



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa
de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos

2021

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Serrano Medina, Luis Jesús (ORCID: 0000-0002-4463-5337)

ASESOR:

Mag. Contreras Velásquez, José Antonio (ORCID: 0000-0001-5630-1820)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios quien fue mis fuerzas necesarias y por estar con nosotros en cada paso que damos, por ayudarme a fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en nuestro camino a personas que han sido nuestro soporte y compañía durante el periodo de estudio del presente proyecto, por su incondicional apoyo para lograr nuestro sueño de ser ingeniero civil.

A mi querida familia y amigos, por haberme guiado y animado a alcanzar mi meta pese a las trabas encontradas y que siempre estuvieron dispuestos para brindarme todo su apoyo y comprensión y darnos aliento para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por permitirme seguir avanzando con mis sueños y metas para convertirme en INGENIERO CIVIL.

A mi familia, por el apoyo incondicional que me ha brindado en todo ese tiempo.

Al docente, por sus enseñanzas y por su guía.

Y finalmente, agradecer a la Universidad César Vallejo, por acogerme como estudiante y formarme profesionalmente.

Índice de contenidos

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
Índice de contenidos	v
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de la investigación	14
3.2. Variables y operacionalización	15
3.3. Población, muestra y muestreo	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.5. Procedimientos.....	19
3.6. Métodos de análisis de datos	20
3.7. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS	21
4.1. Zona de estudio.....	21
4.2. Trabajos previos.....	21
4.3. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera Punta Hermosa, así como del asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos para ser utilizados en la subbase de un pavimento flexible.....	31
4.4. Desempeño mecánico de un geocilindro conformado por una llanta rellena con agregados, para su posible implementación en el pavimento	

flexible de la Av. prolongación Huaylas – Chorrillos.....	43
4.5. Capacidad de soporte de la subbase de un pavimento flexible con la inclusión de los geocilindros, Chorrillos 2021.....	49
V. DISCUSIÓN.....	52
VI. CONCLUSIONES	54
VII. RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS	56
ANEXOS.....	62

Índice de tablas

Tabla 1. Ensayos para la muestra de investigación	16
Tabla 2. Validación de los instrumentos de recolección de datos	17
Tabla 3. Niveles de confiabilidad	18
Tabla 4. Requerimientos de calidad para Sub-Base Granular	22
Tabla 5. Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular	23
Tabla 6. Resultados del análisis granulométrico del afirmado fino	31
Tabla 7. Resultados del análisis granulométrico del afirmado grueso	32
Tabla 8. Resultados del análisis granulométrico del RAP muestra 1	33
Tabla 9. Resultados del análisis granulométrico del RAP global	34
Tabla 10. Resultados del ensayo de Abrasión de Los Ángeles del afirmado	35
Tabla 11. Resultados del ensayo de Abrasión de Los Ángeles del RAP	36
Tabla 12. Resultados del ensayo CBR del afirmado	36
Tabla 13. Resultados del ensayo CBR del RAP	37
Tabla 14. Contenido de humedad del afirmado	38
Tabla 15. Resultados del límite líquido del afirmado	38
Tabla 16. Contenido de humedad del RAP	38
Tabla 17. Resultados del límite líquido del RAP	39
Tabla 18. Resultados del límite plástico del afirmado	39
Tabla 19. Resultados del límite plástico del RAP	39
Tabla 20. Resultados del equivalente de arena del afirmado	40
Tabla 21. Resultados del ensayo de sales solubles del afirmado	40
Tabla 22. Cantidad de partículas chatas, alargadas o chatas y alargadas en el afirmado	41
Tabla 23. Cantidad de partículas chatas, alargadas o chatas y alargadas en el RAP	42
Tabla 24. Resultados Viga Benkelman en el terreno natural	46
Tabla 25. Resultados Viga Benkelman neumático con suelo natural	47
Tabla 26. Resultados Viga Benkelman neumático con afirmado	48
Tabla 27. Resultados Viga Benkelman neumático con RAP	48
Tabla 28. Resultados del ensayo PDC en el terreno natural	50
Tabla 29. Resultados del ensayo PDC neumático con suelo natural	50

Tabla 30. Resultados del ensayo PDC neumático con afirmado	50
Tabla 31. Resultados del ensayo PDC neumático con RAP1	50
Tabla 32. Resultados del ensayo PDC neumático con RAP2.....	51
Tabla 33. Resultados del ensayo PDC neumático con RAP3.....	51

Índice de figuras

Figura 1. Cámara de pruebas	6
Figura 2. Instalación de los sistemas de reforzamiento en los taludes de prueba, izq. geoceldas y dcha. Llantas de desecho	6
Figura 3. Mechanical Cement® (izq.) y Mechanical Concrete® (dcha.).....	7
Figura 4. Estructura del pavimento flexible.....	10
Figura 5. Comportamiento del suelo a) no reforzado y b) reforzado con geoceldas	12
Figura 6. Efecto de dispersión del esfuerzo vertical debido al reforzamiento con geoceldas.....	13
Figura 7. Ubicación de la zona de estudio.....	21
Figura 8. Agregado de la cantera de Punta Hermosa.....	21
Figura 9. Agregado reciclado de la Municipalidad de Chorrillos	22
Figura 10. Pesaje del material para el análisis granulométrico.....	24
Figura 11. Cuarteo del material para el análisis granulométrico	24
Figura 12. Ensayo granulométrico.....	25
Figura 13. Preparación del material para el ensayo de abrasión	26
Figura 14. Ensayo de Abrasión de Los Ángeles	26
Figura 15. Ensayo CBR	27
Figura 16. Determinación del Límite Líquido	28
Figura 17. Ensayo de partículas chatas y alargadas	30
Figura 18. Curva granulométrica del afirmado fino	32
Figura 19. Curva granulométrica del afirmado grueso.....	33
Figura 20. Curva granulométrica del RAP muestra 1	34
Figura 21. Curva granulométrica del RAP global.....	35
Figura 22. Resultados del ensayo CBR del afirmado	37
Figura 23. Resultados del ensayo CBR del RAP.....	37
Figura 24. Corte de las llantas	43
Figura 25. Preparación del terreno.....	44
Figura 26. Geocilindros con RAP	44
Figura 27. Geocilindros con afirmado.....	45
Figura 28. Superficie de prueba	45

Figura 29. Deflexiones en el terreno natural.....	47
Figura 30. Deflexiones en el sistema neumático - suelo natural.....	47
Figura 31. Deflexiones en el sistema neumático - afirmado	48
Figura 32. Deflexiones en el sistema neumático - RAP.....	49

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado con la finalidad de estudiar los “Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021”, en esta tesis, se sometió a prueba el método de mejoramiento vial, desarrollado y patentado por el Ingeniero Civil Samuel G. Bonasso (Mechanical Concrete®) galardonado por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles, ASCE, como la idea de ingeniería ecológica más factible de 2016 en su concurso de “Infrastructure Grand Challenge Innovation Contest” (innovación del gran desafío de infraestructura), este método de singular ingenio, confina todo tipo de materiales agregados en un geocilindro de acero autoportante independiente, similar a una sola geocelda que mejora la resistencia, estabilidad y economía.

El geocilindro proviene de los neumáticos reciclado de automóviles, mediante un proceso mecánico, son retiradas las paredes laterales dejando la banda de rodamiento o geocilindro, este elemento se apila en forma de colmena, para luego ser rellenado con agregados triturados con el objetivo de mejorar los problemas presentados por las superficies débiles de subbase compuesta por estratos de características blandas de los suelos naturales que conforman la vialidad.

Palabras clave: geocilindro, caucho, subbase, pavimento.

ABSTRACT

The present research work was carried out in order to study the "Effects of the reuse of recycled tires as an alternative to improve the flexible pavement subbase, Chorrillos 2021", in this thesis, the road improvement method was tested, developed and patented by Civil Engineer Samuel G. Bonasso (Mechanical Concrete®) awarded by the American Society of Civil Engineers, ASCE, as the most feasible green engineering idea of 2016 in his "Infrastructure Grand Challenge Innovation Contest" (innovation of the great infrastructure challenge), this method of singular ingenuity, confines all types of aggregate materials in an independent self-supporting steel geocylinder, similar to a single geocell that improves strength, stability and economy.

The geocylinder comes from recycled automobile tires, through a mechanical process, the side walls are removed, leaving the tread or geocylinder, this element is stacked in the form of a beehive, to then be filled with crushed aggregates in order to improve the problems presented by the weak subbase surfaces composed of strata with soft characteristics of the natural soils that make up the road.

Keywords: geocylinder, rubber, subbase, pavement.

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los desperfectos que presentan las vías, se deben al uso y las fuerzas de carga a las cuales se las somete, se puede inferir que el conjunto de fallas se origina principalmente por la mala calidad de los estratos que conforman el suelo natural. Otra variable es el factor económico, en algunos casos se proyecta con una metodología no tan acertada, carente de estudios y sin técnica constructiva, se presupuesta y se solicitan los recursos a los entes financieristas, pero cuando se avanza la tipología del terreno es otra y el presupuesto tiende a incrementarse, quedando para otra fase la resolución (Sosa et al., 2010).

La Avenida Prolongación, uno de los principales conectores entre Huaylas y Chorrillos, presenta un alto grado de deterioro en especial en la calzada con dirección sur. La composición de los estratos que conforman esta avenida Chorrillos, se podría inferir que son de características blandas por la presencia de grandes porcentajes de limos y arcillas, estos agregados finos son susceptibles a cambios bruscos de su estructura cuando su porcentaje de humedad se incrementa (Gutiérrez, 2018). Ese almacenamiento de agua causa una reacción de hinchamiento al aumentar el tamaño de las partículas de arcilla, en una proporción de más de 50 cincuenta veces al volumen inicial, este efecto en la mecánica de suelo, es conocido como esponjamiento del suelo (Sondon, 2016).

La subbase de un pavimento a menudo se ve afectado por ese efecto, las fuerzas de supresión deforman la carpeta causando baches, grieta, oquedades, entre otros. Al secarse el agua baja el volumen, el suelo pierde la cohesión tornando a los estratos blandos y propensos a sufrir deformaciones. El sobrepeso de los camiones de carga es otro factor que influye en el deterioro de las vías, en algunos casos los trenes de carga superan, la fuerza de diseño del pavimento y la resistencia al aplastamiento se transmite a la subbase, que al verse sometida a grades esfuerzos se debilita, causando la deformación que se convierte en una oquedad (Alvarez et al., 2019).

Las bases estadísticas revelan que, a nivel mundial se generan anualmente aproximadamente 1.400 millones de llantas de desecho. La Nación Peruana se encuentra entre los principales consumidores de este artículo, con un gasto anual de entre 410 y 455 millones de soles en la compra de neumáticos, así como de materia prima para su fabricación, debido al crecimiento anual de su parque automotor (Pozo y Pujaco, 2019). En torno a esta problemática el Ministerio de Ambiente del Perú, reporta que la nación solo recicla el 1.9% de los residuos sólidos re aprovechables, entre los cuales se encuentran los neumáticos de vehículos, los cuales pueden ser reutilizados en la construcción de infraestructura vial, como han demostrado varios estudios (Ministerio del Ambiente, 2018).

El uso de técnicas constructivas innovadoras podrá ayudar al mantenimiento y construcción de nuestra infraestructura vial, con sistemas ecológicos de bajo impacto ambiental. Precisamente entre dichas técnicas se encuentra el método Mechanical Concrete®, una Teoría de Conocimiento Compartido (T.D.C), desarrollada por el Ingeniero Civil Samuel G. Bonasso. Este método está diseñado para soportar fuerzas de compresiones generadas por los trenes de carga, resistiendo la presión lateral del suelo, mediante un geocilindro formado por una llanta llena de agregados de piedra triturada de distintas granulometrías, de acuerdo a las características mecánicas que se desean mejorar de suelo a intervenir, optimizando las condiciones de resistencia a la carga de rodadura de los vehículos que transitan por la vía (Honrubia, 2020).

La baja frecuencia en el mantenimiento vial incrementa también el deterioro de las vías, puesto que el no corregir esta situación a tiempo aumenta significativamente el riesgo de accidentes viales, pérdidas de vidas humanas, pérdidas económicas y pérdidas materiales. El estado debe involucrarse, a corto, mediano y largo plazo en el desarrollo de nuevas técnicas constructivas, además del aprovechamiento de residuos provenientes del reciclaje, que ayuden en la transformación de los sistemas viales de la nación, con la implementación de una innovadora política de mantenimiento que incluya el uso de neumáticos. A través de ello se establecerá políticas de sustentabilidad en las vías que unen las rutas comerciales y turísticas, además de la interrelación entre las distintas zonas comerciales del territorio del

Perú, aumentando el intercambio de posesiones y servicios, con sistemas de bajo impacto ambiental (Segovia y Paco, 2020).

Es por ello que en esta investigación se ha planteado el siguiente **problema general**: ¿Cuáles son los efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021?, así como los siguientes **problemas específicos**: ¿Los agregados de la cantera Punta Hermosa y el asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos cumplen con los requisitos para ser utilizados en la subbase de un pavimento flexible, Chorrillos 2021?. ¿Cómo es el desempeño mecánico de un geocilindro conformado por una llanta rellena con agregados naturales y asfalto reciclado para su posible implementación en el pavimento flexible de la Av. Prolongación Huaylas Chorrillos, Chorrillos 2021? ¿Cuál es la capacidad de soporte de la subbase de un pavimento flexible con la inclusión de los geocilindros, Chorrillos 2021?

Este proyecto se logrará con base en datos e información verdadera y exacta, siguiendo los procesos y normas pertinentes, para así lograr establecer las medidas para incorporar de manera correcta el caucho y los agregados, para formar los geocilindros como una opción apropiada para optimizar tiempo y recursos en la elaboración de la subbase de pavimentos flexibles.

La **justificación técnica** radica en ampliar los conocimientos disponibles sobre el uso de geocilindros para mejorar el desempeño y el estado de conservación de la subbase de pavimentos flexibles. El método constructivo abordado en la presente tesis no sólo es aplicable para obras de pavimento flexible, por lo que la **justificación metodológica** consiste en que se puede replicar en otras investigaciones que cumplan con las variables aquí propuestas.

Las prácticas constructivas tradicionales de la subbase sumadas a pocos mantenimientos de los pavimentos flexibles, generalmente se traducen en un deterioro temprano de los mismos, por lo que se necesita invertir considerables sumas de dinero en continuas reparaciones, por ello la **justificación económica** de este estudio, sería el conseguir mediante el método propuesto la disminución de

recursos económicos en el diseño de sistemas viales. Finalmente, la **justificación ambiental** se presenta con la reutilización de los neumáticos desechados, para poder con esto mitigar de alguna manera la contaminación ambiental producida por la excesiva acumulación de estos elementos.

Objetivos:

Para el correcto desarrollo de la investigación se ha propuesto **objetivo general:** Identificar los efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021. Mientras que como **objetivos específicos:** Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera Punta Hermosa, así como del asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos para ser utilizados en la subbase de un pavimento flexible, Chorrillos 2021. Evaluar el desempeño mecánico de un geocilindro conformado por una llanta rellena con agregados naturales y asfalto reciclado, para su posible implementación en el pavimento flexible de la Av. prolongación Huaylas – Chorrillos, Chorrillos 2021. Analizar la capacidad de soporte de la subbase de un pavimento flexible con la inclusión de los geocilindros, Chorrillos 2021.

Hipótesis:

De la misma manera se ha planteado como **hipótesis general:** La reutilización de llantas recicladas mejoraría el comportamiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021. Y como **hipótesis específicas:** Los agregados de la cantera Punta Hermosa, así como el asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos presentan las propiedades físicas y mecánicas óptimas para ser utilizados en la subbase de un pavimento flexible, Chorrillos 2021. Un geocilindro conformado por una llanta rellena con agregados naturales y asfalto reciclado presentaría un desempeño mecánico óptimo para ser implementado en el pavimento flexible de la av. prolongación Huaylas – Chorrillos, Chorrillos 2021. La inclusión de los geocilindros incrementaría la capacidad de soporte de la subbase de un pavimento flexible, Chorrillos 2021.

II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes internacionales

La investigación del uso de llantas desechadas como material de reforzamiento de suelos, inició en Francia alrededor del año 1976 y fue exactamente en el *Laboratoire central des ponts et chaussées* quienes presentaron un modelo denominado *Pneusol* formado por una combinación de llantas y suelo, “con el cual demostraban una reducción de la presión activa del terreno en muros de contención, reducción de la vibración en la estructura, reducción relativa de costos y accesibilidad al material” (Guaje, 2020, p. 10). En cuanto a la investigación del uso de celdas de confinamiento se conoce que:

Li et al. (2019) desarrollaron una investigación con el **objetivo** de estudiar la viabilidad de utilizar llantas de desecho como material de refuerzo tridimensional, para lo cual mediante una **metodología** experimental elaboraron modelos de terraplenes reforzados, en un caso con geoceldas y en otro con neumáticos para realizar una comparación de los rendimientos obtenidos. Los modelos elaborados tenían, además, diferentes características como: profundidades de empotramiento de las celdas, número de capas de celdas, espaciamiento vertical entre capas de celdas y densidad o rigidez del suelo. Después de fabricados los modelos fueron sometidos a pruebas, que consistieron en aplicar presión en la cresta del terraplén y monitorear la distribución de la presión, así como las deformaciones verticales y horizontales al interior del terraplén. Los **resultados** demostraron que, una profundidad de empotramiento y un espaciado óptimo entre capas de refuerzo de geoceldas permite mejorar el rendimiento del terraplén, así como, que el refuerzo reduce la tensión vertical en los terraplenes y permite que se generen menos asentamientos y deformaciones horizontales. **Concluyendo** finalmente que, el reforzamiento con llantas de desecho tiene un desempeño superior por sobre el otro tipo de reforzamiento, el cual es más notorio si el relleno utilizado en el terraplén tiene menor rigidez (densidad).



Figura 1. Cámara de pruebas
Fuente: (Li et al., 2019)



Figura 2. Instalación de los sistemas de reforzamiento en los taludes de prueba, izq. geoceldas y dcha. Llantas de desecho
Fuente: : (Li et al., 2019)

Huang et al. (2021) llevaron a cabo una investigación con el **objetivo** de desarrollar un nuevo modelo de ensayo, capaz de realizar pruebas de congelación-descongelación además de pruebas de carga en suelos reforzados con geoceldas, debido a que este fenómeno es una de las causas principales de desestabilización de los pavimentos en regiones frías, para lo cual se opta por utilizar geoceldas para reforzar el material de la base de los pavimentos, para mitigar los daños. Sin embargo, el comportamiento de bases reforzadas con geoceldas ante congelación-descongelación se ha estudiado de manera limitada, probablemente debido a la falta de dispositivos adecuados para llevar a cabo ensayos experimentales. Es por ello por lo que mediante una **metodología** netamente numérica los autores desarrollaron un modelo termodinámico para simular las condiciones de

congelación-descongelación, con ello se realizaron once pruebas en arenas reforzadas y no reforzadas con geoceldas. Los **resultados** mostraron que después de cinco ciclos de congelación-descongelación, las geoceldas efectivamente contribuyeron a reducir el levantamiento máximo por heladas y el asentamiento por descongelación en las arenas en un 18% y 34% respectivamente, así como también aumentaron la rigidez y la capacidad de carga de las arenas en un 40% y 253% respectivamente. **Concluyendo** finalmente que el dispositivo funcionó con éxito.

Con respecto al uso de llantas desechadas para la construcción de pavimentos, el Ingeniero Civil Samuel G. Bonasso, presentó un estudio del comportamiento de estas como elementos confinantes de agregados naturales gruesos, patentando al cilindro como Mechanical Cement® y a su sistema de agregados confinados como Mechanical Concrete®, cuyo esquema se aprecia en las Figura 3. De acuerdo a Bonasso (2008), los agregados confinados (CA) en un cilindro de pared delgada generalmente se compara y contrasta con el cemento portland, en el sentido de que el sistema CA es un hormigón seco, en el cual el confinamiento lateral está dado únicamente por el dispositivo cilíndrico y no necesita de cemento, agua y arena, además de que el cilindro y los agregados se acoplan formando una celda unificada tridimensional circular resistente a cargas y que puede estar compuesta por una o varias unidades celulares dispuestas formando capas o apiladas como columnas.



Figura 3. Mechanical Cement® (izq.) y Mechanical Concrete® (dcha.)
Fuente: (Bonasso, 2008)

Antecedentes nacionales

Con respecto a investigaciones acerca del mejoramiento de las diversas capas que conforman un pavimento flexible, es posible mencionar a: Mattos y Vásquez (2019), quienes tuvieron como **objetivo** investigar para el caso particular de un suelo arcilloso, el beneficio de la aplicación del sistema de confinamiento celular mediante geoceldas al nivel de la subrasante, para poder llevar a cabo el diseño de un pavimento flexible con menores espesores de las diferentes capas granulares y a la vez obtener propiedades mecánicas mejoradas. Para ello, recurriendo a una **metodología** experimental tomaron como punto de estudio la ciudad de Requena en la región de Loreto, en la cual utilizando el método de diseño AASHTO 1993, llevaron a cabo el diseño del proyecto vial. Se incluyó la utilización de geoceldas elaboradas con Neoloy una nueva aleación polimérica conocida también por las siglas NPA, que ha demostrado un desempeño superior a las geoceldas elaboradas con HDPE (High Density Poly Ethylene) en términos de expansión térmica, durabilidad y resistencia al creep (Venkateswarlu y Hegde, 2020). Los **resultados** demostraron que, debido al efecto de confinamiento lateral brindado por la geocelda en la subrasante, se mejoran también la subbase y base del pavimento, con un incremento de aproximadamente el 40% del módulo de elasticidad, se incrementa también la capacidad de carga, así como disminuyen las deflexiones un 4.13%, además de una reducción en los costos del 10.52%. Se **concluyó** finalmente, que deben realizarse investigaciones complementarias en las que se estudie también otros aspectos como el ambiental, antes de seleccionar cualquier material de mejoramiento de un pavimento.

Con respecto a la inclusión de neumáticos reciclados en las vías, en el Perú las investigaciones se han limitado a la utilización de este material de manera triturada, ya sea en la mezcla asfáltica o alguna de las capas granulares de los pavimentos flexibles, es así que por mencionar un ejemplo encontramos en la ciudad de Cajamarca a Cusquisibán (2014), quien desarrolló su proyecto de titulación con el **objetivo** de mejorar el suelo arcilloso de la carretera Porongo – Sebastián Díaz Marín – Zarate Miranda y Chachapoyas en el distrito de Baños del Inca, mediante la inclusión de partículas granulares de caucho de neumáticos reciclados. Para lo

cual y recurriendo a una **metodología** experimental en campo se extrajeron calicatas en un tramo de 3.519m a una profundidad de 1.50m, a las cuales se analizó, los **resultados** reflejaron que en la zona el suelo está conformado por arcillas de plasticidad media y arcillas limosas con contenido orgánico de plasticidad baja, por lo que no son recomendados como material de subrasante o base. A continuación, se procedió a incorporar las partículas de caucho en un 20%, 40% y 60% en las muestras de suelo y se encontró que el CBR mejoró del 7.1% hasta alcanzar valores del 41%, por lo tanto, se **concluyó** que con una inclusión del 60% de caucho reciclado es posible obtener una mezcla con buenas características para ser utilizada como material de subrasante de un pavimento, conforme a lo indicado por el Manual de Carreteras "Suelos, geología, Geotecnia y Pavimentos".

Bases teóricas

Estructura de pavimentos flexibles, los pavimentos son diseñados principalmente, con la función de distribuir las cargas concentradas producto del tráfico vehicular, de manera que la capacidad de soporte de cada una de las capas no se exceda, además de proveer una superficie de rodadura de calidad y segura ante cualquier condición climática. Los pavimentos flexibles, son aquellas estructuras que se cuya estructura está compuesta por una o más capas de material granular, el cual, a su vez puede ser mezclado con materiales asfálticos para lograr mayores resistencias y mejores superficies de rodadura. Se diferencian principalmente de los pavimentos rígidos, en que estos últimos tienen una losa de hormigón en su parte superior, por lo que los esfuerzos se transmiten de manera diferente (Valdés y Alonso, 2017).

La estructura del pavimento flexible está conformada por la superficie de rodadura o carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante, como se puede observar en la Figura 4.

La carpeta asfáltica, soporta de manera directa las cargas del tránsito y tiene la función estructural en el pavimento de absorber los esfuerzos que se producen en el plano horizontal y parte de los del plano vertical.

La base, se ubica a continuación de la carpeta asfáltica y absorbe la mayoría de los esfuerzos verticales “de modo que su rigidez o resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado” (Zambrano y Tejeda, 2019, pp. 2-3). La base puede estar formada por material granular natural para el caso de tránsito de ligero a medio, sin embargo, para tránsito pesado ya es común que el material granular sea tratado con algún material cementante.

La subbase, está localizada inmediatamente debajo de la base y por encima de la subrasante, proporcionando un apoyo a la base para que esta sea adecuadamente colocada y compactada, generalmente la subbase está formada por materiales granulares, los cuales pueden ser suelos, materiales cribados o parcialmente triturados y suelos estabilizados.

la subrasante, es la capa que soporta al resto del pavimento, puede estar formada únicamente por la superficie del terreno o por un material mejorado y compactado para mejorar sus características estructurales (Zambrano y Tejeda, 2019).

