



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Incorporación de grano de caucho reciclado en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

Yacolca Poma, Dante (ORCID: 0000-0001-9108-899X)

Rojas Basilio, Jean Paul (ORCID: 0000-0001-7136-3288)

**ASESOR:**

Dr. Cancho Zúñiga, Gerardo Enrique (ORCID: 0000-0002-0684-5114)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LIMA — PERÚ**

**2021**

## DEDICATORIA

Agradezco infinitamente a mis familiares y docentes por la guía que me brindaron durante el transcurso de mi vida estudiantil, así mismo a las instituciones que me albergaron durante toda la etapa de educación

DANTE YACOLCA POMA

A Dios que constantemente me asegura, edifica y dirige en mi me guía por la vida. A mi madre por su ayuda, esfuerzo y compromiso para compromiso por haberme criado, por haberme mostrado el valor de la constancia y devoción para concluir con éxito mis metas a lo largo de la vida cotidiana.

JEAN PAUL ROJAS BASILIO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a dios por su inmensurable guía y lucidez en los momentos en los que mas necesitamos, a nuestros familiares por el apoyo constante, a nuestros amigos que también influyeron para que podamos elegir temas de investigación y discernir dudas y opiniones.

Así mismo agradecemos a la universidad Cesar Vallejo por albergarnos para sacar el titulo profesional de ingeniero civil, dada la problemática coyuntural donde la pandemia azotó gravemente la salud y economía mundial se complicó las medidas en las que alumnos de universidades no licenciadas puedan titularse.

Damos las gracias a todas las personas que intervinieron en la presente investigación que pretende servir como antecedente para distintas investigaciones en el contexto en el cual se efectuó.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| CARÁTULA.....  | i    |
| DEDICATORIA.....   | ii   |
| AGRADECIMIENTO.....  | iii  |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....                                  | iv   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                     | vi   |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS.....                                    | vii  |
| RESUMEN.....   | viii |
| ABSTRACT .....   | ix   |
| I. INTRODUCCIÓN .....                                      | 1    |
| II. MARCO TEÓRICO.....                                     | 6    |
| III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....                    | 47   |
| 3.1. Tipos y diseño de Investigación .....                 | 47   |
| 3.2. Variables y Operacionalización .....                  | 48   |
| 3.3. Población y Muestra .....                             | 50   |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos ..... | 50   |
| 3.5. Procedimientos .....                                  | 51   |
| 3.6. Método de análisis de datos .....                     | 59   |
| 3.7. Aspectos éticos.....                                  | 60   |
| IV. RESULTADOS.....  | 60   |
| V. DISCUSIÓN.....  | 67   |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>VI. CONCLUSIONES</b> .....     | 68 |
| <b>VII. RECOMENDACIONES</b> ..... | 69 |
| <b>REFERENCIAS</b> .....          | 70 |
| <b>ANEXOS</b> .....               | 72 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| TABLA N° 01. Componentes De La Llanta.....                             | 40 |
| TABLA N° 02. Componentes Del Caucho.....                               | 40 |
| TABLA N° 03. Graduación Para Mezclas Cerrdas .....                     | 51 |
| TABLA N° 04. Criterio De Diseño De Mezclas Marshall .....              | 52 |
| TABLA N° 05. Mínimo Porcentaje De Vacíos De Agregado Mineral .....     | 52 |
| TABLA N° 06. Matriz De Operacionalización De Variables.....            | 60 |
| TABLA N° 07. Resumen de mezcla asfáltica convencional.....             | 63 |
| TABLA N° 08. Caucho reciclado.....                                     | 64 |
| TABLA N° 09. Resultados características de un diseño convencional..... | 66 |
| TABLA N° . Resultado de diseño con grano de Caucho .....               | 68 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| GRÁFICO N° 01. Comportamiento del asfalto (consistencia vs temperatura) ..... | 14 |
| GRÁFICO N° 02. Comportamiento del asfalto convención y asfalto modificado...  | 19 |
| GRÁFICO N° 03 Deformación del pavimento asfaltico por carga de neumático...   | 21 |
| GRÁFICO N° 04 Deformación Permanente y daño en la base .....                  | 22 |
| GRÁFICO N° 05 Esquema que representa el deterioro de las obras viales.....    | 24 |
| GRÁFICO N° 06 Esquema muestra el efecto de las rehabilitaciones.....          | 24 |
| GRÁFICO N° 07 Esquema muestra el efecto de las rehabilitaciones .....         | 25 |
| GRÁFICO N° 08 Desintegración de la carpeta.....                               | 27 |
| GRÁFICO N° 09 Visualización de calaveras en el pavimento asfáltico.....       | 27 |
| GRÁFICO N° 10 Visualización de baches por fisura miento.....                  | 28 |
| GRÁFICO N° 11 Mapeo piel de cocodrilo.....                                    | 28 |
| GRÁFICO N° 12 Capas de pavimento.....   | 47 |
| GRÁFICO N° 13 Proceso de adición de neumático reciclado vía seca.....         | 48 |
| GRÁFICO N° 14 Porcentaje de vacíos.....                                       | 71 |
| GRÁFICO N° 15 Porcentaje De Vacíos De Agregado Mineral.....                   | 72 |
| GRÁFICO N° 16 Relación Polvo Asfalto.....                                     | 73 |
| GRÁFICO N° 17 Flujo.....  | 74 |
| GRÁFICO N° 18 resistencia a la compresión.....                                | 75 |
| GRÁFICO N° 19 Relación Estabilidad/Fluencia .....                             | 75 |

## **RESUMEN**

La exploración adjunta denominada "Incorporación de grano de caucho reciclado en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021" planea mostrar que la consideración del elástico reutilizado ayudaría a una combinación habitual de asfalto ya que trabajaría sobre las propiedades de dicha mezcla, para lo cual se presentó la indagación adjunta: ¿Cómo impacta la consolidación del elástico reutilizado para trabajar sobre las propiedades mecánicas de la combinación tradicional de asfalto? La exploración es una prueba aplicada. El ejemplo se compone de briquetas de asfalto, una tradicional y la otra mejorada con polvo elástico reutilizado proveniente de neumáticos abandonados. La información pudo ser adquirida con la ayuda del centro de investigación, donde 01 plan de la mezcla de asfalto habitual y 09 combinaciones fueron hechas con la consolidación del elástico reutilizado (1,5%, 2,5% y 3. 5%) estas tasas se toman correspondientes al peso total de la mezcla y después se observa para adquirir los resultados que estamos buscando esto saldrá a través de la prueba del Método Marshall como se indica por (AASTHO T-245, ASTM D-1559) cuando los resultados se obtuvieron nos permitió ver la conexión entre la propiedad de la estabilidad y la corriente de las combinaciones, en consecuencia, se determinó que mediante la consolidación de elástico reutilizado como un total amplía la fuerza, la solidez funciona en la fluencia y la formación de surcos. Como producto final, se adquirió que el polvo elástico reutilizado ayuda al plan de mezcla de asfalto para Huancayo 2021 en el que utilizamos el 5,5% de hormigón asfalto y con un ideal de 2,5% de polvo elástico reutilizado.

**PALABRAS CLAVE:** mezcla asfáltica, caucho reciclado, propiedades mecánicas y físicas, estabilidad y Fluencia.

## **ABSTRACT**

the attached exploration called "Incorporation of recycled rubber grain in a flexible pavement in climates higher than 3000 m.s.n.m. - Huancayo 2021" plans to show that the consideration of the reused elastic would help a usual asphalt mix as it would work on the properties of such mix, for which the attached inquiry was presented: How does the consolidation of the reused elastic impact to work on the mechanical properties of the traditional asphalt mix? The exploration is an applied test. The example consists of asphalt briquettes, one traditional and the other enhanced with reused elastic powder from abandoned tires. The information could be acquired with the help of the research center, where 01 plan of the usual asphalt mix and 09 combinations were made with the consolidation of reused elastic (1.5%, 2.5% and 3.5%) these rates are taken corresponding to the total weight of the mixture and then observed to acquire the results we are looking for this will come out through Marshall Method test as indicated by (AASHTO T-245, ASTM D-1559) when the results were obtained allowed us to see the connection between the stability property and the current of the combinations, consequently, it was determined that by consolidating reused elastic as a total expands the strength, soundness works on creep and rutting. As a final product, it was acquired that reused elastic powder helps the asphalt mix plan for Huancayo 2021 in which we utilize 5.5% asphalt concrete and with an ideal of 2.5% reused elastic powder.

**KEYWORDS:** asphalt mix, recycled rubber, mechanical and physical properties, stability and creep.

## I. INTRODUCCIÓN

El examen del folio del mezcla asfáltica y cambiado con el elástico reutilizado como la parte primaria, el hormigón del mezcla asfáltica, el que hacia el principio del siglo XIX comenzó a ser despejado utilizando el alquitrán in situ en Londres, más tarde en los Estados Unidos comenzó a ser producido, sin embargo el negocio del petróleo entró una explosión y comenzó a utilizar el betún del mezcla asfáltica para la producción de las combinaciones del mezcla asfáltica siendo el americano Richard Son que estableció la premisa de la innovación de la mezcla previamente mencionada. No obstante, el avance mecánico de estos materiales se produjo durante la Segunda Guerra Mundial debido a la necesidad de desarrollar pistas de aterrizaje en terminales aéreas militares. En la actualidad, los asfaltos de capa negra son imperativos ya que se espera que la utilización de esta innovación desarrolle aún más las propiedades de solidez, la oposición especializada bajo carga monótona al ahuellamiento, la debilidad y la maduración, así como la disminución de la impotencia por calor y los daños por humedad (Rondon Quintana, Hugo Alexander; Reyes Lizcano, Fredy Alberto, 2015 pag 51). El Perú enfrenta hoy la necesidad de potenciar y construir su creación para decidir la salida de la fase de subdesarrollo financiero en que se encuentra desde el inicio del último ciclo. En el espacio de despeje con investigación de las propiedades del sujetador negro con elástico reutilizado (ACR), se pueden encontrar los extremos que acompañan. 1. El debe tener la opción de comprender que la estructura y el mantenimiento de las calles despejadas con un ambiente brutal y variable en las regiones andinas a mayor de 3000 m.s.n.m. es una prueba duradera que los peruanos han buscado desde los tiempos de los incas. 2. La necesidad de abarcar un procedimiento de contratación, ordenamiento y avance del sistema de despeje con la investigación de las propiedades de la capa de negro con elástico reutilizado. Un aparato significativo puede ser la notable calle global del PMBOK-5. 3. El debe tener la opción de abrazar las ideas de la mantenibilidad natural y ardiente durante el sistema de arreglo a partir de las propiedades de la capa negro-top con elástico reutilizado. 4. Por último, la necesidad de asumir como objetivo esencial la utilización de mezcla asfáltica alterada con elástico no exclusivamente para

