



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la
mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTOR:

Ramírez Ruiz, Willie Orlando (ORCID: 0000-0002-8697-0467)

ASESOR:

Mg. Ascoy Flores, Kevin Arturo (ORCID: 0000-0003-2452-4805)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

A Dios todopoderoso, por ser mi fortaleza apoyo cuando sentía que no podría alcanzar mi sueños y metas, a mis hijos fuente de mi perseverancia.

Agradecimiento

A mis amistades por nunca dejar de creer en mí y por ser un apoyo para cada nuevo desafío que se cruza por mi cabeza.

Índice de contenidos

Carátula	
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	8
III. METODOLOGÍA	17
3.1 Tipo y diseño de investigación	17
3.2 Variables y operacionalización	18
3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de análisis	19
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
3.5 Procedimientos	21
3.6 Método de análisis de datos	23
3.7 Aspectos éticos	23
IV. RESULTADOS	24
V. DISCUSIÓN	39
VI. CONCLUSIONES	43
VII. RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS	46
ANEXOS	54

Índice de tablas

Tabla 1. Esquema de diseño de investigación.....	25
Tabla 2. Porcentajes de agregado de caucho a las briquetas.	28
Tabla 3. Piedra triturada para mezcla asfáltica	33
Tabla 4. Arena Triturada para mezcla asfáltica.....	34
Tabla 5. Arena zarandeada para mezcla asfáltica	36
Tabla 6. Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	38
Tabla 7. Ensayo equivalente de arena.....	39
Tabla 8. Limite liquido - limite plastico - indice de plasticidad	40
Tabla 9. Gravedad específica y absorción de agregados finos.....	33
Tabla 10. Ensayo granulométrico	34
Tabla 11. Ensayo de MARSHALL.....	44

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Diagrama de procesos.....	30
Figura 2. Curva Granulométrica.....	34
Figura 3. Curva Granulométrica.....	35
Figura 4. Curva Granulométrica.....	37
Figura 5. Curva Granulométrica.....	41
Figura 6. Curva Granulométrica.....	42

Resumen

La presente Investigación tiene como finalidad determinar el Efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca, para lo cual se desarrolló los ensayos de Granulométrica de los ensayos de agregados, el cual tiene una tendencia Homogénea de la Arena Triturada y la Arena zarandeada, teniendo una mayor frecuencia en la Arena Zarandea debido al % PASANTE DE LA MALLA N°200 es decir tiene una distribución continua, lo cual cumple con las especificaciones técnicas y de diseño del MAC 2.

EL diseño se realizó con diferentes contenidos de asfalto, que son 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, para lo cual se fabricó 3 briquetas con la mezcla con temperatura de 145°C, pasando a la etapa de sumergir en baño maría todas las briquetas enumeradas con los diferentes % de mezcla por 35 minutos a una temperatura de 60°C, terminado el tiempo se extrajo cada briqueta y se procedió a ensayar en la prensa Marshall para obtener la RESISTENCIA ESTABILIDAD +FLUJO, con estos análisis se procedió a realizar el diseño de mezcla asfáltica convencional, obteniéndose resultados de un óptimo de 5.62% de asfalto.

Palabras Clave: Mezcla asfáltica, granulo caucho reciclado, propiedades mecánicas.

Abstract

The purpose of this research is to determine the effect of recycled rubber on the mechanical properties of the asphalt mix through a dry process, for which the granulometric tests of the aggregate tests were developed, which has a homogeneous tendency of the sand. Crushed and shaken sand, having a higher frequency in the shaken sand due to the PASSING % OF THE MESH N°200, that is, it has a continuous distribution, which complies with the technical and design specifications of MAC 2.

The design was carried out with different asphalt contents, which are 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, for which 3 briquettes were manufactured with the mixture at a temperature of 145°C, going to the stage of immersing all the listed briquettes in a water bath with the different % of mixture for 35 minutes at a temperature of 60 ° C, at the end of the time each briquette was extracted and proceeded to be tested in the Marshall press to obtain the RESISTANCE STABILITY + FLOW, with these analyzes the design was carried out. of conventional asphalt mixture, obtaining results of an optimum of 5.62% of asphalt.

Keywords: Asphalt mixture, recycled rubber granule, mechanical properties.

I. INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo, las carreteras son esenciales para el diseño de la infraestructura vial de un país, ya que se ven en el crecimiento cultural, social y económico; En Perú, la mayoría de las autoridades locales a cargo de las carreteras vecinas no realizaron planes iniciales de rehabilitación, mantenimiento o restauración, por lo que los pavimentos están dañados principalmente por el uso intensivo, se encuentran en condiciones muy graves (Vasquez y Bendezú, 2008, p. 195).

Cabe señalar que el caucho se ha convertido en un problema ambiental, debido a la alta cantidad de desechos de llantas usadas, ya que se considera que este residuo ingresa al espacio, por lo tanto, estas llantas ahora están presentes siendo quemadas, trituradas y pulverizadas, generando daños ambientales. Contaminación, por eso hoy se proponen posibles soluciones para reducir la contaminación y también cuidar nuestra salud ambiental (Peláez et al, 2016, p. 27-50).

El uso de caucho de neumáticos reciclados en pavimentos asfálticos para la mejora del rendimiento, economía y sustentabilidad de los pavimentos ha adquirido mucha consideración últimamente (Alfayez et al. 2020, p. 1). Debido a los varios esfuerzos por hacer que las carreteras sean más sostenibles como señala Arroyo, Herrera, Salazar, Giménez, Martínez y Calahorra (2018, p. 2), tomando en cuenta la creciente demanda de pavimento asfáltico en todo el mundo (Songtao et al. 2021, p. 3). Por otro lado, el incremento de desechos de caucho se ha designado como un problema con efectos negativos hacia el medio ambiente y en la salud humana (Peláez et al. 2019, p. 29). Es por ello que la aplicación de principios de desarrollo sostenible se ha convertido en una necesidad (Dobrota y Dobrota, 2019, p. 5), para esto, la producción de caucho en polvo o partículas de caucho a partir del reciclaje de caucho se ha convertido en una buena forma de reutilización sostenible (XiaoPing et al. 2021, p. 6).

Así mismo, en 1974 su uso llega a España, concretamente en Barcelona, Ing. Gallego Medina, Juan fomentó el consumo de este elemento debido a sus investigaciones desde el año 1990. De igual forma, también existe pruebas en el uso del caucho en partes del continente de América, principalmente en México y Colombia. Asimismo, en partes de Brasil hubo tramos, así como en Argentina a fines de 2002 y desde 2004 en Chile. (Ramírez Palma, 2019).

Rubber Pavement Association (2019). Por otro lado, la RPA (Rubber Pavement Association) aprueba que se ha utilizado betún modificado en cuarenta estados de Estados Unidos y desde el año 1940 se ha utilizado en más de veinticinco países del mundo. Esto indica que al emplear el caucho como modificador en el asfalto se está convirtiendo en una tecnología en constante evolución con el paso del tiempo, así como la RPA indica que en E.E.U.U. existen aproximadamente diez millones de neumáticos recicladas para el desarrollo y construcción de pavimentos flexibles.

Flores (2020), cito a Kholly, Shafie y Rahman, indico: "mezclar asfalto con polvo de caucho aumenta la resistencia al agrietamiento térmico, proporciona resistencia a la fluencia, mejora la impermeabilidad, reduce la sensibilidad a la temperatura del asfalto y aumenta la resistencia a la tracción del asfalto". (p.12)

Cubas y Pereda (2019), menciono: "El polvo de caucho para neumáticos se obtiene por separación de sus componentes, principalmente acero y fibras, y luego pasa por pulverización o granulación". (p.34).

El aumento de caucho proviene de neumáticos recicladas y empleadas en ingeniería, así como en la pavimentación de caminos donde se utiliza este material en la mezcla asfáltica, la finalidad de utilizar este residuo en el tratamiento de Ajuste de la mezcla asfáltica es lograr un resultado positivo, que nos brinda un mejor camino con mejor resistencia, estabilidad, durabilidad y aumento de vida útil, de tal forma también contribuye a la protección del medio ambiente.

En un estudio en EE.UU., en base a los resultados obtenidos, los investigadores informaron que, al utilizar caucho de neumáticos, éste mejora el rendimiento de la mezcla como resultado de la utilización de caucho reciclado en el asfalto. Los beneficios reportados incluyen una mejora en la resistencia de formarse surcos,

resistencia al agrietamiento por reflexión térmica, resistencia al agrietamiento por fatiga, reducción de los costos de mantenimiento, marcha suave, buena resistencia al deslizamiento y reducción del ruido (Ghabchi, Arshadi, Zaman y March, 2021, p. 4). Esto implica una vida útil más larga lo que significaría menos mantenimiento y menos generación de gases siendo amables con el medio ambiente (Baumgardner, Hand y Aschenbrener, 2020, p. 29).

En China, se elaboraron distintos estudios que consistían en evaluar las distintas características del pavimento asfaltado adicionándoles caucho reciclado en forma de gránulos con distintos compuestos químicos, aglomerantes y conglomerantes para así poder tener conocimiento de características como el rendimiento del asfalto con el estireno-butadienoestireno (Rasool, Song y Wang, 2018, p. 7), la viscosidad y la estabilidad de almacenamiento del caucho desulfurado (Ma, Wang et al. 2019, p. 10), (Li, Dong et al. 2019, p. 44) y el índice de envejecimiento del asfalto modificado con caucho granulado (Geng, Chen et al. 2021, p. 23).

Mientras que, en Colombia, la disponibilidad de los residuos de neumáticos se considera una cuestión difícil tanto para las organizaciones públicas como para las organizaciones de administración de los lugares de recogida de residuos sólidos. (Martínez et al. 2019, p. 5). Por tal motivo Fonseca, Lancheros y Soto (2021, p. 15), recomiendan el uso de caucho como aditivo en concretos de baja resistencia puesto que, el uso de los granulares del caucho como aditivo en el pavimento, altera su comportamiento lo cual se obtiene un componente con mejor desempeño mecánico y mayor calidad para ser un agregado en construcciones civiles.

En el contexto nacional, según indica el informe de competitividad del WEF para el periodo 2017-2018, Perú tiene una puntuación de 3 y Chile de 4,6 en cuanto a la calificación de las carreteras siendo el tema, el deficiente estado en las que se encuentran en gran cantidad, al igual que los diseños que incorporan, puentes o viaductos. Conforme datos de PROVIAS Nacional, la Red Vial Nacional pavimentada estaba en un adecuado estado del 94% del total antes del evento del "Niño Costero", después de éste, ha disminuido totalmente y hoy llega al 81%. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2019, p. 35).

Por otro lado, con el objetivo de promover el manejo de llantas fuera de uso, el ministerio del ambiente (Minam) crea el decreto supremo 024-2021 que, según la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos, los neumáticos son bienes que se consumen en abundancia e influyen significativamente en la generación de residuos sólidos en cantidades preocupantes, además de tener una alta posibilidad de ser valoradas dentro de la economía circular. La norma también desarrolla responsabilidades para los diferentes actores implicados en las distintas fases de la gestión y manejo de dichos residuos (El Peruano, 2021, p. 2).

En función a lo antes mencionado surgió como pregunta de investigación: ¿Qué efecto tiene el caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca?

La trascendencia de la investigación presentada surge porque contribuirá con las entidades a nivel público y privado a través de la información recopilada en este estudio, sobre cómo mejorar la carpeta asfáltica, con el fin de poder brindar un buen servicio, reducción del tiempo en desplazarse, reducción de los gastos en el mantenimiento de automóviles. Así mismo es de precisar que la reutilización de caucho reciclado de llantas aumenta las características mecánicas, a través de la preparación de briquetas de mezcla asfáltica introduciéndolas a compresión.

En el territorio peruano existen muy pocas investigaciones sobre la introducción de granos de caucho reutilizados por la técnica de vía seca, no obstante, este método sirve para mejorar las propiedades mecánicas, una superior durabilidad que una común, cuando se expone a diversas condiciones de ambiente y carga.

Los resultados obtenidos de esta investigación permitirán decidir si su comportamiento mecánico es equivalente al del asfalto normal, o por otra parte en caso de que sea incluso prevalente. Independientemente, los resultados permitirán la creación de asfaltos más ecológicos y económicos. Se justifica y centra en el mundo real, ya que, según los casos vistos dentro de estudios previos a nivel internacional y nacional, se aplican para la reutilización de asfaltos, tanto en asfaltos de malas condiciones como con otros con fallas de forma superficial (poco

profundas).

De lo antes mencionado, se planteó el siguiente problema general: **PG.** ¿Cuál es el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca? y los como problemas específicos: **PE.1.** ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de los materiales a usar en la mezcla asfáltica?; **PE.2.** ¿Cuáles son los porcentajes de líquido asfáltico para obtener una mezcla asfáltica óptima?, **PE.3.** ¿Cuáles son los resultados de las propiedades mecánicas de resistencia, deformación y durabilidad del asfalto convencional y el asfalto modificado con grano de caucho reciclado? y **PE.4.** ¿En qué medida la incorporación de caucho mediante el proceso de vía seca influirá en el Flujo y Estabilidad de la mezcla asfáltica?

En el contexto actual, la idea del desarrollo ecológico o respetuoso en la construcción de carreteras no es nueva, sin embargo, hoy en día se considera de mayor importancia involucrarse en un desarrollo sustentable del cual participen todos los países del mundo. Contar con un desarrollo capaz de satisfacer las necesidades sin comprometer los recursos de las generaciones futuras. Abogar por no cumplir con un criterio de inclusión tecnológica, económica y ecológica que conduzca al desarrollo sostenible

Dicho esto, y sepa que, a nivel mundial, en diversos países, miles de toneladas de llantas son desechadas cada año, convirtiéndose eventualmente en desechos ambientales no biodegradables y, en el peor de los casos, creando como resultado del impacto negativo de las emisiones de CO₂ debido a combustión de neumáticos, es importante reciclar el mencionado ingrediente como regulador en las mezclas bituminosas.

Por otro lado, la justificación del estudio tenemos los siguientes:

Teóricamente, tiene una justificación basada en normas peruanas vigentes actualizadas donde el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca, nos ayudara al diseño de infraestructuras viales.

