino para obras de construcción. Las carreteras son importantes y rentables para el desarrollo de todo el país, por lo que debe haber más carreteras para diseñar y construir a menores costos que las carreteras construidas con materiales tradicionales. El segundo es el aspecto ambiental, porque los pavimentos diseñados y construidos con residuos de caucho y plástico son buenos para el medio ambiente, gracias a que los principales elementos son las llantas desechadas y el polvo de caucho de los residuos, de acuerdo con la investigación realizada, a este tipo de construcciones se les denomina caminos ecológicos, porque nos permiten ayudar en el cuidado de nuestro hábitat. El tercer método es técnicamente sólido porque utiliza un proceso mecánico para romper las llantas usadas y reciclar el plástico sin involucrar la emisión de gases tóxicos o la presencia de químicos que puedan dañar el medio ambiente donde opera. Por estas razones, el objetivo general del presente estudio, fue determinar la influencia de las adiciones incorporadas del polvo de caucho y plástico reciclado (PET) en la mejora de las características físicas – mecánicas de las mezclas asfálticas para tráfico ligero, mediano y pesado [8], a través de una investigación de tipo experimental con una muestra patrón y una muestra influenciada por el polvo de caucho y el PET.

Como objetivos específicos: a) Determinar en qué medida la densidad, presencia de vacíos, flujo y estabilidad se ven afectados por la adición del polvo de caucho y plástico reciclado (PET) por medio de la vía seca. b) Describir las cualidades o rasgos característicos del polvo de caucho y plásticos reciclados (PET). c) Establecer la compatibilidad de la combinación entre el polvo de caucho, plástico reciclado (PET) y cemento asfáltico. d) Analizar que la mezcla modificada cumpla los parámetros técnicos indicadas en la NTP. e) Comprobar que la mezcla modificada en caliente es más flexible que una mezcla convencional en caliente por medio del método Marshall. f) Evaluar el costo de producción de las mezclas modificadas en caliente de polvo de caucho y plástico reciclado. g) Establecer las ventajas y desventajas de la mezcla de asfalto con la adición incorporada del polvo de caucho y plástico reciclado.

Revisión de literatura

Antecedentes del problema

Díaz & Castro [9], El estudio resume trabajos internacionales que revelan el uso de gránulos de caucho reciclado en suelo como una alternativa de solución a las deficiencias físicas y mecánicas. También ayuda a reducir el impacto ambiental de la eliminación de llantas. De tal forma, el estudio tuvo como finalidad, determinar los beneficios de la adición de gránulos de caucho reciclado para mejorar el desempeño físico-mecánico, técnico, ambiental y económico. Los hallazgos del estudio muestran que estos bloques modificados son más duraderos y baratos a largo plazo, ya que reducen efectos negativos sobre el ecosistema, como la quema de neumáticos que emiten gases tóxicos. Además, se descubrió que el aglutinante de partículas de caucho reciclado al 5 % mejora la resistencia y la formación de surcos mejor que las combinaciones convencionales. Finalmente, el consumo medio de neumáticos por kilómetro de terreno es de 13,6 toneladas de neumáticos.

Berrio [10], describe la gestión de procesos implementada por INVIAS en la producción de adoquines tipo MSC-19 con agregado de imprimación PET reciclado ya que mejora la granulometría, estabilidad y fluidez. En este sentido, el objetivo fue evaluar la combinación de

modificaciones con ligantes de tereftalato de polietileno. Por lo tanto, se desarrolló una prueba de laboratorio de 30 porcentajes diferentes de PET triturado.

Al encontrarse un contenido de PET del 1,0 %, la resistencia aumentó un 37 % y la tasa de deformación plástica disminuyó un 42 %. Se utilizaron un total de 73.000 botellas de PET para pavimentar un kilómetro de hormigón, abriendo nuevas oportunidades para la construcción de carreteras y promoviendo la sostenibilidad ambiental.

Castro & León [11], señalan que a raíz del desarrollo de los vehículos ha aumentado el número de neumáticos obsoletos, de los cuales el principal material es el caucho, el cual se emplea como aglomerante en la productividad de mezclas asfálticas. Por ende, la finalidad del estudio fue desarrollar una mezcla asfáltica con la adición de caucho reciclado que permita cuantificar los resultados sobre las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla. De las cuatro pruebas de combinación sobre pavimento caliente, se puede concluir que la mejor combinación es 5,7% de relleno y 18% de aditivos de caucho. Además, la consistencia de la combinación de recubrimiento se muestra como un valor de 2382 gr/cm³.

Contreras & Zúñiga [12], la elaboración de mezclas asfálticas a base de este residuo se planteó como una alternativa de solución ante estudios que demostraron que la ciudad de Lima tiene un problema con el incremento de residuos plásticos. Se añade tereftalato de polietileno (PET) a la producción de mezclas asfálticas en forma de pequeños gránulos, que luego se prueban con diferentes porcentajes de PET (1%, 3% y 6%) para determinar cuál de las tres mezclas. mejorar como aditivos para pavimentos de carreteras y sus propiedades (estabilidad, contenido de vacíos y fluidez). El estudio concluyó que la prueba 12 con 1 % de adhesión de plástico y 6 % de asfalto, pudo cumplir con la mayoría de las especificaciones generales, obteniendo una estabilidad de 4600 lb, un flujo de 9,00 y una fracción vacía correspondiente del 3%. También se puede comprobar que la prueba No. 12 da una mezcla modificada con un valor menor de S/336.64.

Salazar [13], se requieren métodos cuantitativos, cuyos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Superficies y Betún de CD PROJECTS SAC. Además, proporciona un diseño

experimental porque la variable independiente se manipulará con la variable dependiente para evaluar el resultado entre ellos.

El estudio concluyó que la incorporación de polímeros es beneficiosa para el diseño de mezclas suelo-asfalto, contribuyendo a una combinación mejorada de propiedades como: fluidez, resistencia y estabilidad, las cuales son más sensibles a los defectos causados por el tránsito vehicular. Alta resistencia, alargan su vida. Además, el relleno de caucho reciclado tiene una ventaja de estabilidad de 687,1 kg en comparación con las superficies de carreteras convencionales; por lo tanto, la resistencia aumenta con la fricción debido a las imperfecciones, el deslizamiento, el peso del vehículo y los factores climáticos. En términos de movilidad, esta es una ganancia de 3.05 sobre la cobertura normal; por lo tanto, el asfalto es más flexible al peso del vehículo ya los factores climáticos. La prueba muestra que la cantidad adicional de 2,5 %, 3,5 % y 4,5 % es la más adecuada para agregar mezcla asfáltica, lo que conlleva a mejorar el rendimiento y cumplimiento de los estándares del manual de prueba de materiales de carretera.

Bases teóricas científicas

Las bases teóricas necesarias para elaborar la investigación son de forma cuantitativa, utilizando diversos materiales, diseños de mezclas y ensayos. Es por esto, por lo que es importante conocer las definiciones y términos utilizados en los trabajos de laboratorio, además de someter los agregados y especímenes a los diferentes ensayos contemplados. Entre las definiciones principales tenemos las siguientes:

Asfalto

El asfalto es un material de especial importancia en ingeniería debido a que posee una alta adherencia, impermeabilidad y resistencia. Es un material plástico que aporta flexibilidad a la mezcla de áridos con los que se combina. También es altamente resistente a la mayoría de los ácidos, bases y sales. Aunque es un sólido o semisólido a temperaturas normales, se licua fácilmente con calor, solventes volátiles o emulsificación. [14]

Asfaltos modificados

Este tipo de asfalto posee cualidades combinadas de hidrocarburos naturales y polímeros de residuos biodegradables, entre otros. Esta composición tiene la cualidad de perfeccionar las propiedades físicas – mecánicas, cuando son agregados por vía húmeda o caliente. La combinación modificada genera una acción visible que aumenta la adherencia, firmeza y disminuye la resquebrajadura y la sensibilidad de los mantos asfálticos a las alteraciones de temperatura. [15]

Mezcla asfáltica

Son agregados compuestos de concreto y otros materiales minerales que se combinan de forma uniforme, para luego ser extendidas y compactadas. Se utiliza de manera común en la construcción de carreteras, vías, aparcamiento, etc. [16]

Es una composición predeterminada de cantidades precisas de betún de hormigón y aglutinante de piedra, donde la cantidad y la combinación determinan las características y propiedades de la composición. Entre las propiedades más importantes de los compuestos bituminosos se pueden mencionar: dureza, resistencia, impermeabilidad, tolerancia y resistencia al deslizamiento. [17]

Tipos de mezclas asfálticas según su temperatura

De acuerdo con las fracciones de clasificación de roca para la preparación de la mezcla, se dividen en masilla asfáltica; mortero asfáltico; piedra triturada pulida con plástico; y hormigón bituminoso. Si se tiene en cuenta la temperatura, se dividen en mezcla fría y mezcla caliente. [18]

Diseño de mezcla asfáltica

Son diseños que combinan cantidades de agregados y materiales bituminosos, que se usan en los pavimentos entre los tipos de mezcla tenemos:

Mezclas en caliente (MAC)

Este tipo de combinación es el producto de la distribución uniforme del material ligante en un mineral y la opción de adherir agregados para mejorar sus cualidades de la composición. Además, la combinación asfáltica se presenta en dos tipos: [19]

Combinación asfáltica de granulometría densa: Este tipo de combinación asfáltica uniforme muestra un tamaño representativo entre 37.5 y 9.5 milímetros, comúnmente se usa en la edificación de carreteras nuevas y demandan una mayor firmeza estructural.

Combinación asfáltica de granulometría abierta: Este tipo de combinación asfáltica uniforme con presencia de un porcentaje mayor de vacíos muestra una dimensión representativa de 12.5 y 6.3 milímetros, comúnmente se usa para que las llantas se desplacen de mejor manera en el agua de lluvia. Entre las cualidades más representativas de la combinación de asfalto en caliente tenemos: firmeza, perdurabilidad, permisividad, dureza a la fatiga, dureza al rompimiento por temperaturas bajas, dureza al deterioro por el vapor de agua.

La combinación asfáltica en caliente se clasifica en distintas cuantificaciones, tal como se presenta a continuación.

Tabla 1: Clasificación y caracterización de mezclas asfálticas en caliente.

PARÁMETRO	TIPO DE MEZCLA	SUB-CLASES	CARACTERÍSTICAS	
GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS	GRADACIÓN Densa	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL O MEZCLA DE GRADACIÓN CONTINUA	*Tamaño máximo nominal comúnmente de 12.5mm a 19 mm (1/2" a 3/4"). * Gradación continua	
		LARGE-STONE MIX	*Tamaño máximo nominal comúnmente de 25mm a 37.5 mm (1" a 1 1/2").	
		MEZCLA ARENA ASFALTO	*Tamaño máximo nominal comúnmente menos de 9.5 mm (0.375")	
	GRADACIÓN ABIERTA O POROSAS	OPEN-GRADED POROUS FRICTION COURSE (OGFC)	*Gradación relativamente uniforme, proporciona drenaje en la superficie para prevenir encharcamientos. *Gradación uniforme con mayor tamaño máximo nominal al OGFC, para drenar el agua que entra a la estructura de la superficie o subrasante.	
		BASE PERMEABLE TRATADA CON ASFALTO		
	GAP-GRADED (GRADACIÓN INCOMPLETA)	GAP-GRADED CONVENCIONAL	*Contiene agregados finos a gruesos, con poca presencia de agregados intermedios. Proporcionan capas densas impermeables.	
		STONE MÁSTIC ASPHALT (SMA)	*Incorpora en gran cantidad el filler mineral al agregado normal para alcanzar un 8% al 10% de material pasante a la malla No. 200 (0.075 mm).	
	PORCENTAJE DE VACÍOS EN LA MEZCLA	MEZCLAS DENSAS	MEZCLAS CONVENCIONALES	* Los vacíos de aire (Va) están comprendidos entre un 3% a 6%.
			MEZCLAS SUPERPAVE	
MEZCLAS SEMI-DENSAS O SEMI-CERRADAS		MEZCLAS SMA	* Los vacíos de aire (Va) están comprendidos entre un 6% a 10%.	
		MEZCLAS GRUESAS		10% <Va<15%
		MEZCLAS ABIERTAS		15% <Va<22%
MEZCLAS POROSAS	22% <Va<28%			

Nota: Tomado y adaptado de "Manual de Carreteras. Volumen II: Construcción y Mantenimiento" por L. Bañón y J. Bevia. 2000b. 2ª ed., Alicante.

Mezclas en frío

Es una combinación de una o más partículas primarias como arena, cemento, arcilla, pavimento y condensación de agua, el edificio debe expandirse y compactarse a temperatura ambiente. La combinación de asfalto frío se divide en dos categorías:

[19]

Combinación en el lugar: Se prepara en obra o en un local contiguo a la obra y se debe suministrar con la cantidad requerida de cada tramo y marcado con el espesor y ancho del sello.

Combinación en planta: La mezcla asfáltica es producida por máquinas y equipos específicos. Este tipo de combinación debe almacenarse y trasladarse de la fábrica al sitio de construcción.

Propiedades físicas de la mezcla de asfalto

Las propiedades físicas y mecánicas básicas de la mezcla asfáltica se puede mencionar: [19]

Estabilidad

Es resistente al desplazamiento y la deformación bajo cargas de tráfico. Es dependiente de la cohesión interna y la fricción. [20]

“La adherencia es el resultado de la capacidad del asfalto para unirse. En general, cuanto más angular sea la forma de las partículas de agregado y más rugosa la textura de su superficie, mejor será la estabilidad de la mezcla.” [20]

Durabilidad

La resistencia del pavimento flexible se refiere a su capacidad para resistir factores como el agrietamiento, los cambios en el rendimiento del asfalto y la delaminación de la película de asfalto. "Pueden ser el resultado del clima, el tráfico o una combinación de ambos". [20]

Impermeabilidad

Es la resistencia al aire y al agua en movimiento. [20]

El nivel de impermeabilidad depende del tamaño del hueco (si los huecos están conectados) y del exceso sobre el pavimento. [20]

Trabajabilidad

Fácil de colocar y compactar la mezcla. Las mezclas viscosas tienden a separarse durante el procesamiento y también son difíciles de compactar. [20]

Flexibilidad

Es la capacidad de un pavimento flexible para adaptarse al movimiento y asentamiento del subsuelo sin agrietarse. También es una característica deseable de todos los pavimentos flexibles ya que casi todas las superficies de las carreteras bajo cargas se asientan o se expanden. [20]

Resistencia a la fatiga

Resiste condiciones de cargas de tráfico repetitivas. De manera similar, los pavimentos que contengan asfalto significativamente antiguo y rígido también tendrán una menor resistencia a la fatiga. [20]

Resistencia al deslizamiento

La capacidad de la superficie de la carretera para reducir el deslizamiento de las ruedas, especialmente cuando la superficie de la carretera está mojada. [20]

MAC

La granularidad MAC utilizada está definida en la norma EG-2013, donde se utiliza el método Marshall. [20]

Precisión técnica MAC

El manual de MTC especifica el grado que debe mantenerse para que la piedra sea utilizable. Esto incluye tres clases de MAC que se deben seguir; también se debe determinar que cada componente del agregado debe estar libre de partículas de arcilla y no más de 0.01 partículas deleznales. [20]

Tabla 2: Gradación granulometría MAC.

Tamiz	% que pasa		
	Mac - 1	Mac - 2	Mac - 3
25.0 mm	100		
19.0 mm	80 – 100	100	
12.5 mm	67 – 85	80 – 100	
9.50 mm	60 – 77	78- 88	100
4.75 mm	43 – 54	51- 68	65 – 75
2.00 mm	29 – 45	38 – 52	43 – 61
425 µm	14 – 25	17-28	16 – 29
180 µm	8 - 17	8 – 17	9 – 19
75 µm	4-8	4 - 8	5 - 10

Fuente: Especificaciones generales para la construcción (EG2013).

También, el manual señala los parámetros mínimos que debe tener una combinación modificada.

Tabla 3: Parámetros de diseño de una mezcla MAC.

Parámetros de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 KN	5,44 KN	4,53 KN
3. Flujo 0,01" (0.25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 423-10		
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín)	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

Fuente: Especificaciones generales para la construcción (EG2013).

Métodos de adición de polvo de caucho y plástico reciclado en las mezclas asfálticas

Existen dos vías de adición, las cuales tienen ventajas físicas y mecánicas en el uso de caucho reciclado y polvo de plástico en los pavimentos. Las propiedades difieren según cómo se agregue las adiciones al pavimento:

Vía húmeda

El producto resultante se conoce como "asfalto modificado con caucho y plástico". Este proceso de modificación aumenta la viscosidad del cemento asfáltico, otorgándole propiedades especiales. La plasticidad de esta mezcla disminuirá a altas temperaturas, lo que es beneficioso para evitar fenómenos como la formación de ahuellamiento. Además, la mezcla presenta una mayor flexibilidad a bajas temperaturas, lo que se traduce en un mejor comportamiento frente a posibles problemas de fisuración.