disminuir los costes sino además para ahorrar la energía de los hidrocarburos del país. 5. El examen de las propiedades de la capa de black-top con elástico reutilizado debe plantear y abordar desde el nivel de ordenación los cinco cometidos sustanciales: Planificar las condiciones de mantenibilidad. Determinación del valor y el coste de los materiales, diseño de las medidas de aplicación, técnica de estimación y control de la calidad obtenida, método de mantenimiento y conservación. Para liderar los enfoques anteriores, se requiere un examen de las propiedades de la capa negra con elástico reutilizado para asfaltos adaptables en la ciudad de Huayncayo. Para un distrito en desarrollo, ya que el área automotriz se está convirtiendo por el increíble interés de vehículos disponibles para ser comprados que se entregan en el Perú y en este caso Huacayo, el avance de la nación depende del plan y desarrollo de las calles, por lo tanto el desarrollo de nuevas calles planificadas con asfalto mejorado nos permite mejorar e incrementar nuevas medidas de desarrollo en el diseño estructural, en este sentido con el plan de asfaltos adaptables con grano de caucho reutilizados que provienen de llantas usadas manejaremos temas extraordinarios tanto en el desarrollo del pavimento como en el clima. En el Perú se tiende a ver que las calles soportan descalabros, los cuales influyen en el tráfico vehicular, entre los que tenemos como rotura, hundimiento del tope negro, ondulación, y demás. Se debe notar que esto perjudica directamente al público en general y al tráfico de líquidos. A lo largo de estas líneas que crean que el populacho es influenciado en los argumentos que hacen que los vehículos se detengan y pospongan en sus movimientos. La ejecución de un pavimento hidráulico es costosa por lo cual la mejor opción es la de los pavimentos de asfalto el cual tiene una vida útil más corta que la primera opción. Por lo tanto, cuando las calles están en un estado pésimo, la autoridad pública tiene que poner recursos en la restauración, que son los costos adicionales. Las decepciones pueden ocurrir de forma inesperada: la ejecución impotente de los materiales, las investigaciones de la tasa anual normal de día a día no todo hecho, que influyen directamente en la capa de negro y, además, un control terrible cerca. Además, el tipo de suelo en el que se ejecuta la obra, influye en el desarrollo de las calles, si este trabajo no está muy terminado con las Calitas para tener la prueba vigilar la construcción de la calle para introducir decepciones en un breve plazo. Según indica el Ministerio de Transportes y Comunicaciones

(MTC), en nuestro país en el mes de julio del año 2011 registramos el 53,6% de calle despejada (con asfalto) 12,358 km, entonces para diciembre del año 2014 registrábamos el 75,5% de calle despejada (asfaltada) 17,411km y finalmente para julio del año 2019 se proyectó el 87,7% 20,235 km. En la ciudad de Huancayo y toda la parte centro andina del Perú las calles se ven influenciadas por la forma en que, durante la temporada de tormentas, las avalanchas de tierras (huaycos) se inmiscuyen en los desplazamientos de los transportistas, poniendo en peligro la existencia de los conductores. El 85% de los percances que ocurren en el transporte son creados por los individuos y el 15% son percances provocados por las calles. En nuestro país la utilización del caucho reciclado no ha sido considerado para los ciclos de desarrollo de calles o por lo menos no fue considerada en climas fríos como los de Huancayo, contrastado con diferentes naciones y zonas urbanas, donde la utilización de mezclas asfálticas mejoradas con caucho reciclado ha sido más práctica y asequible, siendo esto así normalizado por la normativa ASTM (America Society for Testing and Materials) el mismo que modifica de las condiciones de diseño de mezcla bituminosas, en vista de que el C.R. (caucho reciclado) tiene propiedades mecánicas favorables hacia el asfalto mejorado, posteriormente la utilización del caucho reutilizado, presenta una medida de desarrollo inteligente que permite utilizar neumáticos previamente desechados que ya no formaran parte de la contaminación medio ambiental, así mismo a través de medidas permite que los neumáticos desechados y/o viejos se conviertan en granos o polvo, los mismos que serán fundidos en los diseños de mezcla para mejorar los asfaltos para pavimentos flexibles de composición variada. Al llevar a cabo la utilización del asfalto reciclado como agregado en los diseños de pavimentos flexibles en Cerro de Pasco, estamos sumando al frenado de la contaminación del clima, en razón de que la contaminación por llantas gigantes crea gases venenosos que están aniquilando nuestro espacio vital, siendo un problema tanto a nivel Nacional como mundial, por lo que en el caso de que apliquemos la estrategia de reutilización de materiales desechados y reciclados, estaríamos buscando una solución a un problema ambiental y un aporte a la ingeniería como tal. Por lo expuesto este **proyecto investigativo** se titula “Incorporación de grano de caucho reciclado en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021”. Donde se realiza el siguiente **problema general**: ¿De qué

manera influirá el grano de caucho reciclado en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021? Y los **problemas específicos** que se plantearon son: ¿De qué manera influirá el grano de caucho reciclado en las propiedades físicas en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021?, ¿De qué manera influirá el grano de caucho reciclado en las propiedades mecánicas en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021?, ¿Cómo influye el grano de caucho reciclado en los costos de producción en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021? La motivación detrás de una calle es mantener unida o interconectada con los diversos locales donde hace que el poder económico de nuestro país se crezca y en consecuencia pueda surgir al subdesarrollo financiero. El presente trabajo investigativo adquiere como **fin** general analizar la influencia del grano de caucho reciclado en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. Y los **objetivos específicos** que se mostraran en el transcurso del desarrollo del proyecto investigativo son: Determinar de qué manera influirá el grano de caucho reciclado en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. Determinar de qué manera influirá el grano de caucho reciclado en las propiedades mecánicas en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. Determinar de qué manera influye el grano de caucho reciclado en los costos de producción en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. En cuanto a las especulaciones del proyecto de examen, se hace referencia a que la teoría general es que la consolidación del grano elástico reutilizado influye esencialmente en las propiedades físicas de los asfaltos negros en regiones frías. La consolidación del grano elástico reutilizado influye en las propiedades mecánicas de los asfaltos de capa negra en regiones frías. La consolidación del grano elástico reutilizado influye en el coste de creación de un asfalto negro. A raíz de esta exploración, se evalúa que la vida útil de la calle con este tipo de combinación elástica reutilizada se ampliará a 10 años como para la mezcla convencional habitual. Por lo tanto, la vocación especializada consiste en consolidar el grano elástico reutilizado como un total para la mezcla convencional, que se examinará de forma genuina y precisa contrastando sus propiedades y un asfalto convencional normal. Con el fin de concluir completamente esta investigación de Incorporación de grano de caucho

reciclado en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021, se tuvo que recurrir a documentos de investigación y artículos lógicos de los que elegimos el examen que más firmemente se coordinaba con la variable de este proyecto de exploración.

## II.MARCO TEÓRICO

Como **Antecedentes Nacionales**, tenemos a **Salazar. (2019)**. En su tesis “Incorporación de Caucho Reciclado en las Mezclas Asfálticas para Mejorar Pavimentos Flexibles en la Ciudad de Lima, Perú 2019” para la obtención del grado de Ingeniero Civil en la Universidad Cesar Vallejo. Donde el **objetivo** del proyecto fue demostrar que al incorporar el C.R. (caucho reciclado) tiene una influencia satisfactoria en la resistencia de la mezcla bituminosa asfáltica para pavimentos flexibles en la ciudad de Lima-Perú 2019. La **metodología** del proyecto tiene un enfoque cuantitativo, así mismo el nivel de investigación es explicativa y en cuanto a su diseño es de tipo experimental aplicada, su **población** estuvo constituida por briquetas de asfalto una convencional y otra modificada con el caucho reciclado (polvo) derivados de neumáticos en desechados por cumplir su ciclo de vida. Posteriormente la autora llegó a la **conclusión** que el caucho reciclado convertido en polvo beneficia significativamente al diseño de mezcla de asfalto. Carrizales (2015) ejecutó la tesis “Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles” para obtener el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional del Antiplano. Donde el **objetivo principal** de la tesis fue el análisis del combinado asfáltico con materiales reciclados de caucho proveniente de llantas en desuso para aplicarlo en los pavimentos asfálticos. Su **metodología** tiene una metodología cuantitativa, el grado de examen es exploratorio correlacional y su plan es de prueba, su **población** comprendida en la combinación de negro-tapa ordinaria y la otra es la mezcla de asfalto cambiada con elástico de neumático reutilizado, donde los totales provienen de la cuenca de la quebrada Cabanillas situada en los territorios de San Román y Lampa, en la división de Puno. Posteriormente el autor llegó a la **conclusión** que la mezcla asfáltica alterada con elástico de neumático reutilizado no muestra mejoras en el comportamiento físico-mecánico en ninguno de los diversos planos realizados con elástico de neumático reutilizado que se hicieron en el centro de investigación, ya que las cualidades adquiridas por la prueba Marshall están por debajo de la mezcla asfáltica habitual y de las determinaciones regularizadoras a las que nos atenemos. **Ubidia. (2019)**. En su tesis “Diseño de pavimento flexible con la utilización de polvo de caucho reciclado para minimizar la generación de fisuras

del Jr. Jorge Chávez cdra. 01-09 Ciudad de Tarapoto San Martín.” para obtener el grado profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Cesar Vallejo. Donde el **objetivo** del mencionado proyecto fue hacer mediante diseño el Pavimento asfáltico utilizando el Polvo de Caucho Reciclado para minorar la acción de fisuras del Jr. Jorge Chávez Cdra. 01-09 Ciudad de Tarapoto. Su **metodología** esta enfocada de una forma cuantitativa, su nivel investigativo es explicativo y por último el diseño es de tipo experimental aplicada, Su **población** se compone de la sustancia añadida llamada Polvo de Caucho Reciclado, que se obtiene de la destrucción de neumáticos desechados. Por lo tanto, el creador dedujo que el polvo elástico reutilizado utilizado como material de segmento de la mezcla de asfalto caliente para su uso en asfaltos adaptables, da mejoras en los atributos físico-mecánicos de la mezcla de asfalto ajustado con polvo de caucho reciclado propuesto por el plan. Y como **Antecedentes Internacionales** se tiene a **Vega. (2015)**. En su tesis “Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico.” para obtener el grado profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Técnica de Ambato. Donde el objetivo de la tesis fue hacer el análisis total cómo se comporta a compresión el asfalto modificado con caucho reciclado de llantas como agregado a la mezcla constitutivo del pavimento asfáltico. Su forma **metodológica** tiene un enfoque cuantitativo, en cuanto al nivel de investigación es explicativa y por ultimo su diseño es de tipo experimental aplicada, La **población** estaba compuesta por 60 briquetas de mezcla asfáltica, 15 de las cuales estaban hechas de asfalto habitual y 45 con una expansión fraccionada de elástico de neumático reutilizado en varios índices recientemente contemplados. Las pruebas se completarán con los ejemplos de asfalto ordinario y con los ejemplos de asfalto mezclado con elástico (caucho reciclado) total según ASTM D 1559-89 para adquirir resultados fiables. De este modo, el creador dedujo que hay una mejor solidez en la combinación ajustada con el 7% de hormigón asfáltico que la típica y una corriente más prominente con el 6,5 y el 7%, que desarrolla aún más la dureza y las desfiguraciones debido a los montones entregados por el tráfico. Esto evitaría el desgaste inoportuno y la ampliación de los tiempos de mantenimiento y, por tanto, reduciría el gasto absoluto. Con estos resultados damos una etapa inicial para el examen adicional de las mezclas de polvo elástico cambiadas y su aplicación en Ecuador. Los