La justificación práctica, permitió solucionar los problemas de diseño de

infraestructuras viales mediante el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca.

Esta investigación fue **Conveniente** desarrollarla porque permitió conocer cuál es el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca

Se justificó **Socialmente**, debido que mejorar la Transitabilidad vehicular en vías interurbanas, lo cual mejora la calidad, grado y nivel de vida de la población beneficiaria.

Metodológicamente, esta investigación obtuvo resultados reales y verificables mediante ensayos de laboratorio de mecánica de suelos usando el método de MARSHALL.

Así mismo, se planteó como objetivo general **(OG)**: Determinar el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca. Y como objetivos específicos **(OE)**:

OE1: Efectuar ensayos de laboratorio para obtener los parámetros de diseño de los agregados.

OE2: Determinar los porcentajes de líquido asfáltico para obtener una mezcla asfáltica óptima

OE3: Evaluar las propiedades mecánicas respecto a la resistencia, deformación y durabilidad del asfalto convencional y el asfalto modificado con grano de caucho reciclado

OE.4: Determinar la incorporación de caucho mediante el proceso de vía seca la cual influirá en el Flujo y Estabilidad de la mezcla asfáltica.

Mientras que, la hipótesis general del estudio es:

HG. Se determino es el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca

Y las Hipótesis Específicas:

HE.1. Se determino las propiedades mecánicas de los materiales a usar en la

mezcla asfáltica.

HE.2. Se determino los porcentajes de líquido asfáltico para obtener una mezcla asfáltica óptima

HE.3. Se determino las propiedades mecánicas de resistencia, deformación y durabilidad del asfalto convencional y el asfalto modificado con grano de caucho reciclado.

HE.4. Se determino la incorporación de caucho mediante el proceso de vía seca influirá en el Flujo y Estabilidad de la mezcla asfáltica

II. MARCO TEÓRICO

Los componentes naturales del asfalto son principalmente rocas. El término asfalto se deriva del acadio, un idioma semítico ahora extinto que se hablaba en las orillas del Alto Tigris, entre 1400 y 600 a.C de hecho, dentro de este lugar está la palabra "Sphalto" que significa "que trae caída". La palabra luego se usó en griego, se cambió al latín y luego al francés como asfalto, al inglés como betún y al español como betún. Según los estudios arqueológicos, muestran que el material de construcción mencionado anteriormente es el material de construcción más antiguo utilizado por los humanos. En cuanto al uso más primitivo para el campo de la construcción de dicho material, se remonta a alrededor del 3200 a.C. Los estudios han confirmado que su uso se emplea para el encolado de baldosas, pavimentos interiores o como revestimiento impermeabilizante. Por otro lado, los antiguos egipcios también encontraron otros usos de este material, como la momificación, el relleno corporal, práctica que perduró hasta el año 300 a.C. Asimismo, para los árabes tuvieron un desarrollo relacionado con el uso del betún en medicina. Existe un precedente temprano del año 1802 en Francia en el que se utilizó un tipo de asfalto. Luego, en el año 1824, la empresa Pillot et Eyquem comenzó a producir adoquines hechos de asfalto, que en el año 1837 se utilizaron en la Place de la Concorde y los Campos Elíseos de París para pavimentar. Además, en el año 1852, se utilizó asfalto de Val Travers para construir la carretera París - Perpiñán, iniciando así un nuevo e importante modo de construcción de carreteras. Por otro lado, en 1869 se introdujo este proceso en Londres, con el mencionado material de Val de Travers, continuando en Estados Unidos en el año 1870 con dicho elemento.

Entre los antecedentes del estudio, se tienen a nivel internacional, los de Xia Chen et al. (2021). En el artículo: Características de hinchamiento y degradación del asfalto modificado con caucho granulado durante el procesamiento, el cual su propósito fue de analizar la influencia de la temperatura y el tiempo de procesamiento en las propiedades y estructura de reticulación del asfalto modificado con caucho granulado. El estudio fue de carácter experimental donde se analizaron

la tasa de expansión de volumen del caucho después del hinchamiento y la tasa de atenuación del contenido insoluble en tolueno para identificar la situación de formación de la estructura reticulada a nivel macro y el modelo de relación entre la estructura reticulada y el rendimiento del asfalto de caucho. Se concluye que las partículas de caucho pueden formar una estructura de fase continua después del hinchamiento, la relación de expansión del polvo de caucho hinchado era de 1,76 a 2,14. Una temperatura demasiado alta (por encima de 200 ° C) y un tiempo demasiado largo (por encima de 60 min) causaron una degradación grave del caucho y la tecnología de procesamiento adecuada se agitó a 180-190 ° C durante 45-60 min.

También los de Rodríguez et al. (2020). En el artículo denominado: Análisis de microestructura y rendimiento mecánico de hormigón asfáltico modificado con caucho granulado mediante proceso seco, cuyo objetivo de estudio fue investigar el efecto de agregar caucho granulado a mezclas asfálticas usando el proceso seco relacionando los rendimientos mecánicos con caracterizaciones microestructurales teniendo como resultado la influencia del proceso de acondicionamiento sobre el desempeño mecánico de las mezclas que depende principalmente de las propiedades del caucho granulado utilizado. Se concluye que el caucho granulado se dispersa bien en la mezcla asfáltica cuando se aumenta el tiempo de acondicionamiento.

Así mismo, Bonilla et al. (2020). En el artículo: Efecto de la incorporación por vía seca de residuos de caucho obtenido tras la remoción de una pista de aterrizaje de aeropuerto en un asfalto AC-20. En donde el objetivo fue investigar el comportamiento de la mezcla asfáltica resultante con agregado de caucho. El estudio fue de carácter experimental puesto que las muestras fueron analizadas por el método Marshall. Los resultados demostraron que el residuo de caucho en la mezcla de asfalto mejoró las propiedades términos de presión, volumen molar y temperatura. Por otro lado, la propiedad cumple con los requisitos estándar. También se incrementó la prueba de módulo de rigidez que identifico la conducta del pavimento, lo que expone considerablemente los beneficios de utilizar el caucho

desechado en la mezcla asfáltica.

Por otro lado, Bressi et al. (2019), en el artículo: Modificador del caucho granulado en los pavimentos asfálticos de carretera: Estado del arte y estadísticas. El objetivo fue analizar las propiedades del asfalto modificado con caucho granulado mediante una revisión sistemática considerando la evolución de los distintos procesos del caucho como los son el proceso seco y el proceso húmedo. Como resultado se obtuvo estadísticas sobre una muestra de publicaciones seleccionadas para comprender los principales procesos adoptados, tamaño de partícula de caucho, temperaturas y posibles modificaciones adicionales del aglutinante modificado con caucho granulado concluyendo que hay una importante visión por parte de los estudios en los principales procesos y tecnologías para el uso de caucho granulado en la mezcla asfáltica.

En tanto que, Lubo y Martínez (2019). En el artículo: Asfaltos modificados con cauchos en vías primarias en las ciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogotá como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012-2019. El objetivo fue evaluar los ciclos de modificación, los beneficios y desventajas de las mezclas con caucho en asfaltos adaptables en las comunidades urbanas de Santa Marta, Barranquilla y Bogotá. La metodología fue de tipo no experimental, de carácter transversal. Como técnica se utilizó la ficha bibliográfica y como herramienta instrumental el fichaje. Se concluyó que, en cuanto al efecto ambiental, la utilización de este material en las mezclas de asfalto, se suma a la disminución de las consecuencias adversas sobre el clima como lo son, la combustión sin criterio de los residuos de neumáticos dando paso a las emisiones de dióxido de carbono.

También tenemos a Higuera et al. (2019). En el artículo: Efecto del grano de caucho reciclado en el ahuellamiento de una mezcla asfáltica tipo MD-12. El objetivo fue determinar el impacto de la expansión de caucho reciclado en forma de granos en una mezcla asfáltica en cuanto a sus propiedades mecánicas. La metodología utilizada fue experimental, donde se utilizó el método Marshall. Se obtuvo como resultado, prácticas ideales en mezclas de asfalto con la expansión del 0,5% de

GCR, donde disminuye hasta un 5.3% en el ahuellamiento, con respecto a la mezcla asfáltica habitual, también, se resaltan las mejoras introducidas por la mezcla asfáltica en relación con la resistencia y la deformidad plástica, con el agregado del grano de caucho reutilizado en seco, por lo que se prescribe su utilización en las mezclas asfálticas tipo MD-12 como componente del total fino y de esta manera adquirir una productividad más notable según la perspectiva mecánica, así como mejoras en el asfalto y la mitigación de los efectos naturales creados por el desecho de los neumáticos fuera de uso en el país.

Por otra parte, Sangiorgi et al. (2019), en el artículo: Una evaluación completa en laboratorio del asfalto poroso de caucho granulado. Tuvo como propósito evaluar la eficacia de la adición de caucho granulado por el método seco a las mezclas de asfalto poroso. Se produjeron mezclas de asfalto poroso recubierto de caucho (RPA) fabricadas incorporando caucho granulado al concreto asfáltico modificado con SBS y se compararon con una mezcla de control mediante Resistencia a la tracción indirecta (ITS), Módulo de rigidez a la tracción indirecta (ITSM), susceptibilidad a la humedad, permeabilidad, Cantabro, botella rodante pruebas de arrastre y fluencia concluyendo que la adición de caucho granulado reduce la permeabilidad vertical, la resistencia a la deformación permanente, mejora la afinidad betún/agregado y controla la tasa de drenaje sin añadir fibras.

En lo que respecta a nivel nacional se escogieron los estudios de Hoyos et al. (2021), en el artículo: Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria. El propósito fue resolver los procesos y métodos que se utilizan con el uso de gránulos de caucho, identificar las proporciones óptimas y el perfeccionamiento que éste proporciona en las mezclas asfálticas. La metodología fue una revisión sistemática con la técnica de recopilación literaria el cual se obtuvo 50 artículos entre los años 2006 y 2020 sobre el uso del caucho granulado en mezclas asfálticas. Se concluye que utilizar caucho granulado en el asfalto aporta beneficios en la resistencia, humedad, formación de surcos, permeabilidad, aumenta la vida útil y disminuye el ruido. Además, el óptimo porcentaje de caucho granulado añadido al asfalto en relación al peso total de la mezcla varían entre 1% a 20%.

Contreras y Mamani (2021), en la tesis: Reducción de la deformación permanente en pavimentos diseñados con mezclas asfálticas en caliente a través de la incorporación de polvo de caucho proveniente de neumáticos usados. Su propósito es mostrar que el uso de polvo de caucho proveniente de la disposición de llantas usadas reduce la formación de surcos y ondulaciones en el asfalto plástico, mejorando así su vida útil.

Este estudio es experimental, aplicado y longitudinal. Las muestras se trataron en seco. Como resultado se obtiene una mezcla estable de asfalto con diferentes porcentajes, además de su caudal y porcentaje óptimo. La mezcla asfáltica de 1,6 mm con 1 % de caucho suele tardar menos tiempo que la mezcla asfáltica normal, por lo que se cree que la mezcla de asfalto con caucho reducirá permanentemente la deformación, por lo que tendrá un efecto sobre la existencia útil del betún.

Por su parte, Macedo y Ureta (2020). En la tesis: Influencia del caucho reciclado utilizado como agente modificante en los parámetros de diseño de una mezcla asfáltica. El objetivo fue determinar cómo el caucho afecta los parámetros de diseño del asfalto seco convencional, a partir de datos obtenidos de investigaciones identificadas con el tema. La metodología es cuantitativa y no empírica, resumiendo y evaluando estudios nacionales e internacionales, mostrando el impacto de las limitaciones de diseño Marshall y las pruebas de desempeño en mezclas de asfalto modificadas con caucho ordinario. En conclusión, los índices de Marshall se obtuvieron al fusionar 0,5 % elástico con 5,5 % de betún calibre a 170 °C y un período de tiempo de absorción de 2 h, se estableció una tabla en la que estos factores se pueden modificar para satisfacer el índice de Marshall.

También Maguiña (2019), en la tesis: Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas. El objetivo fue diseñar una mezcla asfáltica mediante la adición de gránulos de caucho reciclado, por vía húmeda, para mejorar sus propiedades mecánicas. La metodología es un enfoque cuantitativo empírico, el nivel de explicación, las técnicas son los procedimientos y las herramientas que se utilizan para llegar a la información y las herramientas. Se ha demostrado que, según los ensayos realizados, la adición de

caucho procedente del proceso de reciclado tiene un efecto positivo sobre las propiedades mecánicas y físicas del asfalto ordinario. La fusión de elastómeros reutilizables protege la mezcla de asfalto contra la deformación plástica. Esto se debe a la recuperación elástica debido a la fuerza de torsión, que es una mezcla de asfalto alterada con caucho que es un 37% más resistente que una mezcla asfáltica convencional.

Por último, tenemos a Balbin y Chochon, (2019), en la tesis: Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta A Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el Departamento De Lima 2019. El propósito consistió en diseñar una mezcla asfáltica con residuos reutilizados para trabajar en la conducta mecánica del asfalto para la trayectoria km 90+000 a km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay situado en la localidad y zona de Canta, Lima 2019. El método utilizado se compara con una revisión aplicada, descriptiva y un diseño experimental-longitudinal. Según los resultados obtenidos, se adquirió el nivel de vacíos, estabilidad, fluidez o deformación y componentes que deciden la reutilización del asfalto. Teniendo en cuenta todo ello, se pretendió que otro asfalto coincidiera con los límites establecidos para el asfalto normal. A este material reutilizado se le añadieron más agregados para trabajar en su comportamiento mecánico, lo que supuso una mejora en la rigidez de su deformación y solidez.

Entre las teorías que respaldan el estudio, se tienen a la teoría Lean Construction de Ballard y Howel en el año 1997, en palabras de Porras, Sánchez y Galvis (2014, p. 14), es un pensamiento enfocado en la administración del producto de construcciones donde el propósito principal es disminuir o desechar las operaciones que no aumentan el valor del proyecto y actualizar las operaciones que sí lo hacen, de esta manera se centra esencialmente en hacer explícitos los instrumentos aplicados al proceso de ejecución de la empresa y un marco de creación decente que limita los gastos de la tarea.