Vía seca

El proceso seco consiste en mezclar polvo de caucho y plástico reciclado como agregados con cemento asfáltico a la mezcla. A diferencia de los procesos húmedos, este tipo de mezcla tiene importantes desventajas técnicas.

La falta de estándares de calidad y el rendimiento inconsistente han hecho que los investigadores y profesionales sean más cautelosos con estos tipos de modificaciones, prefiriendo el proceso húmedo a pesar de su potencial para reutilizar más polvo de caucho y plástico reciclado.

Caracterización del cemento asfáltico

- PEN : 60/70
- Peso específico : 1.023 gr/cc
- Penetración a 25°C : Mín. 60 mm – Máx. 70 mm
- Punto de inflamación : Mín. 232 °C
- Ductilidad a 25°C : Mín. 100 cm

- Solubilidad : Mín. 99.0 % masa
- Pérdida por calentamiento : Máx. 0.8 % masa
- Penetración retenida : Mín. (52+) % del original

Caucho

Según (Beliczki, 2014), El caucho es un material del tipo natural o sintético, es un polímero elastomérico, metilbutadieno o polispreno, similar en apariencia inicialmente al látex (emulsión opaca) al ser procesado puede tener forma diferente por tal motivo si retrocedemos muchos siglos atrás el caucho fue comercializado por charle GOODYEAR, la misma compañía descubrió que calentarlo a una temperatura alta con azufre evita que se pegue cuando está caliente o se endurezca cuando está frío. [20]

El caucho en forma sintética es el más utilizado debido a su bajo costo y excelentes propiedades. Este elastómero tiene propiedades mecánicas sujetas a una gran deformación elástica en comparación con otros materiales, recuperando dimensiones normales. Su uso sustituye principalmente al caucho natural, el cual es duradero y genera más calor. [20]

Polvo de caucho

Es un producto triturado de llantas recicladas. El objetivo de este proceso es descomponer todos los elementos del neumático, separar caucho, acero, textil y otros aditivos y obtener polvo de caucho granulado sin impurezas. [20]

También, es conocido como goma de caucho ya que es el producto del reaprovechamiento de llantas de autos, las cuales pasan por una transformación de trituración para convertirse en polvo puro, anulando el acero y la fibra. [21]

Características del caucho reciclado

Según el manual de fabricación de pasta con polvo de llantas, entre las características más resaltantes podemos observar a continuación. [21]

Tabla 4: Caracterización del polvo de caucho.

Características	Requisito
Humedad con respecto a la masa total de mezclas	0.75%
Gravedad específica	1.15 +/- 0,05%
Contenido de metales ferrosos en masa	No debe existir
Contenido de metales ferrosos en masa	0.01% máximo
Contenido de fibras en masa para mezcla caliente	0.5 % máximo
Contenido de polvo mineral	0.1 % máximo
Contenido total de otros elementos	4 % máximo
Contenido total de otros elementos	0.25 % máximo

Fuente: Manual de fabricación de pasta con polvo de llantas.

Plástico

Los plásticos son componentes a base de barnices, albuminoides y otras sustancias, que son prácticos de usar y moldear de acuerdo con la forma que se le quiera dar, cuando son expuestas al calor y comprensión. Este producto tiene una gran firmeza y soportan largos tiempos para ser poder degradarse, y a su vez son frágiles. [21]

Un término empleado para especificar la variedad de materiales artificiales o semi-artificiales que tienen sitios de evaporación estables y contienen ciertos elementos de flexibilidad y elasticidad que les permiten ser manipulados y diseñados para su uso previsto. [21]

Tipos de plástico

La tipología del plástico se da muchos por elementos como el espesor, simbología, numeración o desarrollo de fabricación. Además, la caracterización del plástico es primordial ya que nos permite identificar aquellos que pueden ser reutilizables o se les pueden dar otro uso. El código de tipificación del plástico (SPI) distingue a los plásticos en botellas, envases, táper, entre otros recipientes. [22]

Seguidamente, se muestra la tipología de los plásticos con sus concernientes códigos, cualidades y sus usos generales.

Simbolo	Tipo de Plástico	Propiedades	Usos Comunes
 PET	PET PolietilenoTereftalato (Polyethylene Terephthalate)	Contacto alimentario, resistencia física, propiedades térmicas, propiedades barreras, ligereza y resistencia química.	Bebidas, refrescos y agua, envases para alimentos (aderezos, mermeladas, jaleas, cremas, farmacéuticos, etc.)
 HDPE	HDPE Polietileno de alta densidad (High Density Polyethylene)	Poco flexible, resistente a químicos, opaco, fácil de pigmentar, fabricar y manejar. Se suaviza a los 75°C	Algunas bolsas para supermercado, bolsas para congelar, envases para leche, helados, jugos, shampoo, químicos y detergentes, cubetas, tapas, etc.
 PVC	PVC Policloruro de vinilo (Plasticised Polyvinyl Chloride PCV-P)	Es duro, resistente, puede ser claro, puede ser utilizado con solventes, se suaviza a los 80°C. Flexible, claro, elástico, puede ser utilizado con solventes.	Envases para plomería, tuberías, "blister packs", envases en general, mangueras, suelas para zapatos, cables, correas para reloj.
 LDPE	LDPE Polietileno de baja densidad (Low density Polyethylene)	Suave, flexible, translucido, se suaviza a los 70°C, se raya fácilmente.	Película para empaque, bolsas para basura, envases para laboratorio.
 PP	PP Polipropileno (Polypropylene)	Difícil pero aún flexible, se suaviza a los 140°C, translucido, soporta solventes, versátil.	Bolsas para frituras, popotes, equipo para jardinería, cajas para alimentos, cintas para empacar, envases para uso veterinario y farmacéutico.
 PS	PS Poliestireno (Polystyrene)	Claro, rígido, opaco, se rompe con facilidad, se suaviza a los 95°C. Afectado por grasas y solventes.	Cajas para discos compactos, cubiertos de plástico, imitaciones de cristal, juguetes, envases cosméticos.
 PS-E	PS-E Poliestireno Expandido (Expanded Polystyrene)	Esfonjoso, ligero, absorbe energía, mantiene temperaturas	Tazas para bebida calientes, charolas de comida para llevar, envases de hielo seco, empaques para proteger mercancía frágil
 OTHER	OTHER Otros (SAN, ABS, PC, Nylon)	Incluye de muchas otras resinas y materiales. Sus propiedades dependen de la combinación de los plásticos.	Auto partes, hieleras, electrónicos, piezas para empaques.

Figura 01: Tipología del plástico (Fuente: Medio ambiente, sociedad y plástico, 1990).

Tereftalato de polietileno – PET

Es un polímero plástico obtenido por polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Producido en una variedad de formas, el material se puede transformar utilizando varios procesos de extrusión, prensado o incluso termoformado. Es un plástico muy utilizado en la industria alimentaria. Los envases de plástico PET a menudo se asocian con envases de bebidas, ya sea amorfo o cristalino. Los envases de plástico para bebidas suelen utilizar este polímero termoplástico debido a sus propiedades físicas y la variedad de envases fabricados con él. [22]

Método o ensayos para mezclas asfálticas

Métodos de diseño de mezclas

Hay muchos métodos para el diseño de mezclas como el Superpave y Marshall, ambas metodologías ponen mayor énfasis en las propiedades de volumen de las combinaciones asfálticas compactadas; para lo cual se realizan diversos ensayos; además permite medir la susceptibilidad de la combinación a la imperfección estable. Por lo tanto, hay que destacar que los dos métodos contribuyen a escoger la mejora combinación de contenido de asfalto. [23]

Método Marshall

Se usa para asfalto mezclado en caliente que contiene suelo con un volumen de material de 25 mm (1”) o menos. Esto nuevamente significa la preparación de asfalto mezclado en caliente en proporciones específicas en el laboratorio o en el sitio de prueba. Este método se especifica en la norma ASTM D1559, Marshall Plastic Melt Resistance to Asphalt Mixing Apparatus (el método AASHTO T2 5 es similar a la norma ASTM D1559 excepto que se usa un martillo mecánico en lugar de un martillo manual). [23]

El método implica probar una serie de muestras de prueba, cada una con el mismo tamaño de partícula y diferente contenido de betún. La muestra mide 2,5 in (63,5 mm) de espesor y de diámetro de 1 in (101,6 mm). Las muestras se prepararon teniendo en cuenta procedimientos específicos de calentamiento, mezcla y compactación del asfalto y los áridos. Determine su estabilidad (resistencia) y flujo (deformación) en una prensa Marshall aplastando la muestra bajo compresión radial a través de mordazas circunferenciales que la mantienen en su lugar (velocidad de carga constante de 2 in/min). Si desea conocer de una mezcla compacta su porcentaje de vacío, la densidad específica (gravedad específica) del material utilizado y la muestra compactada se determinarán con anticipación antes de la prueba de estallido. [23]

Elaboración, Ensayo de rotura de vacíos de las mezclas compactadas

Paso A. Evaluación de agregados

A.1. El agregado debe pasar las pruebas de calidad especificadas por la norma EG2013 (MTC, 2013). [24]

A.2. Debido a varios motivos, los agregados deben fabricarse de modo que deben cumplir con las especificaciones de clasificación anteriormente mencionadas. También, se realizarán pruebas de gravedad específica y absorbanza.

A.3. De acuerdo a la ASTM C127 y C128, cuantificar la gravedad específica bulk del agregado fino y grueso.

A.4. Del agregado, determinar la gravedad específica efectiva.

A.5. Cuantificar para la mezcla modificada, la gravedad específica bulk combinados de los agregados.

Paso B: Evaluación del cemento asfáltico

B.1. Determinar el grado apropiado de cemento asfáltico a utilizar de acuerdo al tipo y ubicación del proyecto. Del mismo modo, verificar que las características en cuanto a especificaciones, sean viables.

B.2. De acuerdo a la ASTM D70 y D854, cuantifique la gravedad específica del cemento asfáltico y de los agregados minerales. Posteriormente grafique la viscosidad en función a la temperatura.

B.3. Planifique las temperaturas de mezcla y compactación de acuerdo con la tabla de viscosidad.

B.4. Al calentar el cemento asfáltico, su temperatura debe estar comprendida entre los valores de viscosidad de 170 ± 20 cP.

B.5. La temperatura de compactación está dentro de los valores de viscosidad de 280 ± 30 cP.

Preparación de los especímenes Marshall

Después de determinar las propiedades de los elementos de la mezcla, prepare varias muestras con diferente contenido de betún, siempre en un cierto rango (generalmente de 3,0 a 6,0% con relación a la masa total); se preparan al menos 3 tubos de ensayo para cada contenido de asfalto. La mezcla se mezcló con un martillo Marshall estandarizado y se golpeó 75 veces por minuto. Lado (tráfico pesado). [23]

Densidad y vacíos de los especímenes

Seguidamente de retirar las muestras, la gravedad específica se mide por el volumen de la mezcla compactada, después de que las muestras se hayan dejado en el aire a temperatura ambiente durante al menos 1 hora (ASTM D1188). [25]

La máxima gravedad específica teórica de mezclas sueltas, se miden en paralelo o serie, también es conocida como RICE (ASTM D2041). [26]

Determinar la máxima gravedad específica teórica para mezclas con diferentes contenidos de asfalto. [26]

Peso específico

Pese los especímenes completamente secos, cuyo valor se denotará con la letra A. En el siguiente paso, las muestras se colocan en un baño de agua a 25 °C a intervalos de 3 a 5 minutos. Este peso se denota por C. Finalmente, pese su masa saturada superficialmente seca y denomine el valor por B. Después de obtener 3 pesos, mediante la expresión matemática, calcule el peso específico aparente:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(B - C)}$$

Dónde:

A = Peso de la muestra seca en el aire (g).

B - C = Peso del volumen de agua correspondiente al volumen de la muestra a 25°C.

B = Peso de la muestra saturada secada superficialmente en el aire (g).

C = Peso de la muestra sumergida en agua (g).

Estabilidad Marshall y ensayo de flujo

Mantener la muestra en el agua hasta que alcance una temperatura de 60°C aproximadamente por 30 minutos. Después, fueron ensayadas por compresión diametral en el aparato Marshall, para obtener la relación entre la carga de rotura y la deformación del mayor diámetro producido. Dicho procedimiento se muestra en la figura siguiente. [23]

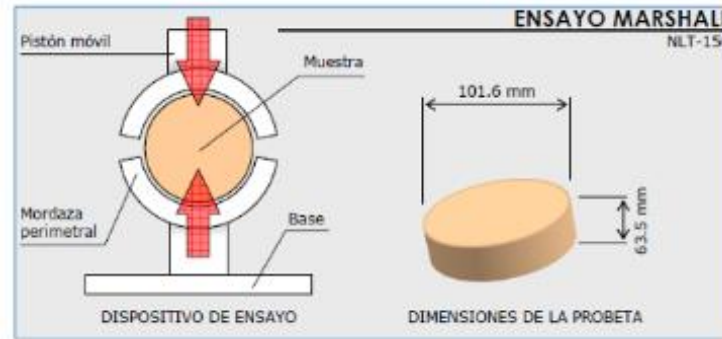


Figura 02: Ensayo Marshall.

El flujo Marshall, es el resultado que manifiesta la deformación total vertical de la muestra con la carga máxima, en cuyo punto el peso comienza a disminuir. Puede mostrar la posibilidad permanente de deformaciones en mezclas jerárquicas densas. Los flujos superiores a 0,16 in (1 mm o 16% in) pueden señalar inestabilidad en la mezcla bajo cargas de tráfico. [23]

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

El estudio fue aplicado, ya que tuvo como finalidad el reutilizar neumáticos de caucho y plásticos reciclados para mejorar las características físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas y proporcionar pavimentos sostenibles en beneficio de la sociedad. De la misma manera, proporcionó un nivel explicativo a la investigación tratando de encontrar la mejor mezcla asfáltica, así como investigaciones que encuentran nuevas combinaciones de mezcla asfáltica. [27]

Diseño de investigación

El estudio fue experimental, sometiendo a pruebas de laboratorio diferentes porcentajes de polvo de caucho y plástico reciclado, que permita encontrar la combinación óptima que ayude mejorar las características físico – mecánicas, de tal modo que alargue la vida útil de los pavimentos. [27]

Población, muestra, muestreo

Población

La población fue constituida por 45 briquetas, donde para la combinación asfáltica patrón, se empleó 3 briquetas individualmente para las 5 proporciones de asfalto tanto para el tráfico ligero, mediano y pesado. También 108 briquetas para las mezclas asfálticas modificadas para los 3 tráficos. Esto hizo un total de 153 briquetas.

Tabla 5: Población.

PATRÓN						
Tráfico	Porcentaje de cemento asfáltico (%)					Total especímenes
	4.5	5	5.5	6	6.5	
Pesado	3	3	3	3	3	15
Mediano	3	3	3	3	3	15
Ligero	3	3	3	3	3	15
						45

MEZCLA MODIFICADA														
Tráfico	Porcentaje de cemento asfáltico (%)												Total especímenes	
	5%				5.50%				6%					
	Porcentaje de adiciones (%)													
	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%		
Pesado	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
Mediano	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
Ligero	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
													108	

Fuente: Elaboración propia.

Muestra

La muestra está constituida por 4 mezclas de asfalto:

Mezcla asfáltica patrón (grupo de control)

Esta mezcla, que consiste en una mezcla regular de concreto asfáltico sólido (sin fibras acrílicas añadidas), contiene agregados y proporciones de betún de una prueba anterior para determinar la proporción óptima de cemento asfáltico. Diseño compuesto general que consta de tres briquetas de ensayo (briquetas de ensayo Marshall).

Mezcla asfáltica modificada – Tipo A

Las adiciones de polvo de caucho y PET al diseño de la mezcla es de: 1%, 2%, 3% y 4%. Las proporciones se basan teniendo en cuenta el peso total de agregados y asfalto. En cada % se utilizaron tres muestras Marshall.

Mezcla asfáltica modificada – Tipo B

Aquí hay tres diseños de mezclas asfálticas con polvo de caucho y PET con los mismos % de adición anteriormente señalados y con 3 muestras por %.

Mezcla asfáltica modificada – Tipo C

Encontramos tres mezclas asfálticas con fibra acrílica, con porcentajes de adición y especímenes descritos anteriormente.

Por lo tanto, la muestra estuvo constituida por 36 mezclas, con 3 probetas Marshall por mezcla; surgiendo 108 briquetas.

Tabla 6: Representación de la muestra.

Diseño de mezclas asfálticas				
Codificación	Adición de Fibras			
	1%	2%	3%	4%
Tipo A	9	9	9	9
Tipo B	9	9	9	9
Tipo C	9	9	9	9
Patrón (briquetas)	45			
TOTAL (briquetas)	108			

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de selección

Son los siguientes:

El agregado grueso proviene de la cantera Tres Tomas del Distrito de Mesones Muro, Provincia de Ferreñafe - Departamento de Lambayeque.

Los agregados finos fueron adquiridos de la cantera Pátapo - La Victoria en Chiclayo.

El polvo de caucho pasó por un proceso de trituración de las llantas recicladas, el cual se obtuvo de la Empresa Tecnillantas “El Chasqui”, ubicado en: Prol. Av. Venezuela Mz. D Lote. 53 Urb. La Parada (Venezuela y Panamericana Norte Carretera Lambayeque).