autores **Diaz & Castro. (2017)**. En su tesis “Implementación del grano de caucho reciclado (gcr) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá” para la optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Santo Tomás Ingeniería Civil Bogotá D.C. Donde el **objetivo** de la tesis fue el diseño o Plan de asfalto adaptable a través de la mejora mecánica de la mezcla de asfalto consolidando con elástico de caucho reciclado como material granular fino, innovación GAP GRADE. Su filosofía tiene una **metodología** cuantitativa, el nivel de exploración es informativo y su plan es de tipo exploratorio aplicado, su **población** fue establecida por la sustancia añadida denominada Polvo de Caucho Reciclado obtenido de la destrucción de neumáticos desechados. De este modo, el creador dedujo que el polvo elástico reutilizado que se emplea como parte del material de la mezcla negra caliente para su uso en asfaltos adaptables, proporciona mejoras en las cualidades físico-mecánicas de la mezcla negra alterada con Polvo de Caucho Reciclado, según el plan. Los autores **Ayala & Heredia (2019)**. En su tesis “Mezclas asfálticas mejoradas con caucho de llantas añadido por vía seca” para la optar el título de Ingeniero civil en la Universidad de Católica de Santiago de Guayaquil. El objetivo de la teoría era evaluar provisionalmente el impacto del elástico de neumático reutilizado añadido en seco y en diversas proporciones, sobre la conducta de las mezclas de asfalto grueso concentrado a través de ensayos tradicionales y de ejecución, en cuya disposición se mantienen constantes las calidades de asfalto y los totales de minerales. Su sistema tiene una metodología cuantitativa, el nivel de examen es informativo y su plan es del tipo de prueba aplicada. En consecuencia, el creador presume que no está realmente establecido que para la granulometría utilizada no es útil añadir un 1,5% de GCR a la mezcla de asfáltica, ya que sus propiedades de seguridad disminuyen, y añadir un 0,75% de GCR no varía mucho respecto a la mezcla convencional, aparte de la torsión por fluencia, y puede utilizarse con los refinamientos necesarios, como capas de control de rotura en espesores delgados y capas superficiales en calles con poco tráfico, como carreteras rurales en regiones metropolitanas, igualmente con espesores pequeños donde el efecto de la formación de roderas sería realmente disminuido. Y como **Artículo Científico**, se tiene a los autores **Figuroa, Fonseca y Reyes. (2018)**. Efectuó el artículo científico “Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado” Este

artículo se obtiene del proyecto de exploración denominado Conducta mecánica de una combinación MDC-2 de asfalto alterada con poliestireno y polvo de neumático, inscrito en el Vicerrectorado de Investigación y Transferencia de la Universidad de La Salle. El motivo de este artículo lógico fue decidir los atributos fisicoquímicos y morfológicos con material reutilizado. Su procedimiento tiene una metodología cuantitativa, el nivel de exploración es ilustrativo y su plan es exploratorio. Además, su ejemplo fue la recogida de basura de desarrollo común en el distrito de la ciudad de Campos. Por fin, presumieron que el CIB cambiado de tapa negra con un tipo solitario de polímero presenta gran seguridad (pruebas 1 y 2), ya que la distinción en el punto de acondicionamiento entre el tercio superior e inferior del hardware hacia el final del tiempo de capacidad de montaje no es exactamente la determinación de la prueba: 4 °C. Por otra parte, entre las combinaciones dispuestas con icopor y neumático elástico molido, sólo los ejemplos 3 y 4, relativos por separado a un nivel de 12% y 14% de neumático, consienten el detalle de la prueba de seguridad, siendo el ejemplo con 14% de neumático el que presenta la mejor similitud. La seguridad de la combinación de polímeros de la tapa negra es un límite básico para su posterior uso en las mezclas de la tapa negra, ya que, si la mezcla se mantiene homogénea a largo plazo, las propiedades del folio se trasladarán a toda la mezcla de la tapa negra y estarán aseguradas hasta el final. A continuación, se referenciarán las especulaciones identificadas con el tema de examen, caracterizando los adjuntos: factor libre, los factores dependientes y sus medidas para tener una idea de lo que se va a picar en este proyecto de exploración. En cuanto al elástico de los neumáticos usados, se puede utilizar como una característica del material de fijación o de la capa de fijación del asfalto (elástico del asfalto) o como un total (cemento del asfalto alterado con elástico). Dependiendo del marco que se adopte, se pueden utilizar entre 1.000 y 7.000 neumáticos por kilómetro de calle de dos carriles, cifras tan elevadas que la reutilización en el asfalto es concebible (Castro, 2007, p.5). Es factible la reutilización de los neumáticos, a los que las organizaciones con conciencia ecológica pueden dar una segunda vida. Una existencia que puede distar mucho de la pasada, convirtiéndose en calzado, pavimento para oficinas deportivas, gimnasios infantiles o asfalto.

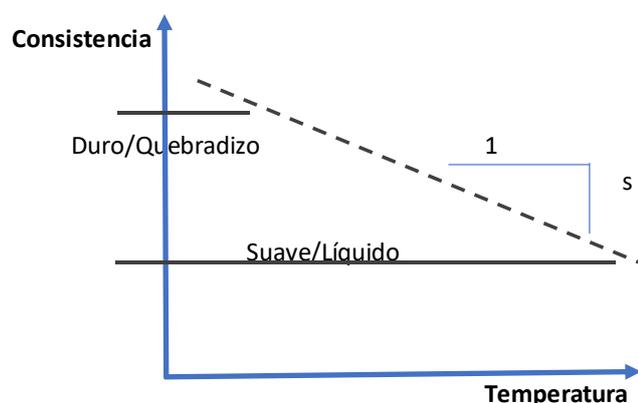
El término "asfalto" procede de la palabra acadia asphatu o también llamado asphallo, que es separar, romper. seguidamente, fue acogido por los griegos, cuya importancia es firme, segura y la palabra de acción para establecer o conseguir. De donde se supone que la primera utilización de asfalto en bastante tiempo es que se utilizaba como concreto, para conseguir o juntar objetos. Del lenguaje griego se convirtió al latín, seguidamente al francés (asphalte) y por último al inglés (asphalt). Desde los años de inicio hasta la actualidad, la mezcla asfáltica se ha utilizado como hormigón para atar, cubrir o impermeabilizar artículos. Es cualquier cosa menos un material adaptable, aparentemente el material de diseño más establecido usado por el ser humano. A mediados del siglo XIX, la revelación del asfalto refinado por el refinamiento del petróleo crudo y el ascenso del negocio del automóvil impulsaron una expansión de su utilización. Se utilizó como material para despejar las calles y para diferentes aplicaciones. **Concepto:** El asfalto se considera un material termoplástico, su diseño sintético se compone de complicadas cadenas de uniones de hidrocarburos, en las que se logran reconocer un par de partes: una porción pesada llamada asfaltenos y una división ligera llamada maltenos. Esta división de maltenos puede así dividirse en tres porciones primarias: aceites lampantes, alquitranes y aceites fragantes. El material bituminoso puede encontrarse en dos estructuras, en su estado normal o como resultado del refinado del combustible petróleo (por el momento el que se utiliza más en la industria). Los materiales asfálticos normales se obtienen igualmente del compuesto de petróleo, debido a un ciclo de disipación de las divisiones imprevisibles, dejando las partes asfálticas. Pueden encontrarse en desbordamientos superficiales o expuestas o también en fosas terrestres, comenzando lagos de material asfáltico como los que se encuentran en las islas Trinidad y Bermudas, aunque así mismo pueden encontrarse en ciertas piedras, llamadas batidos asfálticos, por ejemplo, la gilsonita. Los pavimentos obtenidos a partir del petróleo son los más utilizados en el planeta, por su virtud y economía comparables a los asfalto normales. Se adquieren a través de la medida de refinado de petróleo sin refinar, en la que las porciones ligeras (nafta y aceite de lámpara) se aíslan de la base del asfalto mediante vaporización, fraccionamiento y acumulación. Una gran parte de los aceites del mundo tiene algo de sustancia asfalto, por lo que su extracción del petróleo es apropiada, y es cualquier cosa menos un beneficio extra increíble,

así mismo este tiene que refinarse hasta alcanzar una condición pareja u/o uniforme hasta una condición uniforme, liberada de materia natural y minerales desconocidos. Varios segmentos de material asfáltico colaboran entre ellos componiendo un líquido con conducta viscoelástica, esta conducta depende fundamentalmente de la organización de su sustancia y esto depende por tanto de la fuente y de la interacción de refinamiento. El asfalto no se considera un tipo de material isotrópico, ya que este en verdad se compone de un par de etapas, suspendidas la una en la otra, por ejemplo, la etapa asfáltica suspendida en la etapa malténica (etapa slick). Este tipo de material es totalmente indefenso a las modificaciones de temperatura, actuando como un material delicado y frágil a bajas condiciones temperadas y como un material líquido y espeso a altas condiciones de temperatura. **Forma de producción de la mezcla asfáltica.** El asfalto se adquiere a partir del refinado del petróleo en bruto o sin refinar. No es más que un ciclo en el que las distintas partes (elementos) se aíslan del petróleo sin refinar a través de una expansión escalonada de la temperatura. Existen un par de medidas de refinado las cuales tienden a entregarse después de haberse unido al petróleo crudo: Refinamiento al vacío, Extracción con disolventes. Las divisiones más ligeras se separan mediante un refinado normal. Los destilados de peso más prominente, que se llaman también gasóleos, se aíslan exclusivamente mediante una combinación de vacío y calor. Pueden crearse usando el refinado al vacío a una temperatura de unos 480°C (900°F), lo que puede variar en cierta medida en función del petróleo crudo que se refine o del nivel de mezcla asfáltica que se suministre. En la forma de extracción soluble, se eliminan más gasóleos del petróleo bruto, dejando una mezcla asfáltica persistente. Así mismo depende de la utilización, es el tipo de asfalto. Las plantas de procesamiento deben disponer de métodos para controlar las propiedades del asfalto suministrados para que este cumple determinados requisitos previos. Se consigue esto a menudo mezclando diferentes tipos de petróleo crudo antes de preparar la entrega de los grados intermedios. De este modo, se pueden unir un asfalto excepcionalmente pegajoso y otro menos espeso para obtener un asfalto con consistencia de transición. **Propiedades físicas del asfalto.** Estas principales propiedades reales para la planificación, desarrollo y mantenimiento del asfalto son: **Durabilidad.** Es la proporción de lo bien que una mezcla asfáltica puede mantener sus cualidades únicas cuando se expone a las medidas típicas

de degradación y maduración. Es cualquier cosa menos una característica decidida básicamente a través de la ejecución del asfalto y es de esta manera difícil de caracterizar exclusivamente en cuanto a las condiciones de la mezcla asfáltica. Esto es debido a que la ejecución del asfalto está influenciada por la configuración de la combinación, las cualidades totales, la mano de obra de desarrollo y diferentes factores, incluyendo la solidez del propio asfalto.

**Adhesión y cohesión:** adherirse alude a la capacidad de la mezcla asfáltica de unirse a la totalidad de la mezcla del pavimentado. La unión, así mismo, es la condición de la mezcla asfáltica de condicionar unidas las partículas totales en el asfalto terminado.

**Susceptibilidad a la temperatura:** La mezcla asfáltica es uno de los materiales más termoplástico que se vuelve con más grosor (duro) a medida que disminuye su calor y en menor cuantía pegajoso (delicado) de forma que se sume más temperatura. Esta marca se reconoce como impotencia por la temperatura. La impotencia en caliente cambia entre los pavimentos de aceite de diversos orígenes, independientemente de que tengan un nivel de consistencia similar. Su relevancia está en que la capa negra deberá contener una suavidad adecuada a altas temperaturas y así pueda tapar las partículas totales durante la mezcla y dejar que se muevan comparativamente entre sí durante la compactación. A continuación, debe tener un grosor adecuado a la temperatura promedio ambiente ordinaria para mantener aglomeradas las partículas totales.