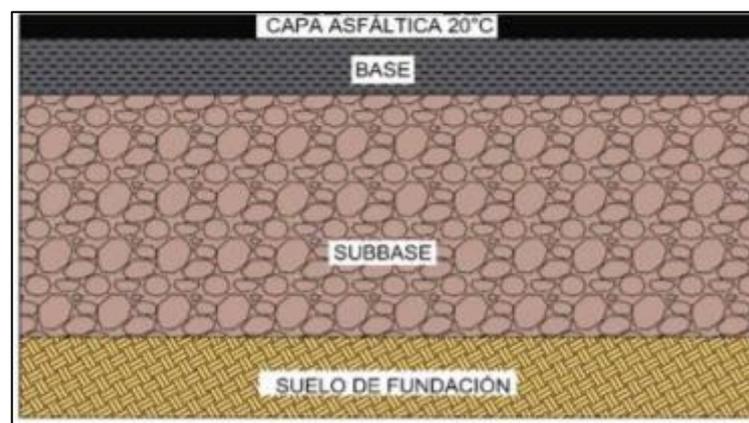


Figura 4. Estructura del pavimento flexible
Fuente: (Gaertner, Staub De Melo y Villena, 2019)

Desempeño de materiales en la estructura de pavimentos, la estructura de un pavimento se caracteriza por tener un comportamiento mecánico con una serie de atributos particulares, entre los cuales se destacan: capacidad de soporte, energía y humedad óptima de compactación, módulo de resiliencia, permeabilidad, capacidad de deflexión, esfuerzo-deformación y módulo elástico.

Capacidad de soporte, es la capacidad de soportar las cargas vehiculares y se considera una de las propiedades predominantes en el comportamiento de un pavimento.

Energía y humedad óptima de compactación, la humedad óptima es el contenido de humedad necesaria para lograr la densidad óptima cuando se le compacte, mientras que la energía de compactación es la energía requerida “para poder forzar el desplazamiento de las partículas, reduciendo el aire en la mezcla, hasta una condición óptima donde se consiga la mejor capacidad de soporte y resistencia de la capa granular” (Guaje, 2020, p. 20).

Módulo de resiliencia, es la relación que se forma entre los esfuerzos dinámicos y las deformaciones resilientes, siendo estas últimas aquellas deformaciones elásticas en las cuales la estructura se recupera instantáneamente.

Permeabilidad, es la característica mediante la cual un pavimento tiene una serie de vacíos continuos en su estructura, lo que le permite asegurar un adecuado drenaje de cualquier clase de fluidos.

Capacidad de deflexión, hace referencia a la capacidad de deformarse ante la presencia de cargas sin agrietarse excesivamente (Chávez et al., 2020).

Confinamiento lateral de agregados granulares, el confinamiento de los agregados pétreos, ya sea en geoceldas o neumáticos como es el caso de estudio de este trabajo de investigación, genera un efecto que se caracteriza principalmente en que tanto el movimiento lateral como vertical se restringe, debido a la fricción que se genera entre la pared de la celda confinante y el material de relleno, mediante pruebas de compresión triaxial se ha demostrado que el efecto de confinamiento depende del tamaño, forma, módulo elástico y número de celdas, evidenciándose mayor en celdas confinantes circulares (Mendoza, 2020).

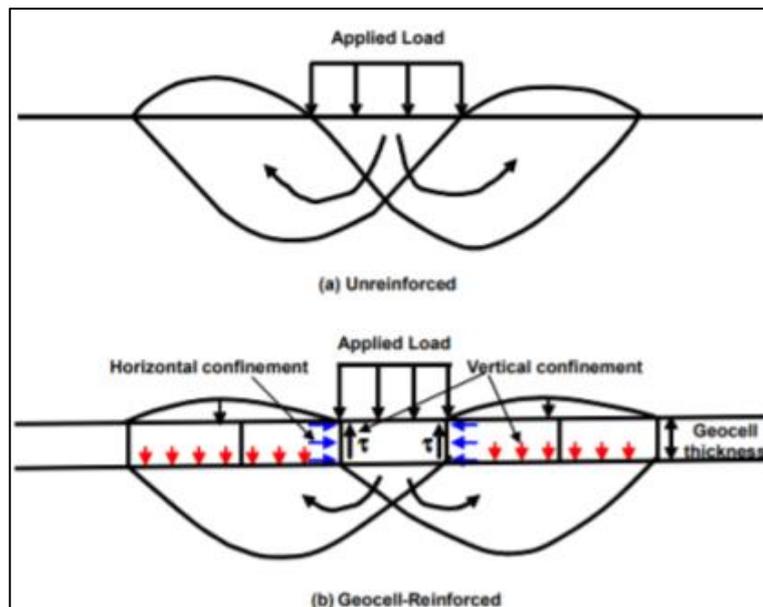


Figura 5. Comportamiento del suelo a) no reforzado y b) reforzado con geoceldas
Fuente: (Mendoza, 2020)

Efecto de membrana tensionada, se refiere a la tensión que se genera en la geocelda cuando se curva para resistir cargas verticales y con ello se genera un incremento en la capacidad resistente del pavimento, reduciendo los esfuerzos que debe soportar la subrasante. Esto se produce por la rigidez del material confinante, que ejerce una fuerza hacia arriba y reduce el esfuerzo en los estratos inferiores (Avesani, 2019).

Distribución de esfuerzos, de acuerdo a Shin, Kang y Park (2017), la fricción entre el material de confinamiento y el relleno, genera una interacción, producto de la cual el sistema de confinamiento actúa como una plataforma que redistribuye la carga que se encuentra soportando en un área más amplia, por lo tanto la presión en la subrasante es menor si se compara con estructuras construidas sin este sistema de reforzamiento.

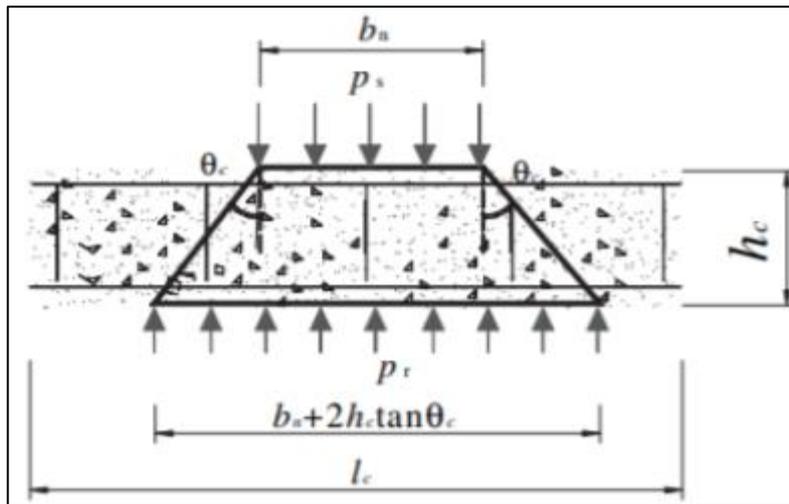


Figura 6. Efecto de dispersión del esfuerzo vertical debido al reforzamiento con geoceldas
Fuente: (Mendoza, 2020)

Incremento en la rigidez y capacidad portante del suelo reforzado, la combinación del efecto de confinamiento, efecto de membrana tensionada y la distribución de esfuerzos, genera en el pavimento un mejor comportamiento mecánico, es así que, la capacidad portante última de la estructura puede llegar a ser hasta 8 veces mayor. Además, la rigidez de la base de tipo granular puede incrementar hasta 2 veces y su capacidad de soporte hasta 2.5 veces (Shin, Kang y Park, 2017).

Llantas como elementos confinantes, las llantas para ser utilizadas como elementos confinantes muestran un alto desempeño; debido a su flexibilidad, resistencia y capacidad volumétrica, además de que por su naturaleza elástica, permiten altas deformaciones, resistencia al desgaste y a los esfuerzos de compresión y tensión (Guaje, 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Tipo

La investigación aplicada se vale del conocimiento disponible, con el objetivo de generar aplicaciones que sean de interés social (Colomé y Femenia, 2018). Es por ello por lo que esta investigación es de tipo aplicada, ya que, se buscó contribuir con alternativas para disminuir el impacto ambiental que genera la acumulación de llantas desechadas, a la vez que el prototipo se podría aplicar en la Av. prolongación Huaylas – Chorrillos y mejorar la transitabilidad por dicha avenida.

Diseño

El diseño de esta investigación es experimental. En una investigación experimental se lleva a cabo un proceso, en el cual se somete a un grupo de individuos (muestra) a determinadas condiciones, para observar los efectos que se producen. Es decir, el propósito de este tipo de investigación es “demostrar que los cambios en la variable dependiente fueron causados por la variable independiente” (Arias, 2016, p. 34).

Nivel

En la investigación explicativa se determinan una serie de hipótesis y es mediante la prueba de esas hipótesis que se determina las relaciones existentes entre las variables de estudio (Colomé y Femenia, 2018). Esta investigación es de tipo explicativa, pues mediante la demostración de las hipótesis planteadas, se buscó identificar los efectos de la reutilización de llantas recicladas como una alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles.

Enfoque

La investigación cuantitativa permite describir el fenómeno de estudio mediante la construcción de un prototipo, que permitirá tomar una serie de mediciones en torno a las variables definidas (Colomé y Femenia, 2018). Esta investigación es de tipo cuantitativa, debido a que se elaboró un prototipo del modelo Mechanical Concrete® para estudiar los efectos del confinamiento lateral.

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente: Geocilindros

Es el elemento formado por una llanta llena de agregados de piedra triturada de distintas granulometrías (naturales o reciclados), de acuerdo a las características mecánicas que se desean mejorar del suelo a intervenir, este sistema optimiza las condiciones de resistencia a la carga de rodadura de los vehículos que transitan por la vía (Honrubia, 2020). En esta investigación se utilizan como geocilindros, neumáticos reciclados (como elementos confinantes) rellenos de agregados naturales (arena gruesa de 2" como afirmado) provenientes de la cantera de Punta Hermosa, así como con asfalto reciclado (RAP) provisto por la Municipalidad de Chorrillos.

Variable 2: Mejoramiento de la subbase de un pavimento flexible

De acuerdo al Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) "a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos" (p. 89), se puede lograr el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo. Dicho mejoramiento puede llevarse a cabo en cualquiera de las capas que conforman un pavimento flexible. En esta investigación el mejoramiento de la subbase dependerá del desempeño de los geocilindros como reemplazo de la subbase granular tradicional de un pavimento flexible.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

La población es un conjunto generalmente finito de elementos (aunque también podría serlo infinito), que tienen en común una serie de características, se delimita en función de los problemas de investigación y los objetivos (Arias, 2016). La población de interés para esta investigación son los agregados provenientes de la cantera de Punta Hermosa, así como el asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos y los neumáticos reciclados para la elaboración de los geocilindros.

Muestra

La muestra es una parte representativa de la población, a la que se puede acceder y que por tener características similares al resto del conjunto permite la posibilidad de generalizar los resultados hacia el resto de la población, por supuesto con un determinado margen de error. Por lo tanto, la muestra de estudio está conformada por aproximadamente 6 kg de agregados naturales y 6 kg de asfalto reciclado, los cuales fueron sometidos a los ensayos de caracterización indicados en la Tabla 1 y 9 neumáticos.

Tabla 1. *Ensayos para la muestra de investigación*

		Características de la muestra		
Muestra obtenida en:	Punta hermosa y Municipalidad de Chorrillos			
Número de muestras:	1			
Peso de la muestra:	8.1 kg			
Ensayos	Normas		Cantidad requerida [g]	
	MTC	ASTM	Afirmado	RAP
Granulometría	MTC E204	D 6913	6000	6000
Abrasión en la máquina de Los Ángeles	MTC E207	C 131	5000	5000
CBR	MTC E132	D 1883	6000	6000
Límite Líquido	MTC E110	D 4318	100	100
Índice de Plasticidad	MTC E111	D 4318	15	15
Equivalente de arena	MTC E114	D 2419	360	-
Sales Solubles Totales	MTC E219	-		
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E223	D 4791	3085	3085

Muestreo

El muestreo utilizado es el denominado no probabilístico intencional o también conocido como muestreo no probabilístico por conveniencia, en el cual, la muestra se selecciona en base a criterios establecidos por el investigador tomando únicamente aquellos elementos que están a su alcance (Arias, 2016).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

De acuerdo a Arias (2016), “la observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función

de unos objetivos de investigación preestablecidos” (p. 69), para esta investigación la observación realizada fue de índole directa, debido a que la indirecta se realiza mediante equipos como microscopio, monitores, etc., además es estructurada pues se hizo acorde a los objetivos planteados y con ellos se establecieron los criterios que serían observados.

Instrumentos

Un instrumento de recolección de datos es todo recurso (físico o digital) en el cual se puede registrar la información obtenida de la técnica de recolección de datos aplicada, con el fin de que después esta información pueda ser procesada, analizada e interpretada adecuadamente (Arias, 2016).

En esta investigación se utilizó como instrumentos fichas de recolección de datos elaboradas por el autor (ver anexo 3), para anotar los datos de interés en campo. Posteriormente los instrumentos utilizados fueron fichas de resultados para cada uno de los ensayos realizados, tanto en los agregados, los cuales se encuentran listados en la Tabla 1, como en los geocilindros, las cuales fueron elaboradas y entregadas por el laboratorio.

Validez

“La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 200). En esta investigación, para justificar la validez de los instrumentos de recolección de datos se recurrió al juicio de expertos, para lo cual se consultó a tres profesionales en ingeniería civil, quienes en conocimiento de que los ensayos de laboratorio son realizados bajo las normas peruanas MTC y las internacionales ASTM, emiten su criterio y los firman corroborando su validez (ver anexo 4).

Tabla 2. Validación de los instrumentos de recolección de datos

N.º	Grado académico	Nombres y Apellidos
1	Ing. Civil	Nahum Zaidman Sabsay
2	Ing. Civil	Santos Serrano Antesana
3	Ing. Civil	Tomas Alfonso Roca García
Puntaje Total		

Confiabilidad

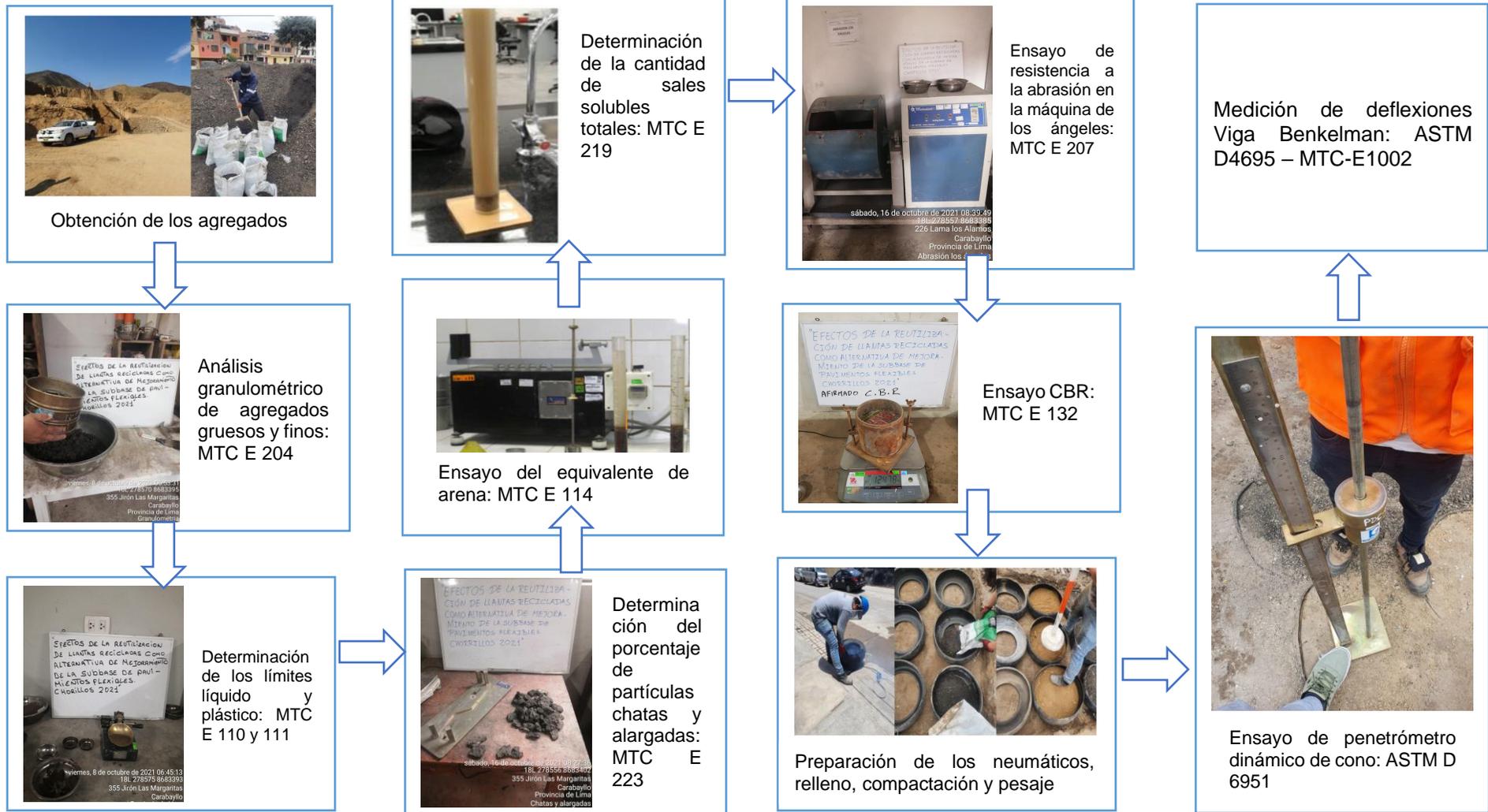
La confiabilidad “es el grado en que un instrumento alcanza resultados consistentes y coherentes” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 200), generalmente se mide con el denominado “coeficiente alfa de Cronbach”, en esta investigación la confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos, fue determinada a partir de los puntajes obtenidos en el proceso de validación.

Tabla 3. *Niveles de confiabilidad*

Rangos	Interpretación
0.0-0.2	Muy baja
0.2-0.4	Baja
0.4-0.6	Regular
0.6-0.8	Aceptable
0.8-1.0	Elevada

Fuente: (Díaz, 2012)

3.5. Procedimientos



3.6. Métodos de análisis de datos

Por tratarse de una tesis cuantitativa de carácter experimental, el análisis de datos corresponde a la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos realizados conforme al procedimiento indicado anteriormente, los cuales se fundamentan en normas MTC y ASTM, de dicho análisis se obtendrán las respectivas conclusiones alusivas a los objetivos e hipótesis planteados en un inicio.

3.7. Aspectos éticos

En el desarrollo de este proyecto de investigación se ha respetado los créditos de autoría de los materiales bibliográficos consultados de diversos investigadores, mediante las citas y referencias respectivas, conforme lo indicado a la norma internacional ISO-690 y con ello evitar caer en problemas legales de plagio.

IV. RESULTADOS

4.1. Zona de estudio

Los geocilindros estudiados en esta tesis fueron elaborados con neumáticos reciclados, rellenos tanto con agregados obtenidos de la cantera de Punta Hermosa, así como con asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos.

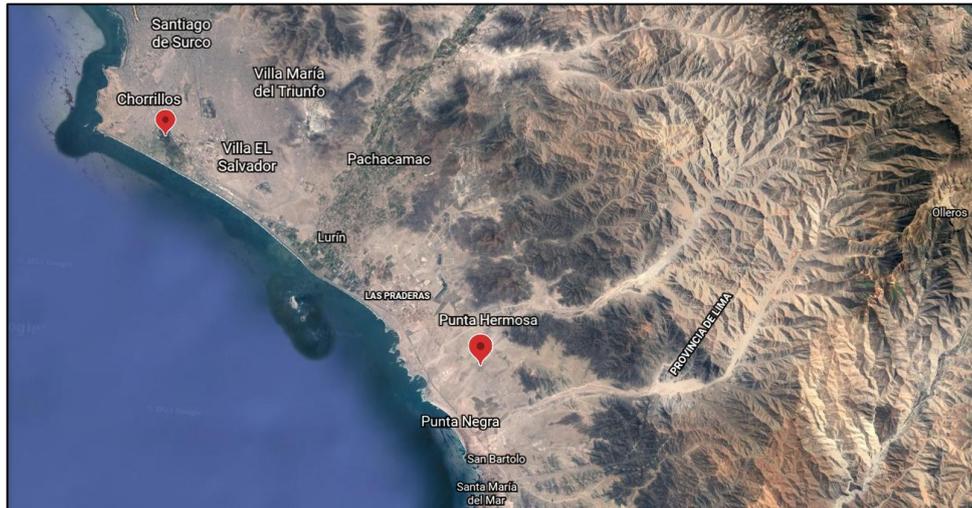


Figura 7. Ubicación de la zona de estudio
Fuente: Google Earth

4.2. Trabajos previos

La primera actividad consistió en la obtención de los agregados para su posterior caracterización en laboratorio



Figura 8. Agregado de la cantera de Punta Hermosa
Fuente: elaboración propia



Figura 9. Agregado reciclado de la Municipalidad de Chorrillos
Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el “Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” vigente, los agregados deben cumplir una serie de criterios para ser aptos para ser utilizados en la subbase granular de un pavimento flexible, los cuales se detallan en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Requerimientos de calidad para Sub-Base Granular

Ensayo	Norma			Requerimiento	
	MTC	ASTM	AASHTO	< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50% máximo	
CBR*	MTC E 132	D 1883	T 193	40% mínimo	
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máximo	
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máximo	4% máximo
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mínimo	35% mínimo
Sales Solubles	MTC E 219	-	-	1% máximo	
Partículas chatas y alargadas	MTC E 223	D 4791	-	20% máximo	

Nota: *referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1” (2.5 mm)

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Tabla 5. Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A*	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75-95	100	100
9.5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75 mm (N°4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2.0 mm (N°10)	15-40	20-45	25-50	40-70
4.25 µm (N°40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm (N°200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Nota: *La curva de gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnmm.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

- **Granulometría**

Para llevar a cabo este ensayo se adoptó el procedimiento descrito en la norma MTC E 204 (2016b), de acuerdo con la cual el material de estudio se seca a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y a continuación se coloca en una bandeja en la que se divide en cuatro partes iguales (cuarteado), de modo que se pueda conseguir una muestra representativa. Tal fracción del suelo se pasa a continuación en una serie de tamices con diferentes gradaciones que van desde la malla de 2” hasta la de 75 µm y de allí se va anotando los % de suelo retenidos, con el fin de determinar la distribución en cuanto a tamaños de las partículas del suelo, dicho procedimiento debe repetirse tanto para el agregado natural como para el RAP como se muestra en las figuras 10 y 11.



Figura 10. Pesaje del material para el análisis granulométrico
Fuente: elaboración propia



Figura 11. Cuarteo del material para el análisis granulométrico
Fuente: elaboración propia

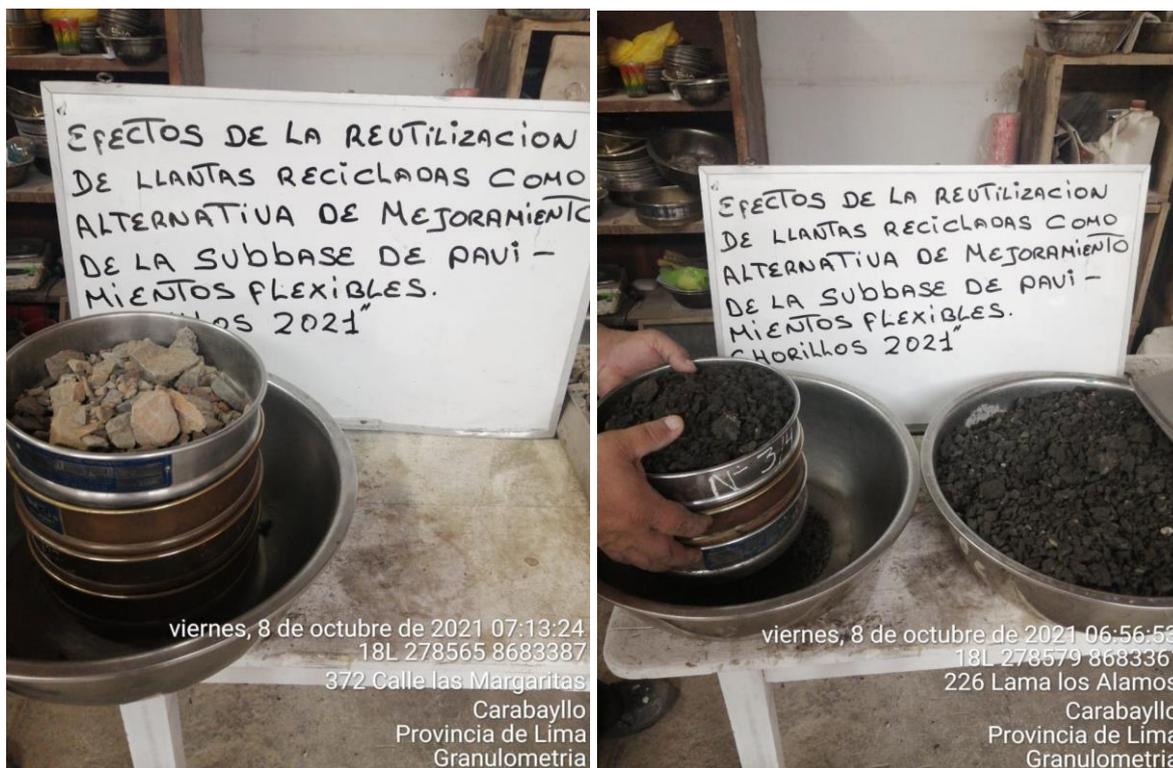


Figura 12. Ensayo granulométrico
Fuente: elaboración propia

- **Abrasión de Los Ángeles**

Conforme lo indica la norma MTC E 207 (2016a) “este método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, por medio de la máquina de Los Ángeles con una carga abrasiva” (p. 1). Para la realización de este ensayo; la mencionada máquina que consiste en un cilindro hueco de acero se carga con el material previamente lavado, secado y separado en porciones de acuerdo con su granulometría, además de la carga abrasiva correspondiente, que no es otra cosa que esferas de acero con diámetros entre 46.38mm y 47.63mm, cuya cantidad a utilizar se determina también por la granulometría del agregado, en este caso particular fueron necesarias 12 unidades con un peso total de 4847.8 g. La máquina se hace girar un total de 500 vueltas a una velocidad de entre 30 y 33 rpm y finalmente se determina el desgaste como la diferencia entre el peso del material registrado al inicio y el que se ha obtenido una vez culminado el ensayo, como un porcentaje del peso original. Dicho procedimiento debe repetirse tanto para el agregado natural como para el RAP como se muestra en las figuras 13 y 14.