El plástico se recicla y luego pasa por la máquina trituradora para obtener los gránulos de plástico.

El cemento asfáltico se obtiene de una planta de asfalto bajo la razón social Corporación Asfaltos y Pavimentos Castillo S.A.C., el cual está ubicada en el Distrito de Manuel Antonio Mesones Muro Ferreñafe - Lambayeque. El cemento asfáltico es 60/70.

Operacionalización de variables

Variable independiente

Polvo de caucho y plástico reciclado.

Variable dependiente

Mezcla asfáltica.

Tabla 7: Variable independiente.

Variable Independiente	Indicador	Rango de Aplicación	Unidad de medida	Método de Medición (Instrumento ensayo)
Polvo de Caucho y Plástico reciclado	Porcentaje de polvo de caucho	1.0%	%	Balanza
		2.0%		
		3.0%		
		4.0%		
	Porcentaje de PET triturado	1.0%	%	Balanza
		2.0%		
		3.0%		
		4.0%		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Variable dependiente.

Variable Dependiente	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Método de Medición (Instrumento ensayo)
Mejora de las Propiedades Físicas - Mecánicas de la mezcla de asfalto	Propiedades físicas	Peso específico	bulk	Ensayo Marshall – MTC E 508
		Presencia de vacíos	%	Análisis de densidad y vacíos – MTC E 505
	Propiedades mecánicas	Flujos	Kg	Ensayo Marshall - MTC E 504
		Estabilidad		Ensayos: Estabilidad y flujo

Fuente: Elaboración propia.

Variable interviniente

Diámetro de polvo de caucho: N° 04 (4.75mm).

Diámetro del PET triturado: 3/8” (9.52mm).

Tipo de tráfico: pesado, mediano y ligero.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Método Marshall (ASTM – 1559)

Permite la producción de briquetas a partir de una combinación de agregado caliente y betún.

Además, se determinarán diferentes proporciones de betún para cada construcción de briquetas de acuerdo con especificaciones relevantes como masa, tamaño, etc. [28]

Por lo tanto, para el presente estudio se trabajó con el uso granulométrico MAC -2, descritos en la tabla 5.

Tabla 9: Gradación granulometría MAC – 2.

Tamiz	Porcentaje que pasa
	MAC-2
25.0 mm (1")	
19.0 mm (3/4")	100
12.5 mm (1/2")	80 - 100
9.5 mm (3/8")	70 - 88
4.75 mm (N°. 4)	51 - 68
2.00 mm (N°. 10)	38 - 52
425 µm (N°. 40)	17 - 28
180 µm (N°. 80)	8 - 17
75 µm (N°. 200)	4-8

Fuente: Especificaciones generales para la construcción (EG – 2013).

Igualmente, se determinaron diferentes porcentajes para agregados y asfaltos normales y mezclas modificadas o mejoradas, tal y como se presenta a continuación.

Tabla 10: Porcentaje de asfalto y agregado para la mezcla patrón.

Diseño Marshall Convencional		
% de Asfalto	% de Agregado	% PC y PET
4.5	95.5	0
5	95	0
5.5	94.5	0
6	94	0
6.5	93.5	0

Fuente: Especificaciones generales para la construcción (EG – 2013).

Tabla 11: Porcentaje de polvo de caucho y PET para la mezcla modificada.

Diseño Modificado con Polvo de Caucho (PC) y Plástico Reciclado (PET)												
Porcentaje de cemento asfáltico (%)												
5%				5.50%				6%				
Porcentaje de adiciones (%)												
PC	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
PET	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%

Fuente: Especificaciones generales para la construcción (EG – 2013).

En consecuencia, se mencionan las características de los agregados, mezcla asfáltica y ensayos a realizar.

Tabla 12: Ensayos a realizar.

Material o Producto	Propiedades o Características	Método de Ensayo
Agregado	Granulometría	MTC E 204
	Plasticidad	MTC E 110
	Partículas Fracturadas	MTC E 210
	Equivalente arena	MTC E 114
	Desgaste Los Ángeles	MTC E 207
	Angularidad del agregado fino	MTC 222
	Perdida en sulfato de sodio	MTC E 209
Mezcla Asfáltica	Contenido de Asfalto	MTC E 502
	Granulometría	
	Ensayo Marshall	MTC E 504
	Temperatura	
	Densidad	MTC E 506, 508 y 501
	Espesor	MTC E 507
	Resistencia al deslizamiento	MTC E 1004

Fuente: Elaboración propia.

Técnicas

Existen varios métodos y herramientas que facilitan la recopilación de datos y se utilizan de acuerdo con el tipo de investigación que se utilice [29].

Este estudio fue de diseño cuantitativo, por lo que se utilizaron los siguientes métodos y herramientas:

Tabla 13: Técnicas e instrumentos.

Técnicas	Instrumentos
Análisis documental	Ensayo Marshall - MTC E - 504
Elaboración de briquetas	Manual de ensayo de materiales - Norma EG 2013 - Sección 423
Estudio de costos de producción	Presupuesto de elaboración de las briquetas con polvo de caucho y PET

Fuente: Elaboración propia.

Instrumentos

Equipos

- Molde de compactación.
- Martillo compactador con base plana redonda.
- Pedestal compactador.
- Extractor de muestras de asfalto o de especímenes Marshall.
- Soporte para molde.
- Mordaza.
- Medidor de deformación.
- Prensa para rotura de briquetas o máquina de carga.
- Discos de papel filtrante.
- Horno.
- Baño.
- Contenedores para calentar agregados.
- Tamices.
- Termómetro.
- Balanza.
- Guantes.
- Espátula y cuchara para el preparado de las mezclas.

Materiales de la mezcla de asfalto

- Arena gruesa para mezcla asfáltica.

- Piedra chancada para mezcla asfáltica.
- Cemento asfáltico (PEN 60/70).
- Llantas en desuso (polvo de caucho).
- Plástico reciclado (PET).

Elaboración del costo de producción

- Hoja de cálculo excel.

Normativas empleadas

- Pavimento flexible en caliente (EG 2023 – Sección 423) [24].
- MTC - E504 [30].

Ensayo de agregados

Agregado grueso

Fueron probados de acuerdo al cumplimiento de los parámetros estipulados por la norma EG 2013 - sección 423 [24] descritos en la siguiente tabla:

Tabla 14: Requerimientos para los agregados gruesos.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción*	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

Fuente: Especificaciones generales para la construcción (EG 2013 – sección 423).

Se consideró los parámetros establecidos para una altitud ≤ 3.000 m.s.n.m.

Agregado fino

Se ensayó el agregado fino y se verificó el cumplimiento de las disposiciones de la norma EG 2013 – sección 423, indicados en la siguiente tabla:

Tabla 15: Requerimientos para los agregados finos.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Salas Soluble Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción**	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

** Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

Fuente: Especificaciones generales para la construcción (EG 2013 – sección 423).

Se consideró los parámetros establecidos para una altitud ≤ 3.000 m.s.n.m.

Métodos

Se empleó el método Marshall para determinar la relación correcta con el diseño. La mezcla asfáltica, permitió hallar la estabilidad, fluidez y resistencia de la misma. Los ensayos de mezclas asfálticas están contempladas por la ASTM D-1559, el cual señala los incisos para el diseño adecuado. La muestra es la óptima. [13]

Procedimientos

Se detallan los procedimientos realizados en el Laboratorio de Geotecnia, Caminos y Ensayos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Ambiental (USAT) y determinamos la influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mezcla de asfalto en caliente.

Granulometría

Primeramente, se realizó la agrupación por dimensión de las partículas para la determinación de la gradación de los agregados utilizados en las mezclas asfálticas.

Para esta prueba, la muestra se colocó en un horno a 105° a 110° para lograr un peso constante. Luego, el agregado se pasó por aberturas más grandes hasta las más pequeñas de los tamices de acuerdo al cumplimiento de los parámetros establecido. Finalmente, las muestras se colocaron en una balanza para hallar el peso retenido en cada malla.

Para el ensayo se tomó los siguientes datos:

Análisis granulométrico del agregado fino

Datos del material:

Cantera Pátapo – La Victoria.

Peso de la muestra: 2000 gramos.

Análisis granulométrico del agregado grueso

Datos del material:

Cantera Tres Tomas – Ferreñafe.

Peso del espécimen: 4000 gramos.

Análisis granulométrico de la mezcla asfáltica

Datos del material:

Peso muestra: 1200 gramos.

Peso agregado fino: 400 gramos.

Peso agregado grueso: 800 gramos.

Gradación

En concordancia con la tabla 9 y teniendo en cuenta el % de material pasante, se utilizó el MAC-2.

Especímenes de ensayo

Los agregados se secaron en un horno a temperaturas de 105° C y 110° C. Posterior a este proceso, se tamizó los agregados con las mallas sugeridas por la MTC.

Después de determinar la composición porcentual de cada material, se prepararon las muestras en un recipiente, pesándose la porción de cada árido para compactar la briqueta. El peso de un lote de agregados fue de 1200 gramos, que se dividió en 800 gramos de agregado grueso y de fino en 400 gramos (66,67 % y 33,33 %, respectivamente).

Después, los agregados y el asfalto se colocaron en un recipiente encima de la hornilla y se preparó la mezcla. Las muestras se mezclaron en seco con una cuchara y/o espátula. Se colocó en el molde la mezcla, chuseándose 15 veces por el contorno y 10 por el medio.

Posteriormente el molde se puso sobre el pedestal de compactación, aplicándose el total de golpes según las condiciones del tráfico: 75 golpes por cara para tráfico pesado, 50 para tráfico mediano, 25 golpes para tráfico ligero, en total 150 es 100 y 70 respectivamente.

La mezcla se retiró de la máquina de compactación y se dejó enfriar, luego la muestra se extrajo del molde y se dejó al aire a temperatura ambiente. Se prepararon 45 muestras, incorporando el peso predeterminado de agregado fino y grueso y aumentando el porcentaje de cemento asfáltico en 0.5%, partiendo de 4.5% y

continuando con 5.0%, 5.5%, 6.0% y finalmente 6.5%. Las pruebas estándar se realizaron para 3 tipos de tráfico: pesado, mediano y ligero, divididos de la siguiente manera:

Tabla 16: Diseño patrón.

PATRÓN						
Tráfico	Porcentaje de cemento asfáltico (%)					Total especímenes
	4.5	5	5.5	6	6.5	
Pesado	3	3	3	3	3	15
Mediano	3	3	3	3	3	15
Ligero	3	3	3	3	3	15
						45

Fuente: Elaboración propia.

Peso aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas utilizando muestras secas superficialmente saturadas

Cuando las muestras se dejaron al aire a temperatura ambiente, se realizó las siguientes pruebas:

Se pesó las 45 briquetas patrón de una en una, completamente secas. En el siguiente paso, los especímenes se sumergieron en agua a 25 °C. Finalmente, cada briqueta fue limpiada con una toalla húmeda y se pesó su masa saturada superficialmente seca. Después de obtener 3 pesos, se pudo calcular el peso específico aparente.

Método Marshall

Estabilidad y flujo

Teniendo los especímenes que alcanzaron la temperatura ambiente, se colocó cada uno de ellos en un baño de agua en un determinado intervalo de tiempo de acuerdo a la norma.

Posterior a este proceso, se llevó cada briqueta a una superficie seca bajo temperatura ambiente en un baño de aire durante 120 a 130 minutos.

Se colocó cada muestra en la prensa de carga, aplicando fuerza a cada briqueta hasta que ésta decrezca según indica el dial de carga, donde se registró la carga máxima y se anotó la lectura del dial. Se corrigió la estabilidad en función a los factores de estabilidad de correlación mostrada en el siguiente cuadro:

Tabla 17: Factores de estabilidad de correlación.

Volumen del espécimen (cm ^{3B})	Espesor del espécimen ^B		Razón de correlación
	mm	pulg	
200 - 213	25.4	1.00 (1)	5.56
214 - 225	27	1.06 (1 1/16)	5
226 - 237	28.6	1.12 (1 1/8)	4.55
238 - 250	30.2	1.19 (1 3/16)	4.17
251 - 264	31.8	1.25 (1 1/4)	3.85
265 - 276	33.3	1.31 (1 5/16)	3.57
277 - 289	34.9	1.38 (1 3/8)	3.33
290 - 301	36.5	1.44 (1 7/16)	3.03
302 - 316	38.1	1.50 (1 1/2)	2.78
317 - 328	39.7	1.56 (1 9/16)	2.5
329 - 340	41.3	1.62 (1 5/8)	2.27
341 - 353	42.9	1.69 (1 11/16)	2.08
354 - 367	44.4	1.75 (1 3/4)	1.92
368 - 379	46	1.81 (1 7/8)	1.79
380 - 392	47.6	1.88 (1 7/8)	1.67
393 - 405	49.2	1.94 (1 15/16)	1.56
406 - 420	50.8	2.00 (2)	1.47
421 - 431	52.4	2.06 (2 1/16)	1.39
432 - 443	54	2.12 (2 1/8)	1.32
444 - 456	55.6	2.19 (2 3/16)	1.25
457 - 470	57.2	2.25 (2 1/4)	1.19
471 - 482	58.7	2.31 (2 5/16)	1.14
483 - 495	60.3	2.38 (2 3/8)	1.09
496 - 508	61.9	2.44 (2 7/16)	1.04
509 - 522	63.5	2.50 (2 1/2)	1
523 - 535	65.1	2.56 (2 9/16)	0.96
536 - 546	66.7	2.62 (2 5/8)	0.93
547 - 559	68.3	2.60 (2 11/16)	0.89
560 - 573	69.8	2.75 (2 3/4)	0.86
574 - 585	71.4	2.81 (2 13/16)	0.83
586 - 598	73	2.88 (2 7/8)	0.81
599 - 610	74.6	2.94 (2 15/16)	0.78
611 - 626	76.2	3.00 (3)	0.76

Fuente: Norma EG 2013 – sección 423.

Mezclas asfálticas con la incorporación de polvo de caucho y plástico reciclado

Se adicionó polvo de caucho y plástico reciclado y se realizó el mismo procedimiento que se hizo para las mezclas asfálticas patrón.

Se realizaron 108 especímenes con diferentes porcentajes de caucho y PET para cada tráfico (pesado, mediano y ligero), se hicieron 36 briquetas para cada uno de ellos, haciendo un total de 108. Las incorporaciones de caucho y PET en porcentajes fueron: 2% (1% PC y 1% PET), 4% (2% PC y 2% PET), 6% (3% PC y 3% PET), y 8% (4% PC y 4% PET).

Se prepararon 108 muestras, incorporando el peso predeterminado de agregado fino y grueso y aumentando el porcentaje de cemento asfáltico en 0.5%, partiendo de 5.0% y continuando con 5.5% y 6.0%. A continuación se describe el % de las adiciones y el número de especímenes:

Tabla 18: Muestras por porcentaje de adición y tráfico de diseño.

MEZCLA MODIFICADA														
Tráfico	Porcentaje de cemento asfáltico (%)												Total especímenes	
	5%				5.50%				6%					
	Porcentaje de adiciones (%)													
	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%		
Pesado	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
Mediano	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
Ligero	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
														108

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el ensayo de peso específico, porcentaje de vacíos, flujo y estabilidad para cada briketa compuesta por la mezcla modificada y se procedió a ejecutar los cálculos de gabinete.

Plan de procesamiento y análisis de datos

Fase I:

Reunir llantas y PET.
Selección de llantas y PET.
Lavado de los envases PET,
Proceso de trituración y molienda.
Polvo de caucho y PET.

Fase II:

Procedimiento para el diseño Marshall.
Análisis granulométrico.
Determinación del peso específico.
Elaboración de las probetas.
Ensayo de flujo y estabilidad.
Análisis de vacíos y densidad.
Procesamiento de datos obtenidos.
Análisis de resultados de ensayo en laboratorio.

Fase III:

Resultados finales.
Contrastación de resultados con los antecedentes.
Elaboración de resultados.

Fase IV:

Redacción final de tesis.
Elaboración de conclusiones y recomendaciones.

Matriz de consistencia

Como podemos ver en la matriz de consistencia con la que fue realizada la investigación.

La forma en la que se trabajó la investigación se detalla a continuación.