**Figura N° 01 comportamiento del asfalto (consistencia vs temperatura)**

El diagrama nos da la visualización de como la mezcla bituminosa cambia de consistencia al cambiar la temperatura, esta modificación se distingue como impotencia cálida y es la inclinación de la línea recta (S).

**Endurecimiento y Envejecimiento.** En general, las mezclas asfálticas se solidifican en la combinación de asfalto durante el desarrollo, y además en el asfalto terminado. Esta solidificación está causada principalmente por la interacción de la oxidación (unión del asfalto con el oxígeno), que se produce más rápidamente a altas temperaturas (como las de avance) y en las películas delgadas de asfalto (es decir, la película que cubre las partículas completas). La mezcla asfáltica se posiciona a grandes temperaturas y en las películas delgadas, igualmente está cubriendo las partículas completas durante la combinación, esto induce a que la oxidación más escandalosa y la cementación ocurran en esta etapa. No todos se endurecen a un ritmo comparativo cuando se calientan en las películas ligeras. En consecuencia, cada mezcla asfáltica debe ser probado libremente para elegir sus créditos de desarrollo y cambiar los procedimientos de mejora para restringir la cementación. Estas progresiones consolidan la mezcla del asfalto con el absoluto a la temperatura más reducida posible y durante un periodo tan corto como sea básicamente alcanzable. La cementación del asfalto se produce en los encuentros del asfalto. De nuevo, los motores fundamentales son la oxidación y la polimerización. Estos ciclos pueden bloquearse si se mantiene una capa gruesa de asfalto en el asfalto terminado que cubra todas las partículas.

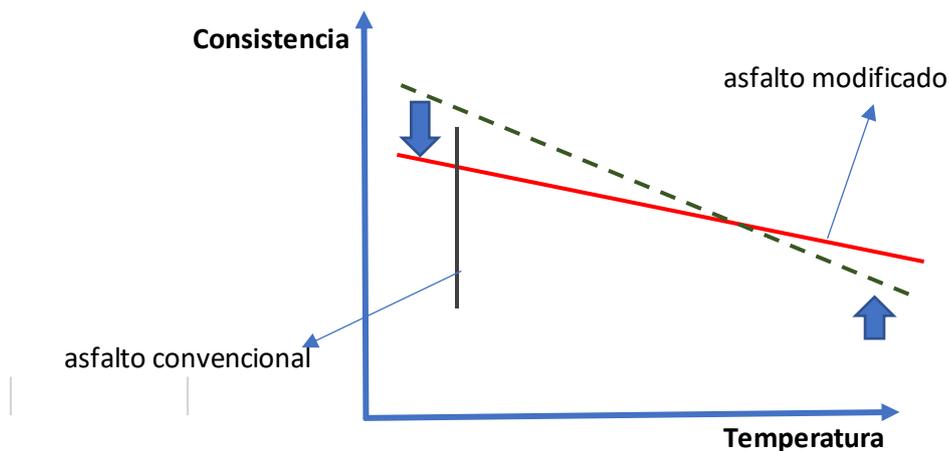
**Pureza.** El hormigón negro está compuesto en gran medida por betún, que es por teoría un componente absolutamente soluble en disulfuro de carbono. cercanamente el 99,5% de los pavimentos refinados son solubles en disulfuro de carbono, y en el caso de que contengan contaminaciones, éstas son latentes. Regularmente, el hormigón negro necesita agua, ya que ésta se perdió durante el ciclo de tamizado. Al no tener pérdida total de agua, se vuelve espumoso al calentarse cerca de temperaturas mayores a los 100°C (212°F). La virtud de un hormigón asfáltico se identifica por su inexistencia de humedad, al igual que cualquier contaminación.

**Clasificación de los asfaltos de pavimentación:** Según la norma American Society for Testing and Materials (ASTM), estas mezclas asfálticas se pueden clasificar en: **Cementos asfálticos.** Estos se separan

en tres marcos distintos, ciertamente cada cual de ellos abarca varios grados con diversas gamas de consistencia. **Caracterización por penetración.** Se utilizará la normativa ASTM D-946 (Clasificación estándar por grado de penetración para los cementos asfálticos utilizados en la pavimentación). Esto cubre los niveles de infiltración adjuntos: 40-50/60-70/85-100/120-150/200-300. Esta técnica se lleva a cabo introduciendo una aguja en un ejemplo de tapa negra sometido a un peso determinado. La longitud de distancia a la que la aguja se infiltra en el ejemplo en un lapso fijado se estima en décimas de milímetro (0,1 mm). Un nivel 200-300 muestra que la aguja se infiltró en el ejemplo en condiciones determinadas de 200 a 300 décimas de un milímetro. Esto significa una mezcla bituminosa "delicada", un grado 40-50 significa una mezcla bituminosa "dura". **Caracterización por viscosidad:** La norma ASTM D-3381 (Standard Viscosity Grade Classification for Asphalt Cements Used in Paving) ordena los pavimentos en función de su consistencia absoluta a 60°C. El equilibrio (P) es la unidad de estimación estándar. En función de ello, los pavimentos negros se delegan de la forma siguiente: AC-5 (500 ± 100): utilizado en la producción de mezclas bituminosas para el sistema de agua de impregnación, el sistema de agua de unión, en ajustes y en combinaciones de asfalto en caliente. AC-10 (1000 ± 200): utilizado en el montaje de mezclas bituminosas para folios y morteros de mezcla en frío. AC-20 (2000 ± 400): utilizado en la producción de combinaciones en altas temperaturas, mezclas asfálticas utilizadas en morteros y cubiertas de mezclas en frío. AC-30 (3000 ± 600): usado en el montaje de combinaciones en altas temperaturas, emulsiones para folios y mezclas en frío. **Caracterización por Comportamiento.** Dicho marco fue creado por la institución del Asfalto de los Estados Unidos y propuesto en el SHRP (Programa de Investigación Estratégica de Carreteras), sin perjuicio de que se recuerda adicionalmente para la ASTM D-6373 (Especificación Estándar por Grado de Rendimiento) incorpora información sobre las mayores y menores temperaturas del asfalto como componente de la temperatura ambiente del aire y el ámbito geográfico. La ventaja de esta estructura es que deduce cómo procederá la mezcla de asfalto de forma que se desgasta y envejece. La mezcla asfáltica puede desarrollarse a corto y a largo plazo, por lo que, en conjunto, se evalúa su grosor. **Asfaltos**

**Rebajados.** Conocidos como pavimentos debilitados, son hormigones de color negro que se han mezclado con disolventes de Petróleo. Hay tres formas: Asfalto de Curado Rápido (RC), Asfalto de Curado Medio (MC), Asfalto de Curado Lento (SC). **Asfaltos Emulsificados.** Es una emulsión de hormigón negro y agua que contiene una modesta cantidad de un especialista en emulsión. Es todo menos un entramado heterogéneo que contiene en su mayor parte dos etapas inmiscibles (asfalto y agua), donde el agua conforma el periodo constante de la emulsión y pequeños glóbulos de asfalto estructuran la etapa rota. La emulsión asfalto puede ser: La Emulsión Aniónica está cargada negativamente. La Emulsión Catiónica está cargada positivamente. **Asfaltos Modificados. Antecedentes:** En lo que respecta a la parte de la modificación de ligantes, el cambio de la mezcla asfáltica se inicia en 1960 en Italia, Francia y Alemania, lugar donde se realizaron los principales proyectos beta. En EE.UU., los principales proyectos de desarrollo se completaron en 1960. En Italia, se trabajaron alrededor de 1.000 km de calles con esta forma de mezcla asfáltica, colocando capas de rodadura con pavimentos ajustados, así sea de forma seca o de látex. Para completar el ajuste de la mezcla asfáltica, hay que referirse a la similitud del asfalto con el modificador para que puedan coincidir como marco, es decir, debe ser miscible, lo que muestra una combinación de etapa solitaria. La inmiscibilidad se convierte en la presencia de una etapa posterior. Un polímero es viable con el asfalto cuando la heterogeneidad de la combinación no puede ser valorada por la evaluación visual. Los pavimentos más extravagantes en porciones fragantes y en lanzamientos serán los más viables, ya que estas partes son las que permiten la ruptura del polímero. Las mezclas asfálticas más inviables son excesivamente más extravagantes ya sea en asfaltenos e inmersiones. La conducta de la mezcla asfáltica depende fundamentalmente de tres variables: la temperatura, el tiempo de apilamiento y la maduración. A altas temperaturas y bajo cargas soportadas, la mezcla asfáltica va como un líquido espeso, es todo menos una mezcla plástica que provoca rotura. A bajas temperaturas y bajo apilamiento rápido, se vuelve débil, provocando la rotura cruzada y la rotura en caliente. **Composición Química:** Se compone de tres conjuntos fundamentales: asfaltenos, brea y aceites (fragantes y empapados). Los asfaltenos

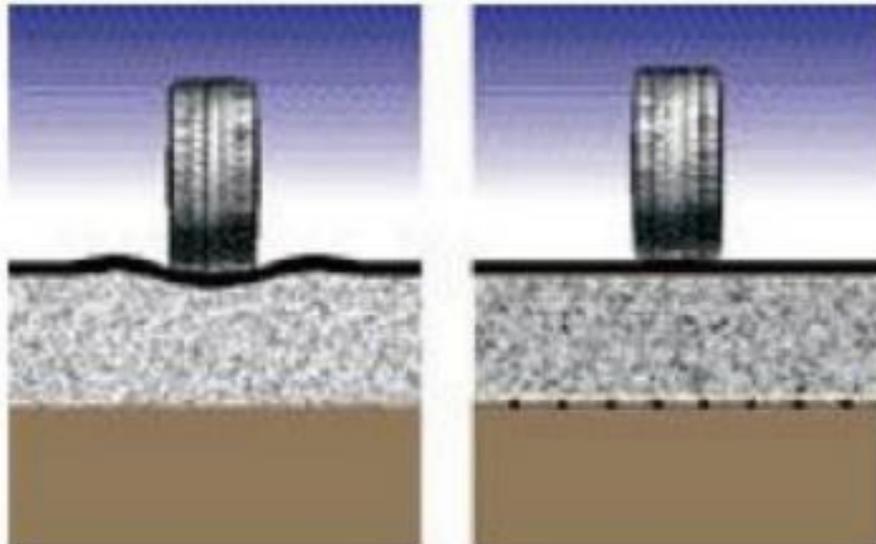
expuestos a temperaturas de trabajo comunes son un entramado disperso, ya que las partículas de la etapa dispersa son la miscela, en la que el núcleo o total es el asfalteno. Todos los metales contenidos en el petróleo no refinado se desplazan en los asfaltenos: Ni, V, Fe, Co, Mn, y en una medida aparente, oxígeno, azufre y nitrógeno. Entre el 80 y el 85% de los asfaltenos son moléculas de carbono, la proporción C:H se sitúa entre 0,8 y 0,87. Los asfaltenos son el resultado de la acumulación de savia.