Teoría de la imagen urbana de Kevin Lynch en el año 1978, en palabras de Briceño y Gil (2005, p. 8), la imagen urbana tiene que ver con esa carga de componentes

físicos, espaciales y normales que conforman un medio, que se distinguen y organizan en la mente de cualquier individuo. Se identifica directamente con la reunión de personas y su forma de vida; su información permite la exposición genuina en el lugar particular, teniendo la opción de atestiguar que el estado de la etapa inicial de la imagen urbana se centra en lograr un lugar reconocible.

En relación a los enfoques conceptuales, se ha considerado las definiciones y dimensiones de la variable: caucho reciclado, la cual el caucho es un material que se fabrica mezclando elastómeros con sustancias naturales añadidas de bajo peso molecular, vulcanizantes y cargas minerales en forma de diminutas partículas. (Peláez et al, 2017, p. 4). El caucho con excelentes propiedades es ampliamente adoptado en la industria, el transporte, la medicina y en otros campos, y en consecuencia el desperdicio de recursos y la contaminación del medio ambiente resultan ser mayores derivados de los residuos de caucho (Li et al. 2019, p. 6), (Wang et al. 2021, p. 9).

Acto seguido, se exponen las dimensiones de la variable caucho reciclado. La primera dimensión es el grano de caucho, donde el agregado de caucho en forma de granos para el cambio de las mezclas asfálticas, se convierte en un montón de ventajas, debido a la examinación que se ha progresado algo recientemente, que ha demostrado que este tipo de alteraciones son más resistentes, económicas y aumenta su durabilidad (Lubo y Martínez, 2019, p. 4). Entre tanto, el tamaño del grano de caucho cuando son añadidos a la mezcla como modificadores repercuten directamente en la uniformidad estructural del aglutinante y/o aglomerante del asfalto (Cardoza et al. 2019, p. 7).

En la dimensión temperatura (Cardoza, et al., 2019, p. 6), menciona que cuando el caucho reacciona con la mezcla de asfalto a altas temperaturas, hacen que incrementen las dimensiones de las partículas de neumático. La mezcla asfáltica es indefensa a la temperatura, en vista de que es un material visco elástico, que presenta cambios constantes en sus atributos según el rango de temperatura de trabajo (Lubo y Martínez, 2019, p. 7). Cuando se producen productos utilizando mezclas de caucho recuperado y caucho sin uso, se necesitan temperaturas más

bajas que cuando se maneja elástico virgen, el cual trabaja con el ciclo y expande la producción (Peláez et al, 2017, p. 5).

La dimensión: dosificación, hace referencia a la cantidad porcentual en la que se aplica el caucho al asfalto. La cantidad de caucho adicionado al asfalto decide sus cualidades fisicoquímicas y, por tanto, el desempeño de las mezclas asfálticas elaboradas con esta cubierta (Cardoza, 2019, p. 8). De acuerdo a la cantidad añadida a la mezcla asfáltica se ha demostrado la efectividad para mejorar las características del pavimento, reducir el ruido y extender el ciclo de vida de la carretera (Zhou et al. 2020, p. 25). La dosis de caucho granulado es un factor de influencia importante para la propiedad la mezcla asfáltica (Li et al, 2018, p. 7).

Mientras que, en lo que respecta a la segunda variable: propiedades mecánicas de la mezcla de asfalto, se menciona que la tecnología de los asfaltos ajustados con caucho fue un método investigado y se ha utilizado en el mundo como un intento de modificar las propiedades de las mezclas de asfalto cuando éstas se prueban a diferentes cargas y condiciones ambientales (Delgado, Sánchez, Rondón, Fernández y Reyes, 2018, p. 3). La tecnología del uso de neumáticos después de su vida útil en una fuente de energía o como materia prima se caracterizan por tener propiedades mecánicas y funcionales bastante buenas (Sienkiewicz et al. 2017, p. 23). Es por esto que los estudios de investigación a menudo lo proponen como aditivos para asfaltos (Irfan et al. 2018, p. 7). Estos polímeros no solo pueden modificar las propiedades mecánicas, si no también características reológicas y pesos moleculares (Xia et al, 2021, p. 10).

Las dimensiones seleccionadas para esta variable fueron: Resistencia, el cual es una de las cualidades de la mezcla de asfalto para ir en contra de la deformación y el agotamiento de las calles y carreteras (Alarcón et al. 2019, p. 3). La utilización de desechos elásticos en este tipo de usos aborda, además de los importantes beneficios naturales y monetarios recientemente descubiertos, las mejoras especializadas en este tipo de artículos, por ejemplo, la resistencia al impacto y a la fatiga. (Irfan et al 2018, p. 9). El uso de aditivos en el asfalto como caucho granulado representa no sólo una solución a los problemas ambientales, sino que también es

una manera eficaz de mejorar la resistencia del asfalto (Mantilla y Castañeda, 2018, p. 258), (Ma et al, 2021, p. 11)

En cuanto deformación, varios estudios han indicado que el caucho de llantas reutilizado puede disminuir la deformación de las carpetas asfálticas (Alfayez et al, 2020, p. 3). La utilización de caucho como aditivo es importante para potenciar las propiedades de tipo mecánico que extienden el ciclo de vida del pavimento al reducir la tasa de deformación permanente de las mezclas asfálticas convencionales (Irfan et al, 2018, p. 12).

Por último, al hablar de durabilidad, Moreno y Castro (2005, p. 15), lo define como la habilidad de oponerse a la actividad del tiempo, agentes químicos, el desgaste o algún otro periodo de debilitamiento; en otras palabras, debe mantener su forma, calidad y utilidad únicas cuando se presentan circunstancias ambientales. Debido a las conexiones ecológicas, la microestructura y posteriormente las propiedades de los materiales cambian a largo plazo. La adición de caucho granulado tiende a aumentar la resistencia y la calidad de la mezcla asfáltica además incluye una mayor durabilidad del pavimento (Sri y Tjandra, 2017, p. 46).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Se utilizó un método de estudio científico, puesto que, este es un método global, que comprende algunas fases importantes en el avance de toda exploración lógica (Hernández, 2002, p. 5). Depende de varias fases, que son la presencia de un problema, la búsqueda, selección y análisis de los datos existentes y, finalmente, la elaboración de la hipótesis. (Arteaga y Fernández, 2010, p. 8).

Por otra parte, tiene un enfoque cuantitativo, dado que se pudo distinguir y elaborar una cuestión científica partiendo de una revisión de la literatura con la que se fabrica un marco teórico y referencial; de ahí que se formulen hipótesis. Así mismo, depende de la estimación matemática, del recuento y habitualmente de la utilización de estadísticas para fijar con precisión, depende de un plan deductivo lógico, y se relaciona con pruebas, revisiones con preguntas cerradas o las investigaciones que utilizan instrumentos de estimación normalizados (Vega, Ávila, Vega, Camacho, Becerril y Leo, 2014, p. 524).

Tiene un nivel explicativo, ya que el propósito principal fue la comprobación de hipótesis de causa o explicativas; la revelación de nuevas leyes lógicas y sociales, de pequeñas teorías sociales que aclaren las conexiones causales de propiedades o medidas de los sucesos, acontecimientos del sistema y procedimientos sociales. Esta investigación pone a prueba sus teorías a través de diseños experimentales y no experimentales (Nicomedes, 2018, p. 4).

Tabla 1. Esquema de diseño de investigación

TIPO DE MUESTRA	DISEÑO DE MEZCLA %ASF	CONVENCIONAL	0.5% GCR (A1)	1.5% GCR (A2)	5.5% GCR (A3)
ENSAYOS DE RESISTENCIA	5.62%	X1	X1 + A1	X1+ A2	X1+ A3
	5.12%	X2	X2 + A1	X2 + A2	X2 + A3
ENSAYOS DE DEFORMACION	5.62%	X1	X1 + A1	X1+ A2	X1+ A3
	5.12%	X2	X2 + A1	X2 + A2	X2 + A3
ENSAYOS DE DURABILIDAD	5.62%	X1	X1 + A1	X1+ A2	X1+ A3
	5.12%	X2	X2 + A1	X2 + A2	X2 + A3

Fuente: elaboración propia

Tipo:

El tipo de investigación es **APLICADA** donde está situada en el PARADIGMA POSITIVISTA, teniendo el siguiente esquema:

$$M \leftarrow O \dots P$$

Dónde:

M = Caucho Reciclado.

O= Propiedades Mecánicas.

P= Mezcla Asfáltica.

Enfoque:

La investigación es cuantitativa porque se obtendrán resultados numéricos reales.

Alcance:

Según Hernandez, Fernandez, Baptista (2020), la investigación DESCRIPCIÓN “solo tiene por objeto medir o recopilar información de forma independiente o colectiva sobre los conceptos o variables a los que se refieren” (p. 80).

Diseño de investigación:

Según Sampieri (2020), en los estudios no empíricos, “no cambiamos intencionalmente las variables independientes [...]. Lo que hacemos en la investigación EXPERIMENTAL es observar fenómenos que ocurren en un medio natural para analizarlos posteriormente” (p. 149).

3.2 Variables y operacionalización**Variable 1: Caucho reciclado**

El caucho es un material fabricado mediante la mezcla de elastómeros con sustancias naturales añadidas de bajo peso molecular, vulcanizantes y cargas minerales en forma de partículas muy pequeñas. El caucho reciclado da una referencia a la reutilización del caucho después de su vida útil generando un desarrollo sostenible (Peláez et al, 2017, p. 4)

Variable 2: Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica

Los asfaltos modificados han sido una técnica estudiada y se ha utilizado en el mundo como un intento de modificar las propiedades de las mezclas de asfaltos cuando éstas se prueban a diferentes cargas y condiciones ambientales. En otras palabras, bajo acciones de fuerzas externas (Delgado et al, 2018, p. 3).

3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población:

Para López (2004, p. 5), es el grupo de individuos u objetos de quienes se tiene el interés de dar respuesta a una interrogante en un estudio. Igualmente, para Tamayo (2012, p. 25), la población es definida como el total del grupo a estudiar en donde la unidad de la población posee particularidades comunes las cuales estudia dando origen a la información de la investigación.

En esta investigación, la población fue constituida por 24 briquetas de mezcla de asfalto entre convencional y modificadas con caucho granulado, a analizarse en laboratorio mediante el ensayo Marshall.

Muestra:

Se analizaron 2 tipos de porcentajes para adquirir el grado ideal de asfalto en el diseño de mezcla de asfalto convencional y se analizaron también 3 briquetas para cada porcentaje que en total serían como mínimo 6 briquetas, éstos de acuerdo a normativas por parte del Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC).

Para el estudio se usaron 2 distintos diseños de mezcla modificada con caucho granulado en 3 distintos porcentajes con respecto al peso total del asfalto, obteniendo 18 briquetas. A estas se le sumaron 06 briquetas de las mezclas convencionales como base para poder analizar el comportamiento de la adición de caucho reciclado. Teniendo un total de 24 briquetas.

Tabla 2. Porcentajes de agregado de caucho a las briquetas.

Diseño Marshall- MTC E 209						
DISEÑO DE MEZCLA	% ASFALTO	% GRANO CAUCHO RECICLADO				TOTAL BRIQUETAS
		Convencional	0.5% GCR	1.5% GCR	5.5% GCR	
1	5.62	3	3	3	3	12
2	5.12	3	3	3	3	12
						24

Fuente: Elaboración propia

Muestreo:

Este método es empleado para elegir los componentes de la muestra de la población en general. En otras palabras, consiste en un conjunto de criterios, procedimientos y reglas, donde un conjunto de elementos seleccionados de un conjunto representa lo que sucede en ese conjunto completo. (Lopez, 2004, p. 6). La muestra en este estudio es de tipo probabilidad aleatoria estratificada.

Unidad de análisis:

Diseño de mezcla modificada con caucho granulado en 2 distintos porcentajes con respecto al peso total del asfalto.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

La observación aborda una de las estructuras más coordinadas e inteligentes para el registro óptico e comprobable de lo que se quiere aprender. Constó en retratar, desglosar o aclarar un evento desde una perspectiva lógica, sustancial y fiable; por ello, fue esencial que el observador tenga habilidades y capacidades que le permitan fomentar esta interacción con calidad. (Campos y Lule, 2012, p. 47). Por el cual, en el caso de este estudio, se ejecutaron procedimientos normativos en un laboratorio, registrándose los resultados observados en los procesos.

Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos fueron los protocolos, Según Ortiz (2006, p. 530), que puede percibirse como un proyecto en la que se determinan los componentes que son importantes para avanzar hacia la investigación de una particularidad de la verdad. Asimismo, puede caracterizarse como una ayuda de las condiciones que hay que considerar y los movimientos que hay que hacer para conocer la circunstancia de la peculiaridad a la que se hacen referencia. Para el caso de este estudio se hizo referencia a las fichas técnicas que se emplean en laboratorio para registrar y analizar la información.