Tabla 19: Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	METODOLOGÍA				
¿De qué manera influye la incorporación del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades Físicos – Mecánicos en las mezclas asfálticas en caliente?	General	La incorporación del polvo de caucho y plástico reciclado contribuye valiosamente en la mejora de propiedades Físicos – Mecánicos en las mezclas de asfalto en caliente.	Independiente			Tipo de Investigación				
	Determinar la influencia de la incorporación del polvo de caucho y plástico reciclado (PET) en la mejora de las propiedades Físicos – Mecánicos en las mezclas asfálticas para tráfico ligero, mediano y pesado.		Polvo de Caucho y Plástico Reciclado		Porcentaje de polvo de caucho	El tipo de investigación es aplicada, ya que tiene como propósito reutilizar las llantas de caucho y los plásticos reciclados para mejorar las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica y garantizar pavimentos sostenibles en beneficio de la				
					Porcentaje de PET triturado					
	Específicos		Dependiente				Diseño de la Investigación			
	Determinar en qué medida la incorporación de polvo de caucho y plástico reciclado (PET) mediante la vía seca influye en la densidad, presencia de vacíos, flujo y estabilidad.		Mejora de las Propiedades Físicas - Mecánicas de la mezcla de asfalto		Propiedades físicas		Peso específico	El diseño de investigación para el presente estudio es experimental, puesto que se someterá a pruebas de laboratorio diferentes porcentajes de polvo de caucho y plástico reciclado para encontrar la combinación óptima que ayude mejorar las propiedades físico – mecánicas y por ende a alargar la vida útil de los pavimentos.		
	Describir las cualidades o rasgos característicos del polvo de caucho y plásticos reciclados (PET).				Propiedades mecánicas		Presencia de vacíos			
	Establecer la compatibilidad de la combinación entre el polvo de caucho, plástico reciclado (PET) y cemento asfáltico.						Flujos			
	Analizar que la mezcla asfáltica modificada cumpla las especificaciones técnicas indicadas en la NTP.		Interviente				Estabilidad			
	Comprobar que una mezcla asfáltica modificada en caliente es más flexible que una mezcla asfáltica convencional en caliente mediante el método de		Diámetro de polvo de caucho						Población y muestra	
	Evaluar el costo de producción de las mezclas de asfalto en caliente con polvo de caucho y plástico reciclado.		Diámetro de PET triturado							
	Establecer las ventajas y desventajas de la mezcla de asfalto con la incorporación de polvo de caucho y plástico reciclado.		Tipo de tráfico						Población	
										La población fue conformada por 45 muestras patrón de asfalto convencional y 108 de mezclas modificadas, haciendo un total de 153. La población y muestra son las mismas por ser un estudio experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Consideraciones éticas

De acuerdo a los principios científicos que rigen las normas técnicas peruanas y en relación al código ético del Colegio de Ingenieros del Perú, el estudio se desarrolló bajo las siguientes consideraciones éticas:

La información recolectada es verdadera e inalterada, puesto que este proyecto buscó ser tomada como referencia bajo la influencia del polvo de caucho y plástico reciclado, las cuales permitan aumentar las características físicas – mecánicas de las mezclas asfálticas.

Los resultados de los ensayos Marshall fueron obtenidos mediante fórmulas matemáticas las cuales están estrictamente regidas en las bases científicas expuestas con anterioridad. Del mismo modo, el estudio de mecánica de suelos es legítimo y confiable, ya que fue realizado en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Ambiental (USAT).

El proyecto de influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas – mecánicas de la mezcla de asfalto tiene la aprobación y autorización de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Ambiental (USAT).

Este estudio contribuye al desarrollo sostenible y aporta nuevos conocimientos en cuanto al diseño de mezclas asfálticas, cuya obtención de datos para el procesamiento de los diversos ensayos realizados respetan todas las disposiciones normadas.

Resultados

Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico ligero - patrón)

Tabla 20: Granulometría agregados (tráfico ligero - patrón).

DATOS DE DISEÑO								
Grava Chancada 3/4"		67%						
Arena Chancada 1/4"		33%						
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70								
		TAMAÑO MÁXIMO		:		3/4"		
		TMN		:		1/2"		
		Peso inicial seco		:		6000 g		
TAMIZ	AASHTO-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2		Observación:
3/4"	19.000	1818	30.3	4.2	100.0	100		
1/2"	12.500	252	4.2	8.4	91.6	80	100	
3/8"	9.500	961	16.0	24.4	75.6	70	88	
Nº 4	4.750	1027	17.1	41.5	58.5	51	68	
Nº 10	2.000	346.0	10.1	51.6	48.4	38	52	
Nº 40	0.425	1007.7	29.5	81.1	18.9	17	28	
Nº 80	0.177	325.0	9.5	90.6	9.4	8	17	
Nº 200	0.075	165.0	4.8	95.4	4.6	4	8	
< Nº 200	FONDO	156.3	4.6	100.0				

Se observan la retención de los pesos de agregados, encontrándose el tamaño máximo en la malla 3/4" y un tamaño máximo nominal en la malla 1/2".

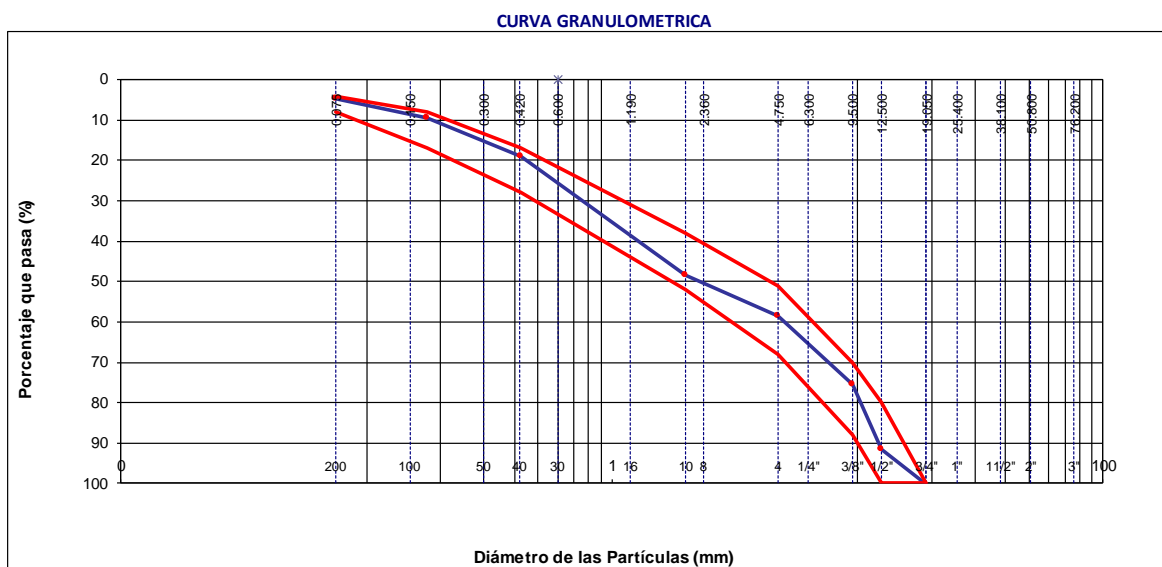


Gráfico 1: Curva granulométrica de los agregados (tráfico ligero - patrón).

Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico mediano - patrón)

Tabla 21: Granulometría agregados (tráfico mediano - patrón).

DATOS DE DISEÑO							
Grava Chancada 3/4"	67%						
Arena Chancada 1/4"	33%						
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70		TAMAÑO MÁXIMO		:	3/4"		
		TMN		:	1/2"		
		Peso inicial seco		:	6000 g		
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	1818			100.0	100	
1/2"	12.500	252	4.2	4.2	95.8	80 100	
3/8"	9.500	961	16.0	20.2	79.8	70 88	
Nº 4	4.750	1027	17.1	37.3	62.7	51 68	
Nº 10	2.000	346.0	10.8	48.2	51.8	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1007.7	31.6	79.7	20.3	17 28	
Nº 80	0.177	325.0	10.2	89.9	10.1	8 17	
Nº 200	0.075	180.0	5.6	95.6	4.4	4 8	
< Nº 200	FONDO	141.3	4.4	100.0			

Se muestran los pesos retenidos de agregados, encontrándose el tamaño máximo en la malla 3/4" y un tamaño máximo nominal en la malla 1/2".

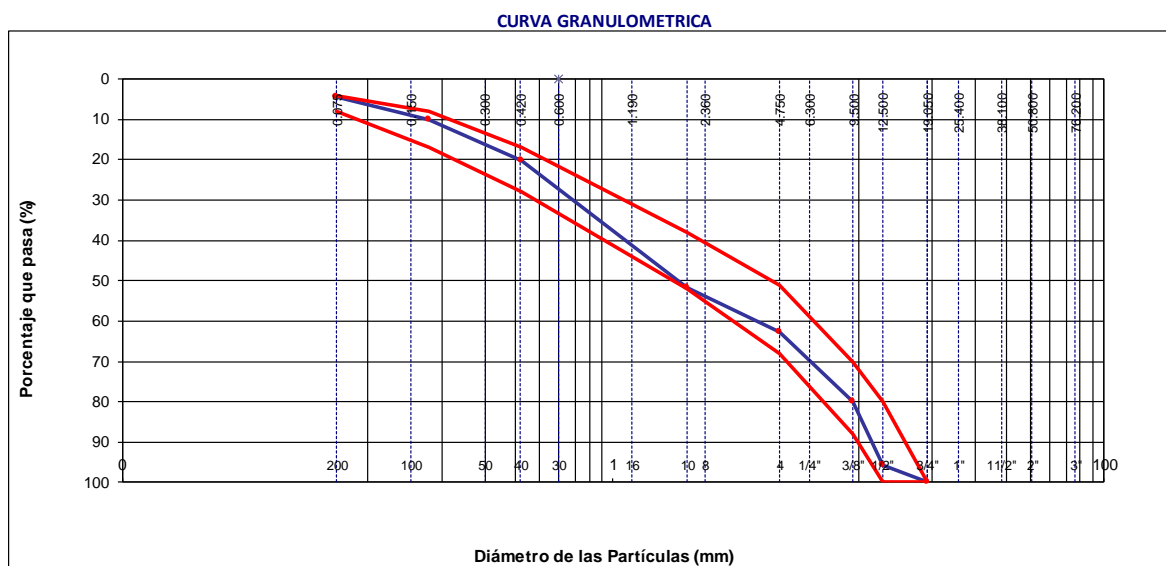


Gráfico 2: Curva granulométrica de los agregados (tráfico mediano - patrón).

Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico pesado - patrón)

Tabla 22: Granulometría agregados (tráfico pesado - patrón).

DATOS DE DISEÑO							
Grava Chancada 3/4"	67%						
Arena Chancada 1/4"	33%						
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70		TAMAÑO MÁXIMO		:	3/4"		
		TMN		:	1/2"		
		Peso inicial seco		:	6000 g		
TAMIZ	AASHTO-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	1818			100.0	100	
1/2"	12.500	252	4.2	4.2	95.8	80 100	
3/8"	9.500	961	16.0	20.2	79.8	70 88	
Nº 4	4.750	1027	17.1	37.3	62.7	51 68	
Nº 10	2.000	346.0	10.8	48.2	51.8	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1007.7	31.6	79.7	20.3	17 28	
Nº 80	0.177	325.0	10.2	89.9	10.1	8 17	
Nº 200	0.075	175.0	5.5	95.4	4.6	4 8	
< Nº 200	FONDO	146.3	4.6	100.0			

Se pueden notar los pesos retenidos de agregados, encontrándose el tamaño máximo en la malla 3/4" y un tamaño máximo nominal en la malla 1/2".

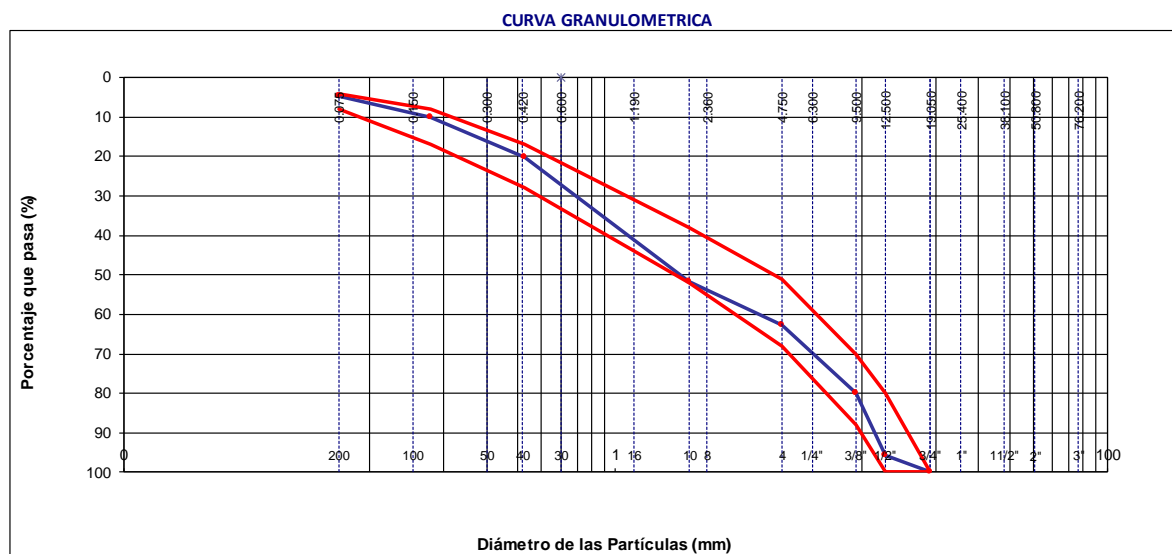


Gráfico 3: Curva granulométrica de los agregados (tráfico pesado - patrón).

En los gráficos 1, 2 y 3 podemos observar que la granulometría está dentro de los husos que indica el MAC-2.

Método Marshall

Mezcla asfáltica patrón

Tabla 23: Resultados Marshall patrón.

	Patrón	Peso unitario (gr/cm ²)	Vacíos (%)	Vacíos del agregado mineral (%)	Vacíos llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (kg)	Relación estabilidad/flujo (kg/cm)
Pesado	100	2.18	12.70	14.00	65.00	12.19	1691.00	1512.73
Mediano	100	2.18	10.92	14.00	65.00	12.19	1691.00	1515.41
Ligero	100	2.18	17.07	14.00	65.00	12.19	1691.00	1501.87

De acuerdo a los resultados realizados a las mezclas asfálticas patrón para los 3 tipos de tráfico, tenemos:

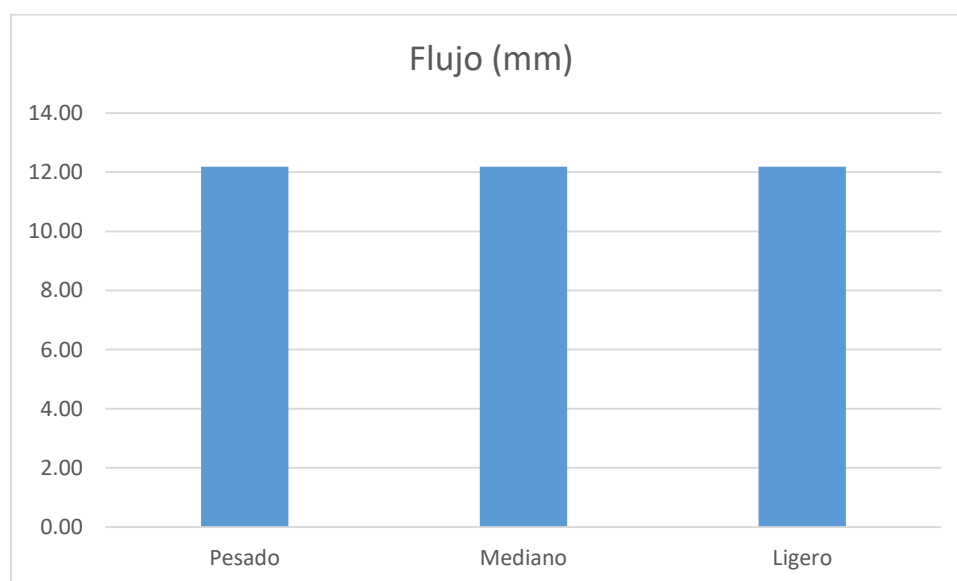


Gráfico 4: Flujo (mm).

El flujo del tráfico pesado es de: 12.19 mm.

El resultado de flujo del tráfico mediano es de 12.19 mm.

El tráfico ligero tiene un flujo de: 12.19 mm.

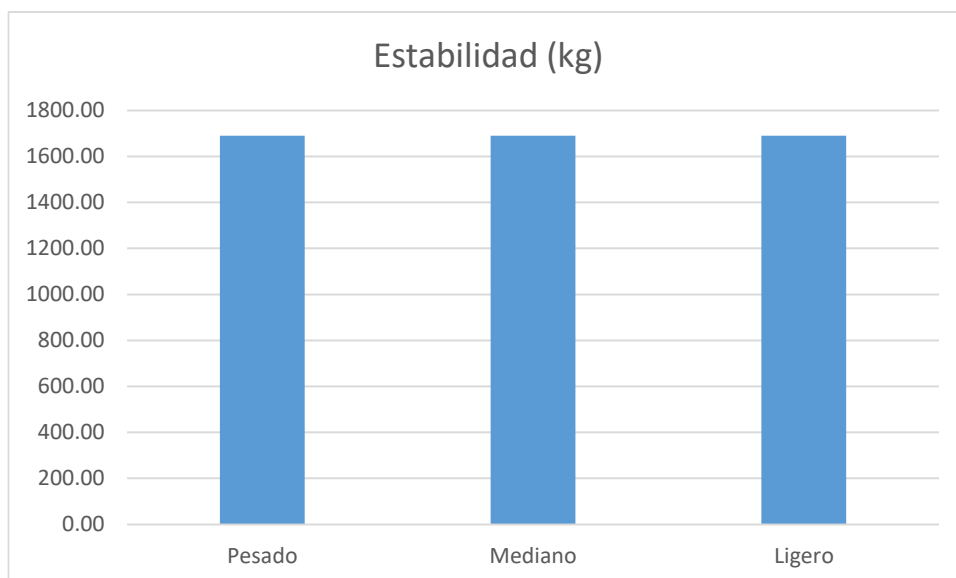


Gráfico 5: Estabilidad (kg).