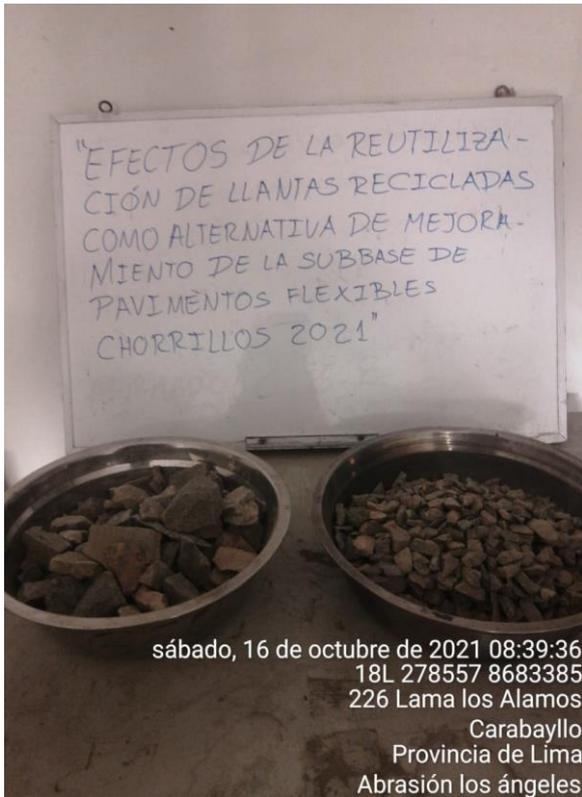


Figura 13. Preparación del material para el ensayo de abrasión
Fuente: elaboración propia



Figura 14. Ensayo de Abrasión de Los Ángeles
Fuente: elaboración propia

- **CBR**

Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar en el suelo un índice de resistencia definido por una relación de soporte, conocida ampliamente como CBR por sus siglas en inglés de California Bearing Ratio, dicho índice permite evaluar la capacidad de soporte del material que se utilizará como base, subbase o afirmado en un pavimento. El procedimiento descrito en la norma MTC E 132 (2016c) estipula que con el material deben rellenarse tres moldes de numeración 45, 81 y 48, con 5 capas cada uno y 55, 26 y 12 golpes por capa respectivamente por tratarse de un suelo granular, dichos golpes se los realizó con un martillo de compactación de energía modificada a una altura de 18". Adicionalmente, este método de ensayo cuya versión original es del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A., indica que el material debe encontrarse en estado saturado, es así como en este trabajo se consideraron los dos casos: no saturado y saturado, por lo que para este último el material fue sumergido durante 24 y 48 horas posterior a haber sido confinado en los moldes, con una sobrecarga en la parte superior que simularía el peso del pavimento sobre este. La información que se obtiene es una serie de curvas que muestran el peso específico, humedad y la capacidad de soporte del material.



Figura 15. Ensayo CBR
Fuente: elaboración propia

- **Límites de Atterberg**

Límite líquido

Este parámetro es un indicador del contenido de humedad de un suelo cuando este se encuentra precisamente en el límite entre el estado plástico y el líquido. Se determinó conforme a la norma MTC E 110 (2016d) haciendo uso de la copa de Casagrande, que es una copa metálica de pequeño tamaño, dentro de la cual se coloca una pequeña cantidad del material y posteriormente se divide en dos con ayuda del acanalador. Una vez realizado esto se acciona la copa, es decir, por medio de una manivela se la hace subir y caer, para que la base se golpee y las dos mitades del material se junten, finalmente se anota el número de golpes que fueron necesarios para cerrar la ranura. dicho procedimiento debe repetirse tanto para el agregado natural como para el RAP como se muestra en las figura 16.

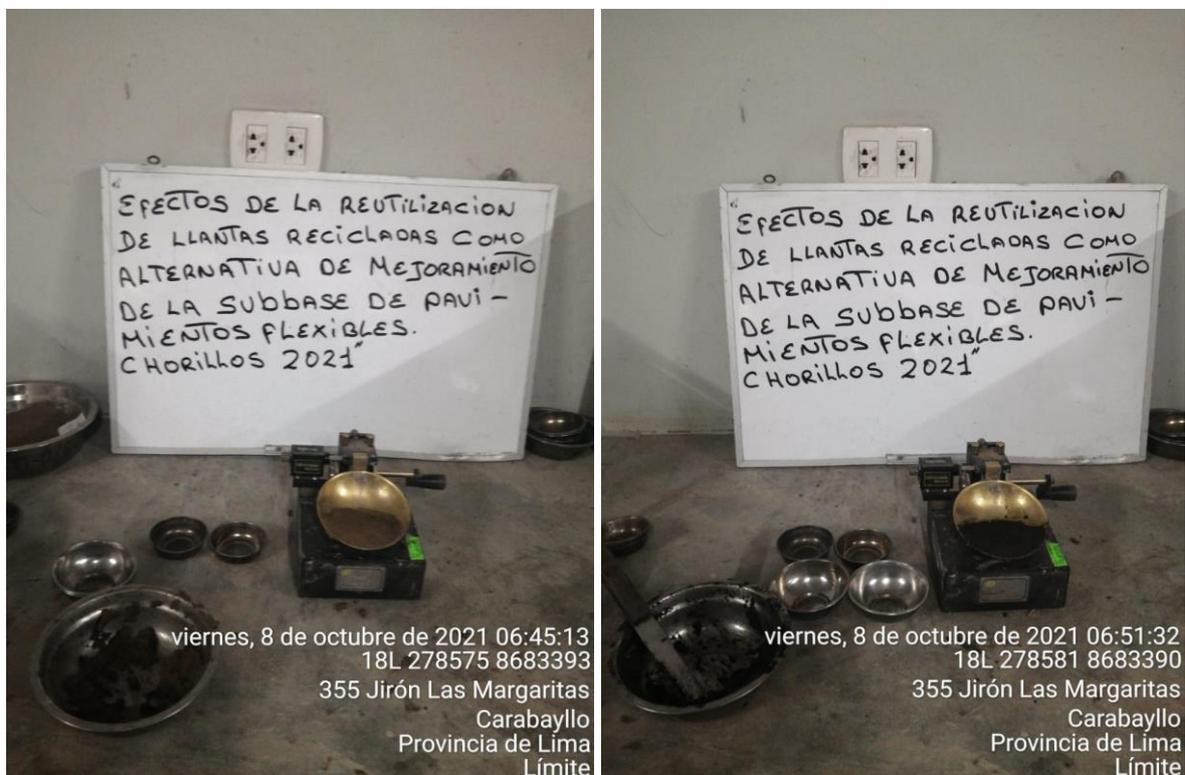


Figura 16. Determinación del Límite Líquido
Fuente: elaboración propia

Índice de plasticidad

Este índice también es conocido como Límite Plástico (L.P.) y de acuerdo con la norma MTC E 111 (2016e) es “la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8”) de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen” (p. 1).

- **Equivalente de arena**

Este ensayo permite determinar la cantidad de suelo arcilloso o fino y polvo contenido en un suelo granular y en uno de agregados finos que pasan el tamiz N.º 4. De acuerdo con la norma MTC E 114 (2016g) “el término equivalente de arena, expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables” (p. 1). El procedimiento de ensayo consiste en llenar un cilindro de plástico transparente y graduado con la muestra de suelo, saturarlo y proceder a “decantarlo” ya sea mediante el método manual o el mecánico, posterior a lo cual se anotará tanto los tiempos de saturación y decantación como la altura máxima de material fino y arena y el equivalente de arena.

- **Sales solubles**

De acuerdo con la norma MTC E 219 (2016i), este ensayo se realiza con la finalidad de determinar la cantidad de cloruros y sulfatos solubles en agua de agregados que serán utilizados para la construcción de pavimentos flexibles. El procedimiento consistió en lavar repetidas ocasiones una muestra representativa del agregado con agua destilada a la temperatura de ebullición hasta que se hayan extraído totalmente las sales, adicionalmente se utilizan unos reactivos químicos que ante la presencia de dichas sales reaccionan formando precipitados de fácil visualización. Finalmente, se toma una pequeña cantidad del agua de lavado, la cual se cristaliza y se determina la cantidad de sales presentes.

- **Partículas chatas y alargadas**

Este ensayo se realiza para determinar qué porcentaje de partículas planas, alargadas o plano alargadas contiene un agregado grueso, puesto que tales partículas pueden hacer más difícil la colocación de los materiales, por lo tanto, el agregado grueso debe cumplir ciertas especificaciones. Es así que adoptando el procedimiento descrito en la norma MTC E 223 (2016h) y haciendo uso del calibre dispuesto para este fin, se determinaron las proporciones de la muestra en cada uno de los siguientes grupos de partículas: chatas, alargadas y chatas y alargadas. Dicho procedimiento debe repetirse tanto para el agregado natural como para el RAP como se muestra en las figura 17.



Figura 17. Ensayo de partículas chatas y alargadas
Fuente: elaboración propia

4.3. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera Punta Hermosa, así como del asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos para ser utilizados en la subbase de un pavimento flexible

Una vez realizados los ensayos para la caracterización de los materiales de estudio. Se procedió a comprobar que los resultados obtenidos se encontraran dentro de los límites permisibles para un material a ser utilizado en la subbase granular de un pavimento flexible conforme se detalló en las tablas 4 y 5. Dando cumplimiento al objetivo específico 1:

- **Granulometría**

Tabla 6. Resultados del análisis granulométrico del afirmado fino

Peso inicial seco [g]:		992			
%Grava:					
%Arena:		80.7			
Clasificación SUCS:		SM			
Clasificación AASHTO:		A-1-b (0)			
Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido parcial [g]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]
2"	50.80	-	-	-	-
1 ½"	38.10	-	-	-	-
1"	25.40	-	-	-	-
¾"	19.05	-	-	-	-
½"	12.70	-	-	-	-
3/8"	9.525	-	-	-	-
N.º 4	4.750	-	-	-	100.0
N.º 10	2.000	42.4	4.3	30.0	70.0
N.º 20	0.850	53.5	5.4	47.5	52.5
N.º 40	0.420	45.0	4.5	57.3	42.7
N.º 60	0.250	28.7	2.9	65.7	34.3
N.º 100	0.150	72.2	7.3	73.0	27.0
N.º 200	0.074	22.3	2.3	80.7	19.3
Menor que N.º 200		191.9	19.3	100.0	0.0

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

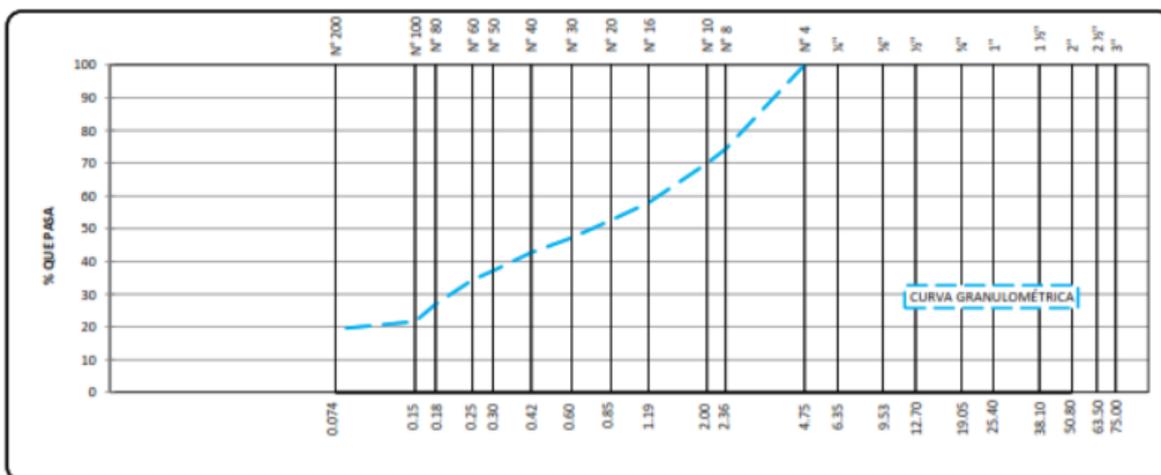


Figura 18. Curva granulométrica del afirmado fino
Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 7. Resultados del análisis granulométrico del afirmado grueso

Peso inicial seco [g]:		3964.0			
% Grava:		100.0			
% Arena:		-			
Clasificación AASHTO:		-			
Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido parcial [g]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]
2"	50.80	-	-	-	100.0
1 ½"	38.10	-	-	-	100.0
1"	25.40	847.0	21.4	21.4	78.6
¾"	19.05	1636.0	41.3	62.7	37.3
½"	12.70	893.0	22.5	85.2	14.8
3/8"	9.525	588.0	14.8	100.0	-
N.º 4	4.750	-	-	100.0	-
N.º 10	2.000	-	-	-	-
N.º 20	0.850	-	-	-	-
N.º 40	0.420	-	-	-	-
N.º 60	0.250	-	-	-	-
N.º 100	0.150	-	-	-	-
N.º 200	0.074	-	-	-	-
Menor que N.º 200		-	-	100.0	0.0

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

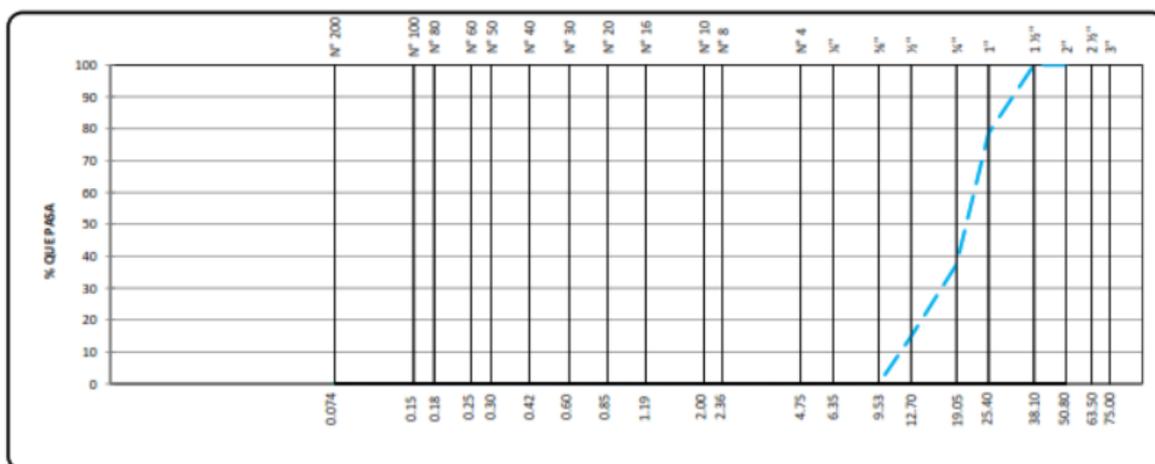


Figura 19. Curva granulométrica del afirmado grueso
 Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 8. Resultados del análisis granulométrico del RAP muestra 1

Peso inicial seco [g]:		3085.0			
%Grava:		100.0			
%Arena:		-			
Clasificación AASHTO:		-			
Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido parcial [g]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]
2"	50.80	-	-	-	100.0
1 1/2"	38.10	-	-	-	100.0
1"	25.40	1066.0	34.6	34.6	65.4
3/4"	19.05	1051.0	34.1	68.7	31.3
1/2"	12.70	643.0	20.8	89.5	10.5
3/8"	9.525	325.0	10.5	100.0	-
N.º 4	4.750	-	-	100.0	-
N.º 10	2.000	-	-	-	-
N.º 20	0.850	-	-	-	-
N.º 40	0.420	-	-	-	-
N.º 60	0.250	-	-	-	-
N.º 100	0.150	-	-	-	-
N.º 200	0.074	-	-	-	-
Menor que N.º 200		-	-	100.0	0.0

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

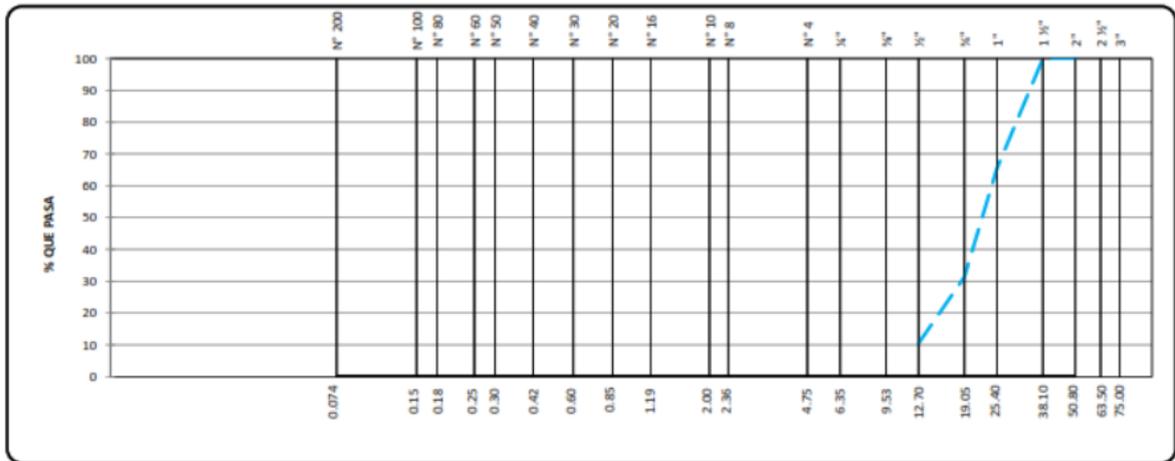


Figura 20. Curva granulométrica del RAP muestra 1
Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 9. Resultados del análisis granulométrico del RAP global

Peso inicial seco [g]:					
% Grava:			51.8		
% Arena:			44.6		
Clasificación SUCS:			GW		
Clasificación AASHTO:			A-1-a		
Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido parcial [g]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]
2"	50.80	-	-	-	100
1 1/2"	38.10	70	0.2	0.2	99.8
1"	25.40	1073	3.6	3.8	96.2
3/4"	19.05	1057	3.5	7.3	92.6
3/8"	9.525	4769	16.0	23.3	76.7
N.º 4	4.750	8521	28.5	51.8	48.1
N.º 10	2.000	7256	24.3	76.1	23.8
N.º 20	0.850	3583.2	12.0	88.1	11.8
N.º 40	0.420	1373.6	4.6	92.7	7.2
N.º 60	0.250	567.3	1.9	94.6	5.3
N.º 200	0.074	89.6	0.3	96.4	3.5
Menor que N.º 200		1053.1	3.5	100.0	0.0

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

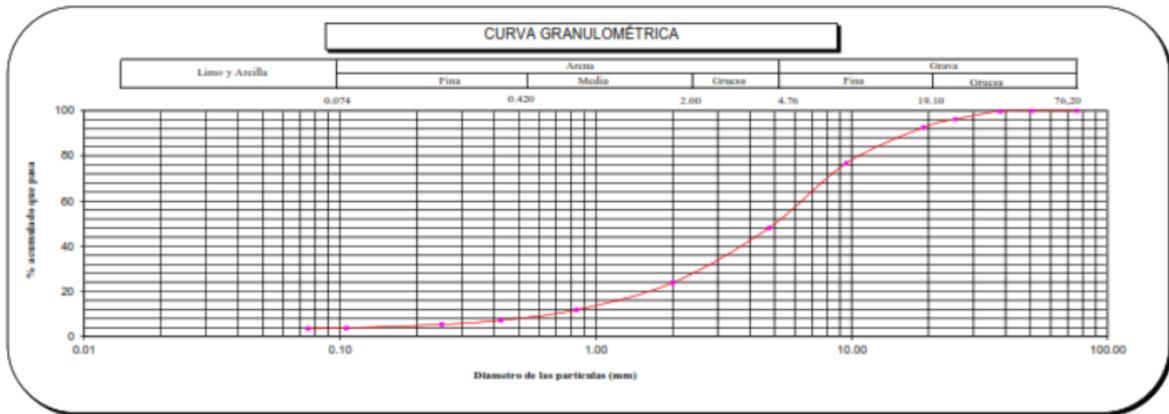


Figura 21. Curva granulométrica del RAP global
 Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Interpretación: Del ensayo granulométrico realizado a la fracción fina del material de afirmado se obtuvo una clasificación de SM (arena limosa) y en el ensayo del afirmado global su clasificación es SP (arena pobremente graduada con grava). Mientras que del ensayo realizado al asfalto reciclado se obtuvo una clasificación GW que corresponde a una grava bien graduada con arena.

- **Abrasión de Los Ángeles**

De los resultados del análisis granulométrico se puede apreciar que tanto para el agregado natural como el asfalto reciclado se ha empleado la curva de gradación tipo A para un material a ser utilizado como subbase granular en un pavimento flexible, de acuerdo con lo cual la muestra a utilizar debe ser un mínimo de 5kg.

Tabla 10. Resultados del ensayo de Abrasión de Los Ángeles del afirmado

Tamiz	Gradación A
1"	1250
3/4"	1250
1/2"	1250
3/8"	1250
Peso inicial [g]	5000
Peso obtenido [g]	3500
Pérdida después del ensayo [g]	1500
Porcentaje de desgaste [%]	30

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 11. Resultados del ensayo de Abrasión de Los Ángeles del RAP

Tamiz	Gradación A
1"	1250
3/4"	1250
1/2"	1250
3/8"	1250
Peso inicial [g]	5000
Peso obtenido [g]	4414
Pérdida después del ensayo [g]	586
Porcentaje de desgaste [%]	12

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Interpretación: En las tablas 10 y 11 se puede observar que tanto los agregados naturales como el asfalto reciclado presentan un porcentaje de desgaste del 30% y 12% respectivamente, cumpliendo con el requisito estipulado por las normas, pues dichos valores son inferiores al 50%.

- **CBR**

Tabla 12. Resultados del ensayo CBR del afirmado

Método de compactación	AASHTO D 1557			
Máxima densidad seca [g/cm³]	2.049			
Óptimo contenido de humedad [%]	5.4			
95% máxima densidad seca [g/cm³]	1.947			
%	Penetración	Resultado	Penetración	Resultado
CBR al 100% de la M.D.S. [%]	0.1"	39.6	0.2"	47.9
CBR al 95% de la M.D.S. [%]	0.1"	36.2	0.2"	42.0

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

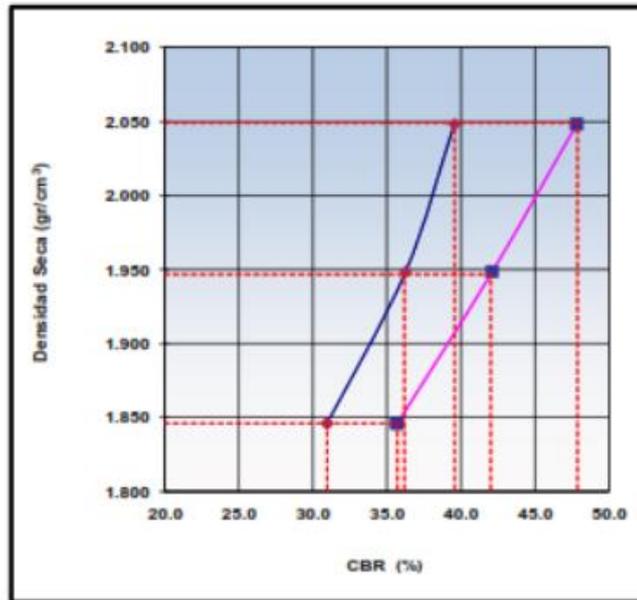


Figura 22. Resultados del ensayo CBR del afirmado
 Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 13. Resultados del ensayo CBR del RAP

Método de compactación		AASHTO D 1557		
Máxima densidad seca [g/cm³]		1.995		
Óptimo contenido de humedad [%]		5.6		
95% máxima densidad seca [g/cm³]		1.895		
%	Penetración	Resultado	Penetración	Resultado
CBR al 100% de la M.D.S. [%]	0.1"	35.5	0.2"	43.0
CBR al 95% de la M.D.S. [%]	0.1"	30.0	0.2"	36.2

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

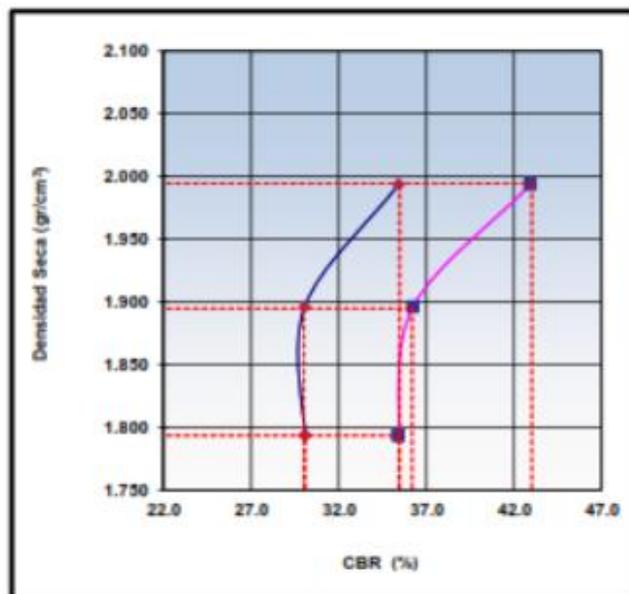


Figura 23. Resultados del ensayo CBR del RAP
 Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Interpretación: En las tablas 12 y 13 se puede observar que tanto los agregados naturales como el asfalto reciclado presentan un CBR por debajo de lo requerido que es 40% mínimo; sin embargo, el agregado natural está más cerca del umbral, para cumplir con el soporte de carga para ser considerado apto para un material de subbase granular.