3.5 Procedimientos

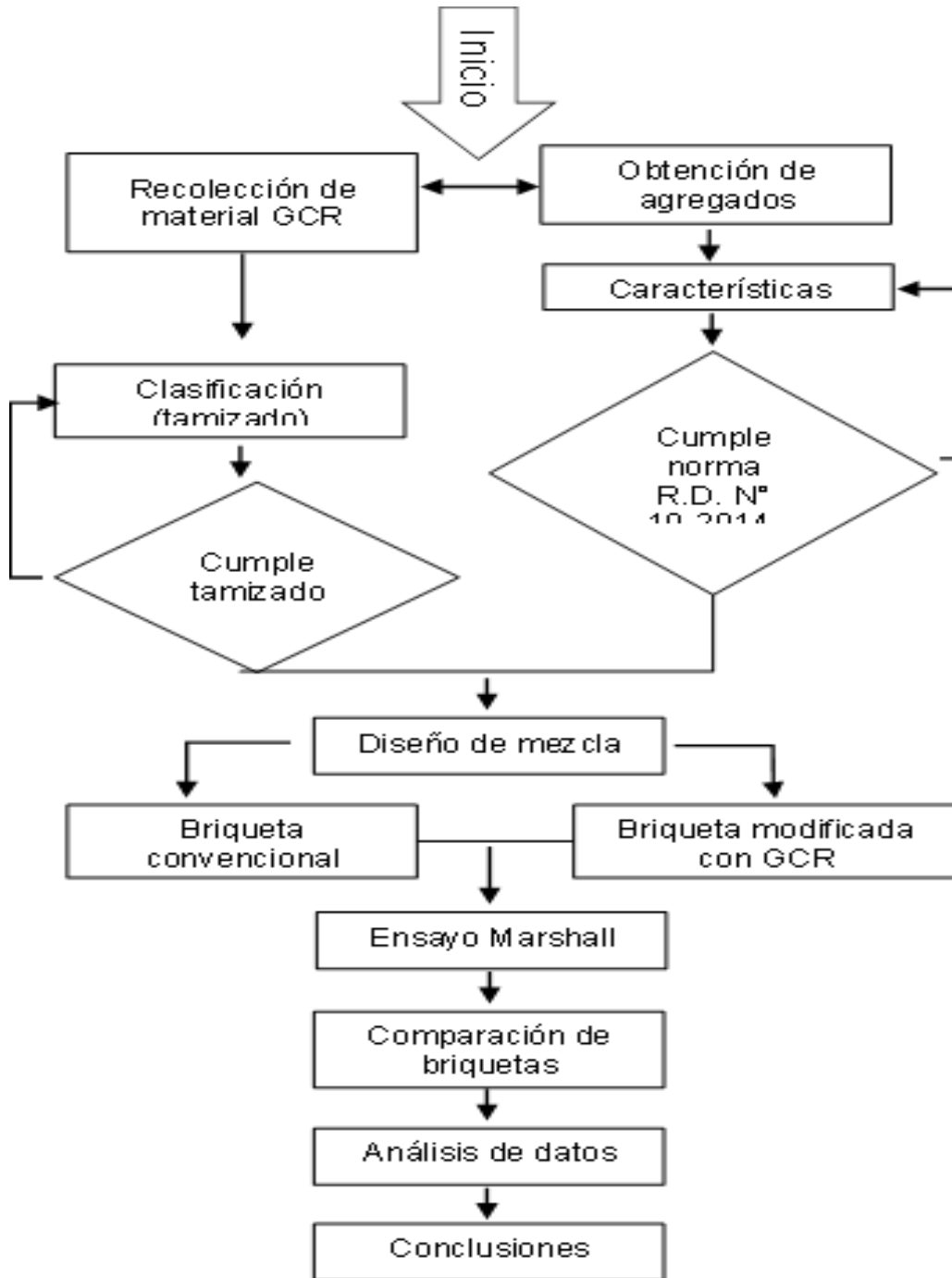
Primera fase: En esta fase se ejecutó la recolección de materiales a emplear, los neumáticos (previamente triturados) y los agregados empleados. Para la obtención de neumáticos en primer lugar se ejecutó la destrucción de la estructura de neumáticos, reducción de tamaño y clasificación o separación de los materiales que conforma (caucho, metal) y, por último, se trituró a temperatura ambiente o criogénica. Por otro lado, en cuanto a los agregados de los materiales se determinaron todas las características de las muestras en cantera.

Segunda fase: Se realizó el trabajo de laboratorio el cual consistió en el tamizado del caucho granulado, se ejecutando el diseño de la mezcla de asfalto base y por último los diseños de mezcla de asfalto modificada con caucho granulado, mediante el método Marshall, en distintos porcentajes con respecto al peso total del asfalto. Así mismo, se sometió a las briquetas el ensayo Marshall las pruebas de determinación del peso específico "Bulk", análisis de la densidad y vacíos, y ensayo de estabilidad y flujo, logrando hallar la resistencia, deformación y la durabilidad respectivamente.

Tercera fase: Se ejecutó el trabajo de gabinete donde se logró determinar la comparación de la briketa patrón vs la briketa con aditivo de gránulos de caucho, así mismo, se determinó el contenido de asfalto óptimo para cada diseño además de los valores de las propiedades detalladas en la metodología Marshall.

Para su mayor comprensión se presentó un diagrama de flujos de procesos el cual nos muestra los procedimientos a seguir para obtener los resultados.

Figura 1. Diagrama de procesos.



Fuente: Elaboración propia

3.6 Método de análisis de datos

Para el método de análisis de datos se realiza un análisis descriptivo, ya que se utiliza la información de laboratorio necesaria para posteriormente ser analizada mediante la comparación de los resultados obtenidos mediante la aplicación de gráficas, curvas y gráficos de tendencias, tablas, tablas de comparación, para determinar el comportamiento de las variables bajo las condiciones analíticas presentadas.

- Estadística descriptiva

Matriz de base de datos con contenido extraído del motor de recopilación de datos para variables y dimensiones.

- Estadística inferencial

Se utilizó software estadístico (SPSS V26) para procesar los resultados exponenciales.

De igual forma, se utilizó coeficiente de correlación de Spearman sobre el contraste de hipótesis propuestas en el estudio al nivel de significación del 5% ($p < 0,05$).

3.7 Aspectos éticos

Se utilizó el conjunto de normas éticas con el propósito del que en el presente documento se busque la fidelidad y el derecho de autor. Y se constató que en el documento nada de lo mencionado sea copia, elaborado de manera responsable, honesta y honrada.

Así mismo, la investigación se realizó con transparencia brindando la información verás obtenida en laboratorio sin haber manipulado los valores.

Finalmente, se emplearon la forma de citado según el reglamento ISO.

IV. RESULTADOS

- 4.1. Determinar el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca.

Interpretación: Las Propiedades de la mezcla de asfalto convencional cumple con lo especificado en el Reglamento EG -2013 y el Manual de Pavimentos, tendiendo un diseño para un volumen de Tráfico Medio.

El efecto del Caucho con una Dosificación de 5.61 + 0.5% de caucho reciclado, y teniendo en consideración las Características Granulométricas, donde el AG tiene como material predominante la Grava y en los AF se tiene que el Coeficiente de Uniformidad tiene una Granulometría Uniforme y el Coeficiente de Curvatura nos garantiza una buena trabajabilidad de la Mezcla Asfáltica.

Para lo cual la relación, Resistencia agregado y mezcla asfáltica se encuentra determinada por el Ensayo de Marshall, de lo que se obtiene una Estabilidad para Trafico Medio.

Así mismo la Estabilidad – Flujo, debe ser como mínimo 1700 kg/cm, y de los resultados del Laboratorio de Mecánicas de Suelos y Rocas, se obtuvo el valor de **2351 kg/cm**, lo cual representa que la mezcla de asfalto tiene mayor resistencia a la deformación.

Y teniendo que la Estabilidad del Asfalto convencional es de **10.297 KN**, respecto al asfalto modificado **9.081 KN**, disminuye en **11.81%** respecto a una MAC, debido a la poca deformación que presenta el caucho reciclado en la Mezcla de asfalto.

4.2. Efectuar ensayos de laboratorio para obtener los parámetros de diseño de los agregados.

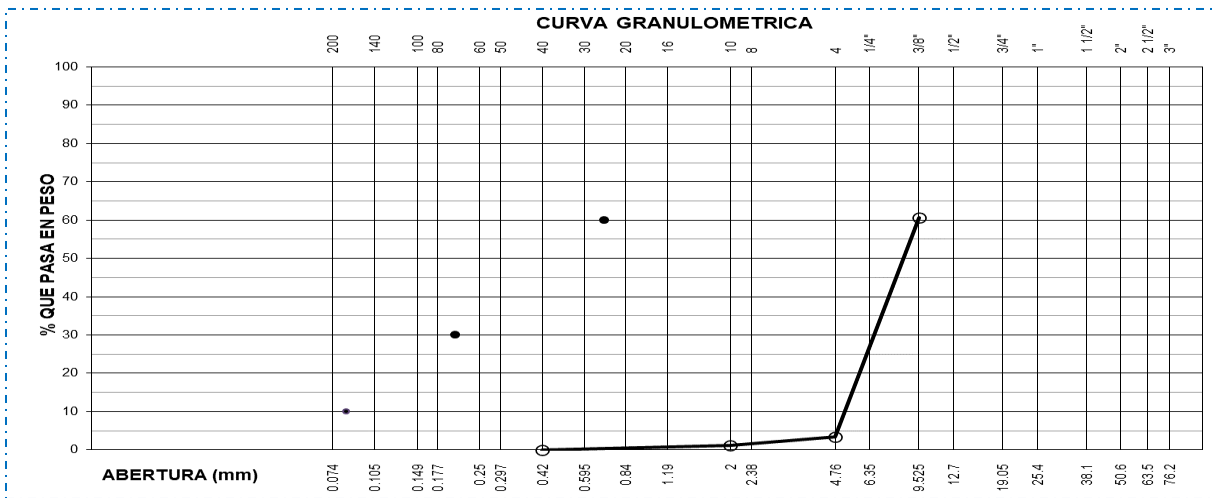
Tabla 3. Piedra triturada para mezcla asfáltica

TAMICES		MATERIAL RETENIDO			MATERIAL QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
Ø		PESO	PARCIAL	ACUMULADO		MIN.	MAX.	
Pulg.	mm	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
3"	76.20							PESO INICIAL: 2046.8 g
2 1/2"	63.50							
2"	50.80							
1 1/2"	38.10							
1"	25.40							% DE GRAVA: 96.7
3/4"	19.05				100.0			% DE ARENA: 3.3
1/2"	12.70	377.5	18.5	18.5	81.5			% PASANTE Nº 200:
3/8"	9.53	425.3	20.8	39.3	60.7			
¼"	6.35							
Nº 4	4.75	1175.4	57.4	96.7	3.3			
Nº 8	2.36							
Nº 10	2.00	43.6	2.1	98.8	1.2			MODULO DE FINEZA # ¡VALOR!
Nº 16	1.19							
Nº 20	0.85							
Nº 30	0.60							
Nº 40	0.42	25.0	1.2	100.0				
Nº 50	0.30							OBSERVACIONES: Ubicación: Trujillo Cantera San Martin
Nº 60	0.25							
Nº 80	0.18							
Nº 100	0.15							
Nº 140	0.11							
Nº 200	0.074							
BANDEJA				100.0				

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La Prueba de granulometría de las Partidas solididad y de vacíos de la muestra del suelo se retiene los sedimentos en la Malla Nº10 de la serie ASTM y teniendo como material predominante el Porcentaje de la fracción gruesa (gravas).

Figura 2. Curva Granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La Curva Granulometrica representa la Escala Logaritmica vs. Escala Natural, de donde $D_{10}=5.10\text{mm}$ $D_{30}=6.70$ $D_{60}=9.525$, teniendo que $C_u(D_{60}/D_{10})=1.86\text{mm}$ de lo que se tiene que la Granulometria es Uniforme y el $C_c(D_{30}^2/ D_{60}\times D_{10})=0.92\text{mm}$ por lo que su porcentaje de huecos es menor y tiene una densidad mayor para a trabajabilidad en Obra.

Tabla 4. Arena Triturada Para Mezcla Asfáltica

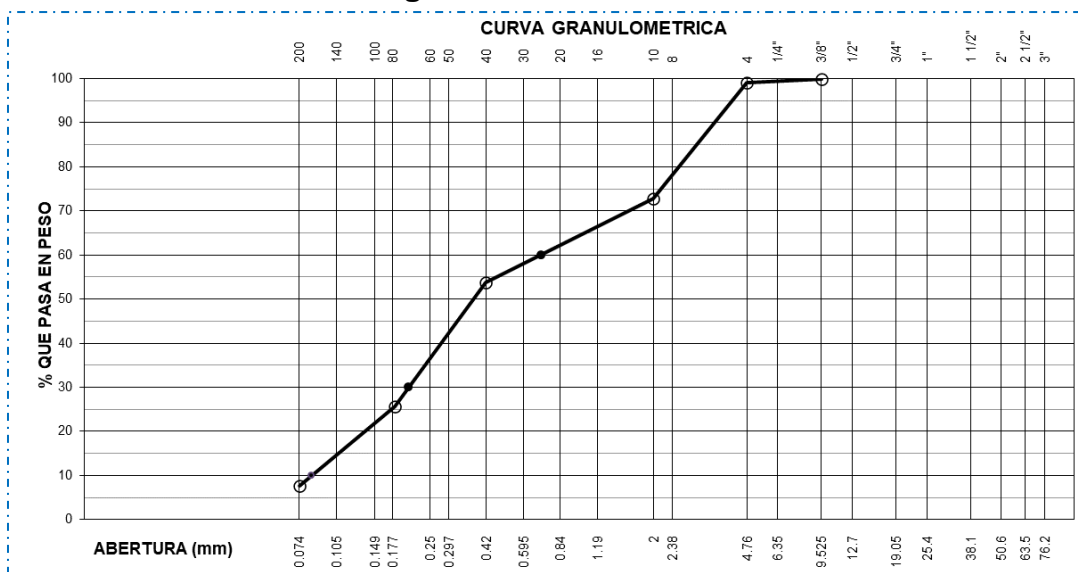
TAMICES		MATERIAL RETENIDO			MATERIAL QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
Ø		PESO (g)	PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)		MIN. (%)	MAX. (%)	
Pulg.	mm							
3"	76.20							PESO INICIAL: 778.3 g
2 1/2"	63.50							
2"	50.80							
1 1/2"	38.10							
1"	25.40							% DE GRAVA: 1.0
3/4"	19.05							% DE ARENA: 91.4
1/2"	12.70							% PASANTE N° 200: 7.7
3/8"	9.53				100.0			
1/4"	6.35							
N° 4	4.75	48.6	1.0	1.0	99.0			
N° 8	2.36							
N° 10	2.00	247.6	26.2	27.1	72.9			MODULO DE FINEZA #¡VALOR!
N°16	1.19							
N° 20	0.85							
N° 30	0.60							

N° 40	0.42	204.9	19.2	46.3	53.7			OBSERVACIONES:
N° 50	0.30							
N° 60	0.25							
N° 80	0.18	105.1	28.1	74.4	25.6			
N° 100	0.15							
N° 140	0.11							
N° 200	0.074	111.5	17.9	92.3	7.7			
BANDEJA		60.6	7.7	100.0				

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La Prueba de granulometría de las Partidas solidad y de vacíos de la muestra del suelo se retiene los sedimentos en la Malla N°200 de la serie ASTM y teniendo como material predominante el Porcentaje de finos (arcillas y limos)

Figura 3. Curva Granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La Curva Granulométrica representa la Escala Logarítmica vs. Escala Natural, de donde $D_{10}=0.04\text{mm}$ $D_{30}=0.21$ $D_{60}=0.75$, teniendo que $C_u(D_{60}/D_{10})=18.75\text{mm}$ de lo que se tiene que la Granulometría es Poco Uniforme y el $C_c(D_{30}^2 / D_{60} \times D_{10})=1.47\text{mm}$ por lo que su porcentaje de huecos es menor y tiene una densidad mayor para a trabajabilidad en Obra.