La estabilidad del tráfico pesado es de: 1691 kg.

La estabilidad del tráfico mediano es de: 1691 kg.

La estabilidad del tráfico ligero es de: 1691 kg.

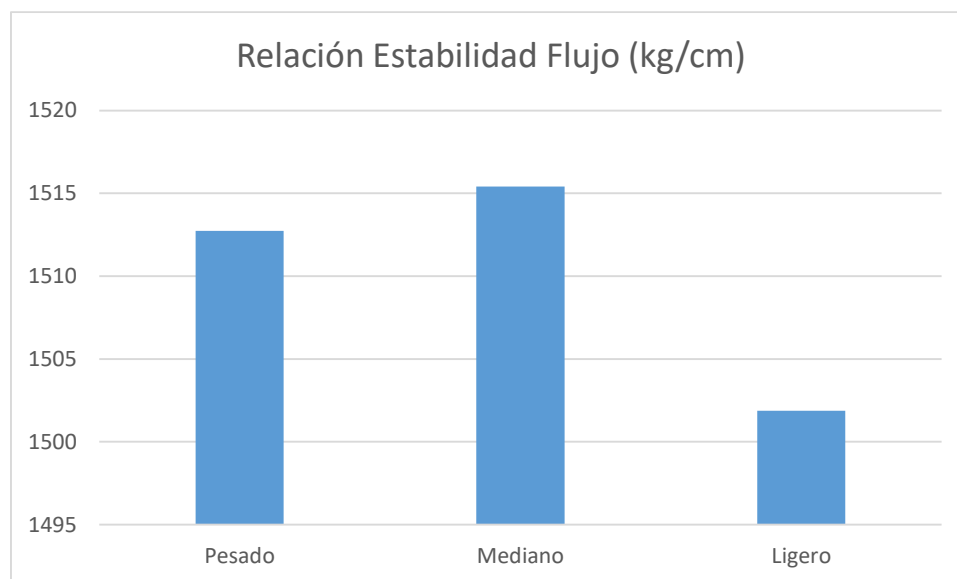


Gráfico 6: Relación estabilidad flujo (kg/cm).

Para tráfico pesado es de: 1512.73 kg/cm.

La relación estabilidad/flujo para el tráfico mediano es de: 1515.41 kg/cm.

El tráfico ligero tiene una relación estabilidad/flujo de: 1501.87 kg/cm.

Tráfico Ligero - Patrón

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

TESIS : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".
MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
1.- PESO DEL FRASCO	1000	1000	1000	1000	1000
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2911	2911	2911	2911	2911
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2463	2446	2449	2440	2436
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3563.2	3545.9	3549.2	3539.6	3535.5
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1100	1100	1100	1100	1100
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	447	465	461	471	475
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.459	2.368	2.385	2.336	2.316

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCIÓN : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.40
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.18
Vacios (%)	17.07
Vacios del Agregado mineral (%)	14.00
Vacios Llenados de C.A (%)	65.00
Flujo (mm)	12.19
Estabilidad (Kg)	1691.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.18
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1501.87

Patrón	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del Agregado mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.18	17.07	14.00	65.00	12.19	1691.00	1.18	1501.87

Tráfico Mediano - Patrón

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

TESIS : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
1.- PESO DEL FRASCO	1000	1000	1000	1000	1000
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2911	2911	2911	2911	2911
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2463	2446	2449	2440	2436
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3563.2	3545.9	3549.2	3539.6	3535.5
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1100	1100	1100	1100	1100
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	447	465	461	471	475
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.459	2.368	2.385	2.336	2.316

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCIÓN : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.40
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.18
Vacíos (%)	10.92
Vacíos del Agregado mineral (%)	14.00
Vacíos Llenados de C.A (%)	65.00
Flujo (mm)	12.19
Estabilidad (Kg)	1691.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.24
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1515.41

Patrón	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacíos (%)	Vacíos del Agregado mineral (%)	Vacíos Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.18	10.92	14.00	65.00	12.19	1691.00	1.24	1515.41

Tráfico pesado - Patrón

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

TESIS : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
1.- PESO DEL FRASCO	1000	1000	1000	1000	1000
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2911	2911	2911	2911	2911
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2463	2446	2449	2440	2436
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3563.2	3545.9	3549.2	3539.6	3535.5
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1100	1100	1100	1100	1100
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	447	465	461	471	475
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.459	2.368	2.385	2.336	2.316

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCIÓN : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.40
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.18
Vacíos (%)	12.70
Vacíos del Agregado mineral (%)	14.00
Vacíos Llenados de C.A (%)	65.00
Flujo (mm)	12.19
Estabilidad (Kg)	1691.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.18
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1512.73

Patrón	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacíos (%)	Vacíos del Agregado mineral (%)	Vacíos Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.18	12.70	14.00	65.00	12.19	1691.00	1.18	1512.73

Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico ligero - modificada)

Tabla 24: Granulometría agregados (tráfico ligero - modificada).

DATOS DE DISEÑO							
Grava Chancada 3/4"	67%						
Arena Chancada 1/4"	33%						
Pet	2%						
Caucho	2%						
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70							
				TAMAÑO MÁXIMO		: 3/4"	
				TMN		: 1/2"	
				Peso inicial seco		: 6000 g	
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	1818			100.0	100	
1/2"	12.500	252	4.2	4.2	95.8	80 100	
3/8"	9.500	961	16.0	20.2	79.8	70 88	
Nº 4	4.750	1027	17.1	37.3	62.7	51 68	
Nº 10	2.000	346.0	10.8	48.2	51.8	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1007.7	31.6	79.7	20.3	17 28	
Nº 80	0.177	294.7	9.2	89.0	11.0	8 17	
Nº 200	0.075	268.2	8.4	97.4	2.6	4 8	
< Nº 200	FONDO	83.5	2.6	100.0			

Se observan la retención de los pesos de agregados, encontrándose el tamaño máximo en la malla 3/4" y un tamaño máximo nominal en la malla 1/2".

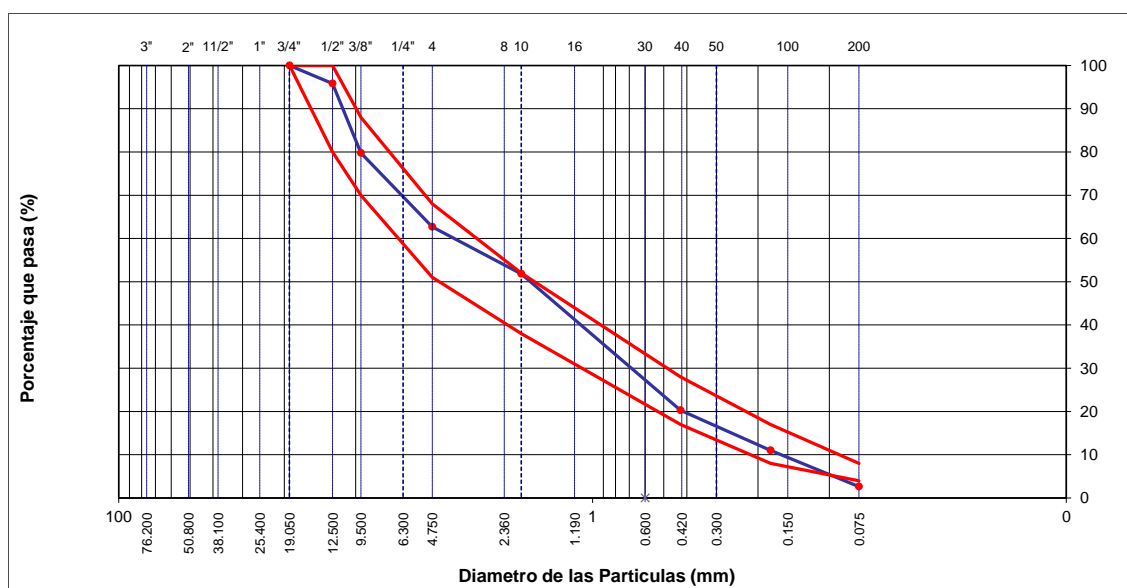


Gráfico 7: Curva granulométrica de los agregados (tráfico ligero - modificada).

Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico mediano - modificada)

Tabla 25: Granulometría agregados (tráfico mediano - modificada).

DATOS DE DISEÑO							
Grava Chancada 3/4"	67%	TAMAÑO MÁXIMO : 3/4" TMN : 1/2" Peso inicial seco : 6000 g					
Arena Chancada 1/4"	33%						
Pet	2%						
Caucho	2%						
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70							
TAMIZ	AASHTOT-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	1818			100.0	100	
1/2"	12.500	252	4.2	4.2	95.8	80 100	
3/8"	9.500	961	16.0	20.2	79.8	70 88	
Nº 4	4.750	1027	17.1	37.3	62.7	51 68	
Nº 10	2.000	346.0	10.8	48.2	51.8	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1007.7	31.6	79.7	20.3	17 28	
Nº 80	0.177	294.7	9.2	89.0	11.0	8 17	
Nº 200	0.075	268.2	8.4	97.4	2.6	4 8	
< Nº 200	FONDO	83.5	2.6	100.0			

Se muestran los pesos retenidos de agregados, encontrándose el tamaño máximo en la malla 3/4" y un tamaño máximo nominal en la malla 1/2".

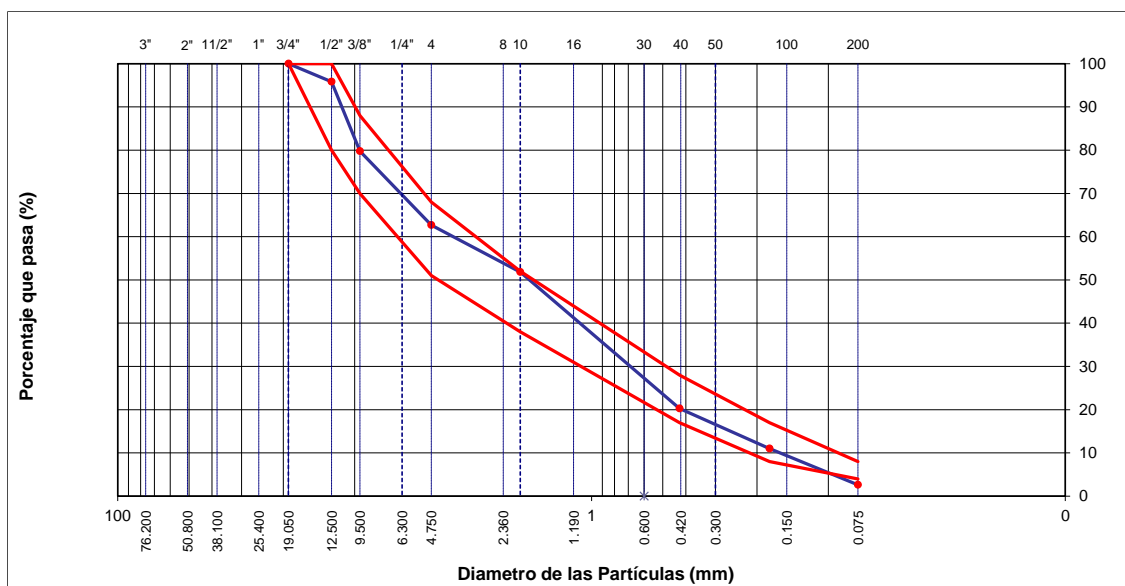


Gráfico 8: Curva granulométrica de los agregados (tráfico mediano - modificada).

Análisis granulométrico de los agregados (Tráfico pesado - modificada)

Tabla 26: Granulometría agregados (tráfico pesado - modificada).

DATOS DE DISEÑO							
Grava Chancada 3/4"	67%						
Arena Chancada 1/4"	33%						
Pet	2%						
Gaucho	2%						
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70							
						TAMAÑO MÁXIMO	: 3/4"
						TMN	: 1/2"
						Peso inicial seco	: 6000 g
TAMIZ	AASHTO-T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	1818			100.0	100	
1/2"	12.500	252	4.2	4.2	95.8	80 100	
3/8"	9.500	961	16.0	20.2	79.8	70 88	
Nº 4	4.750	1027	17.1	37.3	62.7	51 68	
Nº 10	2.000	346.0	10.8	48.2	51.8	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1007.7	31.6	79.7	20.3	17 28	
Nº 80	0.177	294.7	9.2	89.0	11.0	8 17	
Nº 200	0.075	268.2	8.4	97.4	2.6	4 8	
< Nº 200	FONDO	83.5	2.6	100.0			

Se pueden ver los pesos retenidos de agregados, encontrándose el tamaño máximo en la malla 3/4" y un tamaño máximo nominal en la malla 1/2".

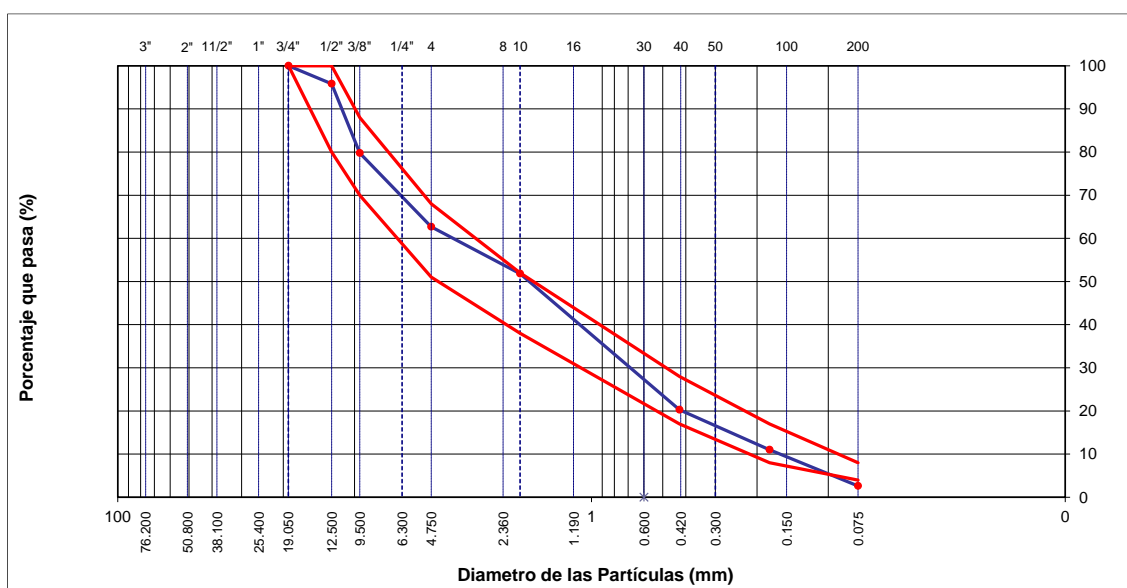


Gráfico 9: Curva granulométrica de los agregados (tráfico pesado - modificada).

En los gráficos 24, 25 y 26 podemos observar que la granulometría cumple con los husos que indica el MAC-2.

Método Marshall

Mezcla asfáltica modificada

Tabla 27: Resultados Marshall modificada.

	Modificada	Peso unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del agregado mineral (%)	Vacios llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (kg)	Relación estabilidad/flujo (kg/cm)
Pesado	100	2.18	5.82	14.00	80.18	12.19	1691.00	1842.22
Mediano	100	2.50	5.88	14.00	80.12	12.70	1774.27	1810.27
Ligero	100	2.48	5.40	14.00	80.60	10.16	1132.00	2248.69

Se presentan las siguientes gráficas, las cuales representan las comparaciones de los valores obtenidos tanto para las muestras patrón vs las muestras modificadas, las cuales han sido determinadas por los diferentes ensayos.

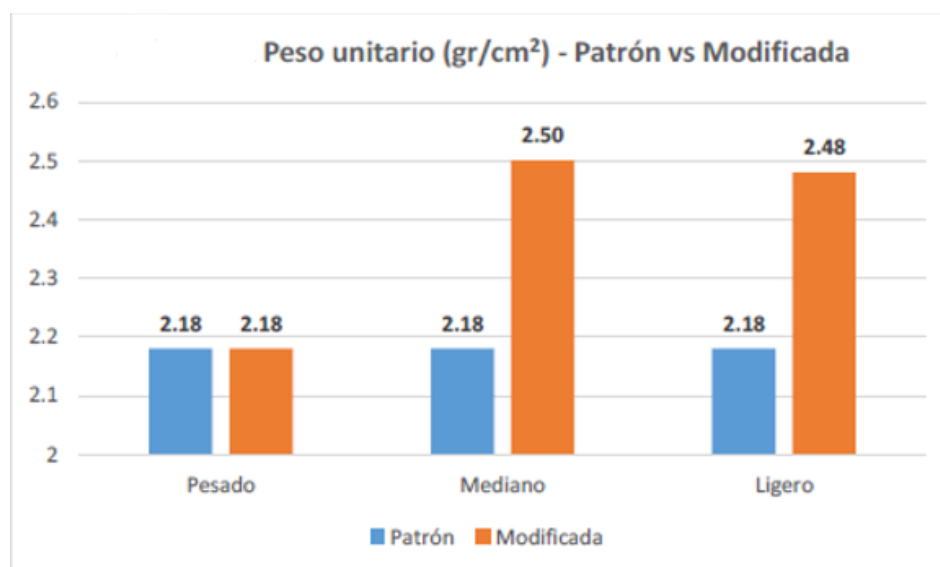


Gráfico 10: Peso unitario (gr/cm²) – Patrón vs Modificada

El peso unitario del tráfico ligero modificado es de: 2.48 gr/cm².