- **Límite Líquido**

Tabla 14. *Contenido de humedad del afirmado*

Muestra N.º	1	2	3
Peso tara [g]:	52.0	50.0	57.0
Peso tara + muestra húmeda [g]:	536.0	515.0	496.0
Peso tara + muestra seca [g]:	521.0	500.0	483.0
Peso de agua [g]:	15.0	15.0	13.0
Peso de suelo seco [g]:	469.0	450.0	426.0
Contenido de humedad [g]:	3.2	3.3	3.1
Promedio [%]:	3.2		

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 15. *Resultados del límite líquido del afirmado*

N.º Tarro:	N.P.
Tarro + Suelo Húmedo [g]:	
Tarro + Suelo Seco [g]:	
Agua [g]:	
Peso del Tarro [g]:	
Peso del Suelo Seco [g]:	
% de Humedad:	
N.º de Golpes:	

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 16. *Contenido de humedad del RAP*

Muestra N.º	1	2	3
Peso tara [g]:	111.0	97.0	115.0
Peso tara + muestra húmeda [g]:	483.0	486.0	439.4
Peso tara + muestra seca [g]:	474.0	476.2	432.0
Peso de agua [g]:	9.0	9.8	7.4
Peso de suelo seco [g]:	363.0	379.2	317.0
Contenido de humedad [g]:	2.5	2.6	2.3
Promedio [%]:	2.5		

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 17. Resultados del límite líquido del RAP

N.º Tarro:	N.P.
Tarro + Suelo Húmedo [g]:	
Tarro + Suelo Seco [g]:	
Agua [g]:	
Peso del Tarro [g]:	
Peso del Suelo Seco [g]:	
% de Humedad:	
N.º de Golpes:	

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Interpretación: Cómo se puede apreciar en las tablas 14 y 16 el contenido de humedad tanto del agregado natural como del RAP es muy bajo, menor que el 5%, es por ello por lo que por su consistencia seca no presentan un límite líquido (tablas 15 y 17), lo cual estaría dentro de los límites requeridos, es decir $\leq 25\%$.

- **Índice de plasticidad**

Tabla 18. Resultados del límite plástico del afirmado

N.º Tarro:	N.P.
Tarro + Suelo Húmedo [g]:	
Tarro + Suelo Seco [g]:	
Agua [g]:	
Peso del Tarro [g]:	
Peso del Suelo Seco [g]:	
% de Humedad:	
N.º de Golpes:	

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 19. Resultados del límite plástico del RAP

N.º Tarro:	N.P.
Tarro + Suelo Húmedo [g]:	
Tarro + Suelo Seco [g]:	
Agua [g]:	
Peso del Tarro [g]:	
Peso del Suelo Seco [g]:	
% de Humedad:	
N.º de Golpes:	

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Interpretación: Los límites de Atterberg se determinaron con el material pasante de la malla N.º 40 mediante el “método de multipunto”. Como se puede apreciar en las tablas 14 y 16 el contenido de humedad tanto del agregado natural como del RAP es muy bajo, menor que el 5%, es por ello por lo que por su consistencia seca no presentan ninguna plasticidad (tablas 18 y 19), lo cual estaría dentro de los límites requeridos, es decir máximo 4%.

- **Equivalente de arena**

Tabla 20. Resultados del equivalente de arena del afirmado

Descripción	N.º de ensayo		
	1	2	3
Tamaño máximo (pasa malla N.º 4)	4.75		
Hora de entrada a saturación	16:50	16:52	16:54
Hora de salida de saturación (más 10')	17:00	17:02	17:04
Hora de entrada a decantación	17:02	17:04	17:06
Hora de salida de decantación (más 20')	17:22	17:24	17:26
Altura máxima de material fino [in]	11.20	11.30	11.20
Altura máxima de la arena [in]	2.00	2.00	2.00
Equivalente de arena [%]	18.0	18.0	18.0
Promedio [%]	18.00		

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Interpretación: Debido a la naturaleza del asfalto reciclado no se le ha realizado el ensayo del equivalente de arena; sin embargo, en la tabla 20 se puede observar que para el agregado natural su equivalente de arena fue igual al 18%, por lo tanto, no se cumple el requisito de 35% como mínimo.

- **Sales solubles**

Tabla 21. Resultados del ensayo de sales solubles del afirmado

Muestra	Profundidad [m]	Sales Solubles Totales [ppm]*	Sulfatos [ppm]	Cloruros [ppm]
1	-	2,914.00	1,296.00	1,234.00

Nota: * partes por millón

Fuente: WRC INGENIERÍA & GEOTÉCNIA S.A.C.

Interpretación: El resultado que se ha obtenido del ensayo de sales solubles fue 2914 ppm cómo se puede observar en la tabla 21, adoptando la equivalencia de que 10,000.00 ppm es igual a 1%, la muestra de ensayo contendría un 0.29% de sales solubles totales, cumpliendo con ello el requisito, es decir 1% máximo en su composición.

- **Partículas Chatas y Alargadas**

Tabla 22. Cantidad de partículas chatas, alargadas o chatas y alargadas en el afirmado

Partículas Chatas			
Material		Peso de la fracción de ensayo [g]	Partículas Chatas
Pasa	Retenido		
1 ½"	1"	847.0	57.0
1"	¾"	1636.0	119.0
¾"	½"	893.0	79.0
½"	3/8"	588.0	32.0
Total:		3964.0	287.0
%Chatas:			7.2
Partículas Alargadas			
Material		Peso de la fracción de ensayo [g]	Partículas Alargadas
Pasa	Retenido		
1 ½"	1"	847.0	68.0
1"	¾"	1636.0	35.0
¾"	½"	893.0	23.0
½"	3/8"	588.0	12.0
Total:		3964.0	138.0
%Alargadas:			3.5
Partículas Chatas y Alargadas			
Material		Peso de la fracción de ensayo [g]	Partículas Chatas y Alargadas
Pasa	Retenido		
1 ½"	1"	847.0	125.0
1"	¾"	1636.0	154.0
¾"	½"	893.0	102.0
½"	3/8"	588.0	45.0
Total:		3964.0	426.0
%Chatas y Alargadas			20.1

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Tabla 23. Cantidad de partículas chatas, alargadas o chatas y alargadas en el RAP

Partículas Chatas			
Material		Peso de la fracción de ensayo [g]	Partículas Chatas
Pasa	Retenido		
1 ½"	1"	1066.0	36.0
1"	¾"	1051.0	55.0
¾"	½"	643.0	26.0
½"	3/8"	325.0	22.0
Total:		3085.0	139.0
%Chatas			4.5
Partículas Alargadas			
Material		Peso de la fracción de ensayo [g]	Partículas Alargadas
Pasa	Retenido		
1 ½"	1"	1066.0	59.0
1"	¾"	1051.0	34.0
¾"	½"	643.0	13.0
½"	3/8"	325.0	19.0
Total:		3085.0	125.0
%Alargadas			4.1
Partículas Chatas y Alargadas			
Material		Peso de la fracción de ensayo [g]	Partículas Chatas y Alargadas
Pasa	Retenido		
1 ½"	1"	1066.0	95.0
1"	¾"	1051.0	88.0
¾"	½"	643.0	39.0
½"	3/8"	325.0	41.0
Total:		3085.0	263.0
%Chatas y Alargadas			15.9

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

Interpretación: Cómo se puede observar en las tablas 22 y 23, los agregados contienen porcentajes bajos de partículas chatas y alargadas, el límite permitido es el 20% como máximo y únicamente la muestra del agregado natural se sobrepasa ligeramente de aquel valor, por lo que el RAP cumpliría aquel requisito de mejor manera.

Una vez realizados todos los ensayos necesarios, se puede concluir que los agregados procedentes de la cantera de Punta Hermosa, así como el asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos, no cumplieron todos los requisitos necesarios para ser considerados óptimos para conformar la subbase de un pavimento flexible. Sin embargo, se espera que, al ser confinados en los neumáticos, en el sistema de los geocilindros, se obtenga un mejor desempeño mecánico y con ello el sistema en conjunto pueda ser considerado como una

alternativa viable para ser utilizada en la estructura de un pavimento flexible, lo cual se discutirá en el siguiente punto.

4.4. Desempeño mecánico de un geocilindro conformado por una llanta rellena con agregados, para su posible implementación en el pavimento flexible de la Av. prolongación Huaylas – Chorrillos

- **Preparación de los geocilindros**

El proceso de elaboración de los geocilindros consistió en la obtención de los neumáticos para proceder a limpiarlos cerciorándose que no contengan en su interior ningún tipo de impurezas o materia orgánica y cortarlos como se aprecia en la figura 24, para a continuación ser trasladados al sitio escogido para llevar a cabo las pruebas mecánicas.



Figura 24. Corte de las llantas
Fuente: elaboración propia

A continuación, se preparó el terreno donde serían colocados los neumáticos, los cuales se dispusieron en dos grupos o filas de tres unidades cada uno, el primer grupo se rellenoó con el agregado afirmado, mientras que el segundo con el asfalto

reciclado, dicho material se colocó en una serie de capas compactadas. Tal como se aprecia en las figuras 25 y 26.



Figura 25. Preparación del terreno
Fuente: elaboración propia



Figura 26. Geocilindros con RAP
Fuente: elaboración propia



Figura 27. Geocilindros con afirmado
Fuente: elaboración propia

Una vez preparados los geocilindros, se rellenó los espacios entre neumáticos con más material, a fin de que este espacio de prueba quedara enrasado al nivel del terreno.



Figura 28. Superficie de prueba
Fuente: elaboración propia

- **Medición de deflexiones mediante la Viga Benkelman**

Este ensayo se realiza con el objetivo de medir las deflexiones o deformaciones recuperables en un pavimento flexible, así como el radio de curvatura, debido a la presencia de una carga estática, como sería el caso de los vehículos que transitan sobre una avenida. Como indica la norma MTC E 1002 (2016f), este procedimiento se realiza mediante un camión; en el cual su carga, tamaño de las llantas, espaciamiento y presión de las mismas está normalizado, en este caso la presión de inflado de los neumáticos es de 80 psi y una carga de 8.2 t en el eje posterior del camión. Los resultados que se obtienen de llevar a cabo esta prueba pueden ser utilizados de maneras diversas entre los cuales se puede mencionar: determinación de la vida útil de un pavimento para adoptar medidas de mejoramiento, mantenimiento o rehabilitación de ser el caso, así como evaluación estructural del debilitamiento de la estructura por la presencia del tránsito vehicular.

En las siguientes tablas se realiza una comparación al haber realizado el ensayo de la Viga Benkelman en cuatro diferentes escenarios, a saber: suelo natural, neumático reciclado relleno con suelo natural del sitio de prueba, neumático reciclado relleno con agregado afirmado y neumático reciclado relleno con RAP, para poder apreciar la eficiencia del sistema de geocilindros.

Tabla 24. Resultados Viga Benkelman en el terreno natural

N.º	Deflexiones		Fact. Correc. x Temperat.	Factor estacionario	D25 Corregido	D0 Corregido	RC
	D25	D0					
1	112	136	1.000	1.0	112	136	130
2	116	136	1.000	1.0	116	136	156
3	120	144	1.000	1.0	120	144	130
D0 Corregido				Radio Curvatura			
Promedio:			138.7 mm/100	Promedio:		138.9	
Mínimo:			136.0 mm/100	Mínimo:		130.2	
Máximo:			144.0 mm/100	Máximo:		156.3	
Desv. Stan.:			4.6 mm/100	Desv. Stan.:		15.0	
Deflexión C.:			146.3 mm/100				
Deflexión A.:			0.0 mm/100				

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

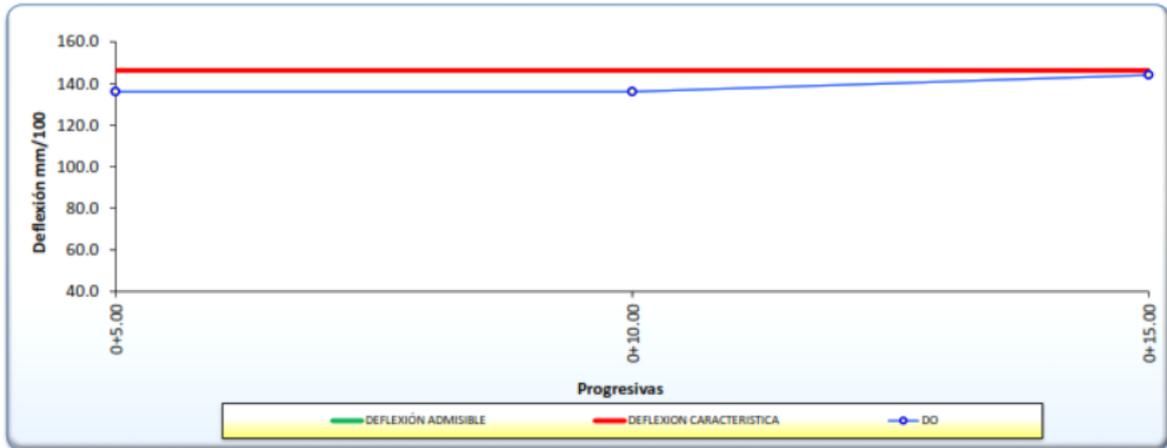


Figura 29. Deflexiones en el terreno natural
Fuente: elaboración propia

Tabla 25. Resultados Viga Benkelman neumático con suelo natural

N.º	Deflexiones		Fact. Correc. x Temperat.	Factor estacionario	D25 Corregido	D0 Corregido	RC
	D25	D0					
1	72	112	1.000	1.0	72	112	78
2	80	116	1.000	1.0	80	116	87
3	76	116	1.000	1.0	76	116	78
D0 Corregido				Radio Curvatura			
Promedio:		114.7 mm/100		Promedio:		81.0	
Mínimo:		112.0 mm/100		Mínimo:		78.1	
Máximo:		116.0 mm/100		Máximo:		86.8	
Desv. Stan.:		2.3 mm/100		Desv. Stan.:		5.0	
Deflexión C.:		118.5 mm/100					
Deflexión A.:		0.0 mm/100					

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

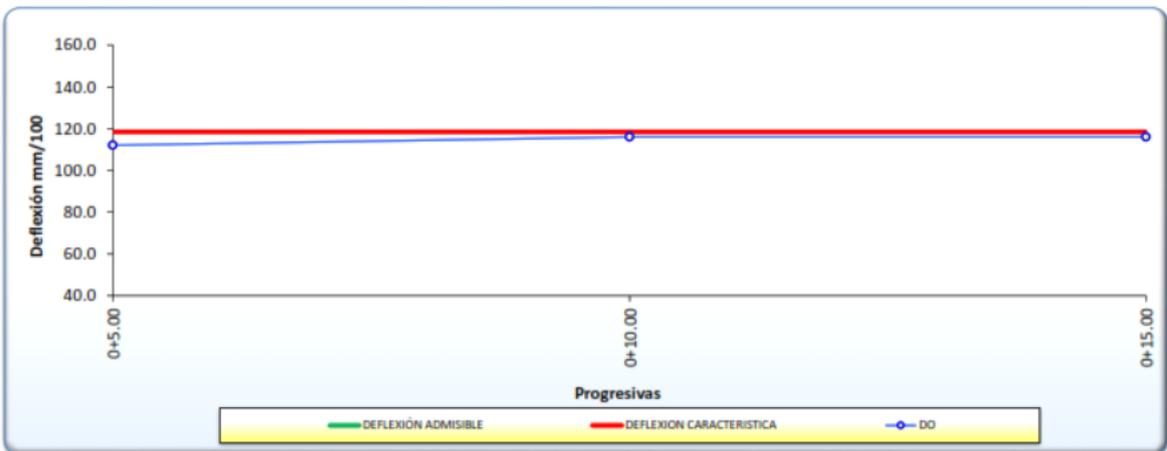


Figura 30. Deflexiones en el sistema neumático - suelo natural
Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Resultados Viga Benkelman neumático con afirmado

N.º	Deflexiones		Fact. Correc. x Temperat.	Factor estacionario	D25 Corregido	D0 Corregido	RC
	D25	D0					
1	44	88	1.000	1.0	44	88	71
2	40	92	1.000	1.0	40	92	60
3	40	92	1.000	1.0	40	92	60
D0 Corregido			Radio Curvatura				
Promedio:			90.7 mm/100	Promedio:		63.7	
Mínimo:			88.0 mm/100	Mínimo:		60.1	
Máximo:			92.0 mm/100	Máximo:		71.0	
Desv. Stan.:			2.3 mm/100	Desv. Stan.:		6.3	
Deflexión C.:			94.5 mm/100				
Deflexión A.:			0.0 mm/100				

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

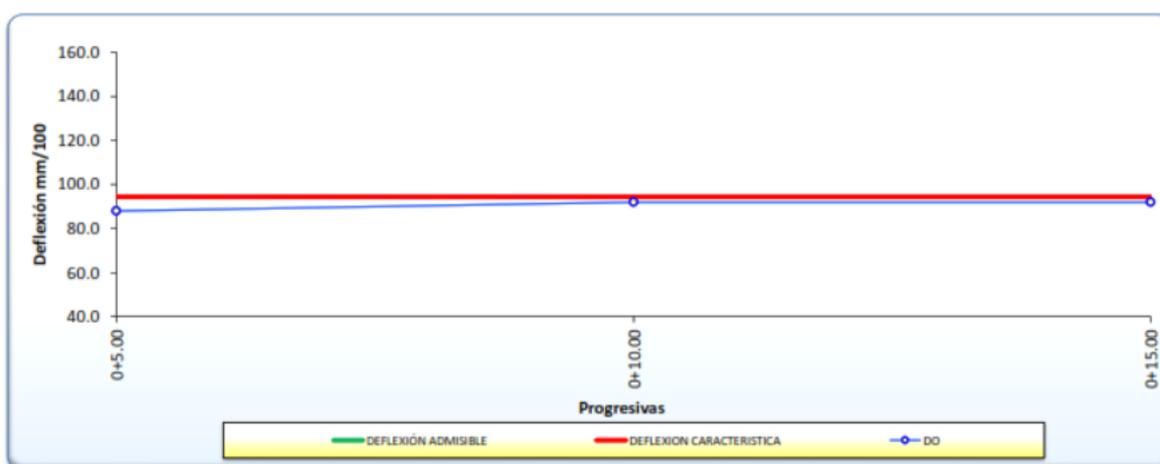


Figura 31. Deflexiones en el sistema neumático - afirmado

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. Resultados Viga Benkelman neumático con RAP

N.º	Deflexiones		Fact. Correc. x Temperat.	Factor estacionario	D25 Corregido	D0 Corregido	RC
	D25	D0					
1	108	132	1.000	1.0	108	132	130
2	112	140	1.000	1.0	112	140	112
3	100	136	1.000	1.0	100	136	87
D0 Corregido			Radio Curvatura				
Promedio:			136.0 mm/100	Promedio:		109.5	
Mínimo:			132.0 mm/100	Mínimo:		86.8	
Máximo:			140.0 mm/100	Máximo:		130.2	
Desv. Stan.:			4.0 mm/100	Desv. Stan.:		21.8	
Deflexión C.:			142.6 mm/100				
Deflexión A.:			0.0 mm/100				

Fuente: Código: IF-TS-LJSM-PN, laboratorio HISGEOLAB S.A.C.

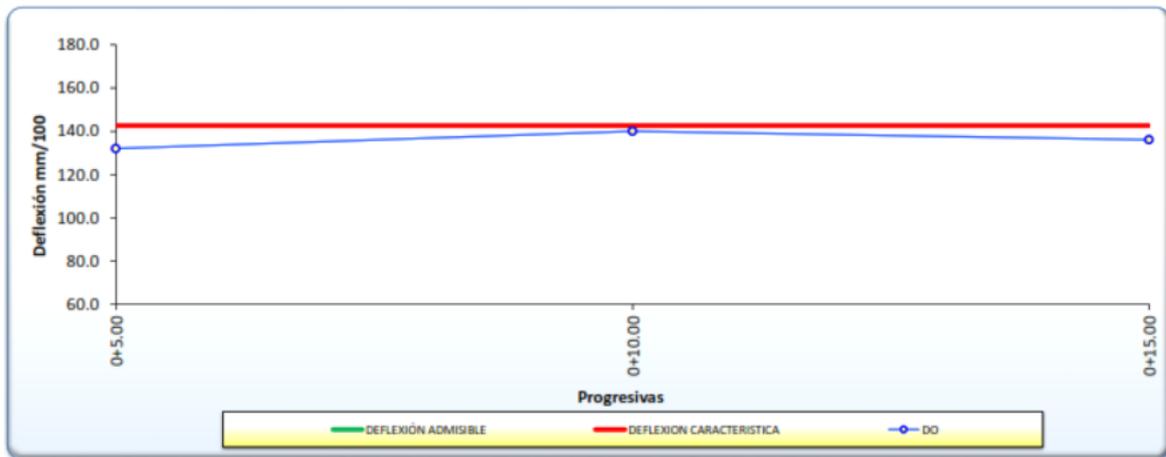


Figura 32. Deflexiones en el sistema neumático - RAP
Fuente: elaboración propia

Interpretación: Cómo se puede apreciar tanto en las tablas 24, 25, 26 y 27 como en las figuras 29,30, 31 y 32, ante los cuatro escenarios probables, el que presentó el mejor desempeño fue el sistema de geocilindros rellenos con material afirmado, pues presentó los menores valores tanto de deflexiones como de radio de curvatura ante la presencia de la carga que simula el tránsito vehicular.

4.5 Capacidad de soporte de la subbase de un pavimento flexible con la inclusión de los geocilindros, Chorrillos 2021.

Para llevar a cabo el objetivo específico 3, además de las deflexiones presentadas en el literal anterior, se midió además la capacidad de soporte in situ, mediante el ensayo con Penetrómetro Dinámico de Cono, de igual manera se presentarán los resultados de los cuatro escenarios propuestos para realizar una comparación.

- **Penetrómetro Dinámico de Cono**

Este ensayo cuyo uso está aún muy restringido en países de Latinoamérica a diferencia de Norteamérica o Europa donde es muy común, se utiliza para medir la resistencia a la penetración in situ de un pavimento después de introducir un cono normalizado de metal en el suelo y golpearlo en repetidas ocasiones con un peso de 8 kg a una altura de 575 mm, tal como se indica en la figura 33. Los resultados obtenidos se pueden correlacionar, para así obtener la capacidad de soporte CBR in situ (ASTM International, 2018).

Tabla 28. Resultados del ensayo PDC en el terreno natural

Número de golpes	Penetración acumulada [mm]	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura [mm]	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	0	0	0.0			
5	165	5	50.0	165	33.0	5.8
5	525	10	100.0	360	72.0	2.4

Fuente: Código: AE-FO-59, laboratorio INGEOCONTROL

Tabla 29. Resultados del ensayo PDC neumático con suelo natural

Número de golpes	Penetración acumulada [mm]	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura [mm]	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	0	0	0.0			
5	60	5	25.0	60	12.0	18.1
5	95	10	50.0	35	7.0	33.0
5	140	15	75.0	45	9.0	24.9
5	190	20	100.0	50	10.0	22.2

Fuente: Código: AE-FO-59, laboratorio INGEOCONTROL

Tabla 30. Resultados del ensayo PDC neumático con afirmado

Número de golpes	Penetración acumulada [mm]	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura [mm]	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	0	0	0.0			
5	70	5	20.0	70	14.0	15.2
5	145	10	40.0	75	15.0	14.1
5	210	15	60.0	65	13.0	16.5
5	305	20	80.0	95	19.0	10.8
5	450	25	100.0	145	29.0	6.7

Fuente: Código: AE-FO-59, laboratorio INGEOCONTROL

Para el caso del sistema de geocilindros rellenos con asfalto reciclado se efectuaron tres mediciones, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 31. Resultados del ensayo PDC neumático con RAP1

Número de golpes	Penetración acumulada [mm]	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura [mm]	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	0	0	0.0			
5	100	5	25.0	100	20.0	10.2
5	175	10	50.0	75	15.0	14.1
5	260	15	75.0	85	17.0	12.2
5	325	20	100.0	65	13.0	16.5

Fuente: Código: AE-FO-59, laboratorio INGEOCONTROL

Tabla 32. Resultados del ensayo PDC neumático con RAP2

Número de golpes	Penetración acumulada [mm]	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura [mm]	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	0	0	0.0			
5	90	5	25.0	90	18.0	11.5
5	160	10	50.0	70	14.0	15.2
5	240	15	75.0	80	16.0	13.1
5	370	20	100.0	130	26.0	7.6

Fuente: Código: AE-FO-59, laboratorio INGEOCONTROL

Tabla 33. Resultados del ensayo PDC neumático con RAP3

Número de golpes	Penetración acumulada [mm]	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura [mm]	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	0	0	0.0			
5	130	5	25.0	130	26.0	7.6
5	210	10	50.0	80	16.0	13.1
5	320	15	75.0	110	22.0	9.2
5	440	20	100.0	120	24.0	8.3

Fuente: Código: AE-FO-59, laboratorio INGEOCONTROL

Interpretación: Los resultados demostraron que la inclusión de neumáticos como sistemas confinantes de agregados como propuesta de mejoramiento de la subbase granular de un pavimento flexible, mejora considerablemente la resistencia del terreno ante la penetración, puesto que las penetraciones han disminuido de 360mm hasta valores de 35 mm, lo que representa un incremento en la capacidad de soporte de hasta 90.27%.

V. DISCUSIÓN

El primer objetivo de esta investigación fue, determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera Punta Hermosa, así como del asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos para ser utilizados en la subbase de un pavimento flexible. Se ha comparado los resultados obtenidos en el análisis granulométrico del RAP, con los obtenidos por Paccori (2018), quien en su tesis de ingeniería buscaba utilizar asfalto reciclado como una propuesta de rehabilitación vial en el distrito de Pachacamac. Llegando a la conclusión de que el asfalto reciclado provisto por la Municipalidad de Chorrillos es un material de mejor calidad, puesto que se encuentra mejor gradado, no así el RAP de Pachacamac, el cual de acuerdo con su autor incluso necesitó que se lo mezclara con agregado virgen de la cantera La Gloria para compensar su granulometría. De igual manera se han comparado los resultados de los análisis granulométricos del agregado natural y la situación es similar. Dejando en evidencia que este trabajo de investigación se ha llevado a cabo utilizando un material en muy buenas condiciones, el cual únicamente presentó la particularidad de no cumplir con los ensayos de CBR y Equivalente de Arena, pero en los demás ensayos de caracterización efectuados se obtuvieron muy buenos resultados.