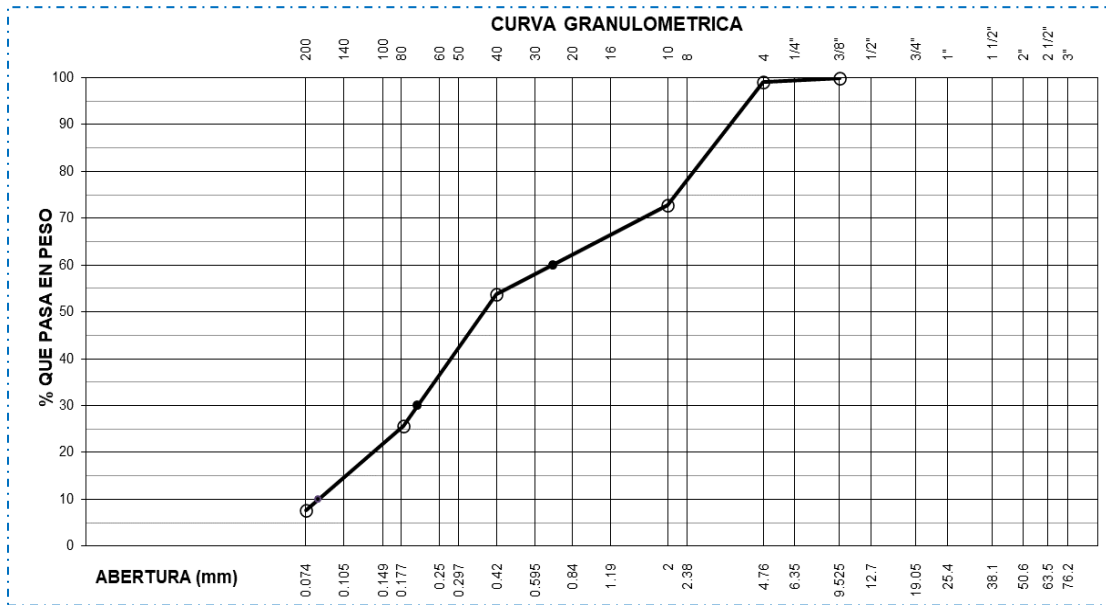
Tabla 5. Arena zarandeada Para mezcla Asfáltica

TAMICES		MATERIAL RETENIDO			MATERIAL QUE PASA	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
Ø	PESO	PARCIAL	ACUMULADO		MIN.	MAX.		
Pulg.	mm	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)		
3"	76.20						PESO INICIAL: 750.0 g	
2 1/2"	63.50							
2"	50.80							
1 1/2"	38.10							
1"	25.40						% DE GRAVA: 1.0	
3/4"	19.05						% DE ARENA: 91.4	
1/2"	12.70						% PASANTE Nº 200: 7.7	
3/8"	9.53				100.0			
1/4"	6.35							
Nº 4	4.75	7.3	1.0	1.0	99.0			
Nº 8	2.36							
Nº 10	2.00	196.2	26.2	27.1	72.9		MODULO DE FINEZA #¡VALOR!	
Nº 16	1.19							
Nº 20	0.85							
Nº 30	0.60							
Nº 40	0.42	143.8	19.2	46.3	53.7			
Nº 50	0.30						OBSERVACIONES: Ubicación: Trujillo Cantera San Martin	
Nº 60	0.25							
Nº 80	0.18	210.8	28.1	74.4	25.6			
Nº 100	0.15							
Nº 140	0.11							
Nº 200	0.074	134.4	17.9	92.3	7.7			
BANDEJA		57.5	7.7	100.0				

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La Prueba de granulometría de las Partidas solidad y de vacíos de la muestra del suelo se retiene los sedimentos en la Malla Nº200 de la serie ASTM y teniendo como material predominante el Porcentaje de finos (arcillas y limos)

Figura 4. Curva Granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La Curva Granulometrica representa la Escala Logaritmica vs. Escala Natural, de donde $D_{10}=0.08\text{mm}$ $D_{30}=0.18$ $D_{60}=0.70$, teniendo que $C_u(D_{60}/D_{10})=8.75\text{mm}$ de lo que se tiene que la Granulometria es Poco Uniforme y el $C_c(D_{30}^2 / D_{60} \times D_{10})=5.79\text{mm}$ por lo que su porcentaje de huecos es menor y tiene una densidad mayor para a trabajabilidad en Obra.

Tabla 6. DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO GRUESO									
TAMAÑO		PESO REQUERIDO (gr)	RECIPIENTE Nº	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA		ESCALONADO ORIGINAL	PERDIDA CORREGIDA
Pasa	Retiene					PESO	%		
2 1/2"	1 1/2"								
1 1/2"	3/4"								
3/4"	3/8"	1000 +/-10		1005.5	963.0	42.50	4.23	39.2	1.657
3/8"	Nº 4	300 +/-5		304.2	268.6	35.60	11.70	57.4	6.717
TOTALES									8.37%
AGREGADO FINO									
TAMAÑO		PESO REQUERIDO (gr)	RECIPIENTE Nº	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA		ESCALONADO ORIGINAL	PERDIDA CORREGIDA
Pasa	Retiene					PESO	%		
3/8"	Nº 04	100	1	100.0	95.8	4.20	4.20	6.2	0.260
Nº 04	Nº 10	100	2	100.0	95.4	4.60	4.60	31.8	1.463
Nº 10	Nº 40	100	3	100.0	96.7	3.30	3.30	26.3	0.868
Nº 40	Nº 80	100	4	100.0	96.8	3.20	3.20	13.5	0.432
TOTALES									3.02%
TOTAL DE LA MUESTRA									11.40%

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Los agregados Gruesos y Finos cumplen ASTM D-75 y C-702, donde presenta u baja perdida de solidos y desintegración, así mismo en virtud a lo establecido en el Reglamento EG -2013 y el Manual de Pavimentos el Porcentaje Máximo de Requerimiento es de **18%** según la Norma del MTC E 209.El % Durabilidad (al Sulfato de Sodio y Magnesio) en el Agregado Grueso es de **8.37%**, y el % Durabilidad (al Sulfato de Sodio y Magnesio) en el Agregado Fino es de **3.02%**, para lo cual las Propiedad de Durabilidad Antes los Agentes de Sulfato cumplen con las Propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica, lo cual garantiza el bajo nivel de desintegración.

Tabla 7. ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA

DESCRIPCION DEL ENSAYO		ARENA TRITURADA 4.76 mm.			Promedio %
		1	2	3	
Tamaño máximo (pasa tamiz N°4)	mm	4.76	4.76	4.76	47.0
Hora de entrada a saturación		10:15:00	10:17 a. m.	10:19 a. m.	
Hora de salida de saturación (mas 10´)		10:25 a. m.	10:27 a. m.	10:29 a. m.	
Hora de entrada a decantación		10:27 a. m.	10:29 a. m.	10:31 a. m.	
Hora de salida de decantación (mas 20´)		10:47 a. m.	10:49 a. m.	10:51 a. m.	
Altura máxima de material fino	cm	7.30	7.40	7.40	
Altura máxima de la arena	cm	3.40	3.50	3.40	
Equivalente de Arena	%	46.60	47.30	46.00	
DESCRIPCION DEL ENSAYO		ARENA ZARANDEADA DE 1/4"			Promedio %
		1	2	3	
Tamaño máximo (pasa tamiz N°4)	mm	4.76	4.76	4.76	49.2
Hora de entrada a saturación		13:52:00	1:54 p. m.	1:56 p. m.	
Hora de salida de saturación (mas 10´)		2:02 p. m.	2:04 p. m.	2:06 p. m.	
Hora de entrada a decantación		2:03 p. m.	2:05 p. m.	2:07 p. m.	
Hora de salida de decantación (mas 20´)		2:23 p. m.	2:25 p. m.	2:27 p. m.	
Altura máxima de material fino	mm	7.70	7.60	7.50	
Altura máxima de la arena	mm	3.80	3.70	3.70	
Equivalente de Arena	%	49.40	48.70	49.40	

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Según la Norma ASTM D-2419 en concordancia del AASHTO T176-00, para materiales finos el Valor Equivalente al 25%, por lo cual para la ARENA TRITURADA 4.76 mm su valor promedio es de 47%, el cual cumple con las especificaciones mínimas de diseño para poder realizar el ensayo requerido, así mismo para materiales finos el Valor Equivalente al 25%, por lo cual para la ARENA ZARANDEADA DE 1/4" mm su valor promedio es de 49.20%, el cual cumple con las especificaciones mínimas de diseño para poder realizar el ensayo requerido,

Tabla 8. LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO - INDICE DE PLASTICIDAD

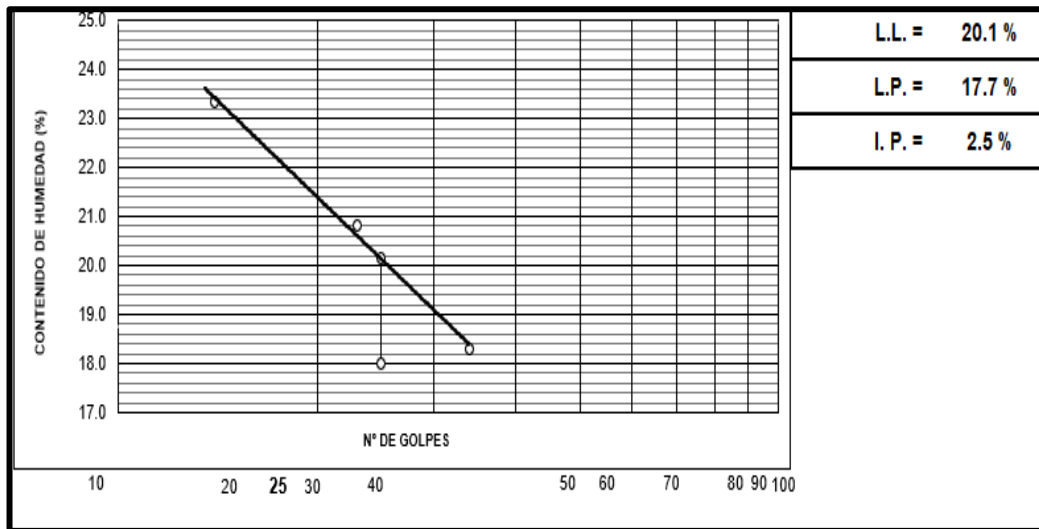
LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2000 (MALLA N° 200)					
NUMERO DE GOLPES, N		14	23	34	
N° DEL DEPOSITO		18	19	20	
PESO DEL SUELO HUM. + DEP.	(g)	38.37	37.77	37.32	
PESO DEL SUELO SECO + DEP.	(g)	35.08	34.90	34.82	
PESO DEL AGUA	(g)	3.29	2.87	2.50	
PESO DEL DEPOSITO	(g)	21.00	21.10	21.15	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	14.08	13.80	13.67	
CONTENIDO DE AGUA	(%)	23.34	20.80	18.29	
LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2000 (MALLA N° 200)					
N° DEL DEPOSITO		21	22		
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO	(g)	38.95	38.36		
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO	(g)	36.30	35.69		
PESO DEL AGUA	(g)	2.65	2.67		
PESO DEL DEPOSITO	(g)	21.11	20.79		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	15.19	14.90		
CONTENIDO DE AGUA	(%)	17.42	17.93	NP	

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Según lo establecido en el Reglamento EG -2013 y el Manual de Pavimentos el **L.L** debe ser **menor del 40%** y el **L.P 10 – 50%**, en virtud a las normas del MTC E 110 y MTC E 111. De los Ensayos de Laboratorio se tiene que **el L.L = 20.10%** y el **L. P=17.70%**, lo cual se encuentra dentro de los parámetros establecidos y en concordancia a las normas del MTC E 110 y MTC E 111.

Figura 5. Curva Granulométrica



Fuente: Elaboración propia

El Índice de Plasticidad se encuentra entre el rango de 2-9% según lo estipulado en el MTC E 111, lo cual el **I.P** para este caso es de **2.5%** el cual representa Baja Plasticidad de las Arcillas (CL)

Tabla 9. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

AGREGADO FINO				
A	Peso material saturado superficialmente seco (en Aire) (gr)	500.0	500.0	PROMEDIO
B	Peso frasco + agua (gr)	683.2	683.2	
C	Peso frasco + agua + A (gr)	1183.2	1183.2	
D	Peso del material + agua en el frasco (gr)	993.1	993.2	
E	Volumen de masa + volumen de vacío = C-D (cm3)	190.1	190.0	
F	Peso de material seco en estufa (105°C) (gr)	491.5	491.6	
G	Volumen de masa = E - (A - F) (cm3)	181.6	181.6	
	Pe bulk (Base seca) = F/E	2.585	2.587	
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.630	2.632	2.631
	Pe aparente (Base seca) = F/G	2.706	2.707	2.707
	% de absorción = ((A - F)/F)*100	1.729	1.709	1.72%

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Según lo establecido en el Reglamento EG -2013 y la norma del MTC E- 205 el valor máximo de Absorción de A.F es de **0,5%**, pero según

consideración de diseño de propiedades de durabilidad de la mezcla de asfalto las cuales son óptimas de ADMITE el valor de % de Absorción de 1.72%.