El resultado del peso unitario del tráfico mediano modificado es de: 2.50 gr/cm².

El tráfico pesado modificado tiene un peso unitario de: 2.18 gr/cm².

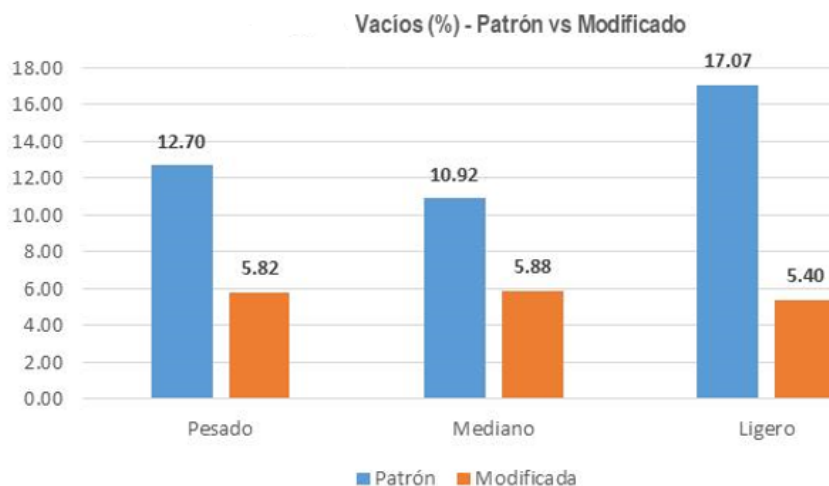


Gráfico 11: Vacíos (%) – Patrón vs Modificada

El % de vacíos del tráfico ligero modificado es de: 5.40%.

El resultado del % de vacíos del tráfico mediano modificado es de: 5.88%.

El tráfico pesado modificado tiene un % de vacíos de: 5.82%.

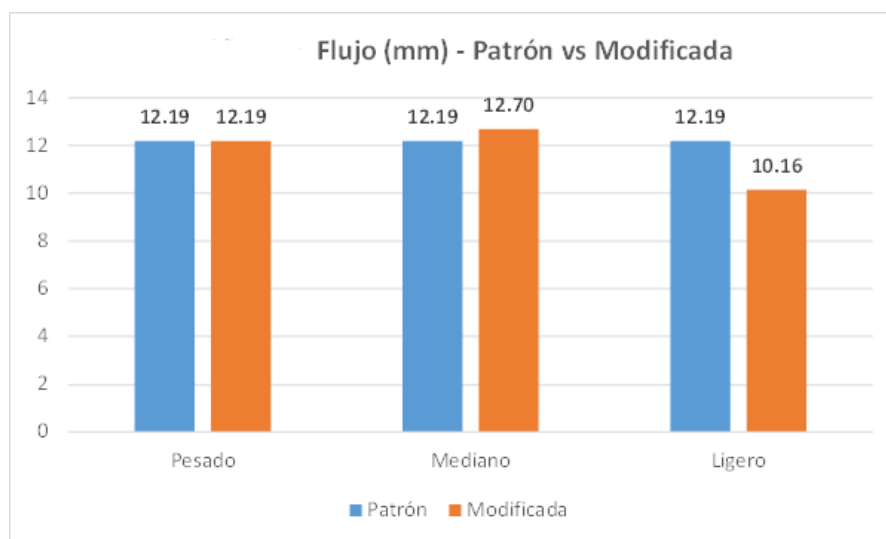


Gráfico 12: Flujo (mm) – Patrón vs Modificada

El flujo del tráfico ligero modificado es de: 10.16 mm.

El resultado del flujo del tráfico mediano modificado es de: 12.70 mm.

El tráfico pesado modificado tiene un flujo de: 12.19 mm.

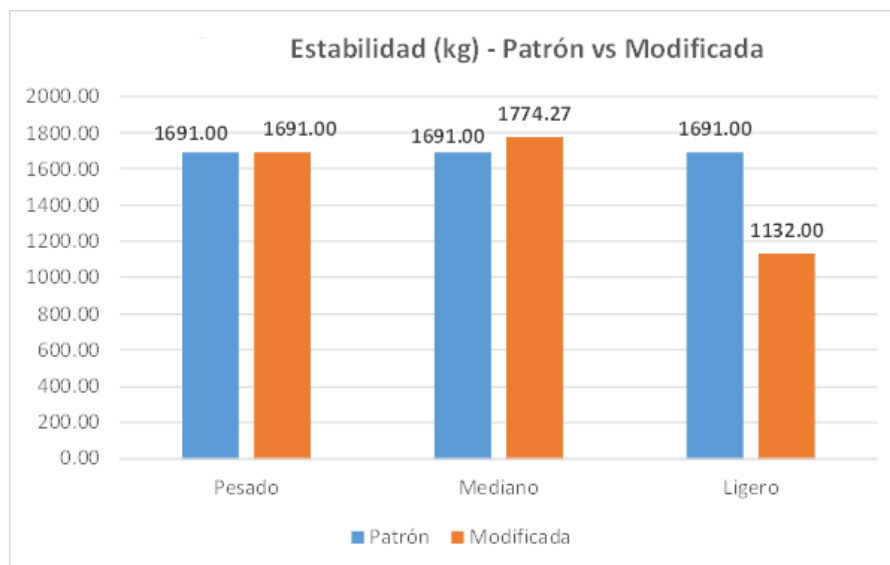


Gráfico 13: Estabilidad (kg) – Patrón vs Modificada

La estabilidad del tráfico ligero modificado es de: 1132.00 kg.

El resultado de la estabilidad del tráfico mediano modificado es de: 1774.27 kg.

El tráfico pesado modificado tiene una estabilidad de: 1691.00 kg.

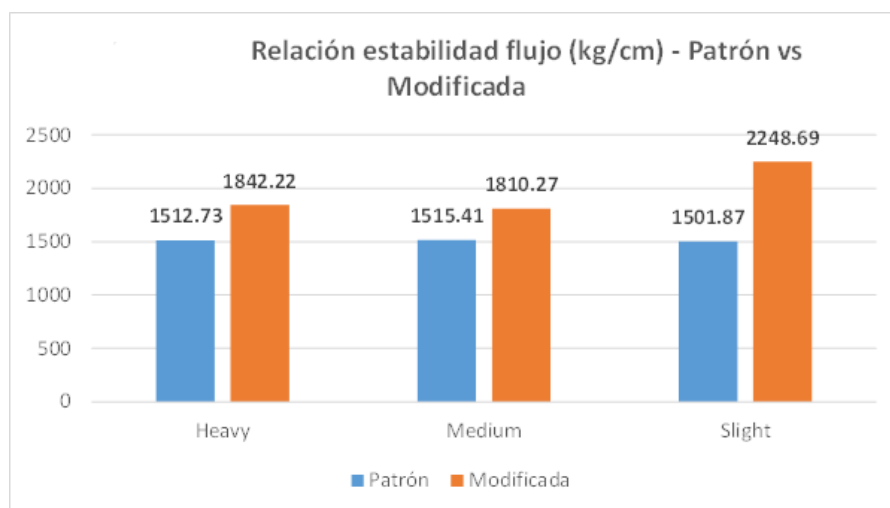


Gráfico 14: Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) – Patrón vs Modificada

La relación estabilidad flujo del tráfico ligero modificado es de: 2248.69 kg/cm.

El resultado de la relación estabilidad flujo del tráfico mediano modificado es de: 1810.27 kg/cm.

La estabilidad flujo del tráfico pesado modificado es de: 1842.22 kg/cm.

Tráfico Ligero – Modificado

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA

ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados, Cemento Asfáltico, Caucho y PET

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

PORCENTAJE DE ASFALTO	2.0	3.0	4.0	5.0
1.- PESO DEL FRASCO	1000	1000	1000	1000
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2911	2911	2911	2911
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2499	2510	2519	2527
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3599.2	3609.9	3619.2	3626.6
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1100	1100	1100	1100
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	411	401	391	384
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.674	2.746	2.811	2.865

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCION : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.40
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.48
Vacios (%)	5.40
Vacios del Agregado mineral (%)	14.00
Vacios Llenados de C.A (%)	80.60
Flujo (mm)	10.16
Estabilidad (Kg)	1132.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.21
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	2248.69

Modificada	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del Agregado mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.48	5.40	14.00	80.60	10.16	1132.00	1.21	2248.69

Tráfico Mediano – Modificado

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA

ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados, Cemento Asfáltico, Caucho y PET

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

PORCENTAJE DE ASFALTO	2.0	3.0	4.0	5.0
1.- PESO DEL FRASCO	1000	1000	1000	1000
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2911	2911	2911	2911
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2499	2510	2519	2527
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3599.2	3609.9	3619.2	3626.6
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1100	1100	1100	1100
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	411	401	391	384
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.674	2.746	2.811	2.865

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCION : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados, caucho y plástico reciclado

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.5
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.50
Vacios (%)	5.88
Vacios del Agregado mineral (%)	14.00
Vacios Llenados de C.A (%)	80.12
Flujo (mm)	12.70
Estabilidad (Kg)	1774.27
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.25
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1810.27

Modificada	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del Agregado mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.50	5.88	14.00	80.12	12.70	1774.27	1.25	1810.27

Tráfico Pesado – Modificado

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA

ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados, Cemento Asfáltico, Caucho y PET

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

PORCENTAJE DE ASFALTO	2.0	3.0	4.0	5.0
1.- PESO DEL FRASCO	1000	1000	1000	1000
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2911	2911	2911	2911
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2499	2510	2519	2527
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3599.2	3609.9	3619.2	3626.6
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1100	1100	1100	1100
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	411	401	391	384
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.674	2.746	2.811	2.865

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCION : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados, caucho y plástico reciclado

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.6
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.18
Vacios (%)	5.82
Vacios del Agregado mineral (%)	14.00
Vacios Llenados de C.A (%)	80.18
Flujo (mm)	12.19
Estabilidad (Kg)	1691.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.18
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1842.22

Modificada	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del Agregado mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.18	5.82	14.00	80.18	12.19	1691.00	1.18	1842.22

Discusión

Se puede decir que las probetas ensayadas bajo los criterios del método Marshall han mostrado un mejor comportamiento entre sí. Sin embargo, la validez de la comparación de los resultados obtenidos es bastante cuestionable, debido principalmente a un aspecto propio del método de diseño.

A pesar de que se utilizó la misma granulometría, se debe tener presente las dimensiones y peso de las probetas, puesto que estos varían notablemente.

Los gráficos obtenidos de los ensayos realizados muestran los % óptimos de asfalto, como también, el peso unitario, % de vacíos, del agregado mineral, cemento asfáltico, flujo y estabilidad.

Se observó que con los % de asfaltos de 5%, 5.5% y 6%, se logró dar cumplimiento en los incisos establecidos en cuanto a características físicas mecánicas, como es la relación estabilidad/flujo, el cual es mayor que la convencional en 294.86 kgf/cm (MAC-2: tráfico mediano). Según RAMIREZ y TANANTA (2018), al adicionar 5% de gránulos de plástico a la mezcla, obtuvieron un porcentaje óptimo de asfalto de 5.5%, determinando una relación polvo/asfalto de 105 kgf/cm más que la convencional.

En cuanto a la estabilidad, esta decrece conforme aumenta el % del contenido de asfalto.

El diseño para tráfico mediano (MAC-2) otorga más estabilidad con 1774.27 kg, puesto que el contenido de asfalto es más viscoso, lo cual alcanza una estabilidad superior para agregados de características uniformes.

El diseño MAC-2 (tráfico pesado) tiene una estabilidad de 1691 kg, mientras que el diseño MAC-2 (tráfico ligero) es la que menor estabilidad presenta con 1132 kg, por lo que el contenido de asfalto es de menor viscosidad, otorgando estabilidades menores para el diseño de mezcla en

mención, el cual, de acuerdo a la investigación realizada por ROMERO y et al (2014), se determinó una estabilidad 980.78 kg (0.58%) de mejora respecto a una mezcla convencional.

En lo que concierne al flujo, esta sufre una variación significativa cuando se introducen mayores porcentajes de contenido de asfalto, presentándose inicialmente de forma suave y después, dicha variación es más notado. A mayor contenido de asfalto, la mezcla es más flexible, por ende, es susceptible a las deformaciones.

En cuanto al diseño MAC-2 (tráfico ligero) es la que menor flujo otorga con 10.16 mm (2.34%), siendo esta la menos flexible y deformable, y a su vez, la que menor estabilidad presenta. Mientras que el diseño MAC-2 (tráfico pesado) y el diseño MAC-2 (tráfico mediano) son las que tienen mayores flujos con 12.19 mm (2.81%) y 12.70 mm (2.93%), y por ende, son las más flexibles y deformables. Dichos resultados comprobando con los obtenidos por ROMERO y et al (2014), se obtuvieron flujos alrededor de 0.347 mm (2.85%) de mejora en referencia a una mezcla de diseño asfáltico tradicional.

En cuanto al peso unitario, si se aplica una misma energía de compactación (75 golpes), el porcentaje del contenido de asfalto aumenta a medida que las partículas del agregado son de granulometría uniforme, el cual es proporcional al incremento del peso unitario de la muestra ensayada, ya que dichas partículas sufren un mejor reacomodo entre los vacíos.

Del diseño MAC-2 (tráfico mediano) se obtuvo un peso unitario de 2.50 gr/cm² (84.5%), mientras que con el diseño MAC-2 (tráfico ligero) se alcanzó un peso unitario de 2.48 gr/cm² (83.8%), y, por último, con el diseño MAC-2 (tráfico pesado) se encontró el peso unitario menor a 2.18 gr/cm² (73.7%). De acuerdo con REYES y et al (2013), alcanzaron un peso unitario promedio de 1.51 gr/cm² (69.2%) de mejora en relación a una mezcla convencional.

El peso unitario está relacionado directamente con los vacíos, esto amerita ser más cauteloso, ya que, si se tiene una baja densidad, aumentaría el % de vacíos, lo que causaría un agrietamiento debido a la fatiga y una degradación prematura del asfalto.

En lo que respecta al porcentaje de vacíos con aire, cuando se mantiene los mismos agregados y compactación, crece el contenido de asfalto, en tal forma que llena los vacíos entre los agregados, los cuales son ocupados por aire. Por lo tanto, el % del contenido de asfalto es inversamente proporcional al volumen de la briqueta, ya que esta disminuye gradualmente.

Para los diseños MAC-2 (tráfico ligero), MAC-2 (tráfico mediano) y MAC-2 (tráfico pesado) se emplearon parámetros de vacíos del 5.40%, 5.88% y 5.82%, los cuales son muy bajos a los obtenidos por los diseños patrón, cuyos valores tampoco cumplen con los % de vacíos mínimos estipulados en norma. En cuanto al porcentaje de vacíos del agregado mineral, para los tres tipos de tráfico estas contienen el 14%, el cual es muy cercano al límite superior permisible dadas por las normas. También, cabe mencionar que altos contenidos de vacíos repercuten en la durabilidad de la mezcla. Se determinó una relación estabilidad/flujo de 2248.69 kg/cm (MAC-2: tráfico ligero). De acuerdo a la investigación de PORRAS y DE LA CRUZ (2015), los resultados que obtuvieron fue de 6.8% de cemento asfáltico, 2.6% de vacíos, 17.5% de vacíos de agregado mineral, 3.7 mm de flujo, 972 kgf de estabilidad y 2655 kgf/cm de relación estabilidad/flujo. De lo manifestado, se da cumplimiento con los lineamientos estipulados por la MTC.

En cuanto al % de vacíos llenados de asfalto, conforme crece el contenido de asfalto, esta será directamente proporcional al aumento del % de los vacíos del agregado mineral, los cuales son rellenados con asfalto, cuyos resultados están en 80.60% (tráfico ligero), 80.12% (tráfico mediano) y 80.18% (tráfico pesado).

Conclusiones

La variación porcentual de los contenidos óptimos de asfalto incorporando el polvo de caucho y plástico PET en los diseños de mezcla asfáltica MAC-2 (tráfico ligero) (5.4%), MAC-2 (tráfico mediano) (5.5%) y MAC-2 (tráfico pesado) (5.6%) es de 0.1% entre sí, los cuales cumplen con las disposiciones normadas de la EG 2013 del MTC. El asfalto modificado con polvo de caucho y plástico PET efectuados en los tres diseños MAC-2 (tráfico ligero, mediano y pesado), mejoraron considerablemente las propiedades físico mecánicas de una mezcla asfáltica convencional, concluyendo que su aplicación significaría un mejor comportamiento a la fatiga, la cual tendría mayor resistencia y durabilidad.