El segundo objetivo de esta investigación fue, evaluar el desempeño mecánico de un geocilindro conformado por una llanta rellena con agregados naturales y asfalto reciclado, para su posible implementación en el pavimento flexible de la Av. prolongación Huaylas – Chorrillos. Para llevar a cabo este objetivo se tomó como fundamento el trabajo publicado por Bonasso (2008) acerca de los geocilindros, un sistema (neumático+agregado) denominado por su inventor como Mechanical Concrete®. En su publicación, uno de los aspectos estudiados fue la influencia de la relación entre el diámetro de los agregados y el diámetro del cilindro utilizados, para lo cual se probaron diferentes tamaños de agregados, formando relaciones de: 1 a 1700, 1 a 80 y 1 a 32. Obteniendo como resultado que en proporciones más pequeñas de agregado/diámetro del cilindro, es decir, menor de 1 a 100, el papel de la forma del cilindro al solidificar e integrar el agregado no es significativa, a menos que la carga aplicada cubra más del 80 por ciento del área circular del

cilindro, a medida que aumenta la relación tamaño de agregado/diámetro del cilindro y el tamaño de los agregados permanece uniforme. Con ese antecedente se buscó evaluar como respondían un grupo de geocilindros formados por neumáticos reciclados rellenos con agregados de diferentes tamaños de partículas, ante la simulación de una carga vehicular. Es así que de la medición de deflexiones por medio del ensayo de la Viga Benkelman se corroboró que, a mayor tamaño del agregado, es decir, a menor relación diámetro del agregado/diámetro del cilindro son mayores las deflexiones que se registran o en otros términos la función del sistema de confinamiento no resulta significativa, ya que al confinar los neumáticos con partículas de asfalto reciclado los resultados no fueron tan favorables, si se los compara con los obtenidos de los neumáticos rellenos con afirmado.

El tercer objetivo de esta investigación fue, analizar la capacidad de soporte de la subbase de un pavimento flexible con la inclusión de los geocilindros. Para llevar a cabo este objetivo se realizó el Ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC). Se compararon los resultados con los obtenidos por Enciso (2020), quien en su tesis de maestría elaboró geocilindros con tres combinaciones diferentes de agregados: 100% agregado natural, 75% RAP – 25% agregado natural y 100% RAP. Es así que tomando como parámetro de comparación el IPDC (promedio) para una profundidad de penetración en un rango entre 0 a 300 mm, se pudo observar que, al realizar la prueba tanto en el terreno natural como en los diferentes tramos con presencia de los geocilindros, en este estudio se obtuvieron menores valores de IPDC. Aquello se traduce en que tanto los agregados naturales como el asfalto reciclado utilizados se encuentran en mejores condiciones para ser considerados como material de mejoramiento de una subbase en un pavimento flexible, debido a que existe una relación entre el IPDC y el CBR in situ y es que a menor IPDC es mayor el CBR, o en otras palabras mayor la capacidad de carga de ese material.

VI. CONCLUSIONES

1. Se cumplió el objetivo general de este trabajo de investigación, ya que mediante un proceso sistemático con pasos muy bien definidos y gracias a ensayos de laboratorio y campo, se identificaron los efectos de la reutilización de llantas recicladas como una alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles.
2. La normativa MTC E 132 que regula la realización del ensayo CBR en los agregados, especifica que cuando estos van a ser utilizados en la subbase de un pavimento deben dar como resultado mínimo 40%. De los agregados ensayados el afirmado estuvo más cerca del umbral con 39.6% frente al 35.5% del RAP, por lo que no alcanzaron lo indicado por la norma. Sin embargo; se comprobó que al ser confinados en los neumáticos esos resultados mejoraron considerablemente, aun así, al comparar los resultados obtenidos del desempeño del afirmado y del RAP, se concluye que este último a pesar de estar bien gradado y haber cumplido con otros requisitos indicados en las normas, no es precisamente el mejor material para relleno de los geocilindros.
3. A mayor tamaño del agregado, es decir, a menor relación diámetro del agregado/diámetro del cilindro son mayores las deflexiones que se registran, o en otros términos la función del sistema de confinamiento no resulta significativa, ya que al confinar los neumáticos con partículas de asfalto reciclado los resultados no fueron tan favorables, si se los compara con los obtenidos de los neumáticos rellenos con afirmado.
4. Cómo se pudo apreciar tanto en las tablas 24, 25, 26 y 27 como en las figuras 29, 30, 31 y 32, ante los cuatro escenarios probados (suelo natural, neumático reciclado relleno con suelo natural del sitio de prueba, neumático reciclado relleno con agregado afirmado y neumático reciclado relleno con RAP), en el ensayo de la Viga Benkelman el que presentó el mejor desempeño fue el sistema de geocilindros rellenos con material afirmado, pues presentó los menores valores tanto de deflexiones (90.7 mm/100) como de radio de curvatura (63.7). Lo que representa una reducción del 52.92% y 118.1%

respectivamente, en comparación con lo registrado en el ensayo al terreno natural, ante la presencia de la carga que simula el tránsito vehicular.

5. Los resultados demostraron que la inclusión de neumáticos como sistemas confinantes de agregados como propuesta de mejoramiento de la subbase granular de un pavimento flexible, mejora considerablemente la resistencia del terreno ante la penetración, puesto que las penetraciones disminuyeron de 360 [mm] hasta valores de 35 [mm], lo que representa un incremento en la capacidad de soporte de hasta 90.27%.
6. Al comparar los resultados del ensayo PDC, se pudo observar la influencia de la presencia de aberturas entre los geocilindros, debido a que al realizar la misma prueba en dos puntos contiguos y al mismo nivel, uno localizado sobre un neumático relleno con terreno natural del sitio de prueba y otro sin él, en el primer caso se registró un CBR aproximadamente 323% mayor.

VII. RECOMENDACIONES

1. Basados en los resultados obtenidos se recomienda el sistema de geocilindros como una opción viable para el mejoramiento del pavimento flexible de la Av. prolongación Huaylas – Chorrillos, puesto que como se ha demostrado su utilización mejora considerablemente las condiciones de capacidad de carga, además de ser una alternativa con un impacto ambiental favorable ya que se utilizan neumáticos reciclados, los cuales hubieran terminado en un depósito de basura contaminando el ambiente.
2. Se deja abierta la posibilidad de que este tema de estudio sea replicado con otro tipo de agregados reciclados como puede ser cerámica o viejos agregados, en vista de que en el Perú aún no ha sido muy profundizado. Siempre y cuando las condiciones de ensayo sean lo más cercanas a las condiciones reales, para obtener resultados más efectivos.

REFERENCIAS

- ALVAREZ, José, BARTOLO, Jhenyfer, MONTAÑEZ, Brayan y ZAVALA, Alexis. *Estudio de geomalla de fibra de vidrio como refuerzo en pavimento flexible, progresiva kilómetro 15.5 - 16.5 de la carretera central* [en línea]. Tesis (bachillerato en Ingeniería Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/59505>.
- ARIAS, Fidas. *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* [en línea]. 7ª. ed. [s.l.]: Editorial Alegría. 2016 [Consulta: 6 junio 2021]. ISBN 9800785299. Disponible en: <http://bit.ly/3qlqTsL>.
- ASTM INTERNATIONAL. *ASTM D6951 / D6951M - 18 Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications* [en línea]. [s.l.]: s.n., 2018 [Consulta: 6 noviembre 2021]. DOI 10.1520/D6951_D6951M-18. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D6951.htm>.
- AVESANI, J.O. Application of the two-layer system theory to calculate the settlements and vertical stress propagation in soil reinforcement with geocell. *Geotextiles and Geomembranes*. 2019, **47** (1). 32-41. ISSN 02661144. DOI 10.1016/j.geotexmem.2018.09.003.
- BONASSO, Samuel. *The Effects of Aggregate Size and Gradation on Hoop Stresses in Steel Cylinders and the Reuse of Waste Tire Tread Cylinders for Aggregate Confinement in Confined Aggregate Concrete*. Morgantown: 2008 [Consulta: 1 junio 2021]. Disponible en: www.mechanicalconcrete.com.
- CHÁVEZ, Carlos, DOMÍNGUEZ, Francisco, HERNÁNDEZ, Manuel y ARREYGUE, Eleazar. Cálculo de daño en pavimentos mediante un análisis hidro-mecánico de pavimentos flexibles. *Revista Mexicana de Métodos Numéricos* [en línea]. 2020, **4**. [Consulta: 2 junio 2021]. ISSN 2604-4374. Disponible en: https://www.scipedia.com/public/Chavez_et_al_2019a.
- COLOMÉ, Delia y FEMENIA, Paúl. *Metodología de investigación para cursos de posgrado en ingeniería* [en línea]. 1ª. ed. San Juan: s.n. 2018 [Consulta: 8 mayo 2021]. ISBN 978-987-770-605-5. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/332652994_METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION_PARA_ESTUDIANTES_DE_POSGRADO_EN_INGENIERIA

A.

- CUSQUISIBÁN, Wilder. *Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumáticos para fines constructivos de pavimento* [en línea]. Tesis (pregrado en Ingeniería Civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2014. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/685>.
- DÍAZ, Cristian. Validación de un instrumentos [en línea], 2012 [Consulta: 9 junio 2021]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/cristiandiazv/clase-03-validacin-de-un-instrumentos>.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5mm (1 1/2") MTC E 207. En: *Manual de Ensayo de Materiales* [en línea]. [s.l.]: Viceministerio de Transportes, 2016a. pp. 315-322. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos MTC E 204. En: *Manual de Ensayo de Materiales* [en línea]. [s.l.]: Viceministerio de Transportes, 2016b. pp. 303-308. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. CBR de suelos (laboratorio) MTC E 132. En: *Manual de Ensayo de Materiales* [en línea]. [s.l.]: Viceministerio de Transportes, 2016c. pp. 248-256. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. Determinación del Límite Líquido de los suelos MTC E 110. En: *Manual de Ensayo de Materiales* [en línea]. [s.l.]: Viceministerio de Transportes, 2016d. pp. 67-71. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los suelos e Índice de Plasticidad (I.P.) MTC E 111. En: *Manual de Ensayo de Materiales* [en línea]. [s.l.]: Viceministerio de Transportes, 2016e. pp. 72-74. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. Medida de la deflexión de un pavimento flexible empleando la Viga Benkelman MTC E 1002.

- En: *Manual de Ensayo de Materiales* [en línea]. [s.l.]: Viceministerio de Transportes, 2016f. pp. 962-974. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino MTC E 114. En: *Manual de Ensayo de Materiales* [en línea]. [s.l.]: Viceministerio de Transportes, 2016g. pp. 91-104. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. Partículas chatas y alargadas en agregados MTC E 223. *Manual de Ensayo de Materiales* [en línea]. [s.l.]: Viceministerio de Transportes, 2016h. pp. 391-395. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles MTC E 219. En: *Manual de Ensayo de Materiales* [en línea]. [s.l.]: Viceministerio de Transportes, 2016i. pp. 378-379. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf.
- ENCISO, Christian. *Aprovechamiento de llantas usadas e inclusión de pavimento asfáltico reciclado (RAP) para estructuras de pavimento en vías de bajo tránsito* [en línea]. Tesis (maestría en Ingeniería - Geotécnica). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2020. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78798>.
- GAERTNER, M., STAUB DE MELO, J. y VILLENA, J. The influence of the wave loads in the estimation of life to the fatigue of asphalt layer in pavement structure. *Revista Ingeniería de Construcción* [en línea]. 2019, **34** (2). 136-145. [Consulta: 2 junio 2021]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v34n2/0718-5073-ric-34-02-136.pdf>.
- GUAJE, Jairo. *Estudio del agregado reciclado de residuos de construcción y demolición en celdas de confinamiento con llantas desechadas para la construcción de obras viales en Colombia* [en línea]. Tesis (maestría en Construcción). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2020. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78634>.

- GUTIÉRREZ, Victoria. *Nivel de riesgo sísmico en el distrito de chorrillos, departamento de Lima* [en línea]. Tesis (pregrado en Ingeniería Geográfica). Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2018. Disponible en: <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3204>.
- HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar, 2014. *Metodología de la investigación* [en línea]. Sexta. México: Mc Graw Hill. [Consulta: 6 junio 2021]. ISBN 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
- HONRUBIA, Mario. Hormigón mecánico y el poder del confinamiento en construcción [en línea]. *ennomotive*, 2020 [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.ennomotive.com/es/hormigon-mecanico-construccion>.
- HUANG, Mian, LIN, Cheng, POKHAREL, Sanat, TURA, Armando y MUKHOPADHYAYA, Phalguni. Model tests of freeze-thaw behavior of geocell-reinforced soils. *Geotextiles and Geomembranes*. 2021, **49** (3). 669-687. ISSN 02661144. DOI 10.1016/j.geotexmem.2020.12.003.
- LI, Lihua, CUI, Feilong, FERREIRA, Pedro, XIAO, Henglin y JIE, Huang. Experimental study of embankments with different reinforcement materials and spacing between layers. *Geotextiles and Geomembranes*. 2019, **47** (4). 477-482. ISSN 02661144. DOI 10.1016/j.geotexmem.2019.03.003.
- MATTOS, Jesús y VÁSQUEZ, Daniel. *Mejora de la subrasante de suelo arcilloso aplicando el sistema de confinamiento celular para reducir las capas del pavimento* [en línea]. Tesis (pregrado en Ingeniería Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2019. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2596>.
- MENDOZA, Guerdy. *Evaluación del comportamiento mecánico de un sistema modular compuesto por materiales reciclados para uso en pavimentos de vías terciarias* [en línea]. Tesis (maestría en Ingeniería - Geotecnia). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2020. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77621>.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción* [en línea]. [s.l.]: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2013 [Consulta: 3 noviembre

- 2021]. Disponible en:
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos* [en línea]. Perú: 2014 [Consulta: 8 junio 2021]. Disponible en:
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC_NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7_SGGP-2014.pdf.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovechables [en línea]. *SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental*, 2018 [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en:
<https://sinia.minam.gob.pe/novedades/peru-solo-se-recicla-19-total-residuos-solidos-reaprovechables>.
- PACCORI, Franklin. *Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac* [en línea]. Tesis (pregrado en Ingeniería Civil). S.I.: Universidad Peruana Los Andes, 2018. Disponible en:
https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/804/T037_46858774_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- POZO, Yesica y PUJAICO, Miguel. *Valorización de compañía Goodyear del Perú S.A.* [en línea]. Tesis (maestría en Finanzas). Lima: Universidad del Pacífico, 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11354/2408>.
- SEGOVIA, Esthefani y PACO, Alexandra. *Análisis del aprovechamiento de neumáticos reciclados usados como aditivo en el asfalto* [en línea]. Tesis (bachillerato en Ingeniería Industrial). Arequipa: Universidad Católica San Pablo, 2020. Disponible en:
https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16229/1/SEGOVIA_CARHUAS_EST_NEU.pdf.
- SHIN, Eun, KANG, Hyoun y PARK, Jeong. Reinforcement efficiency of bearing capacity with geocell shape and filling materials. *KSCE Journal of Civil Engineering* [en línea]. 2017, **21** (5). 1648-1656. [Consulta: 2 junio 2021]. ISSN 19763808. DOI 10.1007/s12205-016-1649-0.
- SONDON, Mercedes. *Efectos osmóticos en el hinchamiento de arcillas* [en línea]. Tesis (maestría). Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña, 2016. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/41830695.pdf>.

- SOSA, Antonio, WULFF, Francisco, KOGAN, Jorge, SAAVEDRA, Juan, VILORIA, Gisela y PALÍS, Leopoldo, 2010. Mantenimiento vial. Informe sectorial. [en línea]. S.l.: [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: www.caf.com/publicaciones.
- VALDÉS, Lilibet y ALONSO, Anadelys. Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles en aeropuertos para Cuba. *Revista de Arquitectura e Ingeniería* [en línea]. 2017, **11** (2). 1-11. [Consulta: 2 junio 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193954081002>.
- VENKATESWARLU, Hasthi y HEGDE, A. Effect of infill materials on vibration isolation efficacy of geocell-reinforced soil beds. *Canadian Geotechnical Journal*. 2020, **57** (9). 1304-1319. ISSN 12086010. DOI 10.1139/cgj-2019-0135.
- ZAMBRANO, María Isabel y TEJEDA, Eduardo. Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. *Revista de Arquitectura e Ingeniería* [en línea]. 2019, **13** (3). 1-13. [Consulta: 2 junio 2021]. ISSN 1990-8830. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193961007002>.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021”

AUTOR: Serrano Medina, Luis Jesús

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	INDEPENDIENTE	Geocilindros	Neumático	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual para confirmar que no existen agujeros o imperfecciones • Limpieza, corte, puesta en el sitio y relleno 	Trabajo in situ
¿Cuáles son los efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021?	Identificar los efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021.	La reutilización de llantas recicladas mejoraría el comportamiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021					
¿Cómo es el desempeño mecánico de un geocilindro conformado por una llanta rellena con agregados para su posible implementación en el pavimento flexible de la Av. Prolongación Huaylas – Chorrillos, Chorrillos 2021?	Evaluar el desempeño mecánico de un geocilindro conformado por una llanta rellena con agregados, para su posible implementación en el pavimento flexible de la Av. prolongación Huaylas – Chorrillos, Chorrillos 2021.	Un geocilindro conformado por una llanta rellena con agregados presentaría un desempeño mecánico óptimo para ser implementado en el pavimento flexible de la av. prolongación Huaylas – Chorrillos, Chorrillos 2021.	DEPENDIENTE	Mejoramiento de la subbase de un pavimento flexible	Geocilindro	<ul style="list-style-type: none"> • Energía de compactación del material granular • Peso unitario del agregado en el geocilindro • Prueba dinámica • Ensayo de penetrómetro 	Fichas de resultados de laboratorio
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS					

<p>¿De qué manera influye en las propiedades mecánicas de la subbase de un pavimento flexible la inclusión de los geocilindros, Chorrillos 2021?</p>	<p>Determinar las propiedades mecánicas de la subbase de un pavimento flexible con la inclusión de los geocilindros, Chorrillos 2021.</p>	<p>La inclusión de los geocilindros optimizaría las propiedades mecánicas de la subbase de un pavimento flexible, Chorrillos 2021.</p>				<p>dinámico de cono (PCD)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de deflectómetro de impacto (FWD) 	
<p>¿Cuál es la capacidad de soporte de la subbase de un pavimento flexible con la inclusión de los geocilindros, Chorrillos 2021?</p>	<p>Analizar la capacidad de soporte de la subbase de un pavimento flexible con la inclusión de los geocilindros, Chorrillos 2021.</p>	<p>La inclusión de los geocilindros incrementaría la capacidad de soporte de la subbase de un pavimento flexible, Chorrillos 2021.</p>					

ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TÍTULO: “Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021”

AUTOR: Serrano Medina, Luis Jesús

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable 1: Geocilindros	El geocilindro es el elemento formado por una llanta llena de agregados de piedra triturada de distintas granulometrías (naturales o reciclados), de acuerdo a las características mecánicas que se desean mejorar del suelo a intervenir, este sistema optimiza las condiciones de resistencia a la carga de rodadura de los vehículos que transitan por la vía (Honrubia, 2020).	Se utilizan como geocilindros, neumáticos reciclados (como elementos confinantes) los cuales deben estar limpios y libres de agujeros o cualquier imperfección que pueda ocasionar que se rompan y se pierda el confinamiento, rellenos de agregados naturales provenientes de	Neumático	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual para confirmar que no existen agujeros o imperfecciones • Medición de diámetro interno, altura interna y total y peso 	De Razón
			Agregados	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Abrasión en la máquina de Los Ángeles • CBR • Límite líquido • Índice de plasticidad • Equivalente de arena • Sales solubles totales 	
Variable 2: Mejoramiento de la subbase de un pavimento flexible	De acuerdo al Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) “a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos” (p. 89), se puede lograr el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo. Dicho mejoramiento puede llevarse a cabo en cualquiera de las capas que conforman un pavimento flexible.	El mejoramiento de la subbase dependerá del desempeño de los geocilindros como reemplazo de la subbase granular tradicional de un pavimento flexible.	Geocilindro	<ul style="list-style-type: none"> • Energía de compactación del material granular • Peso unitario del agregado en el geocilindro • Prueba dinámica • Ensayo de penetrómetro dinámico de cono (PCD) • Ensayo de deflectómetro de impacto (FWD) 	De Razón

ANEXO 3: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Facultad de Ingeniería Civil

TÍTULO: “Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021”

AUTOR: Serrano Medina, Luis Jesús

- **Toma de medidas de los neumáticos:**

Características del neumático	
N.º de neumático:	
Estado:	
Diámetro interno (cm):	
Altura interna (cm):	
Altura total (cm):	
Peso (g):	

- **Material necesario para rellenar el neumático:**

Características del geocilindro		
	N.º geocilindro:	
	Peso neumático (g):	
A	Peso neumático + lona (g):	
B	Peso neumático + lona + agregados (g):	
C=B-A	Peso agregados (g):	
	Peso unitario del agregado (ton/m ³):	

- **Energía de compactación:**

Número de capas de agregado:	
Número de golpes:	
Peso martillo (lb):	
Volumen del agregado (m ³):	
Altura de caída del pisón (cm):	

ANEXO 4: VALIDEZ POR JUICIO DE EXPERTOS

TÍTULO: “Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021”

AUTOR: Serrano Medina, Luis Jesús

Datos Generales del Ingeniero/a:

Nombres y Apellidos:

CIP N.º: **Firma:**

Rango de evaluación		Leyenda de evaluación	
1	0	0=No válido	
			1=Válido

- Toma de medidas de los neumáticos:**

Características del neumático		Calificación
N.º de neumático:		
Estado:		
Diámetro interno (cm):		
Altura interna (cm):		
Altura total (cm):		
Peso (g):		

- Material necesario para rellenar el neumático:**

Características del geocilindro		Calificación
	N.º geocilindro:	
	Peso neumático (g):	
A	Peso neumático + lona (g):	
B	Peso neumático + lona + agregados (g):	
C=B-A	Peso agregados (g):	
	Peso unitario del agregado (ton/m3):	

- Energía de compactación:**

		Calificación
Número de capas de agregado:		
Número de golpes:		
Peso martillo (lb):		
Volumen del agregado (m3):		
Altura de caída del pisón (cm):		

- **Prueba dinámica**

Ensayo	Carga (ton/s)	Ciclo	Módulo (Mpa)
Calificación:			

- **Ensayo de penetrómetro dinámico de cono – PDC**

Etapa	Profundidad	IPDC (mm/golpe)
Calificación		

- **Ensayo de deflectómetro de impacto – FWD**

Temperatura (°C)	Carga (kN)	1	4	5	6	7	8	Geófono N.º
		0	0.45	0.6	0.9	1.2	1.5	Distancia
								Deflexiones medidas (mm)
Calificación:								

Validación por el experto N.º 1:

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Facultad de Ingeniería Civil

Título: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021"

Autor: Serrano Medina, Luis Jesús

Datos Generales del Ingeniero/a:

Nombres y Apellidos:

CIP N.º: **Firma:**

Rango de evaluación		Leyenda de evaluación
0	1	0=No válido
←	→	1=Válido

- **Toma de medidas de los neumáticos:**

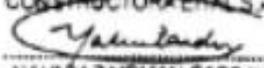
Características del neumático		Calificación
N.º de neumático:		
Estado:		
Diámetro interno (cm):		
Altura interna (cm):		
Altura total (cm):		
Peso (g):		

- **Material necesario para rellenar el neumático:**

Características del geocilindro		Calificación
	N.º geocilindro:	
	Peso neumático (g):	
A	Peso neumático + lona (g):	
B	Peso neumático + lona + agregados (g):	
C=B-A	Peso agregados (g):	
	Peso unitario del agregado (ton/m ³):	

- **Energía de compactación:**

		Calificación
	Número de capas de agregado:	
	Número de golpes:	
	Peso martillo (lb):	
	Volumen del agregado (m ³):	
	Altura de caída del pisón (cm):	

CONSTRUCTORA S.A.

NAHIM ZAIMAN SABSAY
Director General

- Prueba dinámica

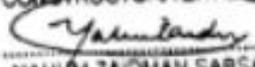
Ensayo	Carga (ton/s)	Ciclo	Módulo (Mpa)
Calificación:			

- Ensayo de penetrómetro dinámico de cono – PDC

Etapa	Profundidad	IPDC (mm/golpe)
Calificación		

- Ensayo de deflectómetro de impacto – FWD

Temperatura (°C)	Carga (kN)	1	4	5	6	7	8	Geófono N.º
		0	0.45	0.6	0.9	1.2	1.5	Distancia
								Deflexiones medidas (mm)
Calificación:								

CONSTRUCTORA ENTEL S.A.