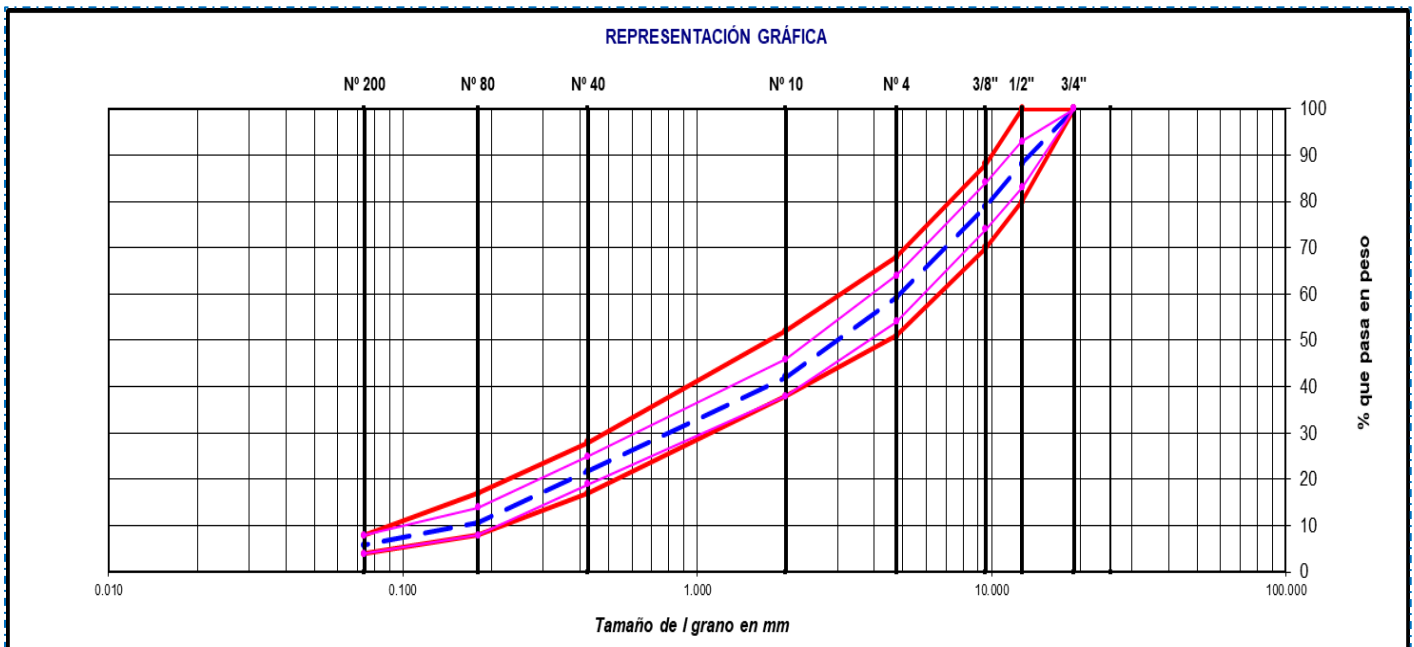
4.3. Determinar los porcentajes de líquido asfáltico para obtener una mezcla asfáltica óptima

Tabla 10. Ensayo Granulométrico

ENSAYO GRANULOMÉTRICO										LAVADO ASFÁLTICO			
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.525	4.760	2.000	0.425	0.18	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.		475.8	371.2	786.2	144.2	171.4	94.6	40.8	49.0	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		11.9	9.3	19.7	17.1	20.3	11.2	4.8	5.8	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		11.9	21.2	40.8	57.9	78.2	89.4	94.2	100.0	Peso inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	88.1	78.8	59.2	42.1	21.8	10.6	5.8		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACIÓN	%	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LÍQUIDO											FRACCIÓN	%	500
TRAMO ASFALTADO											PESO TOTAL	gr.	4000.0

Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Curva Granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: EL diseño se realizó con diferentes contenidos de asfalto, que son 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, para lo cual se fabricó 3 briquetas con la mezcla con temperatura de 145°C, compactándose con pisón de 10lbs de peso de 75 golpes por cara, terminado la elaboración de las briquetas de mezcla de asfalto se procedió a obtener el peso unitario de cada briquetas pesando cada briquetas en aire, y peso en agua, pasando a la etapa de sumergir en baño maría todas las briquetas enumeradas con los diferentes % de mezcla por 35 minutos a una temperatura de 60°C, terminado el tiempo se extrajo cada briqueta y se procedió a ensayar en la prensa Marshall para obtener la **RESISTENCIA ESTABILIDAD +FLUJO**, con estos análisis se procedió a realizar el diseño de mezcla de asfalto convencional, obteniéndose resultados de un óptimo de 5.62% de asfalto.

Tabla 11. Ensayo de MARSHALL

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS		Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.62	5.62	5.62	5.62	
2	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N° 4	%	38.54	38.54	38.54		
3	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4	%	55.84	55.84	55.84		
4	CAUCHO EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.50	0.50	0.50		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.0154	1.0154	1.0154		
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.678	2.678	2.678		
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.606	2.606	2.606		
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1210.0	1205.0	1211.0		
10	PESO DE BRIQUETA+PARAFINA AL AIRE	gr	1225.2	1226.3	1226.2		
11	PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN AGUA	gr	705.0	703.8	700.2		
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA+PARAFINA (10-11)	c.c.	520.2	522.5	526.0		
13	PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14	VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	520.2	522.5	526.0		
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.326	2.306	2.302	2.312	
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.427	2.427	2.427		
18	VACÍOS (17-16)*100/17	%	4.2	5.0	5.1	4.8	3 - 5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))$		2.633	2.633	2.633		
20	V.M.A. $100-(2+3+4)*(16/19)$	%	16.2	16.9	17.1	16.7	Mín. 14
21	VACÍOS LLENOS CON C.A. $100*(20-18)/20$	%	74.3	70.6	69.9	71.6	
22	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/((100/17)-(1/5))$		2.660	2.660	2.660		
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL $(100*5*(22-19))/(22*19)$	%	0.39	0.39	0.39		
24	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO $1-(23*(2+3+4)/100)$	%	5.25	5.25	5.25		
25	FLUJO	mm	3.67	4.20	3.99	4.0	2 - 4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	910	855	1012		
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00		
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	910	855	1012	926	Mín. 815
29	ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	2480	2036	2536	2351	Mín 1700

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La Resistencia agregado y mezcla asfáltica se encuentra determinada por el Ensayo de Marshall, para lo cual la se deberá con una Estabilidad mínima de **815kg**, para lo cual de los resultados de laboratorio tenemos **926kg**, el cual tiene una Estabilidad para Trafico Medio.

Así mismo la Estabilidad – Flujo, debe ser como mínimo 1700 kg/cm, y de los resultados del Laboratorio de Mecánicas de Suelos y Rocas, se obtuvo el valor de **2351 kg/cm**, lo cual representa que la mezcla de asfalto tiene mayor resistencia a la deformación.

- 4.4.** Evaluar las propiedades mecánicas respecto a la resistencia, deformación y durabilidad del asfalto convencional y el asfalto modificado con grano de caucho reciclado

De los resultados del Laboratorio de Mecánicas de Suelos y Rocas, se obtuvo el valor de **2351 kg/cm**, lo cual representa que la mezcla de asfalto tiene mayor resistencia a la deformación, con un diseño óptimo de 5.62% de asfalto; es decir restando el 0.5% del óptimo, de líquido asfáltico, o sea 5.1 %, debido que a menor valor del flujo representa a una menor deformación de la mezcla.

La Durabilidad de los AF y AG según la Norma del MTC E 209, es de 18% y de los Ensayado se tiene que los **A.G** es de **8.37%** y **A.F** es de **3.02%**, para lo cual las Propiedad de Durabilidad garantiza el bajo nivel de desintegración.

La estabilidad del Asfalto convencional es de **10.297 KN**, respecto al asfalto modificado **9.081 KN**, disminuye en **11.81%** respecto a una MAC. Debido a la poca deformación que presenta el caucho.

4.5. Determinar la incorporación de caucho mediante el proceso de vía seca la cual influirá en el Flujo y Estabilidad de la mezcla asfáltica.

El promedio del peso de las Briquetas de la ESTABILIDAD CORREGIDA es de 926 kg (superior a los parámetros establecidos en el Instituto de Asfalto “815 kg mínimo”) y una estabilidad de flujo de 2351kg (superior a los parámetros establecidos en el Instituto de Asfalto “1700 kg mínimo”)

Sin embargo, a 60°C de temperatura en la digestión, la que menor valor de flujo en cuanto a los resultados lo posee la temperatura de 145°C, tanto para una dosificación convencional y/o con adición. Por lo tanto, de los diferentes contenidos de asfalto se obtuvo un resultado óptimo de 5.62% de asfalto; efectuándose otra prueba restando el 0.5% del óptimo, de líquido asfáltico, o sea 5.1 % de igual manera se ensayó para comparar resultados, debido que a menor valor del flujo representa a una menor deformación de la mezcla.

V. DISCUSIÓN

1. Maguiña (2019), en la tesis: Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas. El objetivo fue diseñar una mezcla asfáltica mediante la adición de gránulos de caucho reciclado, por vía húmeda, para mejorar sus propiedades mecánicas. La metodología es un enfoque cuantitativo empírico, el nivel de explicación, las técnicas son los procedimientos y las herramientas que se utilizan para llegar a la información y las herramientas. Se ha demostrado que, según los ensayos realizados, la adición de caucho procedente del proceso de reciclado tiene un efecto positivo sobre las propiedades mecánicas y físicas del asfalto ordinario. La fusión de elastómeros reutilizables protege la mezcla de asfalto contra la deformación plástica. Esto se debe a la recuperación elástica debido a la fuerza de torsión, que es una mezcla de asfalto modificada con caucho que es un 37% más resistente que una mezcla asfáltica convencional.

Discusión G.:

La mezcla de asfalto convencional y con la Incorporación del 0.5 % de caucho reciclado obtenemos que la estabilidad del Asfalto convencional es de **10.297 KN**, respecto al asfalto modificado **9.081 KN**, disminuye en **11.81%** respecto a una MAC. Debido a la poca deformación que presenta el caucho, lo que se las propiedades mecánicas y físicas son mejoradas para poder entregar mayor trabajabilidad y entregar mayor vida útil del elemento.

2. Rodríguez et al. (2020). En el artículo denominado: Análisis de microestructura y rendimiento mecánico de hormigón asfáltico modificado con caucho granulado mediante proceso seco, cuyo objetivo de estudio fue investigar la dosificación con el efecto de agregar caucho granulado a mezclas asfálticas usando el proceso seco relacionando los rendimientos mecánicos con caracterizaciones microestructurales teniendo como resultado la influencia del proceso de acondicionamiento sobre el desempeño mecánico de las mezclas que depende

principalmente de las propiedades del caucho granulado utilizado. Se concluye que el caucho granulado se dispersa bien en la mezcla asfáltica cuando se aumenta el tiempo de acondicionamiento.

Discusión 1:

El resultado del efecto de la incorporación del caucho reciclado en la mezcla de asfalto mediante vía seca, no solo depende del material que se adiciona, se deberá tener en cuenta y realizar los respectivos ensayos de Granulometría el cual deberá tener una tendencia uniforme (Arena Triturada Arena Zarandeada), Piedra Triturada, Ensayo Equivalente de arena, Índice de plasticidad y absorción de agregados finos el cual deberá tener una distribución continua, el cual deberá cumplir con lo establecido en el Reglamento EG -2013 y la norma del MTC E-205

3. Macedo y Ureta (2020). En la tesis de Pre grado: Influencia del caucho reciclado utilizado como agente modificante en los parámetros de diseño de una mezcla asfáltica. El propósito fue determinar cómo influye el caucho en los indicadores del diseño de una mezcla de asfalto ordinario por medio del proceso de vía seca, a la luz de los datos obtenidos de la investigación identificada con el tema. La metodología fue cuantitativa-no experimental, resumió y evaluó estudios nacionales y extranjeros, que mostró las consecuencias de los límites del diseño de Marshall y ensayos por desempeño para las mezclas de asfalto ordinario modificados con caucho. Como conclusión se tiene que los indicadores de Marshall se cumplieron consolidando 0,5% de elástico a una medida de 5,5% de asfalto a 170°C de temperatura de y un período de 2hrs para su absorción, se hizo una tabla donde estos factores pueden ser alterados para cumplir con los indicadores de Marshall.

Discusión 2:

En los diferentes porcentajes de asfalto (4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%), las cuales se procedieron a realizar el ensayo de MARSHALL para obtener la RESISTENCIA ESTABILIDAD + FLUJO, con estos análisis se procedió a realizar

el diseño de mezcla de asfalto convencional, obteniéndose resultados de un óptimo de 5.62% de asfalto.

4. Rodríguez et al. (2020). En el artículo denominado: Análisis de microestructura y rendimiento mecánico de hormigón asfáltico modificado con caucho granulado mediante proceso seco, cuyo objetivo específico de estudio fue investigar el efecto de agregar caucho granulado a mezclas asfálticas usando el proceso seco relacionando los rendimientos mecánicos con caracterizaciones microestructurales teniendo como resultado la influencia del proceso de acondicionamiento sobre el desempeño mecánico de las mezclas que depende principalmente de las propiedades del caucho granulado utilizando 6.00% de asfalto. Se concluye que el caucho granulado se dispersa bien en la mezcla asfáltica cuando se aumenta el tiempo de acondicionamiento, mejora las características de diseño y propiedades.

Discusión 3:

Con un porcentaje óptimo obtenido es de 5.62% de asfalto; es decir restando el 0.5% del óptimo, de líquido asfáltico, o sea 5.1 %, debido a que las tasas de flujo más bajas significan una menor deformación de la mezcla, y debido a la densa gradación de los agregados resistentes a la segregación, contribuyen a la resistencia de tres maneras.