**Figura N° 02 comportamiento del asfalto convencón y asfalto modificado**

La meta que se persigue con la dispersión de los polímeros a las mezclas asfálticas es trabajar en su reología, planeando: Disminuir la debilidad en caliente, Aminorar la delicadeza en ambientes de baja temperatura y sumar la unión en clima sofocante, Aminorar la vulnerabilidad a los momentos de uso de las pilas, Sumar la protección contra la deformación perpetua y la rotura en un ámbito más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de apilado, Mejorar la unión de los componentes (agregados). **Definición del Asfalto alterado.** Una mezcla asfáltica alterada es un asfalto al que se le ha añadido un un componente especial que cambia total o parcialmente las características subyacentes, que pueden presentarse, entre distintas, el espesor, la dureza, la flexibilidad, etc., dotando así al cemento asfáltico de los atributos fundamentales para oponerse a las cargas, a los especialistas del clima y a las formas en las que el trabajo provoca su desgaste, que puede ser intempestivo. Las cualidades de la mezcla

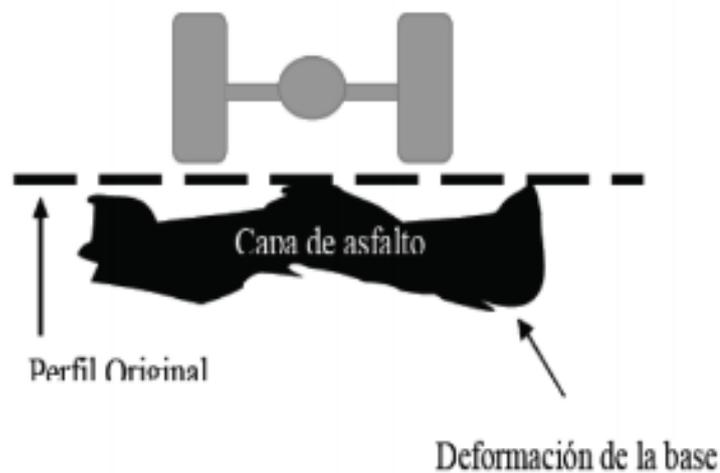
asfáltica que se alteran y el objetivo que se busca se mostrarán en lo próximo. Los componentes especiales en cambio usados son los polímeros, el látex y el caucho molido. **Razones para usar Modificadores de Asfaltos: Deformación de la Carpeta Asfáltica.** Un contraste entre un pavimento de concreto, un asfalto sustancial hidráulico y un asfalto adaptable es la forma en uno por uno asimile y comunique los cúmulos a las capas de asfalto ocultas. Es notable que una cubierta dura ingiere las cargas de una manera transportada, debido a su condición rígida inflexible, una propiedad que un pavimento de mezcla asfáltica no tiene, a la luz del hecho de que debido a que es todo lo contrario, un pavimento asfáltico recibe el montón directamente, deformándose y enviando todo lo absorbido (carga) de una manera circulada a la capa por debajo. La figura N<sup>a</sup> 03 muestra, esquemáticamente, en el lado izquierdo la torsión de un pavimento asfáltico, mientras que en el lado derecho el folio inflexible no muestra ninguna desfiguración.



**Figura N° 03 deformación del pavimento asfáltico por carga de neumático**

En el momento en el que se aplica el montón de carga, o en el caso de que sea demasiado rígido, este comportamiento provocará roturas perpetuas en la superficie de apoyo. La deformación perpetua ocurre en el asfalto adaptable cuando la deformación plástica se agrega, con cargas continuas a altas temperaturas en el rango de 40°C y 65°C, (más alto que la cima de

acondicionamiento de la mezcla asfáltica), como referido anteriormente, es soportado por altas cargas y tiempos moderados o lentos de utilización. Los componentes que favorecen la presencia de la torsión duradera son los factores de presión de alta expansión de los neumáticos de las movildades de transporte, sin embargo, esto no depende del investigador; una sustancia de asfalto alta o baja en la mezcla; la utilización de largos agregados y redondos, así como la afición de la piedra las condiciones humedad.



**Figura N° 04 Deformación Permanente y daño en la base**

Distinto tipo de comportamiento que ocurre, al igual que la deformación perpetua, es la rotura por baja temperatura, que ocurre cuando el asfalto es excesivamente duro o rígido, a la luz del hecho de que tiene una versatilidad demasiado baja, lo que hace que el pavimento asfáltico se exponga a cargas trazables antes de conseguir cualquier montón de carga distribuida. **Fallas en Pavimentos Flexibles.** Está comprobado que las calles se planifican y trabajan para estar en asistencia durante no menos de un número específico de años; esta circunstancia se visualiza como el horizonte de vida o la permanencia utilizable del proyecto. Hacia la terminación de este plazo, las calles se abandonan, se protegen o se reproducen para construir su administración durante un plazo más prolongado, que es lo que ocurre en su mayor parte. Cuando está en actividad, un proyecto se desintegra continuamente y proporciona distintas características

de asistencia a lo largo del tiempo. Las debilidades pueden ser escasas desde el principio, pero se van deteriorando a lo largo del tiempo hasta llegar a ser importantes, ejecutando rápidamente la deterioración de la calle; en consecuencia, una obra requiere una conservación o mantenimiento, para garantizar, en todo caso, su vida útil y ofrecer una asistencia satisfactoria. La desintegración se advierte y se revisa con un valor de 1 a 5, conocido como factor de servicio; cuando un proyecto recién desarrollado comienza a funcionar, es todo menos una calificación de 4,0 a 4,5, que disminuye con el paso del tiempo. En el instante en que una avenida o autopista de nivel 1 llega a un factor de serviciabilidad de 2,5 o 2, una de nivel 2, el tráfico tiene unos pocos problemas, y el estado cómodo de manejo de la excursión llega al punto de base. Ahora, la obra llega a su falla de vida útil, si la calle aun esta en servicio, llega a la falla estructural y no puede haber más tráfico. A causa de un plan pésimo de la construcción en cuanto a los materiales o al espesor, o a causa de que el tráfico no se haya previsto satisfactoriamente, un proyecto puede llegar al desgaste estructural siendo destruida antes del final de la existencia útil, sin tener quizá una falla funcional, ya que el debilitamiento puede haber sido muy veloz. En conjunto, para que un proyecto deteriorado no llegue a la falla estructural después de algún tiempo, es importante restaurar la calle cuando llega a la falla funcional y su calificación es de 2 para avenidas de nivel 2 o de 2,5 para las calles de nivel 1 y únicas. En el instante en el que se tiene registro del fondo histórico de una calle y se obtienen los archivos de ayuda paso a paso, se marca una curva como la que observamos en la imagen N° 05, con la que se conoce alrededor del momento en que la calle arribará a su colisión estructural. En cualquier caso, deberían ser posibles varias recuperaciones para ampliar su lapso de uso útil; claramente, después de unos cuantos trabajos de esta forma, existirá un segundo en el que el diseño se vea perjudicado hasta tal punto que se haga cualquier cosa menos una reparación viable.

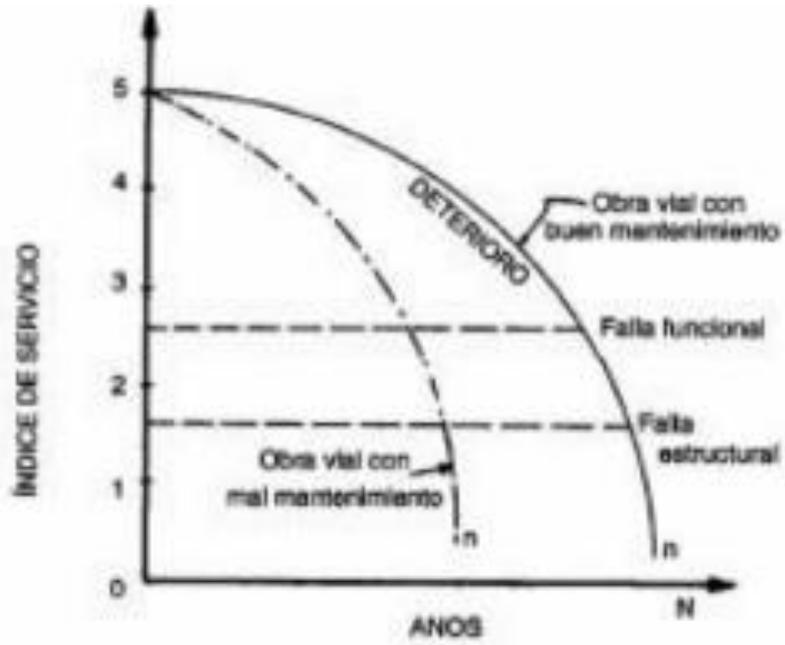


Figura N° 05 Esquema que representa el deterioro de las obras viales

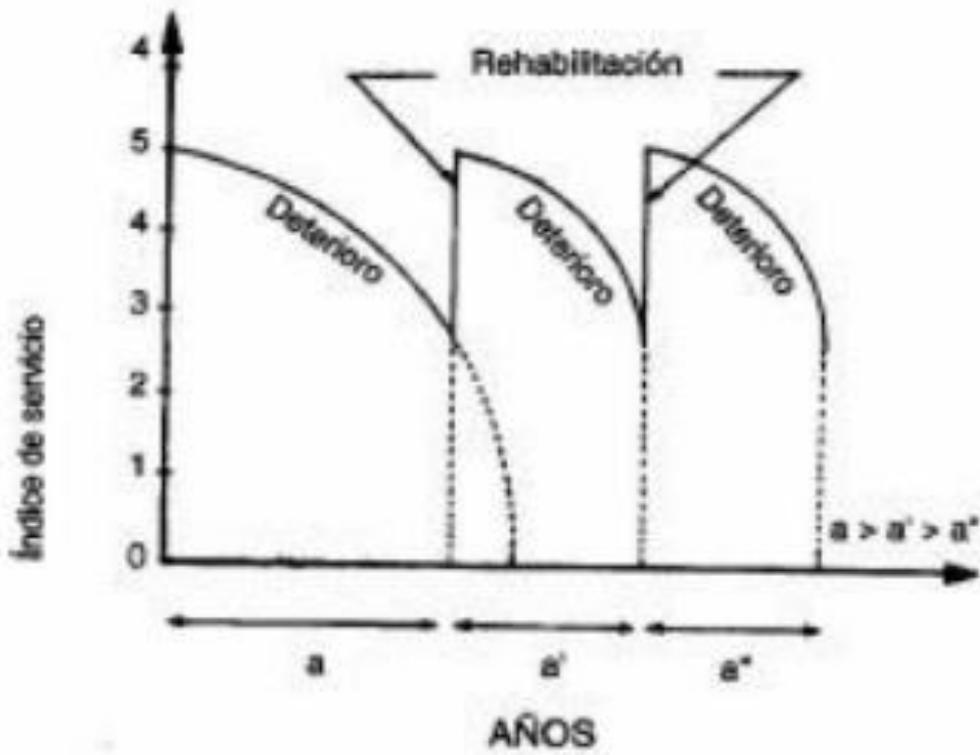
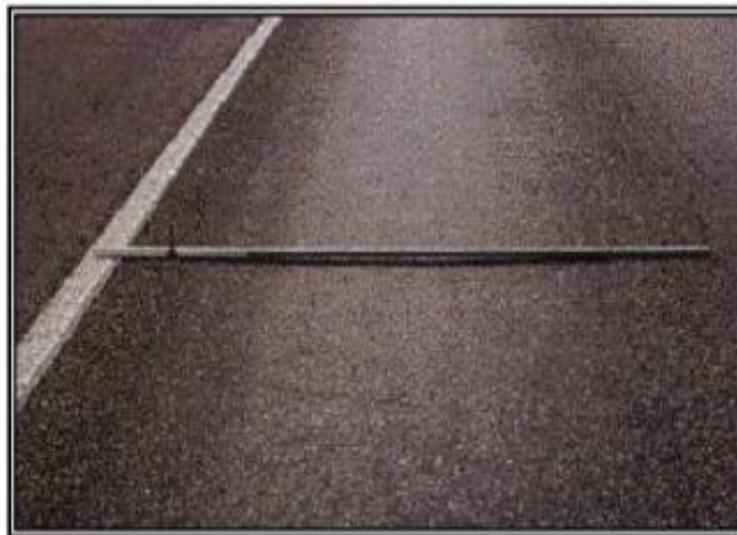