 NAHIM ZAIDMAN SABSAY
 Director General

12

Validación por el experto N.º 2:

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Facultad de Ingeniería Civil

Título: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021"

Autor: Serrano Medina, Luis Jesús

Datos Generales del Ingeniero/a:

Nombres y Apellidos:

CIP N.º: **Firma:**

Rango de evaluación		Legenda de evaluación
0	1	0=No válido
←	→	1=Válido

• Toma de medidas de los neumáticos:

Características del neumático		Calificación
N.º de neumático:		
Estado:		
Diámetro interno (cm):		
Altura interna (cm):		
Altura total (cm):		
Peso (g):		

• Material necesario para rellenar el neumático:

Características del geocilindro		Calificación
	N.º geocilindro:	
	Peso neumático (g):	
A	Peso neumático + lona (g):	
B	Peso neumático + lona + agregados (g):	
C=B-A	Peso agregados (g):	
	Peso unitario del agregado (ton/m ³):	

• Energía de compactación:

Energía de compactación		Calificación
	Número de capas de agregado:	
	Número de golpes:	
	Peso martillo (lb):	
	Volumen del agregado (m ³):	
	Altura de caída del pisón (cm):	


SERVICIO INGENIEROS S.A.S
Luis Jesús Serrano Medina
Gerente General

Validación por el experto N.º 3:



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Facultad de Ingeniería Civil

Título: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021"

Autor: Serrano Medina, Luis Jesús

Datos Generales del Ingeniero/a:

Nombres y Apellidos:

CIP N.º: **Firma:**

Rango de evaluación	Leyenda de evaluación
0 ← → 1	0=No válido
	1=Válido

• **Toma de medidas de los neumáticos:**

Características del neumático	Calificación
N.º de neumático:	
Estado:	
Diámetro interno (cm):	
Altura interna (cm):	
Altura total (cm):	
Peso (g):	

• **Material necesario para rellenar el neumático:**

Características del geocilindro	Calificación
N.º geocilindro:	
Peso neumático (g):	
A. Peso neumático + lona (g):	
B. Peso neumático + lona + agregados (g):	
C=B-A. Peso agregados (g):	
Peso unitario del agregado (ton/m ³):	

• **Energía de compactación:**

Características de compactación	Calificación
Número de capas de agregado:	
Número de golpes:	
Peso martillo (lb):	
Volumen del agregado (m ³):	
Altura de caída del pisón (cm):	

- Prueba dinámica

Ensayo	Carga (ton/s)	Ciclo	Módulo (Mpa)
Calificación:			

- Ensayo de penetrómetro dinámico de cono – PDC

Etapa	Profundidad	IPDC (mm/golpe)
Calificación		

- Ensayo de deflectómetro de impacto – FWD

Temperatura (°C)	Carga (kN)	1	4	5	6	7	8	Geófono N.º
		0	0.45	0.6	0.9	1.2	1.5	Distancia
								Deflexiones medidas (mm)
Calificación:								


 TOMÁS ALFONSO ROCA GARCÍA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 84428

ANEXO 5: RESULTADOS DE LABORATORIO

TÍTULO: “Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021”

AUTOR: Serrano Medina, Luis Jesús

	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	Versión	01
	MTC E 204 - 2016	Fecha	04-10-2021
		Página	de 1 1

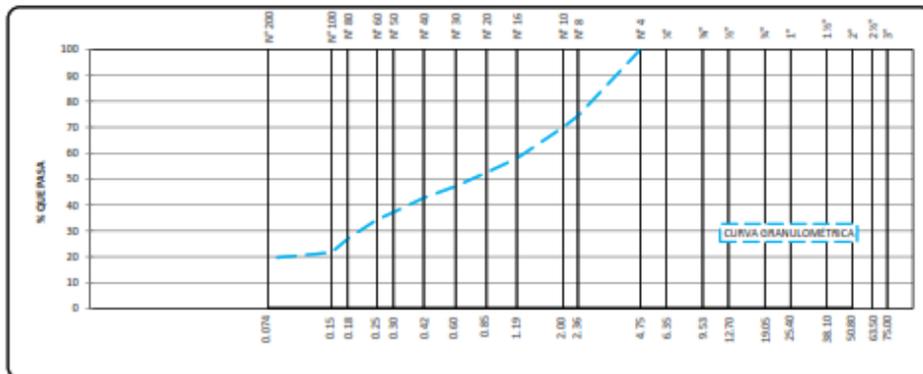
DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Afirmado

MALLAS		PESO RET. PARCIAL (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)		CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)						Limite líquido (%)	Limite plástico (%)
2"	75.00							--
2 1/2"	63.50							--
2"	50.80							--
1 1/2"	38.10							--
1"	25.40							--
3/4"	19.05							--
1/2"	12.75							--
3/8"	9.525							--
1/4"	6.350							--
Nº 4	4.750	--	--	--	100.0			
Nº 8	2.360	254.6	25.7	25.7	74.3			
Nº 10	2.000	42.4	4.3	30.0	70.0			
Nº 16	1.190	120.4	12.1	42.1	57.9			
Nº 20	0.850	53.5	5.4	47.5	52.5			
Nº 30	0.600	52.3	5.3	52.8	47.2			
Nº 40	0.420	45.0	4.5	57.3	42.7			
Nº 50	0.300	35.0	3.5	60.8	39.2			
Nº 60	0.250	28.7	2.9	63.7	36.3			
Nº 80	0.180	12.2	1.3	73.0	27.0			
Nº 100	0.150	53.7	5.4	78.4	21.6			
N 200	0.074	22.3	2.3	80.7	19.3			
Menor que Nº 200		191.9	19.3	100.0	--			

MODULO DE FINURA	
	2.02

OBSERVACIONES:	



- Equipos utilizados
- Balanza BAL-01: OHAUS - CMM 245-2019 (15-04-19)
 - Norma METROTEST-01: CTM-112-2019 (15-04-19)
 - Balanza BAL-02: OHAUS - CMM 245-2019 (15-04-19)
 - Juego de tamices TMC: OronTest

Elaborado por:
Miguel Angel Alfaro Huayanay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:


Revisado por:
Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:




INFORME
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS
MTC E 204 - 2016

Código	IF-TS-LJSM-PN
Versión	01
Fecha	04-10-2021
Página	1 de 1

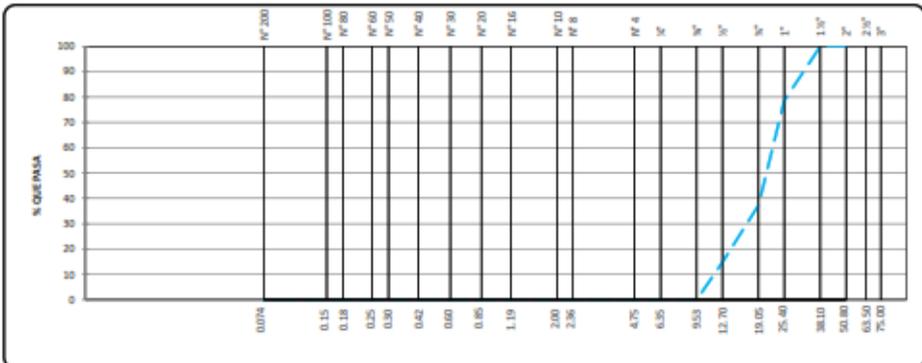
DATOS GENERALES

Solicitante : Luis Jesus Serrano Medina
 Universidad : César Vallejo
 Especialidad : Ingeniería Civil
 Tema de tesis : "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
 Ubicación : Chorrillos
 Fecha de emisión : 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra : Afrimado

MALLAS		PESO RET. PARCIAL (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO		
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)							
3"	75.00	--	--	--	100.0	Limite líquido (%)	--	
2 1/2"	63.50	--	--	--	--	Limite plástico (%)	--	
2"	50.80	--	--	--	100.0	Índice plástico (%)	--	
1 1/2"	38.10	--	--	--	100.0	Clasificación SUCS		
1"	25.40	847.0	21.4	21.4	78.6	Clasificación AASHTO		
3/4"	19.05	1,636.0	41.3	62.7	37.3	% Grava	100.0	
1/2"	12.70	893.0	22.5	85.2	14.8	% Arena		
3/8"	9.525	586.0	14.8	100.0	--	% Pasante Nº 200		
1/4"	6.350	--	--	100.0	--	Peso Inicial (gr)	3964.0	
Nº 4	4.750	--	--	100.0	--	Porción de finos (gr)		
Nº 8	2.360	--	--	100.0	--	OBSERVACIONES:		
Nº 15	1.050							
Nº 30	0.600							
Nº 60	0.250							
Nº 100	0.150							
Nº 200	0.075							
Menor que Nº 200				100.0	--			



Equipos utilizados

- Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-243-2019 (13-04-18)
- Horno METROTEST-02: CTR-112-2019 (13-04-18)
- Balanza BAL-03: OHAUS - CMM-243-2019 (13-04-18)
- Juego de tamices FMZ: Ohaifort

Elaborado por:
 Miguel Angel Albaro Huaymay
 Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
 HISGEO LAB S.A.C.
 Firma:

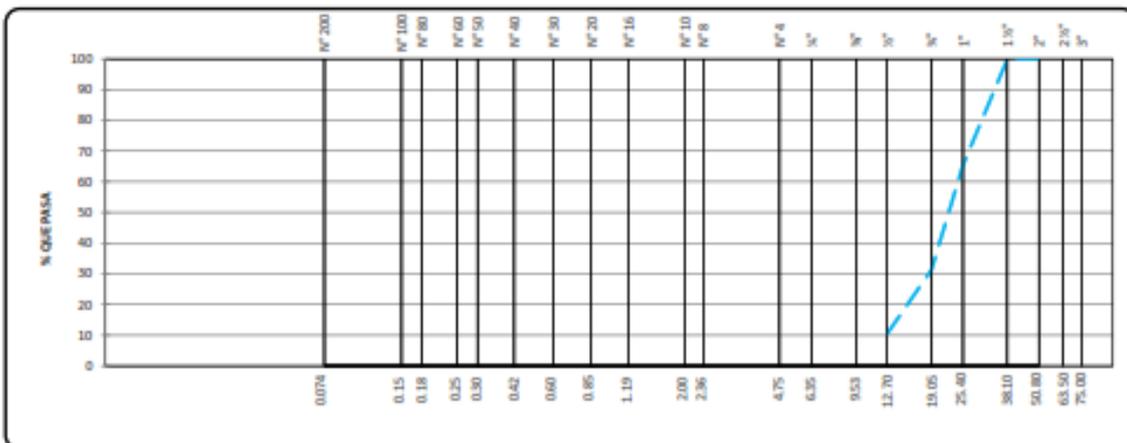
Revisado por:
 Juan Carlos Zapata Silva
 Ing. Civil CIP 56346
 HISGEO LAB S.A.C.
 Firma:

 HISGEO LAB S.A.C.	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204 - 2010	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 1

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Pavimento asfáltico recuperado (RAP)

MALLAS		PESO RET. PARCIAL (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)					Limite líquido (%)	Limite plástico (%)
3"	75.00	--	--	--	100.0		--
2 1/2"	63.50	--	--	--	--		--
2"	50.80	--	--	--	100.0		--
1 1/2"	38.10	--	--	--	100.0		--
1"	25.40	1,066.0	34.6	34.6	65.4		
3/4"	19.05	1,051.0	34.1	69.7	31.3		
1/2"	12.70	643.0	20.6	89.3	10.5		
3/8"	9.525	325.0	10.5	100.0	--		
1/4"	6.350	--	--	100.0	--		
Nº 4	4.750	--	--	100.0	--	% Grava	100.0
Nº 8	2.360	--	--	100.0	--	% Arena	
Nº 10	2.000					% Pasante Nº 200	
Nº 16	1.190					Peso Inicial (gr)	3083.0
Nº 20	0.850					Porción de finos (gr)	
Nº 30	0.600					OBSERVACIONES:	
Nº 40	0.420						
Nº 50	0.300						
Nº 60	0.250						
Nº 80	0.180						
Nº 100	0.150						
N 200	0.074						
Menor que Nº 200				100.0	-		



Equipos utilizados

- Balanza BAL-01: OHAUS - CVM-243-2019 (15-04-19)
- Horno METROTTEST-01: CVM-112-2019 (15-04-19)
- Balanza BAL-03: OHAUS - CVM-243-2019 (15-04-19)
- Juego de tamices TMC: GranTest

Elaborado por:
Miguel Angel Albero Huaynay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEO LAB S.A.C.

Firma:


Revisado por:
Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEO LAB S.A.C.

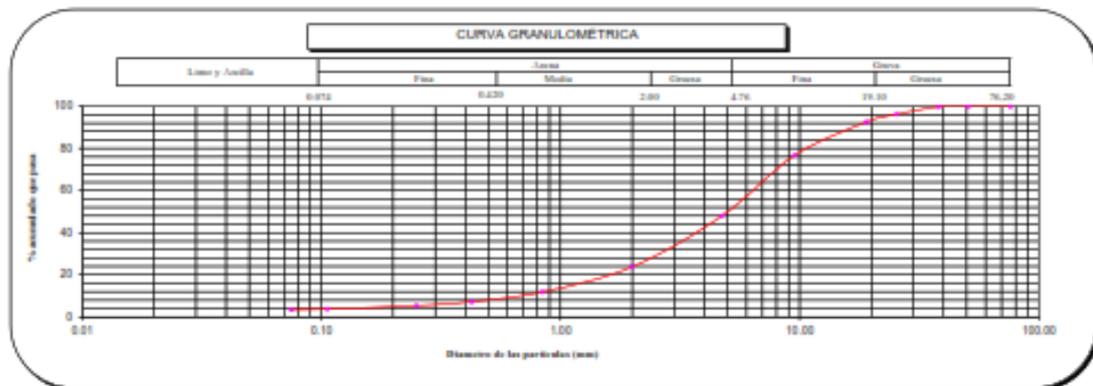
Firma:


 HISGEO LAB S.A.C.	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MTC E 107 - 2016	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 6

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Pavimento asfáltico recuperado (RAP)

Malla	N°	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	
							Limite Líquido (LL)	N.P.
	3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0	Limite Líquido (LL)	N.P.
	2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	Limite Plástico (LP)	N.P.
	1 1/2"	38.100	70	0.2	0.2	99.8	Índice Plástico (IP)	N.P.
	1"	25.400	1073	3.6	3.8	96.2	Clasificación (S.U.C.S.) ASTM-D2487	OW
	3/4"	19.100	1057	3.5	7.3	92.6	Clasificación (AASHTO) ASTM-D3282	A-3-a
	3/8"	9.520	4769	16.0	23.3	76.7	Índice de Grupo	0
	N° 4	4.760	8521	28.5	51.8	48.1	% Grava	51.8
	N° 10	2.000	7256.0	24.3	76.1	23.8	% Arena	44.6
	N° 20	0.840	5585.2	12.0	88.1	11.8	% < N° 200	5.5
	N° 40	0.425	1575.6	4.6	92.7	7.2		
	N° 60	0.250	567.3	1.9	94.6	5.3		
	N° 140	0.106	447.9	1.5	96.1	3.8		
	N° 200	0.075	88.6	0.3	96.4	3.5		
	< 200	MTC E 157	1055.1	3.5	100.0	0.0		
							Descripción de Muestra:	
							Grava bien gradada con arena	



- Referencias:**
- ASTM D 423-05 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates
 - ASTM D 4318-05 Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils
 - ASTM D 2487-05 Standard classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system)
 - ASTM D 2210-05 Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass
 - ASTM D 3282-04e1 Standard of practice for classification of soil-aggregate mixtures for highway construction purposes
 - ASTM D 1140-05 Standard test for amount of material in soils finer than the N° 200 (75 um) sieve

- Equipos utilizados:**
- Balanza BAL-01-ORHAUS - CMM 245 2019 (15-04-20)
 - Porno METROTEC-01-CTM-113 2019 (05-04-20)
 - Balanza BAL-02-ORHAUS - CMM 245 2019 (15-04-20)
 - Juego de tamices TMC OneTest

Elaborado por:
Miguel Angel Alfaro Huayanay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEO LAB S.A.C.
Firma: 

Revisado por:
Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEO LAB S.A.C.
Firma: 

 HISGEOLAB S.A.C.	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	ABRASIÓN LOS ANGELES (L.A.)	Versión	01
	AL DESGASTE DE LOS GREGADOS	Fecha	04-10-2021
	MTC E 207 - 2016	Página	1 de 1

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Afirmado

TAMIZ	GRADACIONES			
	A	B	C	D
1 1/2"				
1"	1250			
3/4"	1250			
1/2"	1250			
3/8"	1250			
1/4"				
Nº 4				
Peso total (gr)	5000			
Peso obtenido (gr)	3500			
Pérdida después del ensayo (gr)	1500			
Nº de esferas (gr)	12			
Peso de las esferas (gr)	4847.8			
Porcentaje de pérdida (%)	30.0			

Observaciones

Referencia

ASTM C 131-03 Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact the Los Angeles Machine.

Equipos utilizados

Maquina de Abrasión Los Angeles ALA-01: METROTTEST - CFTM-019-2019 (15-04-19)

Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-243-2019 (15-04-19)

Norma METROTTEST-01: CTM-112-2019 (15-04-19)

Elaborado por:
 Miguel Angel Alfaro Huayanay
 Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
 HISGEOLAB S.A.C.

Firma:



Revisado por:
 Juan Carlos Zapata Silva
 Ing. Civil CIP 56346
 HISGEOLAB S.A.C.

Firma:



 HISGEOLAB S.A.C	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	ABRASIÓN LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS MTC E 207 - 2010	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 1

DATOS GENERALES

Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra	: Pavimento asfáltico recuperado (RAP)
----------------	--

TAMIZ	GRADACIONES			
	A	B	C	D
1 1/2"				
1"	1250			
3/4"	1250			
1/2"	1250			
3/8"	1250			
1/4"				
Nº 4				
Peso total (gr)	5000			
Peso obtenido (gr)	4414			
Pérdida después del ensayo (gr)	586			
Nº de esferas (gr)	12			
Peso de las esferas (gr)	4847.8			
Porcentaje de pérdida (%)	11.7			

Observaciones _____

Referencia _____
 - ASTM C 131-03 Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact the Los Angeles Machine.

Equipos utilizados _____
 - Máquina de Abrasión Los Angeles ALA-01: METROTTEST - CFM-019-2019 (13-04-19)
 - Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-243-2019 (13-04-19)
 - Horno METROTTEST-01: CFM-112-2019 (13-04-19)

Elaborado por:
 Miguel Angel Alfaro Huayanay
 Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
 HISGEOLAB S.A.C.
Firma: 

Revisado por:
 Juan Carlos Zapata Silva
 Ing. Civil CIP 56346
 HISGEOLAB S.A.C.
Firma: 

	INFORME		Código	IF-TS-LJSM-PN
	CBR DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132 - 2010		Versión	01
			Fecha	04-10-2021
			Página	5 de 6

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Afirmado
	SUCS : SP AASHTO: A-1-a (0)

COMPACTACIÓN						
Molde N°	45		81		48	
Capas N°	3		3		3	
Bolpes por capa N°	55		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12050.00	12240.00	12140.00	12310.00	11750.00	11950.00
Peso de molde (g)	7608.00	7608.00	7914.00	7914.00	7700.00	7700.00
Peso del suelo húmedo (g)	4422.00	4632.00	4226.00	4396.00	4050.00	4250.00
Volumen del molde (cm ³)	2049.62	2049.62	2055.04	2055.04	2074.07	2074.07
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.157	2.260	2.056	2.139	1.953	2.049
Peso suelo húmedo + tara (g)	349.00	456.00	311.00	411.00	324.00	303.00
Peso suelo seco + tara (g)	335.20	425.30	296.30	384.00	308.00	472.00
Peso de tara (g)	37.00	33.00	31.00	35.00	31.00	33.00
Peso de agua (g)	15.80	30.70	14.70	27.00	16.00	31.00
Peso de suelo seco (g)	296.20	390.30	265.30	349.00	277.00	419.00
Contenido de humedad (%)	5.3	7.9	5.5	7.7	5.8	7.4
Densidad seca (g/cm ³)	2.048	2.093	1.948	1.986	1.848	1.908

EXPANSION										
FECHA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
15/10/2021	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
16/10/2021	24	5.480	5.480	4.7	8.900	8.900	7.7	5.720	5.720	5.0
17/10/2021	48	5.980	5.980	5.2	8.780	8.780	7.6	6.090	6.090	5.2
		6.390	6.390	5.5	8.200	8.200	7.1	6.550	6.550	5.7

PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 45				MOLDE N° 81				MOLDE N° 48			
		Presion (kg/cm ²)	CARGA (kg)	CORRECCION (kg)	%	Presion (kg/cm ²)	CARGA (kg)	CORRECCION (kg)	%	Presion (kg/cm ²)	CARGA (kg)	CORRECCION (kg)	%
0.000			0			0					0		
0.635		4.5	87.7		2.8	54.6			1.9	36.2			
1.270		7.5	145.3		5.4	105.3			4.7	91.4			
1.905		10.0	195.3		7.5	145.3			6.2	120.7			
2.540	70.45	16.2	315.2		8.5	165.2			7.0	135.8			
3.180		20.4	312.5		17.2	335.2			11.0	214.5			
3.810		36.8	716.5		28.2	548.5			21.4	415.2			
5.080	105.68	43.5	845.5		37.3	724.5			32.2	625.3			
7.620		53.3	1035.2		45.2	878.6			38.4	745.6			
10.160													
12.700													

Referencia:

- ASTM D 1557-02 Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
- ASTM D 1557-02 Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort
- 58000 lbs/ft³ (2700 kN/m³)
- Máquina de Ensayos CBR (escala 5000 kg), Unidades de medida: SI
- Pistón de penetración metálico de sección transversal circular de 49.75 mm
- Celda de Carga Tipo "T", 5-OL-MDD023579
- Sobrecarga de Saturación y Penetración: Dos pesas circulares de 130,81 mm de diámetro y masa total de 4,35 kg.

Equipos utilizados

- Balanza BAL-01: OHAUS - OMM-245-2019 (15-04-18)
- Norma METROTIST-01: CPM 112-2019 (15-04-19)
- Balanza BAL-03: OHAUS - OMM-245-2019 (15-04-18)
- Juego de tamicas TMC: OSANTEST
- Martillo de compactación de energía modificada MPM-01: METROTIST
- Máquina de Ensayos CBR-01: METROTIST-CPM-080-2019 (15-04-19)

Elaborado por:
Miguel Angel Alfaro Huayanay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:


Revisado por:
Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:


**INFORME**CBR DE SUELOS (LABORATORIO)
MTC E 132 - 2016

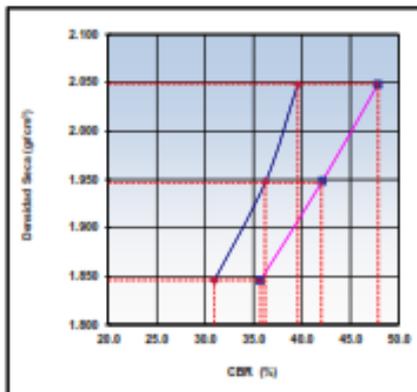
Código	IF-TS-LJSM-PN
Versión	01
Fecha	04-10-2021
Página	6 de 6

DATOS GENERALES

Solicitante : Luis Jesus Serrano Medina
 Universidad : César Vallejo
 Especialidad : Ingeniería Civil
 Tema de tesis : "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
 Ubicación : Chorrillos
 Fecha de emisión : 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra : Afirmado
 SUCS : SP
 AASHTO: A-1-a (0)



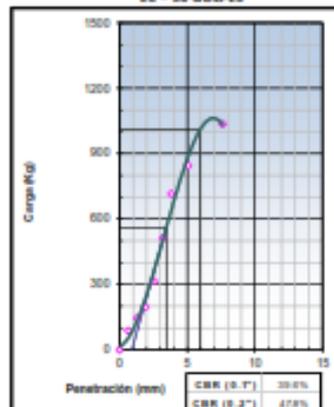
MÉTODO DE COMPACTACIÓN : ASTM D1557
 MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.049
 ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 5.4
 95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.947

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1": 39.6	0.2": 47.9
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1": 36.2	0.2": 42.0

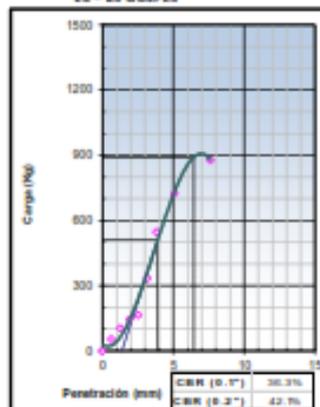
RESULTADOS (0.2"):
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 47.9 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 42.0 (%)

RESULTADOS (0.1"):
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 39.6 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 36.2 (%)

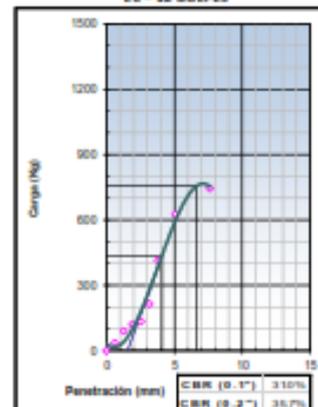
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES

**Referencia:**

- ASTM D 1883-05 Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
- ASTM D 1557-02 Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 lbf/ft³ (2700 kN/m³)
- Máquina de Ensayos CBR (escala 5000 kgf). Unidades de medida: SI
- Pistón de penetración metálica de sección transversal circular de 48.75 mm
- Celda de Carga Tipo "B": S-GI-M20023579
- Sobrecarga de Saturación y Penetración: Dos pesas circulares de 150.81 mm de diámetro y masa total de 4.55 kg.

Equipos utilizados

- Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-245-2019 (15-04-19)
- Horno METROTTEST-01: CMA-112-2019 (15-04-19)
- Balanza BAL-03: OHAUS - CMM-245-2019 (15-04-19)
- Martillo de compactación de energía modificada MBM-01: METROTTEST
- Máquina de Ensayos CBR-01: METROTTEST-CMA-080-2019 (15-04-19)

Elaborado por:
 Miguel Angel Alfaro Huayanay
 Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
 HISGEO LAB S.A.C.

Firma:

Revisado por:
 Juan Carlos Zapata Silva
 Ing. Civil CIP 56346
 HISGEO LAB S.A.C.