De acuerdo con el método Marshall, se puede mencionar que las mezclas MAC-2 para tráfico ligero, mediano y pesado, presentan un mejor desempeño con adiciones de 1%, 2%, 3% y 4% de polvo de caucho y plástico PET, y que a pesar de haberse determinado que los contenidos óptimos de asfalto no cumplen con las especificaciones de vacíos, la densidad encontrada es de 2.48 gr/cm² (tráfico ligero), 2.50 gr/cm² (tráfico mediano) y 2.18 gr/cm² (tráfico pesado), lo que garantiza una mejor resistencia a la deformación permanente. Al efectuar el diseño MAC-2 (tráfico mediano) con una adición de polvo de caucho y plástico PET al 1%, 2%, 3% y 4%, se consiguió una estabilidad de 1774.27 kg y un flujo de 12.70 mm respectivamente.

Es importante señalar que los ensayos realizados por el método Marshall, nos otorga valores de % de asfalto que pueden utilizarse para mezclas asfálticas modificadas con caucho y plástico PET, donde la selección de las adiciones y características del caucho y plástico PET dependerán de los estándares de calidad que se asuman y del investigador.

El método Marshall ha demostrado importantes avances en sus componentes como el asfalto, agregados y la compatibilidad con los diseños de mezclas asfálticas modificadas, que de acuerdo a los ensayos realizados, los diseños de mezclas asfálticas MAC-2 establecen un índice de rigidez de 3250 kg/cm para todos los tipos de tráfico, los cuales ofrecen una resistencia y durabilidad alta ante las deformaciones permanentes.

Para los agregados, el caucho y plástico PET reciclado, se determinó que el agregado seleccionado cumple con los requisitos que rige la NTP, también, el caucho y plástico PET reciclado tienen características físicas otorgando resistencia a las mezclas asfálticas modificadas MAC-2 (tráfico ligero, mediano y pesado).

De acuerdo a los valores determinados, para el tráfico mediano se concluye que el diseño de la mezcla modificada es con una adición de contenido de asfalto de 5.5%, lo que significa un aumento de 294.86 kgf/cm con respecto a una mezcla convencional, siendo la mezcla modificada más flexible que la tradicional.

En lo que concierne a los costos del diseño de mezcla asfáltica convencional MAC-2 (tráfico mediano), se tiene, para una mezcla convencional, un monto de S/ 1,081.26 por m³.

Partida: CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL E= 5cm		Costo unitario directo por: m²				54.06
m²/DIA	MO. 500.0000	EQ. 500.0000				
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Operario		hh	2.0000	0.0320	24.29	0.78
Oficial		hh	2.0000	0.0320	19.17	0.61
Peón		hh	6.0000	0.0960	17.33	1.66
						3.05
Materiales						
Arena para asfalto		m3		0.2082	84.75	17.64
Piedra para asfalto		m3		0.2346	84.75	19.88
Asfalto PEN 60/70		gal		0.0568	10.17	0.58
						38.10
Equipos						
Herramientas manuales		%MO		3.0000	3.05	0.09
Rodillo Neumático Autopropulsado 127 HP 8-23 ton		hm	1.0000	0.0160	228.81	3.66
Rodillo Tándem Estrático Autopropulsado 58-70 HP 5-8 ton		hm	1.0000	0.0160	110.17	1.76
Grupo Electrónico 116 HP 75 KW		hm	1.0000	0.0160	21.19	0.34
Pavimentadora Sobre Oruga 69 HP		hm	1.0000	0.0160	127.12	2.03
Planta de Asfalto de 150 ton/h		hm	1.0000	0.0160	313.56	5.02
						12.90
Por m³ =						1081.26

Mientras que, para la mezcla modificada, con adición de caucho y plástico PET, se tiene un monto de S/ 1,049.24 por m³.

Partida: CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA E= 5cm						
m2/DIA	MO. 500.0000	EQ. 500.0000	Costo unitario directo por: m2			52.46
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Operario		hh	2.0000	0.0320	24.29	0.78
Oficial		hh	2.0000	0.0320	19.17	0.61
Peón		hh	6.0000	0.0960	17.33	1.66
						3.05
Materiales						
Arena para asfalto		m3		0.2000	84.75	16.95
Piedra para asfalto		m3		0.2200	84.75	18.65
Asfalto PEN 60/70		gal		0.0540	10.17	0.55
Plástico PET		kg		0.0400	5.00	0.2
Polvo de caucho		kg		0.0400	4.00	0.16
						36.50
Equipos						
Herramientas manuales		%MO		3.0000	3.05	0.09
Rodillo Neumático Autopropulsado 127 HP 8-23 ton		hm	1.0000	0.0160	228.81	3.66
Rodillo Tándem Estrático Autopropulsado 58-70 HP 5-8 ton		hm	1.0000	0.0160	110.17	1.76
Grupo Electrónico 116 HP 75 KW		hm	1.0000	0.0160	21.19	0.34
Pavimentadora Sobre Oruga 69 HP		hm	1.0000	0.0160	127.12	2.03
Planta de Asfalto de 150 ton/h		hm	1.0000	0.0160	313.56	5.02
						12.90
Por m3 =	1049.24					

Por tanto, entre la mezcla asfáltica convencional y modificada hay una variación de S/ 32.02, optimizando, de esta manera, los costos de una con respecto a la otra.

Una clara ventaja que se puede mencionar, es que los espacios de aire entre los agregados se llenan aumentando el contenido de asfalto para una misma granulometría y compactación. Por lo tanto, el porcentaje en función al volumen de la briqueta decrece. Mientras que una de las desventajas, se debe tener en cuenta que, si el porcentaje de vacíos es superior al 5%, el pavimento puede experimentar desgaste por fatiga, ya que, si se toman porcentajes de vacíos inferiores al 3.5%, pueden ser perjudiciales ante deformaciones permanentes.

Recomendaciones

Se recomienda adicionar el polvo de caucho y plástico PET en los diseños de mezclas asfálticas, ya que mejora las propiedades físico mecánicas de las mismas, en el cual, se debe de respetar todos los procedimientos establecidos en cada ensayo normado, con el objetivo de que la mezcla asfáltica modificada con los materiales descritos, sea lo más eficiente posible.

Se sugiere que la adición del polvo de caucho y plástico PET sean evaluadas en porcentajes inferiores al 5%, para que, de esta forma, se precise el diseño más óptimo que se pretenda lograr.

Es recomendable usar el polvo de caucho y plástico PET en las mezclas asfálticas, ya que notablemente, aporta una mayor estabilidad con los porcentajes de adición y tipos de tráfico anteriormente descritos.

El método Marshall otorga las herramientas necesarias para investigar y mejorar las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas. Es por ello, que se recomienda aplicar las adiciones de polvo de caucho y plástico PET de esta investigación, ya que se ha demostrado que los resultados obtenidos de los ensayos, beneficia significativamente en el aumento de la durabilidad y resistencia de las mezclas asfálticas.

Se recomienda usar los porcentajes de adición de polvo de caucho y plástico PET (1%, 2%, 3% y 4%) para porcentajes de asfalto del 5%, 5.5% y 6% en los diseños de mezclas asfálticas, ya que, si se añaden porcentajes mayores a los estudiados en esta investigación, es muy posible que no se obtengan valores aceptables en el contenido óptimo de asfalto.

Referencias

- [1] M. J. Acuña, D. Sibaja y D. Molina, «Mezclas asfálticas en frío en Costa Rica, Conceptos, ensayos y especificaciones,» *Infraestructura vial*, n° 21, 2009.
- [2] L. Miranda, E. Neira, R. Torres y R. Valdivia, «La construcción sostenible en el Perú,» *Economía & Sociedad*, 2018.
- [3] Mundo PMMI, «Mundo PMMI,» 6 septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.mundopmmi.com/empaque/sustentabilidad/article/21659914/segunda-carretera-de-amrica-latina-desarrollada-con-plstico-reciclado-en-proyecto-de-dow-y-esenttia>.
- [4] R. Rivera, «Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura.,» *Artist*, 2004.
- [5] Radio Programa de Perú, «Perú solo recicla aún el 4% de las 900.000 toneladas de plástico que desecha,» RPP.PE, 30 enero 2020. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/peru/actualidad/peru-solo-recicla-aun-el-4-de-las-900000-toneladas-de-plastico-que-desecha-noticia-1242755?ref=rpp>.
- [6] G. Lira, «Dónde dejar los neumáticos usados o qué hacer con ellos,» 20 diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.autofact.pe/blog/mi-auto/actividades/reciclaje-neumaticos>.
- [7] D. Clauson, «Infraestructura Civil más Ecológica,» ASTM Internacional, febrero 2015. [En línea]. Available: <https://sn.astm.org/spanish/?q=features/infraestructura-civil-m%C3%A1s-ecol%C3%B3gica-jf15.html>.
- [8] K. R. Gastelo y N. L. Chávez, *Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos: convencional y con adición de polímeros reciclados*, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2021.
- [9] C. M. Díaz y L. C. Castro, «Implementación del grano de caucho reciclado proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá,» *Artist*, 2017.
- [10] A. Berrio, «Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo,» *Artist*, 2017.
- [11] Y. Aguirre Pino, *Evaluación del pavimento flexible de la avenida la Marina, entre Av.*


Central hasta Jirón Pacífico Nuevo Chimbote, Ancash, 2019 – propuesta de mejora, Chimbote: Universidad Cesar Vallejo, 2019.

- [12] D. F. Contreras y J. M. Zuñiga, «Influencia de los desperdicios plásticos en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas,» *Artist*, 2020.
- [13] S. S. Salazar, «Incorporación de Caucho Reciclado en las Mezclas Asfálticas para Mejorar Pavimentos Flexibles en la Ciudad de Lima, Perú 2019,» *Artist*, 2019.
- [14] M. Velázquez, "Manual del asfalto", URMO, 1977.
- [15] A. S. Figueroa, E. B. Fonseca, C. P. Amaya y M. R. Prieto, «Contrastación entre asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada empleando dos métodos de mezclado,» *Épsilon*, vol. 1, n° 10, 2008.
- [16] Conereservicios SAS, «Mezclas asfálticas y ensayos dinámicos de mezclas asfálticas,» 2019.
- [17] R. Villegas, J. Aguilar y L. Loria, «Diseño de mezcla asfáltica con materiales de desecho,» *Revista Científica Tecnológica Departamento de Ingeniería de Obras Civiles*, vol. 08, n° 1, 2018.
- [18] P. Garmicia, M. Flores y J. Gómez, «Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas,» *Secretaría de Comunicaciones y Transporte*, 2005.
- [19] H. R. Quintana, «Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada,» *Revista de ingeniería de construcción*, 2010.
- [20] A. Padilla, *Mezclas Asfálticas*, UPC, 2019.
- [21] A. Reyes, N. Pellegrini y R. Reyes, «El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector minas de Baruta, Estado Miranda, Venezuela,» *Revista de Investigación*, vol. 39, n° 86, 2015.
- [22] I. Juste, «Tipos de plásticos,» *Ecología verde*, 14 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-plasticos-1732.html>.
- [23] H. Delgado, C. Sandoval y P. Garnica, «Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas,» *Certificación ISO 9001:2000*, vol. 271, 2005.
- [24] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «Especificaciones Generales EG-2013,» MTC, Lima, 2013.

- [25] ASTM International, *Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Asphalt Mixtures Using Coated Samples*, ASTM, 2022.
- [26] ASTM International, *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Asphalt Mixtures*, ASTM, 2019.
- [27] C. Alfaro Rodríguez, *Metodología de Investigación Científica Aplicado a la Ingeniería*, Callao: Universidad Nacional del Callao, 2012.
- [28] ASTM International, *METODO MARSHALL*, ASTM, 2003.
- [29] R. Hernández Sampieri, C. Fernández y P. Baptista, *Metodología de la investigación*, 6ta ed., México D. F.: McGraw Hill Interamericana, 2014.
- [30] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL*, Lima, 2015.
- [31] M. Valenzuela, «El asfalto, en la conversación de pavimentos,» *Escuela de Construcción Civil*, 2003.
- [32] Instituto Nacional de Calidad, *NTP 400.012:2013 (2018) - AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.*, Lima: INACAL, 2018.

Anexos

Validación de ensayos de laboratorio



USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

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

INFORME N° LEM USAT 022-2023

FECHA: 07 de Junio 2023

Validación de Ensayos de Laboratorio


ESTUDIANTE: Claudia Pamela Chávez Samamé

TITULO DE LA TESIS: Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas – mecánicas de la mezcla de asfalto

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

1. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos
2. Gravedad específica y absorción de agregados
3. Límite plástico e índice de plasticidad
4. Durabilidad al sulfato de magnesio
5. Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino
6. Abrasión Los Ángeles (L.A) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½")
7. Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles
8. Peso específico de especímenes
9. Ensayo Marshall

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.



Henry Rivadeneira Oblitas
Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental

TECNICO DE LABORATORIO

Formatos de ensayos

Anexo 01: Granulometría



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL, AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



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

TESIS : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".
MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátao - La Victoria
TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samané

DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	67%
Arena Chancada 1/4"	33%

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

CEMENTO ASFÁLTICO PIN 60/70

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
	(mm)						
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	1818			100.0	100	
1/2"	12.500	252	4.2	4.2	95.8	80 100	
3/8"	9.500	961	16.0	20.2	79.8	70 88	
Nº 4	4.750	1027	17.1	37.3	62.7	51 68	
Nº 10	2.000	346.0	10.8	48.2	51.8	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1007.7	31.6	79.7	20.3	17 28	
Nº 80	0.177	325.0	10.2	89.9	10.1	8 17	
Nº 200	0.075	180.0	5.6	95.6	4.4	4 8	
< Nº 200	FONDO	141.3	4.4	100.0			



Claudia Ch. S.

Anexo 02: Gravedad específica y absorción



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



Tesista : Chávez Samamé Claudia Pamela
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo : Gravedad específica y absorción de agregados finos

Referencia : Norma ASTM C-128, N.T.P. 400.022 ó MTC E 205

Cantera : Arena Amarilla - Pátapo - La Victoria

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	952.8	952.8
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	642.77	642.77
3.- Peso del Agua	(g)	310.01	310.01
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	640.57	640.57
5.- Peso del Frasco	(g)	142.77	142.77
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	498	498
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.620
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.632
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.651
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.44

Ensayo : Peso específico y absorción de agregados gruesos

Referencia : Norma ASTM C-127, N.T.P. 400.021 ó MTC E 206

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas - Ferreñafe

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	3870	3870
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	3890	3890
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	3340	3340
4.- Peso de la canastilla	(g)	900	900
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	2440	2440

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.669
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.683
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.706
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.52

Claudia Ch. P.



TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 03: Límite plástico e índice de plasticidad agregado fino



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



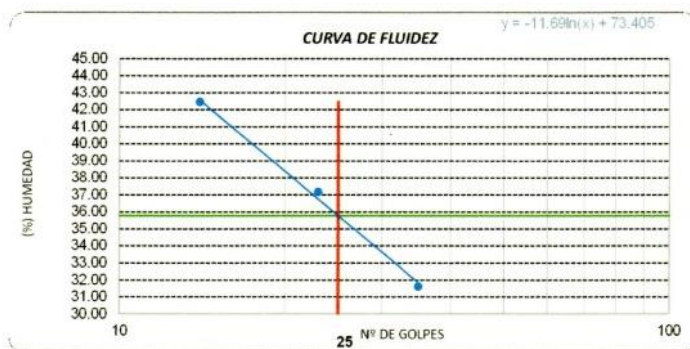
Testista : Chávez Samamé Claudia Pamela
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Testis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo : Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)
Referencia : N.T.P. 399.131, MTC E 111

Muestra : Arena amarilla Pasada por la malla 200
Cantera : Pátapo - La Victoria

Datos de ensayo	Límite líquido			Límite Plástico	
	12	15	16	20	
N° de tarro	12	15	16		
N° de golpes	35	23	14		
Tarro + suelo húmedo	40.6	45.6	46.1	14.2	
Tarro + suelo seco	36	38.5	38.5	13	
Agua	4.6	7.1	7.6	1.2	
Peso del tarro	21.45	19.4	20.6	9.40	
Peso del suelo seco	14.55	19.1	17.9	3.6	
Porcentaje de humedad	31.62	37.17	42.46	33.33	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	35.78
Límite Plástico	33.33
Índice de Plasticidad	2.44



Claudia Ch.F.