Figura N° 06 Esquema muestra el efecto de las rehabilitaciones

Lo visto con anterioridad distingue en la Figura N° 05, que demuestra que, al entrar en uso, una construcción se debilita hasta llegar a su falla estructural en "n" años; en todo caso, en caso de que se restaure cuando tiene una calificación no menos de 2,5, su vida de uso se amplía en "n" años más. Este ciclo puede repetirse unas cuantas veces; no obstante, seguidamente de cuatro o cinco restauraciones, el daño causado al proyecto ya no es viable si no más bien es mejor reconstruirla, ya que la adecuación de la recuperación es cada vez menor, como se muestra en la Figura N° 08. Para nivelar una calle, se utiliza la estrategia visual, que tiene en cuenta la cantidad de roturas y sobre la superficie; la cantidad de baches, socavones o calaveras; y la grandeza de las deformaciones. A continuación, se describen los distintos tipos de desperfectos que se producen en los asfaltos adaptables y sus posibles explicaciones: **Roderas:** Estas deformaciones que son longitudinales se producen en la superficie o exterior de apoyo, dado el espacio de mayor frecuencia de los neumáticos del vehículo. Si son inferiores a 1 cm, se deben a una variación de forma de la capa superior negra (asfalto); sin embargo, si son más notables, se ameritan a una base inadecuada o a que la base no es de suficiente calidad.



**Figura N° 07 Esquema muestra el efecto de las rehabilitaciones**

**Superficie de Rodamiento Lisa:** Esta deformación de forma debido a una sobreabundancia de mezcla asfáltica de riego, en la capa de cubierta, en la mezcla de asfalto o en el sistema de sellado. La sobreabundancia de asfalto es

sifonada hacia la superficie de rodamiento debido a la actividad del tráfico, provocando posteriormente su desconexión, pero incluso de esta forma podría quedar una capa de mezcla asfáltica de 1 o 2 mm como crema, lo cual es extremadamente peligroso, ya que los vehículos se deslizan sin ningún problema. **Pequeñas Deformaciones Transversales Rítmicas:** Este tipo de falla, es irritante para el tráfico, se produce cuando la base no está muy asentada o cuando fue trabajada con materiales de pésima calidad. Se originan debido a las desfiguraciones de esta capa, entregadas por la vibración y los pesos de acción tangente (tangenciales) provocados por los automoviles y reflejados en la superficie de apoyo; en el tipo de que obedezca a un pavimento asfáltico, se rompe rápidamente. **Desintegración de la Carpeta:** Ocurre en asfaltos antiguos de capa negra debido a la oxidación de la misma, o en asfaltos algo tardíos con poca sustancia de mezcla asfáltica; además, ocurre en asfaltos de material pétreo poco fiable. Figura N<sup>a</sup> 08. **Grietas Longitudinales a la Orilla de la Carpeta:** Este inconveniente se produce en los movimientos de tierra, ya sea por las contracciones que se producen en los mismos o por estar asentados en un terreno delicado; también puede deberse a que los vehículos se acerquen excesivamente al borde cuando la capa negra se esparce por toda la cima, en tal motivo no hay suficiente restricción paralela. Además, estas roturas aparecen cuando los desarrollos no se hacen de una forma correcta, cuando se usan insumos sin compactación o sin suficiente puerto; con el tiempo, aquí y allá corto, estas roturas aparecen en la superficie de apoyo y se engendran hacia el centro.



**Figura N° 08 Desintegración de la carpeta**

**Presentación de Calaveras:** las mencionadas son aberturas que se disponen en la parte exterior de apoyo, consiguiendo ser varias; su dimensión no es más notable que 15 cm. Se esperan a una calidad inadecuada en la base, a cubiertas con una mezcla asfáltica inferior a la ideal, o a la colocación de otra mezcla asfáltica sobre otro asfalto roto o con calaveras, lo que se evidencia en la nueva capa. Imagen Nª 09.



**Figura N° 09 visualización de calaveras en el pavimento asfáltico**

**Baches:** Se producen por el desmoronamiento de las sujeciones y de la base debido a la baja calidad de los materiales ocultos, incorporando movimientos de tierra con alto contenido de agua. Igualmente se producen por la presencia de roturas y pandeos que no fueron tratados satisfactoriamente y de forma idónea.

Figura N<sup>a</sup> 09



**Figura N° 10 visualización de baches por fisura miento**

**Agrietamientos es Forma de Piel de Cocodrilo o Mapeo:** Abodece a un asfalto de bajo potencial o puesto sobre una base con rebote; en el caso de que el asfalto haya sido hecho con hormigón asfáltico, esta falla es de la forma en que la base no fue solidificada con precisión. Del mismo modo, se manifiesta en asfaltos oxidados. Figura N<sup>a</sup> 11.



**Figura N° 11 Mapeo piel de cocodrilo**

**Corrimiento de la Carpeta Asfáltica:** Sucede cuando la combinación es de infima resistencia, ya sea debido a la utilización de la abundancia de la mezcla asfáltica o en vista de la utilización de una delicada capa en las regiones de alta temperatura; que, además, ocurre en el camino difícil en las inclinaciones empinadas y en las curvas, donde las fuerzas de apoyo de los carros son altas.

**Descarnado de las Carpetas:** Son el resultado de la utilización de sustancias añadidas insuficientes en las mezclas y se producen en espacios de alto nivel de carga originados por el tráfico, como las regiones de inicio (arranque) y ralentización (por frenado) en las vías urbanas.

**Deformaciones de las Superficies de Rodamiento del Orden de 5 cm:** Se producen por el bajo potencial de la base o por un espesor inadecuado del asfalto.

**Deformaciones Fuertes en la Superficie de Rodamiento:** causado por un grosor deficiente o a la baja calidad de los insumos de asfalto y de tierra, con frecuencia con una destacada decepción de compactación desde el desarrollo. A menudo hay mucha agua debido a la ausencia de zanjas, subdrenaje o diferentes intentos de controlar el fluido. En el momento en que el tráfico aumenta de forma impresionante, las curvas destinadas a un determinado volumen de tráfico y que no se restauran de forma ideal y satisfactoria, también presentan este problema.

**Ventajas del Uso de Asfaltos Modificados.** A partir de ahora se conocen los principales contrastes entre los pavimentos habituales y los modificados. Las ventajas de los pavimentos modificados son las siguientes:

**Mecánicas:** Disminuir la vulnerabilidad a los momentos de uso del esfuerzo por peso, Sumar la protección contra el cambio de forma y la rotura inminente en un ámbito más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de apilado

Poseen alta resistencia mecánica, alta elasticidad, gran fuerza de humectación y adherencia con los totales, Se tienen combinaciones más adaptables a ínfimas temperaturas de ayuda, disminuyendo la rotura, Reduce la exudación de la capa asfáltica: por el mayor espesor de la combinación, su menor propensión a la corriente y su mayor flexibilidad.

**Térmicas:** Minoriza considerablemente la debilitación en caliente, Minoriza la delicadeza en los ambientes y aumentan el índice de cohesión en el clima con estaciones calientes, Su conducta cambia según la temperatura en la que pueda hallarse.

**Económicas.** El gasto dependerá esencialmente de su soporte, ya que requerirán menos mantenimiento y su vida útil será más larga.

**Procesos de Modificación del Asfalto.** El CR podría ser adicionado en asfaltos

por razón de métodos diferentes estos pueden ser 2; que así mismo se denominan proceso húmedo y proceso seco. **Proceso por Vía Seca.** La interacción en seco es cualquier estrategia en la que el CR se añade directamente a la mezcla de negro caliente, normalmente mezclándose con los totales antes de añadir el hormigón negro. Este ciclo se completa cuando el RC se va a utilizar como un total en la mezcla de asfalto, normalmente como variante de una porción pequeña del total fino, que puede estar entre el 1 y el 3% de la masa total de los totales en la mezcla. En contraste con el ciclo húmedo, esta interacción no necesita un equipo extraordinario, sólo una situación de cuidado que da la medida perfecta de RC y que se proporciona en la oportunidad ideal para ser mezclado con los totales cuando bordean la temperatura específica y antes de añadir el ligante. Las dos innovaciones más normales en los Estados Unidos para la utilización de RC por el curso seco son la innovación PlusRide, la innovación Genérica o el sistema TAK y otra innovación excepcionalmente principal es la que utiliza granulometrías regulares, que fue creada en España y se utiliza actualmente en numerosas naciones. **Plus Ride:** Dicha innovación se desarrolló inicialmente en Suecia en la última parte de los años 60, y se inscribió en los Estados Unidos bajo la marca PlusRide de Enviro Tire. El CR se añade a la mezcla negra en extensiones que van de 4,2 mm a 2,0 mm (tamiz nº 10). La sustancia de los vacíos de aire en la combinación de negro debe estar en algún lugar en el rango de 2 y 4 %, y se adquieren típicamente con sustancia de fijación en algún lugar en el rango de 7,5 y 9 %. **Genérica.** Dicha innovación fue creada por el Dr. Barry Takallou en la última parte de la década de 1980 para ofrecer una mezcla gruesa evaluada en caliente de black-top. Esta idea utiliza RC grueso y fino para coordinar con el tamaño de grano de los totales para crear una mezcla de black-top más desarrollada. En esta interacción, el RC se cambia de acuerdo con obligar al tamaño de grano de los totales. A diferencia que en PlusRide, el tamaño de la molécula de CR se separa en dos divisiones en las que la parte fina conecta con el hormigón de la parte negra, mientras que la parte gruesa actúa como un total flexible en la mezcla de la parte negra. En este marco, el contenido de CR no debería superar el 2% de la carga completa de la mezcla de la capa de rodadura. **Convencional:** Dicha innovación fue creada en España para utilizar el CR en la optimización de las combinaciones de asfalto utilizando granulometrías tradicionales que no incluyen una alta utilización de hormigón