Firma:

 HISGEO LAB S.A.C	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	CBR DE SUELOS (LABORATORIO)	Versión	01
	MTC E 132 - 2010	Fecha	04-10-2021
		Página	5 de 6

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Pavimento asfáltico recuperado (RAP)
	SUCS : OW AASHTO: A-1-a (0)

COMPACTACION						
Molde Nº	21		41		24	
Capas Nº	3		5		5	
Golpes por capa Nº	35		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11902.00	12074.00	12130.00	12312.00	11470.00	11610.00
Peso de molde (g)	7540.00	7540.00	7956.00	7956.00	7533.00	7533.00
Peso del suelo húmedo (g)	4362.00	4534.00	4174.00	4356.00	3937.00	4075.00
Volumen del molde (cm ³)	2074.07	2074.07	2071.35	2071.35	2068.63	2068.63
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.105	2.186	2.015	2.103	1.902	1.970
Peso suelo húmedo + tara (g)	336.00	406.00	302.00	464.00	349.00	349.00
Peso suelo seco + tara (g)	322.00	377.00	286.00	430.00	331.00	324.00
Peso de tara (g)	30.00	35.00	31.00	36.00	34.00	33.00
Peso de agua (g)	16.00	29.00	16.00	34.00	18.00	25.00
Peso de suelo seco (g)	292.00	342.00	255.00	394.00	297.00	291.00
Contenido de humedad (%)	5.5	8.5	6.3	8.6	6.1	8.6
Densidad seca (g/cm ³)	1.994	2.015	1.896	1.956	1.794	1.814

EXPANSION										
FECHA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
15/10/2021	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
16/10/2021	24	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
17/10/2021	48	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
		0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0

PENETRACION											
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE Nº 21			MOLDE Nº 41			MOLDE Nº 24			
		Presion (N/cm ²)	CARGA kg	CORRECCION kg %	Presion (N/cm ²)	CARGA kg	CORRECCION kg %	Presion (N/cm ²)	CARGA kg	CORRECCION kg %	
0.000			0			0			0		
0.633			3.7	71.8		3.4	65.3		1.0	20.1	
1.270			7.9	153.8		6.6	126.3		4.0	76.7	
1.905			12.0	232.3		10.4	202.3		6.6	127.6	
2.540	70.45		15.5	300.8		16.2	315.2		8.4	165.2	
3.180			24.7	480.3		24.6	478.6		19.3	380.0	
3.810			31.7	615.3		29.9	580.3		24.2	470.6	
5.080	105.68		41.7	810.3		34.9	678.3		31.0	602.3	
7.620			47.3	924.3		39.8	774.2		38.6	750.2	
10.160											
12.700											

- Referencia:**
- ASTM D 1557-03 Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
 - ASTM D 1557-02 Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 58000 lbf/ft² (2700 kN/m²)
 - Máquina de Ensayos CBR (escala 5000 kgf). Unidades de medida: SI
 - Pistón de penetración metálico de sección transversal circular de 49.75 mm
 - Celda de Carga Tipo "T": S-CL-M2D021579
 - Sobrecarga de Saturación y Penetración: Dos pesos circulares de 130,81 mm de diámetro y masa total de 4,30 kg.

- Equipos utilizados:**
- Balanza BAL-05: OHAUS - OMA-245-2019 (15-04-18)
 - Forma METROTIST-01: CTM-112-2019 (15-04-19)
 - Balanza BAL-05: OHAUS - OMA-245-2019 (15-04-18)
 - Juego de tamices: TMC: GRANITEST
 - Martillo de compactación de energía modificada MPM-01: METROTIST
 - Máquina de Ensayos CBR-01: METROTIST-CTM-080-2019 (15-04-19)

Elaborado por:
Miguel Angel Altaro Huayana
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEO LAB S.A.C.

Firma:


Revisado por:
Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEO LAB S.A.C.

Firma:

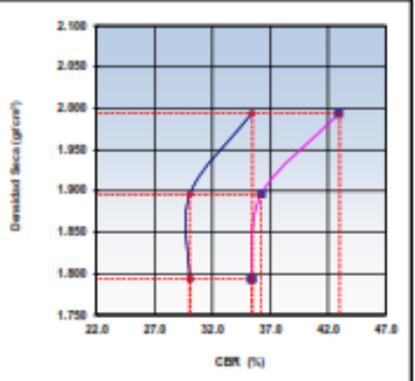

DATOS GENERALES

Solicitante : Luis Jesus Serrano Medina
Universidad : César Vallejo
Especialidad : Ingeniería Civil
Tema de tesis : "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación : Chorrillos
Fecha de emisión : 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra : Pavimento asfáltico recuperado (RAP)

SUCS : OW
AASHTO : A-1-a (0)

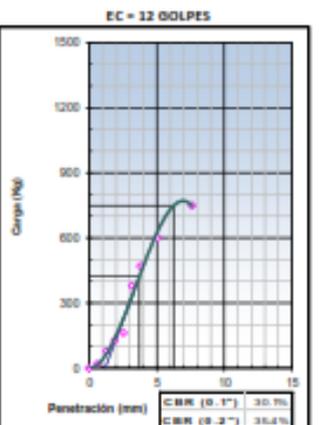
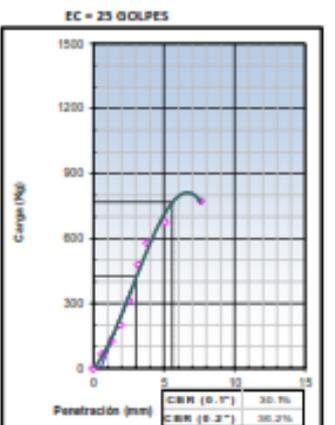
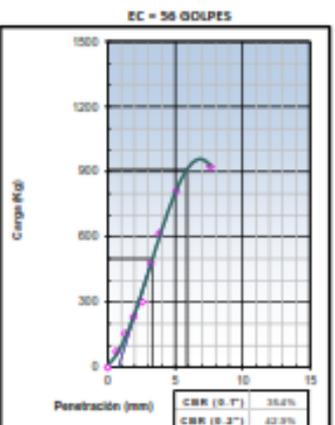


MÉTODO DE COMPACTACIÓN : ASTM D1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.995
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 5.6
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.895

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1" : 35.5	0.2" : 43.0
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1" : 30.0	0.2" : 36.2

RESULTADOS (0.2"):
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = **43.0 (%)**
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **36.2 (%)**

RESULTADOS (0.1"):
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = **35.5 (%)**
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **30.0 (%)**



Referencia:

- ASTM D 1883-05 Standard test method for CBR (California bearing ratio) of laboratory-compacted soils
- ASTM D 1557-02 Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lb/ft³ (2700 kN-m/m³)
- Máquina de Ensayos CBR (escala 5000 kgf). Unidades de medida: SI
- Pistón de penetración metálico de sección transversal circular de 48.75 mm
- Carga de Carga Tipo "D": S-OL-M20021579
- Sobrecarga de Saturación y Penetración: Dos pesos circulares de 150,81 mm de diámetro y masa total de 4,55 kg.

Equipos utilizados

- Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-245-2019 (15-04-19)
- Horno METROTTEST-01: CTM-112-2019 (15-04-19)
- Balanza BAL-03: OHAUS - CMM-245-2019 (15-04-19)
- Martillo de compactación de energía modificada MPM-01: METROTTEST
- Máquina de Ensayos CBR-01: METROTTEST-CMA-080-2019 (15-04-19)

Elaborado por:
 Miguel Angel Alfaro Huayanay
 Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
 HISGEO LAB S.A.C.
Firma:


Revisado por:
 Juan Carlos Zapata Silva
 Ing. Civil CIP 56346
 HISGEO LAB S.A.C.
Firma:


 HISGEO LAB S.A.C.	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO MTC E 108 - 2016	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 1

DATOS GENERALES

Solicitante : Luis Jesus Serrano Medina
Universidad : César Vallejo
Especialidad : Ingeniería Civil
Tema de tesis : "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación : Chorrillos
Fecha de emisión : 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra : Afirmado

Muestra N°		1	2	3	4	5
Peso tara	(g)	50.0	55.0	59.0		
Peso tara + muestra húmeda	(g)	350.0	461.4	405.0		
Peso tara + muestra seca	(g)	348.0	459.1	402.8		
Peso de agua	(g)	2.0	2.3	2.2		
Peso de suelo seco	(g)	298.0	404.1	343.8		
Contenido de Humedad	(%)	0.7	0.6	0.6		
PROMEDIO	(%)	0.6				

Observaciones _____

Referencia : ASTM D 2216-05 Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass.

Equipos utilizados : Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-245-2009 (15-04-19)
 : Horno METROTEST-01: CTM-112-2019 (15-04-19)
 : Balanza BAL-03: OHAUS - CMM-245-2009 (15-04-19)

Elaborado por:
 Miguel Angel Alfaro Huayanay
 Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
 HISGEO LAB S.A.C.
Firma:



Revisado por:
 Juan Carlos Zapata Silva
 Ing. Civil CIP 56346
 HISGEO LAB S.A.C.
Firma:



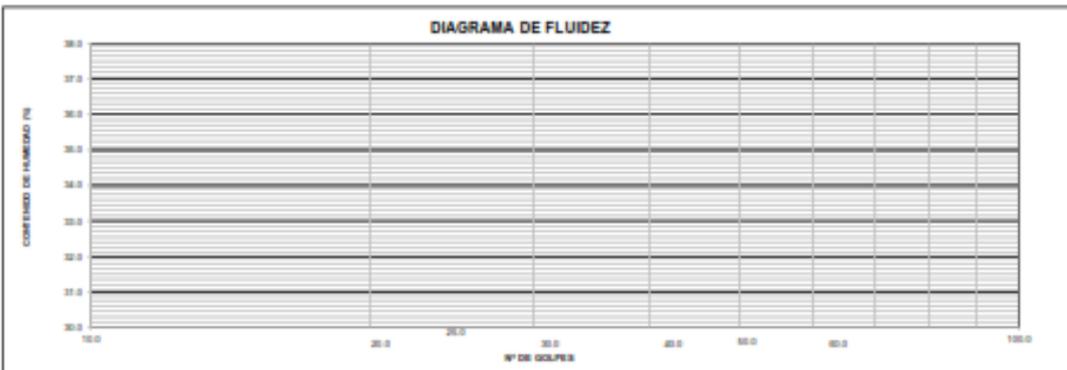
 HISGEO LAB S.A.C	INFORME	Código	IF-T8-LJSM-PN
	LÍMITES DE ATTERBERG MTC E 110 & E 111 - 2016	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	3 de 6

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Afirmado

LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110 - 2016)			
Nº TARRO			
TARRO + SUELO HÚMEDO	g		
TARRO + SUELO SECO	g		
AGUA	g	N.P.	
PESO DEL TARRO	g		
PESO DEL SUELO SECO	g		
% DE HUMEDAD			
Nº DE GOLPES			

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111 - 2016)			
Nº TARRO			
TARRO + SUELO HÚMEDO	g		
TARRO + SUELO SECO	g	N.P.	
AGUA	g		
PESO DEL TARRO	g		
PESO DEL SUELO SECO	g		
% DE HUMEDAD			



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA			OBSERVACIONES
LÍMITE LÍQUIDO	(%)	N.P.	La muestra fue proporcionada por el solicitante.
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	N.P.	Ensayo efectuado al material pasando la malla N° 40.
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	(%)	N.P.	Ensayo realizado mediante el "MÉTODO DE MULTIPUNTO".

Referencia:

ASTM D 4318-05 Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils.

Equipos utilizados

- Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-245-2020 (25-04-19)
- Horno METROTTEST-01: CTM-112-2020 (25-04-19)
- Copa Coliganda CCO-01: Pincus-CLM-380-2019 (15-04-2018)

Elaborado por:
Miguel Angel Alfaro Huayanay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEO LAB S.A.C.

Firma:



Revisado por:
Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEO LAB S.A.C.

Firma:



 HISGEOLAB S.A.C.	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO MTC E 108 - 2016	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 1

DATOS GENERALES

Solicitante : Luis Jesus Serrano Medina
Universidad : César Vallejo
Especialidad : Ingeniería Civil
Tema de tesis : "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación : Chorrillos
Fecha de emisión : 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra : Pavimento asfáltico recuperado (RAP)

Muestra N°		1	2	3	4	5
Peso tara	(g)	111.0	93.0	103.0		
Peso tara + muestra húmeda	(g)	483.0	429.0	447.0		
Peso tara + muestra seca	(g)	474.0	421.1	437.8		
Peso de agua	(g)	9.0	7.9	9.2		
Peso de suelo seco	(g)	363.0	328.1	334.8		
Contenido de Humedad	(%)	2.5	2.4	2.7		
PROMEDIO	(%)	2.5				

Observaciones :

Referencia : ASTM D 2216-05 Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass.

Equipos utilizados :

- Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-243-2020 (25-04-19)
- Horno METROTTEST-01: CTM-112-2019 (13-04-19)
- Balanza BAL-03: OHAUS - CMM-243-2020 (25-04-19)

Elaborado por:
 Miguel Angel Altaro Huayanay
 Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
 HISGEOLAB S.A.C.
Firma:



Revisado por:
 Juan Carlos Zapata Silva
 Ing. Civil CIP 56346
 HISGEOLAB S.A.C.
Firma:



 HISGEO LAB S.A.C	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	LÍMITES DE ATTERBERG	Versión	01
	MTC E 110 & E 111 - 2016	Fecha	04-10-2021
		Página	3 de 6

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luls Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de lánfias recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

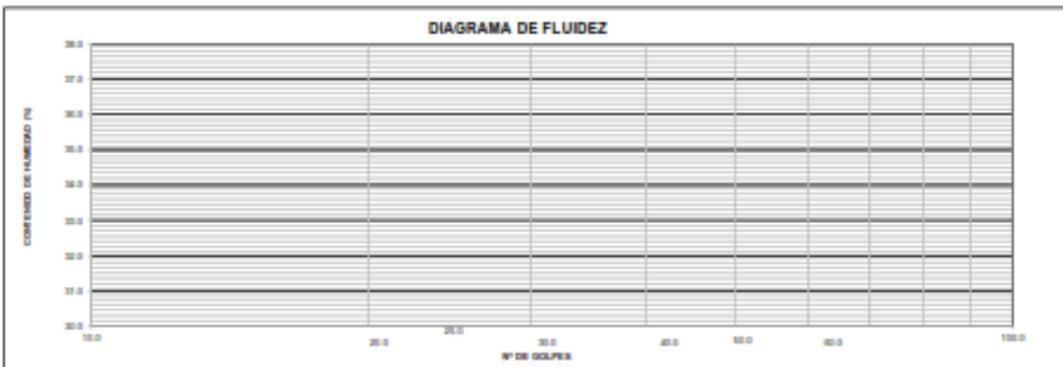
DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Pavimento asfáltico recuperado (RAP)

LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110 - 2016)			
Nº TARRO			
TARRO + SUELO HÚMEDO	g		
TARRO + SUELO SECO	g		
AGUA	g		
PESO DEL TARRO	g		
PESO DEL SUELO SECO	g		
% DE HUMEDAD			
Nº DE GOLPES			

N.P.

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111 - 2016)			
Nº TARRO			
TARRO + SUELO HÚMEDO	g		
TARRO + SUELO SECO	g		
AGUA	g		
PESO DEL TARRO	g		
PESO DEL SUELO SECO	g		
% DE HUMEDAD			

N.P.



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		OBSERVACIONES	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	N.P.	La muestra fue proporcionada por el solicitante.	
LÍMITE PLÁSTICO (%)	N.P.	Ensayo efectuado al material pasando la malla N° 40.	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	N.P.	Ensayo realizado mediante el "MÉTODO DE MULTIPUNTO".	

Referencia:

ASTM D 4318-05 Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils.

Equipos utilizados

- Balanza BAL-01: OHAUS - CMA-245-2020 (25-04-18)
- Horno METROTTEST-02: CTRM-112-2020 (25-04-18)
- Copa Casagrande CCO-01: Prouse-CLM-386-2019 (15-04-2019)

Elaborado por:

Miguel Angel Alfaro Huayanay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEO LAB S.A.C.

Firma:



Revisado por:

Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEO LAB S.A.C.

Firma:



 HISGEO LAB S.A.C.	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS MTC E 114 - 2016	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 1

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de lantias recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS GENERALES	
MUESTRA	: Afirmado

DESCRIPCIÓN		Nº DE ENSAYO		
		1	2	3
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)	(in)	4.75		
Hora de entrada a saturación		16:50	16:52	16:54
Hora de salida de saturación (mas 10')		17:00	17:02	17:04
Hora de entrada a decantación		17:02	17:04	17:06
Hora de salida de decantación (mas 20')		17:22	17:24	17:26
Altura máxima de material fino	(in)	11.20	11.30	11.20
Altura máxima de la arena	(in)	2.00	2.00	2.00
Equivalente de Arena	%	18.0	18.0	18.0
PROMEDIO	%	18.00		

Observaciones

- Método Manual.

Referencia

- ASTM D 2419-02 Standard test methods for sand equivalent value of soils and fine aggregate

Equipos utilizados

- Equipo Equivalente de Arena EEA-01
 - Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-243-2019 (15-04-19)
 - Horno METROTTEST-01: CTM-112-2019 (15-04-19)
 - Balanza BAL-03: OHAUS - CMM-245-2019 (15-04-19)
 - Agitador Mecánico AME-01

Insumos utilizados

- Stock de Solución para Equivalente de Arena SSE-01
 - Solución de Trabajo para Equivalente de Arena STE-01

Elaborado por:
 Miguel Angel Alfaro Huayanay
 Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
 HISGEO LAB S.A.C.

Firma:



Revisado por:
 Juan Carlos Zapata Silva
 Ing. Civil CIP 56346
 HISGEO LAB S.A.C.

Firma:



ENSAYOS ANALISIS QUIMICO EN SUELO

: 909 - LEM - 21 - AQ
: LUIS JESÚS SERRANO MEDINA
: EFECTOS DE LA REUTILIZACIÓN DE LLANTAS RECICLADAS COMO ALTERNATIVA DE MEJORAMIENTO DE LA SUBBASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, CHORRILLOS 2021
: DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION
: DISTRITO DE CHORRILLOS - LIMA - LIMA
: 21 DE SETIEMBRE DE 2021

Muestra	Profundidad (m)	Sales Solubles Totales (ppm)	Sulfatos (ppm)	Cloruros (ppm)
- 1	----	2,914.00	1,296.00	1,234.00

Partes por millón



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL - CIP 68428

**PARTÍCULAS CHATAS, ALARGADAS, O CHATAS Y
ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO
MTC E 223 - 2016**

FECHA : 20/108/21

DATOS GENERALES

SOLICITANTE : LUIS JESUS SERRANO MEDINA
 PROYECTO : " EFECTOS DE LA REUTILIZACION DE LLANTAS RECICLADAS COMO ALTERNATIVA DE MEJORAMIENTO DE LA SUBBASE DE PAVIMENTO FLEXIBLE. CHORRILLOS 2021"
 UBICACIÓN : CHORRILLO

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : C1

A. PARTICULAS CHATAS

MATERIAL		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	PARTICULAS CHATAS (g)	CANTIDAD PARTICULAS	C (B/A)*100	D %	E C*D
PASA	RETENIDO						
1 1/2"	1"	847.0	57.0	0.0	6.7	21.4	144.0
	1"	1636.0	119.0	0.0	7.3	41.3	300.4
	3/4"	893.0	79.0	0.0	8.8	22.3	199.0
	1/2"	588.0	32.0	0.0	5.4	14.8	80.3
TOTAL		3964.0	287.0	0.0	28.3	100.0	724.0
						% CHATAS	7.2

B. PARTICULAS ALARGADAS

MATERIAL		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	PARTICULAS CHATAS (g)	CANTIDAD PARTICULAS	C (B/A)*100	D %	E C*D
PASA	RETENIDO						
1 1/2"	1"	847.0	68.0	0.0	8.0	21.4	171.8
	1"	1636.0	33.0	100.0	2.1	41.3	88.4
	3/4"	893.0	23.0	100.0	2.6	22.3	58.0
	1/2"	588.0	12.0	100.0	2.0	14.8	30.2
TOTAL		3964.0	138.0	300.0	14.8	100.0	348.3
						% ALARGADAS	3.5

C. PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS

MATERIAL		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	PARTICULAS CHATAS (g)	CANTIDAD PARTICULAS	C (B/A)*100	D %	E C*D
PASA	RETENIDO						
1 1/2"	1"	847.0	125.0	0.0	14.8	21.4	315.8
	1"	1636.0	154.0	100.0	9.4	41.3	388.8
	3/4"	893.0	102.0	100.0	11.4	22.3	257.0
	1/2"	588.0	45.0	100.0	7.7	14.8	113.3
TOTAL		3964.0	426.0	300.0	43.2	55.6	1074.9
						%CHAT Y ALARG	20.1

Observaciones

- RELACION 5:1

Referencia

- ASTM D 3821-05 Standard test method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate

Equipos utilizados

- Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-243-2019 (15-04-18)

- Norma METROTEST-01: CTM-112-2019 (15-04-19)

- Dispositivo Calibrador Proporcional DCP-01

FECHA : 29/01/2021

DATOS GENERALES

SOLICITANTE : LUIS JESUS SERRANO MEDINA
PROYECTO : "EFECTOS DE LA REUTILIZACION DE LLANTAS RECICLADAS COMO ALTERNATIVA DE MEJORAMIENTO DE LA
UBICACIÓN : CHORRILLO

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : C1

A. PARTICULAS CHATAS

MATERIAL		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	PARTICULAS CHATAS (g)	CANTIDAD PARTICULAS	C (B/A)*100	D %	E C*D	
PASA	RETENIDO							
1 1/2"	1"	1066.0	56.0	0.0	3.4	34.6	116.8	
1"	3/4"	1051.0	55.0	0.0	5.2	34.1	178.4	
3/4"	1/2"	643.0	26.0	0.0	4.0	20.8	84.1	
1/2"	3/8"	325.0	22.0	0.0	6.8	10.5	71.1	
TOTAL		3085.0	139.0	0.0	19.4	100.0	450.3	
							% CHATAS	4.5

B. PARTICULAS ALARGADAS

MATERIAL		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	PARTICULAS CHATAS (g)	CANTIDAD PARTICULAS	C (B/A)*100	D %	E C*D	
PASA	RETENIDO							
1 1/2"	1"	1066.0	59.0	0.0	5.5	34.6	191.3	
1"	3/4"	1051.0	34.0	100.0	3.2	34.1	110.3	
3/4"	1/2"	643.0	13.0	100.0	2.0	20.8	42.1	
1/2"	3/8"	325.0	19.0	100.0	5.8	10.5	61.4	
TOTAL		3085.0	125.0	300.0	16.6	100.0	405.3	
							% ALARGADAS	4.1

C. PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS

MATERIAL		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	PARTICULAS CHATAS (g)	CANTIDAD PARTICULAS	C (B/A)*100	D %	E C*D	
PASA	RETENIDO							
1 1/2"	1"	1066.0	95.0	0.0	8.9	34.6	308.3	
1"	3/4"	1051.0	88.0	100.0	8.4	34.1	285.3	
3/4"	1/2"	643.0	39.0	100.0	6.1	20.8	126.2	
1/2"	3/8"	325.0	41.0	100.0	12.6	10.5	132.3	
TOTAL		3085.0	263.0	300.0	36.0	33.6	852.3	
							%CHAT Y ALARG	15.9

Observaciones

- RELACION 5:1

Referencia

- ASTM D 3821-05 Standard test method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate

Equipos utilizados

- Balanza BAL-01: OHAUS - CMM-245-2019 (15-04-18)

- Norma METROTTEST-01: CTM-112-2019 (15-04-19)

- Dispositivo Calibrador Proporcional DCP-01

 HISGEOLAB S.A.C.	INFORME	Código	IF-TS-LJSM-PN
	MEDICIÓN DE DEFLEXIONES VIGA BENKELMAN (ASTM- D 4095 - MTC-E1002)	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 1

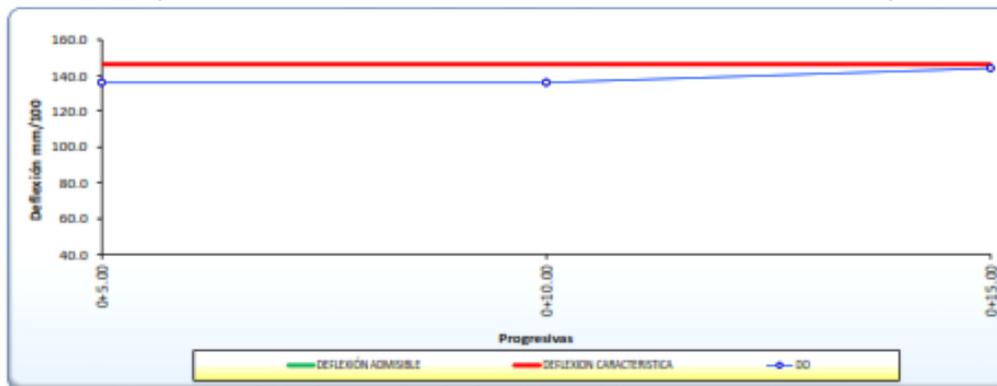
DATOS GENERALES	
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de lantitas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Suelo natural

DATOS DE CAMPO						RESULTADOS DE LOS ENSAYOS								
Nº	Progresiva (m.)	Carril	Lecturas en el Dial		T. (°C)	Espesor (cm)	Deflexiones		Fact. Correc. x Temperat.	Factor Estacionario	D25 Corregido	D0 Corregido	RC	OBSERVACIONES
			L25	L0			D25	D0						
001	0+5.00		28	34			112	136	1.000	1.0	112	136	130	
002	0+10.00		29	34			116	136	1.000	1.0	116	136	136	
003	0+15.00		30	36			120	144	1.000	1.0	120	144	130	

DATOS ESTADÍSTICOS			
D0 CORREGIDO		RADIO CURVATURA	
Promedio	: 138.7 mm/100	Promedio	: 138.9
Mínimo	: 136.0 mm/100	Mínimo	: 130.2
Máximo	: 144.0 mm/100	Máximo	: 156.3
Desv. Stan.	: 4.6 mm/100	Desv. Stan.	: 15.0
Deflexión C.	: 146.3 mm/100		
Deflexión A.	: 0.0 mm/100		

GRAFICO DE DEFLEXIONES
Pavimento asfáltico recuperado (RAP)



Elaborado por:
Miguel Angel Alfaro Huayanay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:


Revisado por:
Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:


	INFORME	Código	IP-TS-LJ/SM-PN
	MEDICIÓN DE DEFLEXIONES VIGA BENKELMAN (ASTM- D 4095 - MTC-E1002)	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 1