La Durabilidad de los AF y AG según la Norma del MTC E 209, es de 18% y de los Ensayado se tiene que los **A.G** es de **8.37%** y **A.F** es de **3.02%**, para lo cual las Propiedad de Durabilidad garantiza el bajo nivel de desintegración.

La estabilidad del Asfalto convencional es de **10.297 KN**, respecto al asfalto modificado **9.081 KN**, disminuye en **11.81%** respecto a una MAC. Debido a la poca deformación que presenta el caucho.

5. Bonilla et al. (2020). En el artículo: Efecto de la incorporación por vía seca de residuos de caucho obtenido tras la remoción de una pista de aterrizaje de aeropuerto en un asfalto AC-20. En donde el objetivo fue estudiar el comportamiento de la mezcla asfáltica resultante con el agregado de caucho. El

estudio fue de carácter experimental puesto que las muestras fueron analizadas por el método Marshall. Los resultados demostraron que el residuo de caucho en la mezcla de asfalto mejoró las propiedades términos de presión, volumen molar y temperatura. Por otro lado, la propiedad cumple con los requisitos estándar. También se incrementó la prueba de módulo de rigidez que identificó la conducta del pavimento, lo que expone considerablemente los beneficios de utilizar el caucho desechado en la mezcla asfáltica.

Discusión 4:

Del método del Marshall (ASTM D 6927) en los diferentes contenidos de asfalto se obtuvo un resultado óptimo de 5.62% de asfalto; efectuándose otra prueba restando el 0.5% del óptimo, de líquido asfáltico, o sea 5.1 % de igual manera se ensayó para comparar resultados, debido que a menor valor del flujo representa a una menor deformación de la mezcla.

Los especímenes fabricados con 5,62% de asfalto presentan mejores resultados que el resto, cumpliendo con los parámetros de porcentajes de vacíos con aire, entre 3 y 5% y de igual manera con la relación Estabilidad / Flujo, establecidos en el EG – 2013.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la mezcla de asfalto convencional y con la Incorporación del 0.5 % de caucho reciclado obtenemos que la estabilidad del Asfalto convencional es de **10.297 KN**, respecto al asfalto modificado **9.081 KN**, disminuye en **11.81%** respecto a una MAC. Debido a la poca deformación que presenta el caucho, lo que se las propiedades mecánicas y físicas son mejoradas para poder entregar mayor trabajabilidad y entregar mayor vida útil del elemento.
2. Se determinó que el efecto del Caucho con una Dosificación de 5.61 + 0.5% de caucho reciclado, y teniendo en consideración las Características Granulométricas, donde el AG tiene como material predominante la Grava y en los AF se tiene que el Coeficiente de Uniformidad tiene una Granulometría Uniforme y el Coeficiente de Curvatura nos garantiza una buena trabajabilidad de la Mezcla Asfáltica.
Así mismo la Estabilidad – Flujo, debe ser como mínimo **1700 kg/cm**, y de los resultados del Laboratorio de Mecánicas de Suelos y Rocas, se obtuvo el valor de **2351 kg/cm**, lo cual representa que la mezcla de asfalto tiene mayor resistencia a la deformación.
3. Se determinó que el diseño se realizó con diferentes contenidos de asfalto, que son 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, para lo cual se fabricó 3 briquetas con la mezcla con temperatura de 145°C, compactándose con pisón de 10lbs de peso de 75 golpes por cara, terminado la elaboración de las briquetas de mezcla de asfalto se procedió a obtener el peso unitario de cada briquetas pesando cada briquetas en aire, y peso en agua, pasando a la etapa de sumergir en baño maría todas las briquetas enumeradas con los diferentes % de mezcla por 35 minutos a una temperatura de 60°C, terminado el tiempo se extrajo cada briqueta y se procedió a ensayar en la prensa Marshall para obtener la **RESISTENCIA ESTABILIDAD +FLUJO**, con estos análisis se procedió a

realizar el diseño de mezcla de asfalto convencional, obteniéndose resultados de un óptimo de 5.62% de asfalto.

La Resistencia agregado y mezcla asfáltica se encuentra determinada por el Ensayo de Marshall, para lo cual la se deberá con una Estabilidad mínima de **815kg**, para lo cual de los resultados de laboratorio tenemos **926kg**, el cual tiene una Estabilidad para Trafico Medio.

4. Se determinó que la Durabilidad de los AF y AG según la Norma del MTC E 209, es de 18% y de los Ensayado se tiene que los **A.G** es de **8.37%** y **A.F** es de **3.02%**, para lo cual las Propiedad de Durabilidad garantiza el bajo nivel de desintegración.

La estabilidad del Asfalto convencional es de **10.297 KN**, respecto al asfalto modificado **9.081 KN**, disminuye en **11.81%** respecto a una MAC. Debido a la poca deformación que presenta el caucho.

5. Se determinó que el promedio del peso de las Briquetas de la ESTABILIDAD CORREGIDA es de 926 kg (superior a los parámetros establecidos en el Instituto de Asfalto “815 kg mínimo”) y una estabilidad de flujo de 2351kg (superior a los parámetros establecidos en el Instituto de Asfalto “1700 kg mínimo”)

Sin embargo, a 60°C de temperatura en la digestión, la que menor valor de flujo en cuanto a los resultados lo posee la temperatura de 145°C, tanto para una dosificación convencional y/o con adición. Por lo tanto, de los diferentes contenidos de asfalto se obtuvo un resultado óptimo de 5.62% de asfalto; efectuándose otra prueba restando el 0.5% del óptimo, de líquido asfáltico, o sea 5.1 % de igual manera se ensayó para comparar resultados, debido que a menor valor del flujo representa a una menor deformación de la mezcla.

VII. RECOMENDACIONES

1. La nueva alternativa de solución, se encuentra determinada por la Dosificación de 5.61 + 0.5% de caucho reciclado, así mismo se deberá tener en cuenta en la Ejecución de un Pavimento Flexible los ensayos IN SITU del CBR y Densidad de Campo, con la finalidad de proteger el paquete Estructural bajo la superficie de rodadura.
2. Para la utilización de este nuevo proceso constructivo, se deberá tener en cuenta el IMD para poder determinar si es viable su ejecución donde se tiene proyecta y con esto poder crear y tener un proyecto rentable social y económicamente viable; con la finalidad que el espesor de diseño sea el óptimo para el uso durante su horizonte de vida útil.
3. Localizar una nueva zona de extracción de cantera para determinar resultados en los ensayos que se realizan a los agregados y mezclas asfálticas para aumentar la Estabilidad de diseño a un tráfico superior o al medio.
4. El proceso constructivo deberá ser Supervisado y Aprobado por el Responsable de Obra, con la finalidad de poder garantizar la correcta dosificación de los insumos, así mismo la realización de los diferentes protocolos y ensayos IN SITU para poder cumplir con los estándares de calidad durante su ejecución contractual. .
5. Adicionar Aditivos a la mezcla asfáltica con la adición de 0.5% de caucho reciclado, con la finalidad de reducir el porcentaje de humedad y evitar la desintegración de la mezcla asfáltica y con eso garantizar una vida útil adecuada.

REFERENCIAS

- AGUDELO, G. A. (2010). Experimental y no-experimental. *La sociología en sus escenarios*(18). Recuperado el 12 de Diciembre de 2021, de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ceo/article/view/6545>
- ALARCÓN, J. C. (2019). Viabilidad de uso del asfalto caucho en la región de Tunja. *Revista Espacios*, 40(34). Recuperado el 01 de 12 de 2021, de <http://es.revistaespacios.com/a19v40n34/19403412.html>
- ALFAYEZ, S. S. (2021). Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements: State of the Art. *Sustainability*, 12(21). Recuperado el 29 de Noviembre de 2021, de <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9076/htm>
- ARROYO, P. e. (2018). Un nuevo enfoque para la integración de factores ambientales, sociales y económicos para evaluar mezclas asfálticas con y sin neumáticos de desechos. *Rev. ing. constr.*, 33(3), 301-314. Recuperado el 29 de Abril de 2022, de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000300301>
- ARTEAGA, J. y. (2010). El método clínico y el método científico. *MediSur*, 8(5), 12-20. Recuperado el 02 de Diciembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/1800/180020098003.pdf>
- BALBIN, R. y. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019*. Tesis de Licenciatura, Universidad de San Martín de Porres, Lima, Lima. Obtenido de https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6001/balbin_ar-chochon_gvh.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- BAUMGARDNER, G. H. (2020). Resource Responsible Use of Recycled Tire Rubber in Asphalt Pavements. *Departament of Transportation: Federal Highway Administration*. Recuperado el 27 de noviembre de 2021, de <https://scholarworks.unr.edu/handle/11714/7533>
- BONILLA, P. Y. (2020). Efecto de la incorporación por vía seca de residuos de caucho obtenido tras su remoción de una pista de aterrizaje de aeropuerto en un asfalto

- AC-21. *Revista Técnica*, 43(1). Recuperado el 23 de octubre de 2021, de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/30780>
- BRESSI, S. F. (2019). Crumb Rubber Modifier in Road Asphalt Pavements: State of the Art and Statistics. *Coatings*, 9(6). Recuperado el 01 de octubre de 2021, de <https://www.mdpi.com/2079-6412/9/6/384/htm>
- BRICEÑO, M. y. (2005). Ciudad, imagen y percepción. *Revista Geográfica Venezolana*, 46(1), 11-33. Recuperado el 28 de noviembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730348005.pdf>
- CAMPOS, G. y. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Revista Xihmai*, 7(13), 45-60. Recuperado el 09 de diciembre de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3979972>
- CARDOZA, M. P. (2019). Pavimento flexible utilizando una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado para su sostenibilidad en Colombia. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 10(2), 17-27. Obtenido de <http://revistas.unitecnar.edu.co/index.php/sth/article/view/16/59>
- comunicaciones, M. d. (2019). Plan Estratégico Sectorial Multianual 2018-2022. Recuperado el 12 de noviembre de 2021, de http://portal.mtc.gob.pe/nosotros/documentos/pesem/PESEM_MTC_2018-2022.pdf
- CONTRERAS, C. y. (2021). *Reducción de la deformación permanente en pavimentos diseñados con mezclas asfálticas en caliente a través de la incorporación de polvo de caucho proveniente de neumáticos usados*. Tesis licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Obtenido de Disponible en https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/651885/Contreras_MC.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- DELGADO, M. S. (2018). Influencia de cuatro aditivos no convencionales en las propiedades físicas, reológicas y térmicas de un asfalto. *Ingeniería e Investigación*, 38(2), 18-26. Recuperado el 13 de noviembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/journal/643/64358073003/64358073003.pdf>
- DOBROTA, D. y. (2018). An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 17, 3591-3599.

Recuperado el 02 de diciembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617304572?via%3Dihub>

FONSECA, L. L. (2021). Granulares de caucho: uso e implementación como aditivo en concreto y pavimentos. *L'esprit Ingénieux*, 10(1), 47-74. Recuperado el 12 de diciembre de 2021, de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/2119>

GENG, J. C. (2020). Aging characteristics of crumb rubber modified asphalt binder and mixture with regenerating agent. *Construction and Building Materials*, 299. Recuperado el 13 de octubre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821020584>

GHABCHI, R. A. (2021). Technical Challenges of Utilizing Ground Tire Rubber in Asphalt Pavements in the United States. *Materials*, 14(16). Recuperado el 03 de diciembre de 2022, de <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/16/4482/htm>

HERNÁNDEZ, R. (2002). Del método científico al clínico. Consideraciones teóricas. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 18(2). Recuperado el 01 de diciembre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0864-21252002000200011

HIGUERA, C. O. (2019). Effect of the recycled rubber grain in the rutting of an asphalt mixture type MD-12. Respuestas. *Journal of Engineering Sciences*, 24(1), 86-97. Recuperado el 27 de diciembre de 2021, de <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1810/1839>

HOSAHALLY, V. y. (2020). Reciclabilidad del caucho en los sistemas de carreteras de asfalto: una revisión de la investigación aplicada y el avance de la tecnología. *Resources, Conservation and Recyclin*, 155. Recuperado el 04 de diciembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919305610>

HOYOS, L. P. (2021). Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria. *Infraestructura Vial*, 23(41). Recuperado el 03 de diciembre de 2021, de <https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215->

37052021000100011&script=sci_arttext

- IRFAN, M. A. (2018). Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con caucho en miga basada en investigaciones de laboratorio y de campo. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 795-1806. Recuperado el 14 de diciembre de 2021, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-017-2729-2#citeas>
- LI, H. D. (2019). Physical, Rheological and Stability Properties of Desulfurized Rubber Asphalt and Crumb Rubber Asphalt. *Revista árabe de ciencia e ingeniería*, 44(5), 5043-5056. Recuperado el 23 de noviembre de 2021, de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85064533008&origin=inward&txGid=667facfa2c61117548b7f1ec017de3a3>
- LI, P. J. (2018). Análisis de propiedades de viscosidad y composición para asfalto modificado con caucho granulado. *Construction and Building Materials*, 169, 38-647. Recuperado el 24 de noviembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818304240>
- LÓPEZ, P. (2004). Población, muestra y muestreo. *Punto Cero*, 9(8), 69-74. Recuperado el 02 de diciembre de 2021, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&tlng=es.
- LOZANO, D. M. (2020). Asfaltos y mezclas asfálticas densas modificadas con caucho de botas militares. *Revista DYNA*, 87(212). Recuperado el 23 de noviembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/journal/496/49663642015/49663642015.pdf>
- LUBO, O. y. (2019). *Asfaltos modificados con cauchos en vías primarias en las ciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogotá como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012-2019*. Universidad Cooperativa de Colombia. Recuperado el 12 de noviembre de 2021, de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15630/2/2019_asfaltos_modificados_cuchos..pdf
- MA, T. W. (2017). Property Characterization of Asphalt Binders and Mixtures Modified by Different Crumb Rubbers. *Revista de materiales en ingeniería civil*, 29(7).