asfáltico, pero que dan menos elasticidad, alrededor del 2% de la carga completa de los totales. Estas combinaciones de asfalto han sido evaluadas progresivamente en el centro de investigación y puestas en marcha con grandes resultados. La interacción seca puede ser utilizada para combinaciones de asfalto en caliente en granulometrías gruesas, abiertas o rotas. No se puede utilizar en diferentes tipos de usos, por ejemplo, mezclas en frío, sellos o medicamentos de superficie, ya que es todo menos un ciclo en el que no se altera el ligante. **Proceso por vía húmeda.** En la interacción húmeda, el CR se mezcla con el hormigón asfáltico para ofrecer una combinación elástica de asfalto modificado que se utiliza de forma similar a un ligante alterado. El hormigón asfáltico alterado con RC se llama AMC y es la consecuencia de la cooperación del RC con la cubierta o ligante. En el momento en que se mezclan el hormigón negro y el RC, el elástico se conecta creciendo y suavizándose debido a la ingestión de aceites de olor dulce, lo que hace que sea importante utilizar un impulso compatibilizador para tratar previamente el elástico y trabajar en la fiabilidad de la combinación. El nivel de alteración del ligante depende de numerosas variables entre las que se hallan el tamaño, la superficie y la extensión del RC, el tipo de hormigón negro, el tiempo y la temperatura de la mezcla, el nivel de tumulto mecánico durante la mezcla, el segmento fragante del hormigón negro y la utilización de diferentes sustancias añadidas. Entre las más utilizadas en la interacción húmeda están: la mezcla en grupo o innovación McDonald, la mezcla continua y la mezcla terminal. **Tecnología por Bachadas:** Esta estrategia comprende la creación de un grupo de mezclas negras y caucho por bachadas. Las principales aplicaciones de interacción húmeda se agruparon y dependieron de la innovación McDonald, creada a mediados de la década de los 60 por Charles McDonald, y protegida durante la década de los 70 por la Arizona Refining Company (ARCO). En la actualidad hay varias patentes identificadas con la innovación McDonald, un gran número de las cuales han caducado y un par de ellas están todavía en vigor. **Tecnología Continua:** Esta interacción se compone de un marco de creación de mezclas ininterrumpidas y elásticas. La innovación de la mezcla consistente fue creada en Florida en la última parte de la década de 1980 y se conoce como el Proceso Húmedo de Florida. En esta interacción, un tamaño fino de 0,18 mm (tamiz nº 80) de CR se mezcla con el hormigón negro en un ciclo consistente. La innovación de Florida

contrasta con el ciclo McDonald en algunos puntos de vista: utiliza tasas bajas de CR, en algún lugar del rango del 8 y el 10%, el tamaño de la molécula elástica necesaria es más modesto, la temperatura es más baja y el tiempo de mezcla es disminuido. El ciclo húmedo de Florida aún no ha sido patente. **Tecnología Terminal:** La innovación de la mezcla terminal es una interacción húmeda que da la capacidad de combinar o mezclar el hormigón negro con RC y guardar el artículo para plazos ampliados. Este ciclo elástico de betún negro tiene un plazo de utilización realista y puede ser mezclado en la instalación de tratamiento donde se entrega el hormigón asfáltico mediante la innovación persistente o en racimo. Las utilidades del hormigón bituminoso alterado por el ciclo húmedo han sido ampliamente utilizadas como un sujetador en la fijación de roturas y juntas, medicinas de superficie, películas que obstaculizan la rotura y en el montaje de la mezcla caliente de asfalto. **Agentes Modificadores de Asfalto. Polímeros.** Se ha referenciado efectivamente que un polímero es un átomo largo hecho por una sustancia respuesta de numerosas partículas pequeñas, que juntas estructuran cadenas largas. El principal polímero identificado por el ser humano, y al que se le dio utilización, fue el látex regular, identificado como elástico (de la palabra náhuatl ash, que significa desarrollo), resultado del drenaje del árbol que tiene un lugar con la especie de las euforbiáceas conocidas como ulcuahuitl o árbol elástico (*Castilleja Elástica Cervica*). Después de que comenzara el interés por el nuevo material, se produjo una explosión en su examen, debido a que a pesar de que tenía propiedades notables, es todo menos un debilitamiento rápido por el aumento de la temperatura. Tras la divulgación del ciclo de vulcanización, con el que se consiguió el principal polímero termoestable, se produjo una lógica carrera de intereses militares para fabricar polímeros de ingeniería, que hasta la fecha ha traído un enorme número de tipos de estos materiales, y podemos enumerar una lista muy considerable de ellos. Para nuestra situación, claramente, sólo discutiremos aquellos que son útiles en la alteración de las tapas negras. A pesar de que los polímeros pueden ser detallados para que aporten cualquier propiedad real, los utilizados en el cambio de tapas negras pueden ser reunidos en dos clases primarias: elastómeros, plastómeros y plastómeros. **Los Elastómeros:** Pueden alargarse y, debido a su flexibilidad, recuperar su forma. Estos polímeros no añaden mucha protección del asfalto en el caso de que no esté extendido; una vez extendido, procura una

oposición extraordinaria con la característica de recuperar completamente su forma subyacente cuando se entregan las cargas aplicadas. Una parte de los elastómeros utilizados para alterar los black-tops son: el bloque de copolímero de estireno-butadieno-estireno (SBS-SB), el bloque de decopolímero de estireno-isopreno-estireno (SIS), el látex de estireno-butadieno-estireno (SBR), el látex de policloropreno y el elástico regular (el látex es una emulsión de diminutas perlas de polímero suspendidas en agua). **Los Plastómeros:** Al formar una organización tridimensional inflexible, estos polímeros dan una fuerza extraordinaria a una edad temprana para oponerse a las pesos considerables, pero son expuestos a romperse cuando se retuercen, ya que son excepcionalmente inflexibles, causando un agotamiento acelerado del asfalto, si no se establece un diseño suficiente. Los plastómeros más conocidos son: la derivación del ácido etilvinilacético (EVA), el polietileno/polipropileno y las poliolefinas. Las propiedades de la fijación del asfalto y de la mezcla pueden planificarse eligiéndolo o jerarquizando al polímero adecuado para un determinado uso y garantizando que sea viable con el asfalto base. Cuando todo está dicho, los elastómeros se eligen para dar más fuerza y adaptabilidad al asfalto, así mismo que las conclusiones con los plastómeros crean una mezcla con alta solidez y firmeza. Los resultados adquiridos de una medida de ajuste del asfalto están excepcionalmente sujetos al enfoque, el peso atómico, la síntesis de la sustancia y la dirección subatómica del polímero, al igual que el manantial del petróleo sin refinar, la interacción de refinado y el grado del asfalto base que se utiliza. En el momento en que se modifica una mezcla asfáltica, la consistencia a 60°C cambia significativamente, sin embargo, las infiltraciones tanto a 25°C como a 4°C cambian en un par de grados. El ajuste con polímeros provoca enormes cambios en la relación presión-deformación, la reacción de desfiguración plástica y los límites de la corriente no newtoniana. La capacidad de ciertos polímeros para recuperarse de forma flexible (la reacción de deformación) se estima observando la corriente bajo la actividad de un montón, y su recuperación versátil cuando el montón se desvanece y añade fuerza a la cima negra. Se han creado nuevas pruebas para calibrar estas propiedades; a veces son más apropiadas que las técnicas habituales (grosor absoluto o cinemático, punto de maduración, infiltración, etc.), así mismo describen las características reales de las mezclas asfálticas modificadas por polímeros a altas

y bajas temperaturas. Los tipos de polímeros son, entre otros Copolímeros en bloque y diferentes termoplásticos: Su marca es contener cuadrados de extremo de estireno y cuadrados de centro de butadieno para dar "versatilidad". **Caucho molido. Lantas de Desecho:** Hacia el término de su uso útil, los neumáticos de los transportes motorizados se convierten en residuos no biodegradables. Asimismo, su estructura actual y su dispersión geográfica suponen una prueba para su administración y retirada. La retirada de los neumáticos usados es una auténtica problemática global. dado al enorme número de neumáticos de desecho que se producen anualmente y a su larga vida útil, los neumáticos presentan un problema considerable en su administración como residuo. actualmente, la gran parte de las llantas de desecho se amontonan o se utilizan como vertedero en enormes terrenos, lo que supone un auténtico peligro para el bienestar y la naturaleza. Un factor de preocupación mundial es la virtud del clima. Más de 100 años de descarga incontrolada de neumáticos es lamentablemente uno de los muchos problemas que están aniquilando los ecosistemas en todo el planeta. La descarga de neumáticos ha sido durante mucho tiempo objeto de mucha conversación, incluso antes de que existieran las actuales innovaciones en la fabricación de neumáticos y la desconcertante y tremenda disposición de los mayoristas preocupados por la biología. En realidad, sea como sea, la industria de la recuperación elástica de neumáticos comenzó básicamente cuando los neumáticos principales de los vehículos primarios llegaron a su último desgaste y fueron desechados. A medida que la fabricación de neumáticos se volvió más moderna con la fusión de materiales de ingeniería y correas de acero extendidas, el camino hacia la reutilización del elástico resultó ser progresivamente problemático. Seguidamente después de la 2da guerra Mundial, la solución más fácil era verterlos en enormes parcelas de tierra, utilizándolos como vertederos o amontonándolos en enormes montañas. Hoy se estima que hay más de once mil millones de neumáticos en estas características en todo el planeta. Al inicio, estos vertederos de neumáticos eran permitidos por los especialistas en todo el planeta, pero las increíbles catástrofes provocadas por las inmensas llamas, al igual que ser un foco de contaminación y un factor importante para la expansión de roedores y diversos bichos que se alimentan de los restos, como roedores y mosquitos. Por otra parte, los neumáticos vierten aceites y otros materiales venenosos que saturan el suelo y, en su mayor parte,

salen al exterior a través de los manantiales y residuos, degradando arroyos y pozos. No obstante, lo anterior, el punto de vista del bienestar es increíblemente preocupante, ya que se ha demostrado que aproximadamente 1.000.000 de insectos se crean, en el margen interior de su ciclo de propagación en condiciones ideales, dentro de un neumático que contenga agua rancia en su interior. Los roedores y los mosquitos transmiten enfermedades excepcionalmente infecciosas y peligrosas, por ejemplo, la rabia, la fiebre de la selva, la encefalitis de San Luis, la encefalitis de La Crosse, la hepatitis viral (tipo B) y el dengue. Posteriormente, los vertederos de neumáticos se desarrollaron de forma imprevisible. Los neumáticos apilados en montañas gigantescas se convirtieron en un problema natural, pero también en un problema político. No hay datos genuinos sobre la medida de los neumáticos de desecho que ahora mismo existen en nuestro país. Eliminación en vertederos abiertos y vertederos, Eliminación en patios privados y tejados, Utilización como combustible en hornos de bloque y artículos de tierra sin control de salidas climáticas, Utilización como combustible optativo en hornos de hormigón aprobados y profundamente limitados por los especialistas en ecología, Las llantas incineradas desprenden el 100 % de sus átomos que son cancerígenos para los que los aspiran. Uso como material bruto para una industria en miniatura que produce zapatos, huaraches y artículos elásticos con métodos excepcionalmente simples y formas básicas, sin influencia sobre sus decoraciones y residuos, Utilización como soporte y divisores elaborados, sobre todo en parques deportivos, Uso en regiones de ranchos como caja de bebederos para la cría de pequeñas especies, Utilizar en ruta en páramos y embarcaciones como componentes de aseguramiento de efectos, Utilizar como material de ayuda y bienestar en diferentes ejercicios de juegos. **Composición Química de las Llantas.** El neumático se compone fundamentalmente de tres elementos: elástico (normal y de ingeniería), una cuerda de acero y fibra de material. Así, el elástico utilizado en el montaje de los neumáticos se compone de una reunión de polímeros (mezclas de sustancias de alto peso atómico) que incluyen el poliisopreno manufacturado, el polibutadieno y el más conocido estireno-butadieno, en vista de los hidrocarburos. Ver tabla Además, se añaden diferentes materiales al elástico para trabajar en sus propiedades, por ejemplo, acondicionadores, que trabajan en el tratamiento del elástico antes de la vulcanización; óxido de zinc y

magnesio, regularmente llamados activadores, que se mezclan para disminuir el tiempo de vulcanización de unas horas a un par de momentos; refuerzos celulares, para dar mayor vida al elástico sin que se corrompa por la actividad del oxígeno y el ozono; por último, el oscurecimiento por carbono, una especie de humo. Se trata de una oscuridad adquirida por la combustión deficiente de gases de petróleo, que da una protección más destacada contra el punto de roce y la presión. A pesar de que en general cambiarán según el tipo de neumático y el país de producción, los componentes sintéticos distintivos que conforman una llanta se observa en la Tabla N° 05 junto con sus índices individuales. En la interacción de la vulcanización, en el ensamblaje del neumático, el elástico virgen se mezcla con diferentes elementos (cauchos manufacturados, azufre y óxidos) y se lleva a temperaturas que conducen a cambios en el diseño de su compuesto interior y en sus propiedades reales.