DATOS GENERALES

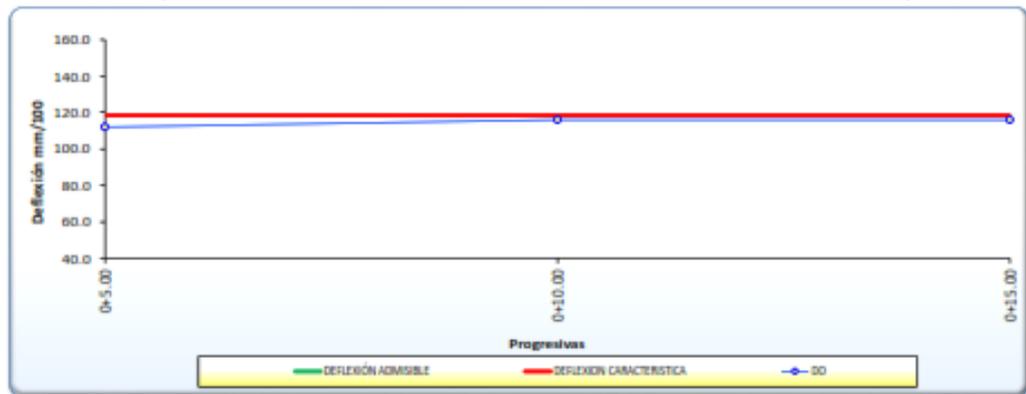
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Afirmado con llanta reciclada

DATOS DE CAMPO						RESULTADOS DE LOS ENSAYOS								
Nº	Progresiva (m.)	Carril	Lecturas en el Dial		T. (°C)	Espesor (cm)	Deflexiones		Fact. Correc. x Temperat.	Factor Estacionario	D25 Corregido	D0 Corregido	RC	OBSERVACIONES
			L25	L0	Terreno		D25	D0						
001	0+5.00		18	28			72	112	1.000	1.0	72	112	78	
002	0+10.00		20	29			80	116	1.000	1.0	80	116	87	
003	0+15.00		19	29			76	116	1.000	1.0	76	116	78	

DATOS ESTADÍSTICOS			
D0 CORREGIDO		RADIO CURVATURA	
Promedio	: 114.7 mm/100	Promedio	: 81.0
Mínimo	: 112.0 mm/100	Mínimo	: 78.1
Máximo	: 116.0 mm/100	Máximo	: 86.8
Desv. Stan.	: 2.3 mm/100	Desv. Stan.	: 5.0
Deflexión C.	: 118.5 mm/100		
Deflexión A.	: 0.0 mm/100		

GRAFICO DE DEFLEXIONES
Pavimento asfáltico recuperado (RAP)



Elaborado por:
Miguel Angel Alfaro Huayanay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:



Revisado por:
Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:



	INFORME	Código	IP-TS-LJSM-PN
	MEDICIÓN DE DEFLEXIONES VIGA BENKELMAN (ASTM- D 4095 - MTC-E1002)	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 1

DATOS GENERALES

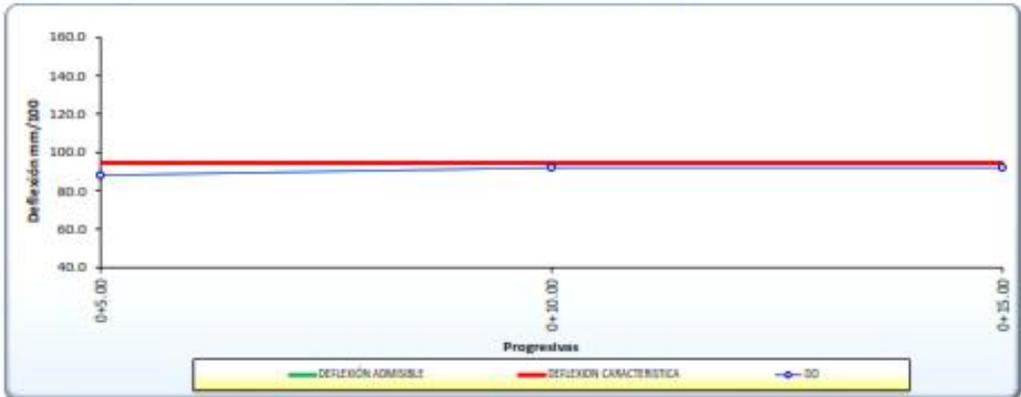
Solicitante	: Luis Jesus Serrano Medina
Universidad	: César Vallejo
Especialidad	: Ingeniería Civil
Tema de tesis	: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación	: Chorrillos
Fecha de emisión	: 20/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra	: Suelo natural con llanta reciclada

Nº	Progresiva (m.)	Carril	DATOS DE CAMPO			RESULTADOS DE LOS ENSAYOS							
			L25	L0	T. (°C)	Deflexiones	Fact. Correc.	Factor	D25	D0	RC	OBSERVACIONES	
001	0+5.00		11	22	Terrazo	44	88	1.000	1.0	44	88	71	
002	0+10.00		10	23		40	82	1.000	1.0	40	82	60	
003	0+15.00		10	23		40	82	1.000	1.0	40	82	60	

DATOS ESTADÍSTICOS			
DO CORREGIDO		RADIO CURVATURA	
Promedio	: 90.7 mm/100	Promedio	: 63.7
Mínimo	: 88.0 mm/100	Mínimo	: 60.1
Máximo	: 92.0 mm/100	Máximo	: 71.0
Desv. Stan.	: 2.3 mm/100	Desv. Stan.	: 6.3
Deflexión C.	: 94.5 mm/100		
Deflexión A.	: 0.0 mm/100		

GRAFICO DE DEFLEXIONES
Pavimento asfáltico recuperado (RAP)



Elaborado por:
Miguel Ángel Alfaro Huayanay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEOLAB S.A.C.
Firma: 

Revisado por:
Juan Carlos Zapata Siles
Ing. Civil CIP 36348
HISGEOLAB S.A.C.
Firma: 

	INFORME	Código	IP-TS-LJSM-PN
	MEDICIÓN DE DEFLEXIONES VIGA BENKELMAN (ASTM - D 4095 - MTC-E1002)	Versión	01
		Fecha	04-10-2021
		Página	1 de 1

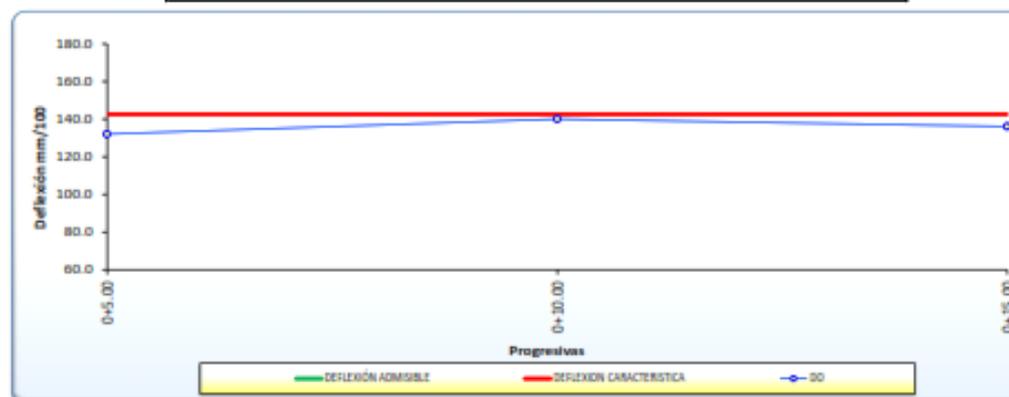
DATOS GENERALES	
Solicitante :	Luis Jesus Serrano Medina
Universidad :	César Vallejo
Especialidad :	Ingeniería Civil
Tema de tesis :	"Efectos de la reutilización de lantias recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimento flexible, Chorrillos 2021"
Ubicación :	Chorrillos
Fecha de emisión :	28/10/2021

DATOS DE LA MUESTRA	
Muestra :	Pavimento asfáltico recuperado (RAP) con Banta reciclada

Nº	Progresiva (m.)	Carril	DATOS DE CAMPO			RESULTADOS DE LOS ENSAYOS							
			L25	L0	T. (°C)	Deflexiones	Fact. Correc.	Factor	D25	D0	RC	OBSERVACIONES	
001	0+5.00		27	33		D25	D0	x Temperat.	Estacionario	Corregido	Corregido	RC	
002	0+10.00		28	35		108	132	1.000	1.0	108	132	130	
003	0+15.00		25	34		112	140	1.000	1.0	112	140	112	
						100	136	1.000	1.0	100	136	87	

DATOS ESTADÍSTICOS			
D0 CORREGIDO		RADIO CURVATURA	
Promedio :	136.0 mm/100	Promedio :	109.5
Mínimo :	132.0 mm/100	Mínimo :	86.8
Máximo :	140.0 mm/100	Máximo :	130.2
Desv. Stan. :	4.0 mm/100	Desv. Stan. :	21.8
Deflexión C. :	142.6 mm/100		
Deflexión A. :	0.0 mm/100		

GRAFICO DE DEFLEXIONES
Pavimento asfáltico recuperado (RAP)



Elaborado por:
Miguel Angel Alfaro Huayanay
Técnico de laboratorio de suelos, concreto y asfalto.
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:



Revisado por:
Juan Carlos Zapata Silva
Ing. Civil CIP 56346
HISGEOLAB S.A.C.

Firma:



	INFORME	Código	AE-PO-59
	ENSAYO CON PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO PARA DETERMINACIÓN DE CBR INSITU	Versión	01
	ASTM D 6951	Fecha	30-04-2018
		Página	1 de 2

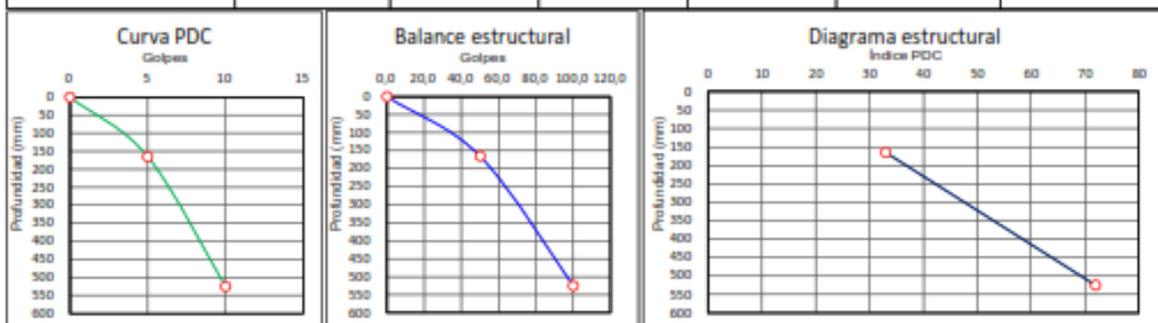
PROYECTO :
 SOLICITANTE :
 CÓDIGO DE PROYECTO : ---
 UBICACIÓN DE PROYECTO :

REGISTRO N°: **L21-108-04**
 VERIFICADO POR : J. Gutiérrez
 ENSAYADO POR : W. Osco
 FECHA DE ENSAYO : 28/10/2021
 TURNO : Diurno

Punto N° : PDC-4 Terreno natural
 Norte : ---
 Este : ---
 Cota : ---

Peso del martillo : 6,0 kg
 Factor del Martillo : 1,0
 Clasificación del suelo : SM, SP-SM
 Nivel Freático : NO PRESENTA

Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	0	0,0			
5	165	5	50,0	165	33,0	5,8
3	525	10	100,0	360	72,0	2,4



CORRELACIONES:
 Norma ASTM D6951 $CBR = 292/(PDC)^{4.12}$

INGECONTROL SAC		
<p>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</p> <p>Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGECONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.</p> <p>Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.</p> <p>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.</p>	<p style="text-align: center;">REVISADO POR</p> <p>Nombre y firma:</p>	<p style="text-align: center;">AUTORIZADO POR</p> <p>Nombre y firma:</p>

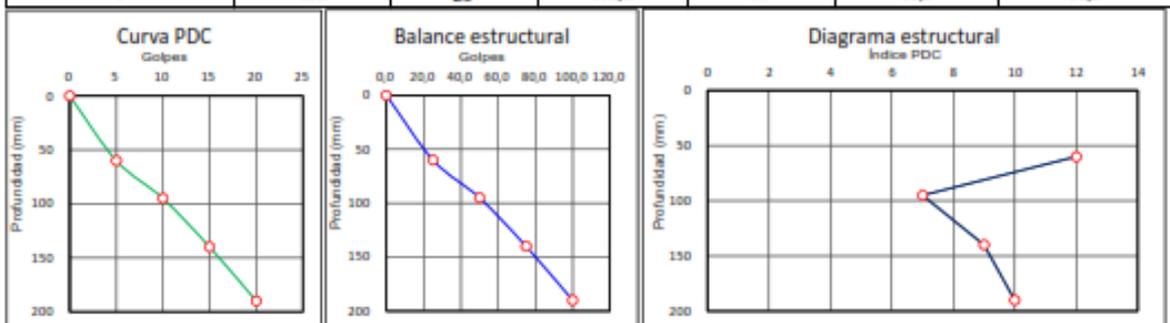
	INFORME	Código	AE-PO-59
	ENSAYO CON PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO PARA DETERMINACIÓN DE CBR INSITU	Versión	01
	ASTM D 6951	Fecha	30-04-2016
		Página	1 de 2

PROYECTO :	REGISTRO N°:	L21-108-01
SOLICITANTE :	VERIFICADO POR :	J. Gutiérrez
CÓDIGO DE PROYECTO :---	ENSAYADO POR :	W. Osco
UBICACIÓN DE PROYECTO:	FECHA DE ENSAYO :	26/10/2021
	TURNO :	Diurno

Punto N° : PDC-1 Terreno natural con lianta reciclada
 Norte : ---
 Este : ---
 Cota : ---

Peso del martillo : 6,0 kg
 Factor del Martillo : 1,0
 Clasificación del suelo : SM, SP-SM
 Nivel Freático : NO PRESENTA

Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	0	0,0			
5	60	5	25,0	60	12,0	18,1
5	93	10	50,0	33	7,0	33,0
5	140	15	75,0	45	9,0	24,9
5	190	20	100,0	50	10,0	22,2



CORRELACIONES:
 Norma ASTM D6951 **CBR = 292/(PDC)^{1,12}**

INGEOCONTROL SAC		
AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:	REVISADO POR	AUTORIZADO POR
<p>Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.</p> <p>Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.</p> <p>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario</p>	<p>Nombre y firma:</p>	<p>Nombre y firma:</p>



INFORME
ENSAYO CON PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO PARA DETERMINACIÓN DE CBR INSITU
ASTM D 6951

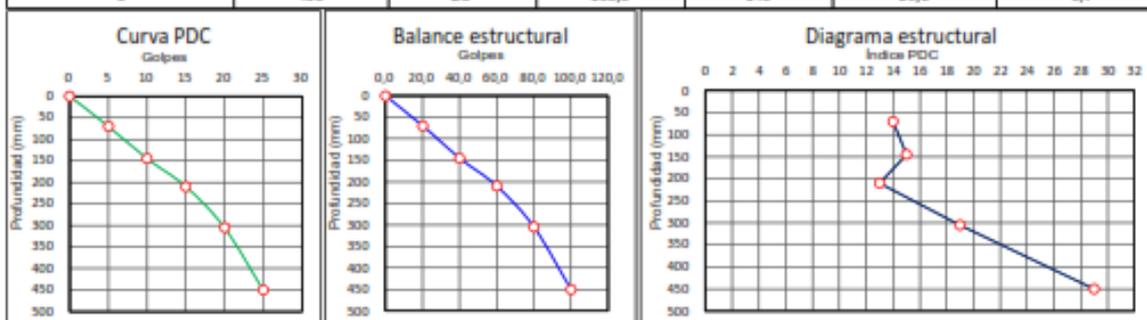
Código	AE-PO-59
Versión	01
Fecha	30-04-2015
Página	1 de 2

PROYECTO :
 SOLICITANTE :
 CÓDIGO DE PROYECTO : ---
 UBICACIÓN DE PROYECTO :
 REGISTRO N°: **L21-108-02**
 VERIFICADO POR : J. Gutiérrez
 ENSAYADO POR : W. Osco
 FECHA DE ENSAYO : 25/10/2021
 TURNO : Diurno

Punto N° : PDC-2 Terreno afirmado con llanta reciclada
 Norte : ---
 Este : ---
 Cota : ---

Peso del martillo : 5,0 kg
 Factor del Martillo : 1,0
 Clasificación del suelo : SM, SP-SM
 Nivel Freático : NO PRESENTA

Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	0	0,0			
5	70	5	20,0	70	14,0	15,2
5	145	10	40,0	75	15,0	14,1
5	210	15	60,0	65	13,0	10,5
5	305	20	80,0	95	19,0	10,8
5	430	25	100,0	145	29,0	6,7



CORRELACIONES:

Norma ASTM D6951

$$CBR = 292 / (PDC)^{1,12}$$

INGEOCONTROL SAC

<p>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</p> <p>Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.</p> <p>Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.</p> <p>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.</p>	REVISADO POR	AUTORIZADO POR
	Nombre y firma:	Nombre y firma:



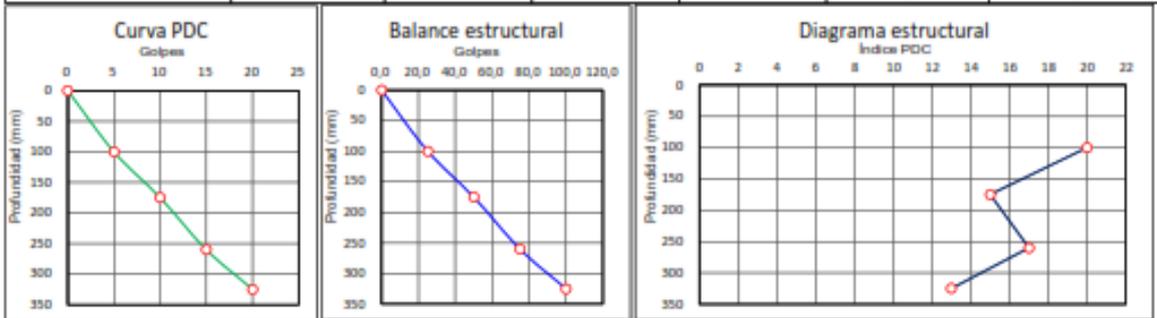
INFORME ENSAYO CON PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO PARA DETERMINACIÓN DE CBR INSITU ASTM D 6951	Código	AE-FO-59
	Versión	01
	Fecha	30-04-2018
	Página	1 de 2

PROYECTO : _____ **REGISTRO N°:** L21-108-03
SOLICITANTE : _____ **VERIFICADO POR :** J. Gutiérrez
CÓDIGO DE PROYECTO : --- **ENSAYADO POR :** W. Osco
UBICACIÓN DE PROYECTO: _____ **FECHA DE ENSAYO :** 28/10/2021
TURNO : Diurno

Punto N° : PDC-3 Terreno con asfalto con llanta reciclada
Norte : ---
Este : ---
Cota : ---

Peso del martillo : 8,0 kg
Factor del Martillo : 1,0
Clasificación del suelo : SM, SP-SM
Nivel Freático : NO PRESENTA

Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	0	0,0			
5	100	5	25,0	100	20,0	10,2
5	175	10	50,0	75	15,0	14,1
5	260	15	75,0	85	17,0	12,2
5	325	20	100,0	65	13,0	10,5



CORRELACIONES:
 Norma ASTM D6951 **CBR = 292/(PDC)^{1.12}**

INGEOCONTROL SAC		
AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:	REVISADO POR	AUTORIZADO POR
<p>Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.</p> <p>Prohíbe la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.</p> <p>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.</p>	<p>Nombre y firma:</p>	<p>Nombre y firma:</p>



INFORME
ENSAYO CON PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO PARA DETERMINACIÓN DE CBR INSITU
ASTM D 6951

Código	AE-FO-59
Versión	01
Fecha	30-04-2018
Página	1 de 2

PROYECTO : _____ REGISTRO N°: **L21-108-06**

SOLICITANTE : _____ VERIFICADO POR : J. Gutiérrez

CÓDIGO DE PROYECTO : --- ENSAYADO POR : W. Osco

UBICACIÓN DE PROYECTO: _____ FECHA DE ENSAYO : 28/10/2021

TURNO : Diurno

Punto N° : PDC-6 Terreno con afirmado con llanta reciclada

Norte : ---

Este : ---

Cota : ---

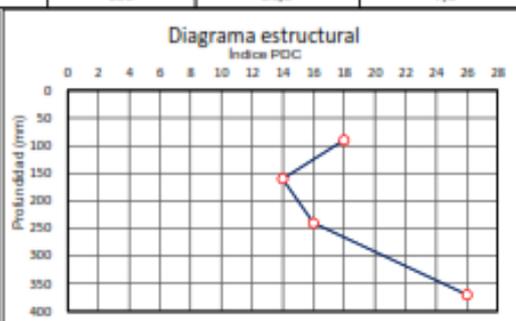
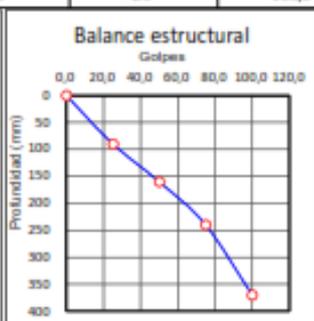
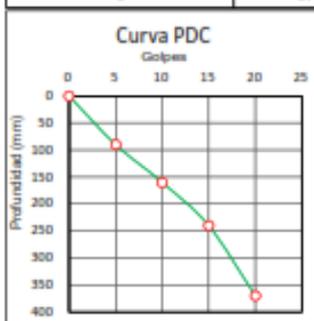
Peso del martillo : 8,0 kg

Factor del Martillo : 1,0

Clasificación del suelo : SM, SP-SM

Nivel Freático : NO PRESENTA

Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	0	0,0			
5	90	5	25,0	90	18,0	11,3
3	160	10	50,0	70	14,0	15,2
5	240	15	75,0	80	16,0	13,1
5	370	20	100,0	130	26,0	7,6



CORRELACIONES:
 Norma ASTM D6951

$$CBR = 292 / (PDC)^{+1,12}$$

INGEOCONTROL SAC		
<p>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</p> <p>Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.</p> <p>Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.</p> <p>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.</p>	<p style="text-align: center;">REVISADO POR</p> <p>Nombre y firma:</p>	<p style="text-align: center;">AUTORIZADO POR</p> <p>Nombre y firma:</p>



INFORME
ENSAYO CON PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO PARA DETERMINACIÓN DE CBR INSITU
ASTM D 6951

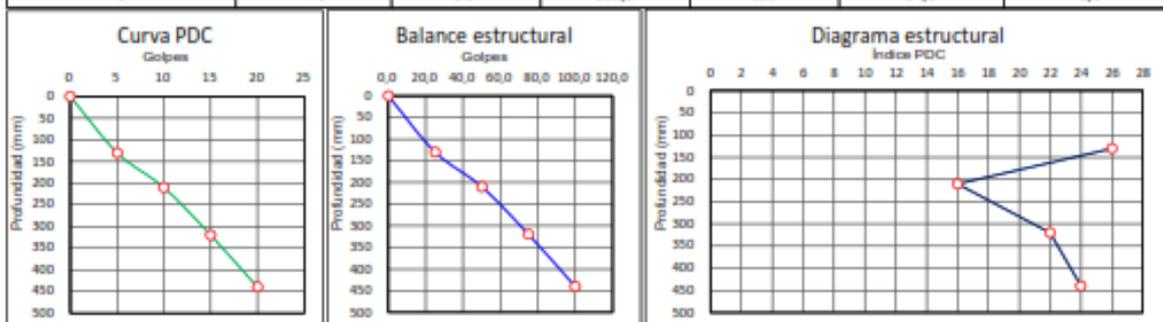
Código	AZ-PO-59
Versión	01
Fecha	30-04-2018
Página	1 de 2

PROYECTO :
 SOLICITANTE :
 CÓDIGO DE PROYECTO : ---
 UBICACIÓN DE PROYECTO :
 REGISTRO N°: L21-108-05
 VERIFICADO POR : J. Gutiérrez
 ENSAYADO POR : W. Osco
 FECHA DE ENSAYO : 26/10/2021
 TURNO : Diurno

Punto N° : PDC-5 Terreno con asfalto con llanta reciclada
 Norte : ---
 Este : ---
 Cota : ---

Peso del martillo : 8,0 kg
 Factor del Martillo : 1,0
 Clasificación del suelo : SM, SP-SM
 Nivel Freático : NO PRESENTA

Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Número de golpes acumulados	% golpes	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	0	0,0			
5	130	5	25,0	130	26,0	7,6
5	210	10	50,0	80	16,0	13,1
5	320	15	75,0	110	22,0	9,2
5	440	20	100,0	120	24,0	8,3



CORRELACIONES:
 Norma ASTM D6951 $CBR = 292/(PDC)^{4.12}$

INGECONTROL SAC		
<p>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</p> <p>Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGECONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.</p> <p>Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.</p> <p>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.</p>	<p>REVISADO POR</p> <p>Nombre y firma:</p>	<p>AUTORIZADO POR</p> <p>Nombre y firma:</p>

ANEXO 6: TURNITIN

TÍTULO: “Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021”

AUTOR: Serrano Medina, Luis Jesús

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%	23%	3%	12%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	4%
3	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
4	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uprit.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CONTRERAS VELASQUEZ JOSE ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Trabajo de Investigación titulado: "Efectos de la reutilización de llantas recicladas como alternativa de mejoramiento de la subbase de pavimentos flexibles, Chorrillos 2021", cuyo autor es SERRANO MEDINA LUIS JESUS, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

LIMA, 26 de Diciembre del 2021

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CONTRERAS VELASQUEZ JOSE ANTONIO DNI: 10261467 ORCID 0000-0001-5630-1820	Firmado digitalmente por: JACONTRERASV el 26- 12-2021 20:32:56

Código documento Trilce: TRI - 0246203