Anexo 04: Límite plástico e índice de plasticidad agregado grueso



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



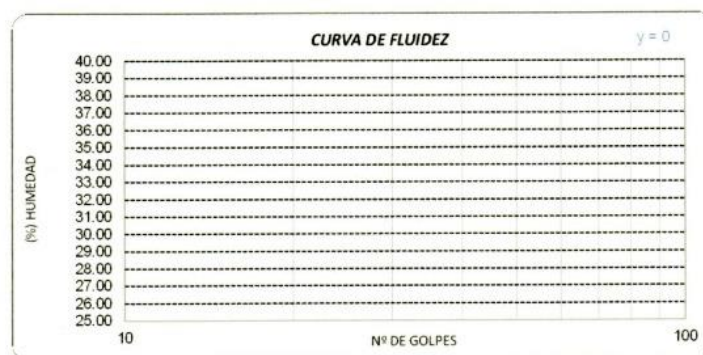
Tesista : Chávez Samamé Claudia Pamela
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo : Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)
Referencia : N.T.P. 399.131, MTC E 111

Muestra : Arena amarilla Pasada por la malla 40
Cantera : Pátapo - La Victoria

Datos de ensayo	Límite líquido			Límite Plástico	
	12	15	16	20	
N° de tarro	12	15	16	20	
N° de golpes	35	23	14		
Tarro + suelo húmedo	41.2	46.5	47.6	13.5	
Tarro + suelo seco	41.2	46.5	47.6	13.5	
Agua	0	0	0	0	
Peso del tarro	25.6	21.4	23.4	9.80	
Peso del suelo seco	15.6	25.1	24.2	3.7	
Porcentaje de humedad	0.00	0.00	0.00	0.00	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	0.00
Límite Plástico	0.00
Índice de Plasticidad	0.00



Claudia Ch. P.



Anexo 05: Durabilidad agregado fino



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



Tesista : Chávez Samamé Claudia Pamela
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio
Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88 MTC E 209

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Cantera - Pátapo - La Victoria
Muestra : Arena amarilla

I.- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8"	Nº 4	0.7
9.5 mm	4.75 mm	
Nº 4	Nº 8	0.8
4.75 mm	2.36 mm	
Nº 8	Nº 16	0.6
2.36 mm	1.18 mm	
Nº 16	Nº 30	0.5
1.18 mm	600 µm	
Nº 30	Nº 50	1.7
600 µm	300 µm	
Nº 50	Nº 100	2.0
300 µm	150 µm	

II.- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	6.3
----------------	-----	-----

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.

Claudia Ch. P.



Anexo 06: Durabilidad agregado grueso



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



Tesista : Chávez Samamé Claudia Pamela
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
: "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo : Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio

Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88 MTC E 209

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

Muestra : Piedra chancada

I.- DATOS :

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	3.1
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	1.1
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	0.9
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	1.4
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	6.5
9.5 mm	4.75 mm	

II.- RESULTADO :

Desgaste total	(%)	6.5
----------------	-----	-----

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.

Claudia Ch. P.



Anexo 07: Valor equivalente de arena



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



Tesista : Chávez Samamé Claudia Pamela
Escuela : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
Tesis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo : Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino
Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000, MTC E 114

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Arena amarilla
Muestra : Pátapo - La Victoria

I.- DATOS

MUESTRA Nº	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	Nº 4	Nº 4	Nº 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	4.26	4.26	4.26
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	2.50	2.60	2.40
EQUIVALENTE DE ARENA	58.69 %	61.03 %	56.34 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	59 %		

Claudia Ch. P.



Anexo 08: Abrasión Los Ángeles



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



Tesista : Chávez Samamé Claudia Pamela
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo : Abrasión Los Ángeles (L.A) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2")

Referencia : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

Muestra : Agregado grueso

I.- Granulometría global

Mallas		Peso	%	Método
Pasa	Retiene	retenido	retenido	B
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	0.0	0.0	0.0
3/4"	1/2"	2500.0	50.0	0.0
1/2"	3/8"	2500.0	50.0	5000.3
Total		5000.0	100.0	5000.3

II.- Ensayo de Abrasión

- Peso inicial antes del ensayo	5001.3
- Peso final después de las 200 revoluciones	4448.4
- Peso final después de las 500 revoluciones	4046.6

III.- Cálculos

- % de desgaste por abrasión	19.1
- % de uniformidad	0.6

OBSERVACIONES :

NOTA :

- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500

Claudia Chf.



Anexo 09: Sales solubles agregado grueso



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



Tesista : Chávez Samamé Claudia Pamela
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles

Referencia : NTP 339.152 / USBR E - 8 / MTC E 219

Cantera : Tres tomas - Ferreñafe

Muestra : Piedra chancada

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	500
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.05

Claudia Chf.



Anexo 10: Sales solubles agregado fino



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



Tesista : Chávez Samamé Claudia Pamela
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo : Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles

Referencia : NTP 339.152 / USBR E - 8 / MTC E 219

Cantera	Pátapo - La Victoria	
Muestra	Arena amarilla	
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	900
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.09

Claudia Ch. P.



Anexo 11: Granulometría caucho



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



Tesista : Claudia Pamela Chávez Samamé
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del caucho
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Muestra : Caucho P. Inicial H. 400.0 % de Humedad = 0.00
P. Inicial S. 400.0

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
1/2"	12.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.520	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	0	0.0	0.0	100.0	95	100
Nº 08	2.360	30.5	7.6	7.6	92.4	80	100
Nº 16	1.180	147.29	36.8	44.4	55.6	50	85
Nº 30	0.600	135.15	33.8	78.2	21.8	25	60
Nº 50	0.300	35.66	8.9	87.2	12.9	10	30
Nº 100	0.150	28.0	7.0	94.2	5.8	2	10
Nº 200	0.075	14.3	3.6	97.7	2.3		
Fondo	4.54	9.1	2.3	100.0	0.0		
Abertura de malla de referencia				4.750			
Tamaño máximo				Nº 04			
Tamaño máximo nominal				Nº 08			

Claudia Chp.



Anexo 12: Granulometría PET



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



Tesista : Claudia Pamela Chávez Samané
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha : Chiclayo, 20 de noviembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del PET
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Muestra : Caucho
 P. Inicial H. 500.0
 P. Inicial S. 500.0
 % de Humedad = 0.00

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
1/2"	12.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.520	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	210.81	42.2	42.2	57.8	95	100
Nº 08	2.360	251.83	50.4	92.5	7.5	80	100
Nº 16	1.180	36	7.2	99.7	0.3	50	85
Nº 30	0.600	0	0.0	99.7	0.3	25	60
Nº 50	0.300	0	0.0	99.7	0.3	10	30
Nº 100	0.150	0.0	0.0	99.7	0.3	2	10
Fondo		1.3	0.3	100.0	0.0		
Abertura de malla de referencia				9.520			
Tamaño máximo				3/8"			
Tamaño máximo nominal				Nº 04			

Claudia Ch. S.



Ensayos de mezclas

Anexo 13: Análisis granulométrico de agregados



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS
 MTC E208 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico

CANTERA : Tres Tomas - Ferretale

 : Pilayo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samané

DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	67%
Arena Chancada 1/4"	33%

TAMANO MÁXIMO : 3/4"
TMM : 1/2"
Peso Inicial seco : 6000 g

CURVA GRANULOMETRICA

TAMANO	AMBITO (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	COEFICIENTE	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 3	
3/4"	19.000	1818	30.3	4.2	100.0	100	
1/2"	12.500	252	4.2	8.4	91.6	80	100
3/8"	9.500	961	16.0	24.4	75.6	70	88
Nº 4	4.750	1027	17.1	41.5	58.3	51	68
Nº 10	2.000	946.0	15.6	57.1	42.4	38	52
Nº 40	0.425	1007.7	16.8	73.9	26.1	17	28
Nº 80	0.177	329.0	5.5	78.6	20.4	8	17
Nº 200	0.075	185.0	3.1	81.7	18.3	4	8
< Nº 200	FONDO	336.7	5.6	87.3	12.7		

Observación:

Claudia P. Chávez Samané



Anexo 14: Mezcla asfáltica patrón – Tráfico Ligero

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCIÓN : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.40
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.18
Vacios (%)	17.07
Vacios del Agregado mineral (%)	14.00
Vacios Llenados de C.A (%)	65.00
Flujo (mm)	12.19
Estabilidad (Kg)	1691.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.18
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1501.87

Patrón	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del Agregado mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.18	17.07	14.00	65.00	12.19	1691.00	1.18	1501.87

Claudia Chávez



Anexo 15: Mezcla asfáltica patrón – Tráfico Mediano

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCIÓN : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.40
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.18
Vacíos (%)	10.92
Vacíos del Agregado mineral (%)	14.00
Vacíos Llenados de C.A (%)	65.00
Flujo (mm)	12.19
Estabilidad (Kg)	1691.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.24
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1515.41

Patrón	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacíos (%)	Vacíos del Agregado mineral (%)	Vacíos Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.18	10.92	14.00	65.00	12.19	1691.00	1.24	1515.41

Claudia Ch. S.



Anexo 16: Mezcla asfáltica patrón – Tráfico Pesado

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCIÓN : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".

MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.40
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.18
Vacios (%)	12.70
Vacios del Agregado mineral (%)	14.00
Vacios Llenados de C.A (%)	65.00
Flujo (mm)	12.19
Estabilidad (Kg)	1691.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.18
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1512.73

Patrón	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del Agregado mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.18	12.70	14.00	65.00	12.19	1691.00	1.18	1512.73

Claudia Ch. S.



Anexo 17: Mezcla asfáltica modificada – Tráfico Ligero

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCION : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".
MATERIAL : Mezcla de agregados y Cemento Asfáltico
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.40
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.48
Vacios (%)	5.40
Vacios del Agregado mineral (%)	14.00
Vacios Llenados de C.A (%)	80.60
Flujo (mm)	10.16
Estabilidad (Kg)	1132.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.21
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	2248.69

Modificada	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del Agregado mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.48	5.40	14.00	80.60	10.16	1132.00	1.21	2248.69

Claudia Ch. S.



Anexo 18: Mezcla asfáltica modificada – Tráfico Mediano

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCION : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".
MATERIAL : Mezcla de agregados, caucho y plástico reciclado
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.5
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.50
Vacíos (%)	5.88
Vacíos del Agregado mineral (%)	14.00
Vacíos Llenados de C.A (%)	80.12
Flujo (mm)	12.70
Estabilidad (Kg)	1774.27
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.25
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1810.27

Modificada	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacíos (%)	Vacíos del Agregado mineral (%)	Vacíos Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.50	5.88	14.00	80.12	12.70	1774.27	1.25	1810.27

Claudia P. Chávez Samamé



Anexo 19: Mezcla asfáltica modificada – Tráfico Pesado

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

DESCRIPCION : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de
MATERIAL : Mezcla de agregados, caucho y plástico reciclado
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Claudia Pamela Chávez Samamé

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.6
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.18
Vacios (%)	5.82
Vacios del Agregado mineral (%)	14.00
Vacios Llenados de C.A (%)	80.18
Flujo (mm)	12.19
Estabilidad (Kg)	1691.00
Índice de Rigidez (kg/cm)	3250.00
Relación Polvo Asfalto	1.18
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1842.22

Modificada	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del Agregado mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo (kg/cm)
100	2.18	5.82	14.00	80.18	12.19	1691.00	1.18	1842.22

Claudia Ch. S.



Anexo 20: Memoria fotográfica – Ensayos en laboratorio y visitas de campo

Ensayos agregado grueso

- Durabilidad (al sulfato de magnesio)



Figura 03: Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.

- Abrasión Los Ángeles



Figura 04: Ensayo de abrasión Los Ángeles.

- Absorción



Figura 05: Secado superficial al agregado.

- Granulometría



Figura 06: Tamizado del agregado.

Ensayos agregado fino

- Equivalente de arena



Figura 07: Colocación del agregado en la probeta.

- Índice de plasticidad



Figura 08: Plasticidad del agregado.

- Durabilidad (al sulfato de magnesio)



Figura 09: Agregado separado por tamaño de sus partículas.

- Absorción

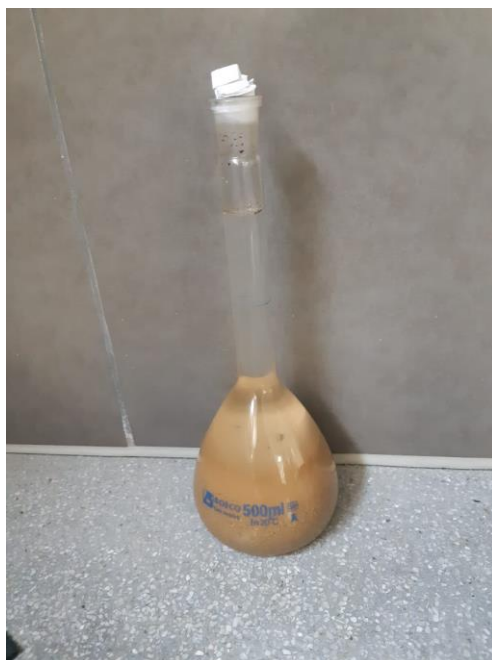


Figura 10: Agregado con agua dentro del frasco volumétrico.

- Granulometría



Figura 11: Tamizado del agregado.

Mezclas asfálticas



Figura 12: Peso del agregado grueso y del agregado fino.



Figura 13: Cemento asfáltico.



Figura 14: Colocación de la mezcla a calentar.



Figura 15: Mezcla convencional con agregados y cemento asfáltico.



Figura 16: Moldeado de briqueta.



Figura 17: Espécimen por ser extraído.

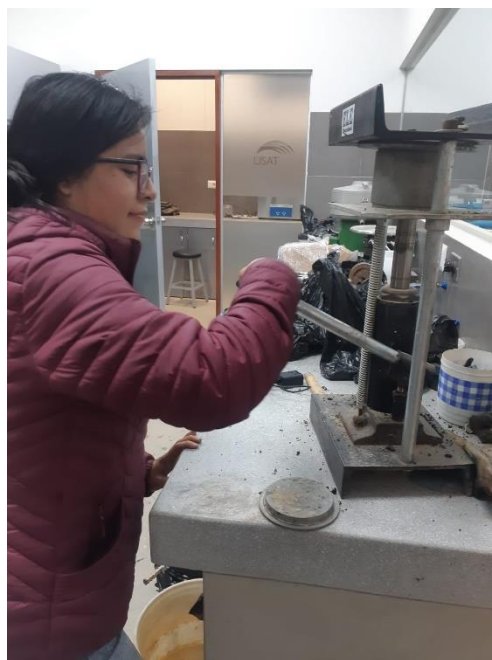


Figura 18: Extracción del espécimen.



Figura 19: Briqueta moldeada y extraída.



Figura 20: Especímenes para tráfico pesado.



Figura 21: Colocación de la briqueta en el pedestal de compactación.



Figura 22: Especímenes para tráfico mediano.



Figura 23: Toma de medida de altura de la briqueta.



Figura 24: Especímenes para tráfico ligero.



Figura 25: Peso en el aire del espécimen.



Figura 26: Peso en el agua de la briqueta.



Figura 27: Secado superficial de la briqueta.



Figura 28: Peso saturado con superficie seca de la briqueta.



Figura 29: Colocación de los especímenes en baño de agua a 60°C.



Figura 30: Especímenes en un baño de aire a 25°C.



Figura 31: Colocación de la briqueta en el segmento inferior del cabezal.



Figura 32: Máquina de carga para la rotura de la briqueta.



Figura 33: Rotura de briquetas.



Figura 34: Incorporación del polvo de caucho y PET a la mezcla.



Figura 35: Preparación de la mezcla modificada con polvo de caucho y PET.



Figura 36: 36 briquetas moldeadas con la adición de PC y PET para tráfico pesado.



Figura 37: 36 briquetas moldeadas con la adición de PC y PET para tráfico mediano.



Figura 38: Visita planta de asfalto.



Figura 39: Visita Cantera Tres Tomas.



Figura 40: Visita Cantera Pátapo - La Victoria.



Figura 41: Botaderos de llantas.



Figura 42: Trituradora.

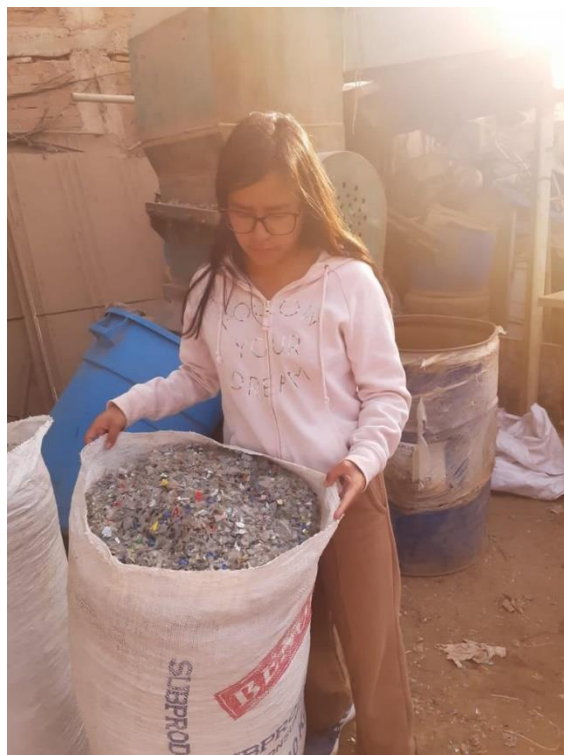


Figura 43: PET pulverizado.