- Recuperado el 13 de noviembre de 2021, de [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001890](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001890)
- MACEDO, S. y. (2020). *Influencia del caucho reciclado utilizado como agente modificante en los parámetros de diseño de una mezcla asfáltica*. Tesis licenciatura, Universidad Ricardo Palma, Lima. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3681>
- MAGUIÑA, W. (2019). *Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas*. Tesis maestría, Universidad Ricardo Palma, Lima. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2919>
- MANTILLA, J. y. (2019). Evaluación de la incorporación simultánea de caucho granulado y asfaltita en ligantes asfálticos. *DYNA*, 86(208), 257-263. Recuperado el 02 de diciembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/journal/496/49660955032/49660955032.pdf>
- MARTINEZ, G. e. (2018). Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con Grano de Caucho Reciclado en Bogotá: Logrando sostenibilidad en pavimentos. *Rev. ing. constr.*, 33(1), 41-50. Recuperado el 29 de noviembre de 2021, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732018000100041&lng=es&nrm=iso
- NICOMEDES, E. (2018). *Tipos de Investigación*. Universidad Santo Domingo. Recuperado el 09 de noviembre de 2021, de <https://core.ac.uk/reader/250080756>
- ORTIZ, J. (2006). Guía descriptiva para la elaboración de protocolos de investigación. *Salud en Tabasco*, 12(3), 530-540. Recuperado el 08 de diciembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/487/48712305.pdf>
- PELÁEZ, G., VELÁSQUEZ, S., & GIRALDO, D. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 27(2). Recuperado el 18 de noviembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91150559002>
- peruano, E. (17 de agosto de 2021). Promueven manejo adecuado de neumáticos

- fuera de uso para proteger a la población. Lima, Lima, Perú: Diario El Peruano. Recuperado el 23 de noviembre de 2021, de <https://elperuano.pe/noticia/127008-impulsan-el-manejo-adecuado-de-neumaticos-fuera-de-uso-para-proteger-al-ambiente-y-poblacion>
- PORRAS, H. S. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 1(1), 32-53. Recuperado el 15 de diciembre de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6684752>
- RASOOL, R. t. (2018). Thermal analysis on the interactions among asphalt modified with SBS and different degraded tire rubber. *Construction and Building Materials*(182), 134-143. Recuperado el 09 de noviembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818314946?via%3Dihub>
- RODRÍGUEZ, I. T. (2020). Microstructure analysis and mechanical performance of crumb rubber modified asphalt concrete using the dry process. *Construction and Building Materials*, 259. Recuperado el 05 de diciembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816319262>
- SANGIORGI, C. E. (2017). A complete laboratory assessment of crumb rubber porous asphalt. *Construction and Building Materials*, 132. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816319262>
- SIENKIEWICZ, M. J. (2017). Environmentally friendly polymer-rubber composites obtained from waste tyres: A review. *Journal of Cleaner Production*, 147, 560-571. Recuperado el 23 de noviembre de 2021, de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85013755286&origin=inward&txGid=204278d10cb92c61e8913415f793a57e>
- SOLÍS, R. M. (2005). Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera. *Ingeniería*, 9(1), 13-18. Recuperado el 12 de noviembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46790102.pdf>
- SONGTAO Lv, L. T. (2021). Experimental investigation on the performance of bone glue and crumb rubber compound modified asphalt. *Construction and Building*

- Materials*(305), 124-734. Recuperado el 13 de diciembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821024892>
- SRI, P. y. (2017). Uso de caucho granulado como aditivo en mezclas de hormigón asfáltico. *Procedia Engineering*, 171, 1384-1389. Recuperado el 05 de diciembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817304617>
- TAMAYO, M. (2012). *El Proceso de la Investigación Científica*. México: Limusa.
- VARGAS, Z. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Educación*, 33(1), 155-165. Recuperado el 03 de diciembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- VEGA, G. Á. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. *European Scientific Journal*, 10(5). Recuperado el 04 de diciembre de 2021, de <https://doi.org/10.19044/esj.2014.v10n15p%p>
- WANG, Z. X. (2021). Performance of modified asphalt of rubber powder through tetraethyl orthosilicate (TEOS). *Construction and Building Materials*, 267. Recuperado el 05 de diciembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820330361>
- XIA, C. C. (2021). Swelling and Degradation Characteristics of Crumb Rubber Modified Asphalt during Processing. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-10. Recuperado el 01 de diciembre de 2021, de <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2021/6682905/>
- XIAOPING Wanga, L. H. (2021). Grafting waste rubber powder and its application in asphalt. *Construction and Building Materials*, 271(121881). Recuperado el 05 de diciembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006182033885X#b0015>
- YU, H.-y. D.-s.-y.-y. (2020). Caucho asfáltico caliente: una forma sostenible de reciclar caucho de llantas de desecho. *Journal of Central South University*, 27, 3477-3498. Recuperado el 09 de diciembre de 2021, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11771-020-4467-y>
- ZHANG, J. C. (2021). Evaluation of VOCs inhibited effects and rheological properties of asphalt with high-content waste rubber powder. *Construction and Building*

Materials, 300(124320). Recuperado el 28 de noviembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821020791>

ZHOU, T. Z. (2020). Aging Properties and Mechanism of Microwave-Activated Crumb Rubber Modified Asphalt Binder. *Frontiers in Materials*, 7. Recuperado el 28 de noviembre de 2021, de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmats.2020.603938/full>

ANEXOS

Anexo 01. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Caucho reciclado (Variable independiente)	El caucho es un material que se fabrica mezclando elastómeros con aditivos orgánicos de bajo peso molecular, agentes vulcanizantes y cargas minerales en forma de partículas finas. El caucho reciclado da una referencia a la reutilización del caucho después de su vida útil generando un desarrollo sostenible (Peláez et al, 2017)	La variable será operacionalizada por medio de 3 dimensiones: grano de caucho, temperatura y dosificación. Con el fin de determinar si el caucho reciclado se relaciona con las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca	Grano de caucho	Granulometría, densidad partículas, pesos específico, humedad, % impureza	Ordinal
			Temperatura	Temperatura de mezclado y de incorporación	
			Dosificación	Porcentajes % de aplicación	
Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica (Variable dependiente)	Los asfaltos modificados han sido una técnica estudiada y se ha utilizado en el mundo como un intento de modificar las propiedades de las mezclas de asfalto cuando éstas se prueban a diferentes cargas y condiciones ambientales. En otras palabras, bajo acciones de fuerzas externas (Delgado et al, 2018).	La variable será operacionalizada por medio de 3 dimensiones: Resistencia, deformación y durabilidad. Con el fin de determinar si el caucho reciclado se relaciona con las propiedades mecánicas de la mezcla de asfalto mediante proceso por vía seca	Resistencia	Área, fuerza, relación fuerza área y índice de resistencia	Ordinal
			Deformación	Contenido de asfalto %, vacíos %	
			Durabilidad	Flujo, estabilidad, relación estabilidad-flujo	

Anexo 02. Matriz de Consistencia

Título: Efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Técnica e Instrumentos										
<p>Problema general ¿Cuál es el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca?</p> <p>Problemas específicos: PE.1. ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de los materiales a usar en la mezcla asfáltica? PE.2. ¿Cuáles son los porcentajes de líquido asfáltico para obtener una mezcla asfáltica óptima? PE.3. ¿Cuáles son los resultados de las propiedades mecánicas de resistencia, deformación y durabilidad del asfalto convencional y el asfalto modificado con grano de caucho reciclado? PE.4. ¿En qué medida la incorporación de caucho mediante el proceso de vía seca influirá en el Flujo y Estabilidad de la mezcla asfáltica?</p>	<p>Objetivo general Determinar el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>OE1: Efectuar ensayos de laboratorio para obtener los parámetros de diseño de los agregados. OE2: Determinar los porcentajes de líquido asfáltico para obtener una mezcla asfáltica óptima. OE3: Evaluar las propiedades mecánicas respecto a la resistencia, deformación y durabilidad del asfalto convencional y el asfalto modificado con grano de caucho reciclado. OE.4: Determinar la incorporación de caucho mediante el proceso de vía seca la cual influirá en el Flujo y Estabilidad de la mezcla asfáltica.</p>	<p>Hipótesis general Hi: Se determino es el efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca</p>	<p>Técnica Observación</p> <p>Instrumentos Fichas técnicas de laboratorio</p>										
Diseño de investigación	Población y muestra	Variables y dimensiones											
<p>Tipo: Aplicada Diseño: Experimental</p> <p style="text-align: center;">$M \leftarrow O \dots P$</p> <p><u>Dónde:</u> M = Caucho Reciclado. O = Propiedades Mecánicas. P = Mezcla Asfáltica.</p>	<p>Población La población fue constituida por 24 briquetas de mezcla de asfalto entre convencional y modificadas con caucho granulado, a analizarse en laboratorio mediante el ensayo Marshall.</p> <p>Muestra Para el estudio se usaron 2 distintos diseños de mezcla modificada con caucho granulado en 3 distintos porcentajes con respecto al peso total del asfalto, obteniendo 18 briquetas. A estas se le sumaron 06 briquetas de las mezclas convencionales como base para poder analizar el comportamiento de la adición de caucho reciclado. Teniendo un total de 24 briquetas.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Variable</th> <th style="width: 50%;">Dimensiones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Caucho reciclado (Variable independiente)</td> <td style="text-align: center;">Grano de caucho</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Temperatura</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Dosificación</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica (Variable dependiente)</td> <td style="text-align: center;">Resistencia</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Deformación</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Durabilidad</td> </tr> </tbody> </table>		Variable	Dimensiones	Caucho reciclado (Variable independiente)	Grano de caucho	Temperatura	Dosificación	Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica (Variable dependiente)	Resistencia	Deformación	Durabilidad
Variable	Dimensiones												
Caucho reciclado (Variable independiente)	Grano de caucho												
	Temperatura												
	Dosificación												
Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica (Variable dependiente)	Resistencia												
	Deformación												
	Durabilidad												

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN QUE MIDE

Efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca.

Instrumento de evaluación : FICHA TÉCNICA CONVENCIONAL (MTC E 205, MTC E 209, MTC E 110, MTC E 111, ASTM D1559, AASHTO T245)

Autor de instrumento : Willie Orlando Ramírez Ruiz

Nº	VARIABLES / DIMENSIONES / INDICADORES	PERTINENCIA ¹		RELEVANCIA ²		CLARIDAD ³		SUGERENCIAS
	VARIABLES INDEPENDIENTE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	
	DIMENSION 1							
1	- Grano de caucho	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	
	DIMENSION 2							
	- Temperatura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	
2	DIMENSION 3							
	- Dosificación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	
	VARIABLE DEPENDIENTE							
	DIMENSION 1							
1	- Resistencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	
	DIMENSION 2							
2	- Deformación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	
	DIMENSION 3							
3	- Durabilidad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> NO	

 Opinión de aplicabilidad: **Aplicable** [] **Aplicable después de corregir** [] **No aplicable** []


Apellidos y nombres del juez validador. Ing.: EDWARD ALLAN RAMIREZ RUIZ con DNI: 18126947

Especialidad del validador: Suelos y Pavimentos

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.



EDWARD ALLAN RAMIREZ RUIZ
 INGENIERO CIVIL
 CP. 92634

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN QUE MIDE

Efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca.

Instrumento de evaluación : FICHA TÉCNICA CONVENCIONAL (MTC E 205, MTC E 209, MTC E 110, MTC E 111, ASTM D1559, AASHTO T245)

Autor de instrumento : Willie Orlando Ramírez Ruiz

Nº	VARIABLES / DIMENSIONES / INDICADORES	PERTINENCIA ¹		RELEVANCIA ²		CLARIDAD ³		SUGERENCIAS
	VARIABLES INDEPENDIENTE	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
	DIMENSION 1							
1	- Grano de caucho	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
	DIMENSION 2							
	- Temperatura	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
2	DIMENSION 3							
	- Dosificación	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
	VARIABLE DEPENDIENTE							
	DIMENSION 1							
1	- Resistencia	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
	DIMENSION 2							
2	- Deformación	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
	DIMENSION 3							
3	- Durabilidad	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	

Opinión de aplicabilidad:

 Aplicable []

 Aplicable después de corregir []

 No aplicable []


Apellidos y nombres del juez validador. Ing.: TOMAS EDINSON RUIZ GARCIA con DNI: 18065868

Especialidad del validador: Suelos y Pavimentos

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.



 TOMAS EDINSON RUIZ GARCIA
 INGENIERO CIVIL
 CIP 20860

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN QUE MIDE

Efecto del caucho reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca.

Instrumento de evaluación : FICHA TÉCNICA CONVENCIONAL (MTC E 205, MTC E 209, MTC E 110, MTC E 111, ASTM D1559, AASHTO T245)

Autor de instrumento : Willie Orlando Ramírez Ruiz

Nº	VARIABLES / DIMENSIONES / INDICADORES	PERTINENCIA ¹		RELEVANCIA ²		CLARIDAD ³		SUGERENCIAS
	VARIABLES INDEPENDIENTE	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	—
	DIMENSION 1							
1	- Grano de caucho	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	—
	DIMENSION 2							
	- Temperatura	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	—
2	DIMENSION 3							
	- Dosificación	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	—
	VARIABLE DEPENDIENTE							
	DIMENSION 1							
1	- Resistencia	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	—
	DIMENSION 2							
2	- Deformación	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	—
	DIMENSION 3							
3	- Durabilidad	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	—

 Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir [] No aplicable []


Apellidos y nombres del juez validador. Ing.: GUSTAVO EUFEMIO LOZANO SANCHEZ con DNI: 41118260

Especialidad del validador: Suelos y Pavimentos

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.



Gustavo Lozano Sánchez
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 96769

Anexo 04. Registro fotográfico



Toma 1. Recolección de arena gruesa triturada.



Toma 2. Recolección de piedra.



Toma 3. Planta asfalto caliente, recolección de pen 60/70.



Toma 4. Grano de caucho reciclado y agregados.



Toma 5. Tamizado de agregados.



Toma 6. Mezcla de agregados.



Toma 7. Llenado de briqueta.



Toma 8. Apisonado de briqueta.



Toma 09. Pesado de briqueta al aire.



Toma 10. Pesado de briqueta en agua.



Toma 11. Pesado de briqueta al aire.



Toma 12. Ensayo Marshall