| <b>MATERIAL</b>                                       | <b>LANTAS AUTOMOVILES Y CAMIONETAS</b> | <b>LLANTAS CAMIONES Y MICROBUSES</b> |
|---|--|--------------------------------------|
| NEGRO DE HUMO   | 28%                                    | 28%                                  |
| FIBRA TEXTIL, SUAVIZANTES, OXIDOS, ANTIOXIDANTES, ETC | 16-17%                                 | 16-17%                               |
| CAUCHO NATURAL  | 14%                                    | 27%                                  |
| ACERO   | 14-15%                                 | 14-15%                               |
| CAUCHO SINTETICO                                      | 27%                                    | 14%                                  |
| <b>VOLUMEN</b>  | <b>0.06 M3</b>                         | <b>0.36 M3</b>                       |
| <b>PESO PRMEDIO:</b>                                  | <b>8,6 KG</b>                          | <b>45,4 KG</b>                       |

**TABLA N° 01 COMPONENTES DE LA LLANTA**

| ELEMENTO                               | COMPOSICIÓN |
|--|-------------|
| Plomo (Pb)                             | 60-760 ppm  |
| Cadmio                                 | 5-10 ppm    |
| Cloro (Cl)                             | 0.2-0.6%    |
| Hierro (Fe)                            | 15%         |
| Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> ) | 5%          |
| Níquel (Ni)                            | 77 ppm      |
| Carbono                                | 70%         |
| Hidrogeno (H)                          | 7%          |
| Cromo (Cr)                             | 97 ppm      |
| Talio                                  | 0.2-0.3 ppm |
| Óxido de Zinc (ZnO)                    | 2%          |
| Azufre (S)                             | 1%          |

**TABLA N° 02 COMPONENTES DEL CAUCHO**

Estas progresiones son, a la larga, irreversibles. Por lo tanto, el elástico del neumático, cuando se expone a condiciones de fuerza como la fricción con la mezcla asfáltica, se degrada y se desgasta. El friccionamiento constante con el aire provoca así la oxidación del material, lo que impide que el elástico granulado recuperado de los neumáticos usados alcance los niveles óptimos de uso del primer elástico virgen. **Procesos para la Obtención de Hule Molido de las Llantas: Sistema Mecánico (Ambiental).** Este procedimiento mecánico trata de eliminar primero los cinturones de acero de los neumáticos de camión. Una vez eliminados los cinturones de acero, el neumático se lleva a una trituradora donde el neumático se reduce a unos 25 o 40 centímetros cuadrados. Este trozo se lleva a los contenedores introducidos en el paso de los granuladores. El granulador recibe las virutas y las conduce a una progresión de procesadores con cuchillas que machacan el elástico. Dentro de estos ciclos, hay marcos atractivos que diferencian el metal y el acero lanzándolo a un cilindro vibratorio hacia los almacenadores de surtido de acero primario. El elástico se dirige a una mesa vibratoria donde se introduce un marco de vacío para eliminar la fibra fabricada del neumático. Tras esta progresión, el elástico se envía a unas cribas que permiten determinar los tamaños ideales según los requerimientos de granulometría del mercado (generalmente cuatro), para luego almacenar el elástico molido en unos almacenes que permiten su calibrado y agrupación.

**Sistema Criogénico.** Este marco criogénico trata en conducir los neumáticos enteros a un tanque en el que se pasa nitrógeno fluido para congelar el artículo. Algunos fabricantes los granulan para sumar el volumen del artículo a helar. A continuación, el artículo pasa a las fábricas donde se rompen las piedras, aplastando el artículo, y ayudado por un marco atractivo que aísla el acero y el metal actuales, y a través de un marco de vacío, se aísla la fibra de ingeniería del neumático. A continuación, se pasa a un arreglo de cribas donde se aísla por tamaño, y después se pasa a los almacenes donde se estiba y se calibra. La norma ASTM 899 caracteriza el black-top como "una combinación de hormigón negro y elástico recuperado de neumáticos de desecho, para ciertas sustancias añadidas donde el segmento elástico es esencialmente el 15% de la carga volumétrica de la mezcla, que ha respondido con el hormigón negro caliente adecuadamente para lograr la dilatación y la incorporación de las partículas elásticas". Los mejores resultados se han obtenido utilizando al menos un 17% de elástico de neumático reutilizado, mezclado a temperaturas comprendidas entre 175°C y 200°C para provocar la respuesta".

**Aplicación de la mezcla.**

**Equipo Utilizado en la Aplicación de la Mezcla.** Es fundamentalmente equivalente a la utilizada en la aplicación de un asfalto no modificado (no se utiliza el compactador neumático). Camión aspersor: para aplicar el sistema de liga, Pavimentadora: para poner en posición el pavimento asfáltico del espesor de diseño, Rodillo Vibratorio generalmente el que tiene dos tambores: para una mejor distribución y compactación.

**Mano de Obra Necesaria.** Son necesarios los operadores para las maquinarias a requerirse; para: Maquinaria de regado, Maquinaria pavimentadora, Personal para emparejar los bordes del pavimento, Especialista para la verificación de los espesores de diseño, Maquinaria para el rodillo vibratorio.

**Aplicación de la Mezcla.** Dicha combinación de la mezcla asfáltica se pondrá encima de un terreno compacto. La interacción a seguir es la siguiente: Vigilar siempre que la superficie esté totalmente nivelada y liberada de cualquier basura antes de la limpieza, Aplicar un sistema de liga de seguridad a un ritmo de 0,07 a 0,18 l/m<sup>2</sup>, para que haya adherencia entre el actual y el nuevo sujetador, Compruebe la temperatura a la que se transporta la mezcla de asfalto, ya que es cualquier cosa menos suficiente para minimizar a temperaturas extremadamente bajas, El proceso de pavimentación se logra utilizando una extendedora, que consta de dos unidades: la unidad de transporte agrícola y la

unidad de tiro. La unidad del vehículo agrícola incorpora una planta de fuerza y la regla es responsable de fijar la mezcla a altas temperaturas y majea su espesor, aunque el mismo es constantemente comprobado por un especialista que estima que es cualquier cosa menos una barra graduada. La placa de enrasado debe ajustarse a la temperatura de la mezcla y evitar el enfriamiento intempestivo del asfalto en negro, Se trata de compactar el volumen del asfalto para conseguir un volumen más modesto para construir la obstrucción y solidez de la mezcla, y además para cerrar los espacios por los que se puede filtrar agua o aire, ya que estos dos componentes son destructivos. La cubierta se compactó a 132 - 141°C (270 - 285°F), debiendo evitarse temperaturas más bajas a causa de que el tipo de mezcla asfáltica utilizada ha sido alterado con polímeros de tipo elastomérico, lo que hace que el betún sea más pegajoso y esta propiedad aumenta a medida que la temperatura disminuye. (Véase la figura nº 15).

**Propiedades físicas del caucho.** La forma normal es cualquier cosa menos un hidrocarburo blanco o tétrico. Las propiedades reales del elástico crudo (elástico no vulcanizado) difieren con la temperatura. A - 195 °C, el elástico no vulcanizado es un duro, directamente fuerte y en el estado integral es cualquier cosa menos una construcción sinuosa. De 0 a 10 °C es débil y oscuro, o más 20 °C resulta delicado, adaptable y claro. Cuando se manipula con precisión, o cuando se calienta por encima de los 50 °C, el elástico adquiere una superficie plástica pegajosa. (Castro, 2007, p.9). Una amplia gama de cauchos tiene diversas propiedades, pero además comparten algo a todos los efectos: cada uno de ellos, una vez vulcanizado, puede ser realmente fuerte, por lo que requerirían mucho tiempo para su degradación. **Propiedades químicas del caucho.** El diseño de los cauchos normales se compone de cis-1,4-polisopreno mezclado con cantidades modestas de proteínas, lípidos y sales naturales, entre otros. Esto da como resultado un polímero de cadena larga y atrapada en espiral con una carga subatómica normal de  $5 \times 10^5$  g/mol. Esta cadena se complementa con otro isómero primario, la gutapercha (isómero trans). (Castro, 2007, p.11). La mezcla se hace de manera que los cauchos normales dan versatilidad y los materiales de ingeniería dan solidez térmica. **El caucho y su aplicación en el pavimento.** La elasticidad de los neumáticos se ha convertido en un componente valioso y conservador en la planificación de las combinaciones de negro a causa del incremento en el desarrollo de la disposición de los neumáticos en las

regiones metropolitanas. (Castro, 2007, p.8-9). **Ventajas:** El elástico de tierra, cuando se vulcaniza para oponerse al calor y al sobrecalentamiento, acaba con los problemas experimentados con el polímero virgen, No tiene capacidad de disolución; en contraste con el elástico regular, no cambia dentro del hormigón black-top cuando se sobrecalienta, Cuando se mezcla con el hormigón black-top a altas temperaturas, atrae las partes ligeras, haciendo una cubierta elástica black-top más segura de romper, Hace menos ruido y se opone a la torsión, Las combinaciones elásticas de con caucho son realmente adaptables y amplían la existencia útil de las calles, en lugar de recargarse a intervalos regulares, con los neumáticos se restablecen como un reloj, El asfalto adaptable es una construcción hecha de capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura un folio hecho de insumo bituminosos como folios, totales y, si es vital, sustancias añadidas. A continuación, se consideran principalmente como seminario de desgaste sobre capas granulares: el mortero negro, el tratamiento exterior bicapa, el revestimiento en miniatura, el macadán negro, las mezclas negras en frío y las combinaciones negras en altas temperaturas. (Servicio de Transportes y Comunicaciones, 2013, p. 24). El diseño de un pavimento se compone de multitud de capas que se colocan encima de la subbase o establecimiento preestablecido. La capa exterior es la capa de rodamiento, que podría tener un grosor desde menos de 25 mm hasta más de 75 mm, considerando una serie de variables y condiciones, desarrollo y mantenimiento. Aunque se puede utilizar una gran variedad de bases y sub-bases en las estructuras de asfalto negro, normalmente se componen de material granular compactado o tierra equilibrada. Algunas de las más jerárquicas ventajas de los asfaltos negros es la economía que garantiza la utilización de materiales accesibles localmente. En general, es deseable sobretratar los insumos granulares utilizados en las bases.



Figura N° 12 CAPAS DE PAVIMENTO (ELABORACIÓN PROPIA).

En términos cotidianos, es cualquier asfalto cuya superficie se desarrolla con asfalto. Típicamente es cualquier cosa que no sea una capa de rodadura de totales minerales cubierta y plantada con asfalto; y al menos una base o subbase. **Asfalto modificado con caucho.** Dicha mezcla asfáltica es beneficiosa ya que los gastos para la creación del mismo son menos costosos que el regular, por lo que se prescribe ejecutar estos nuevos planes ajustados de asfalto con elasticidad, para trabajar en la oposición y disminuir las decepciones en una calle y así, los fondos de reserva mostrados en las cosas de apoyo disminuyen, además, por su diseño el tiempo de existencia se alarga soportando hasta 20 años. (Castro, 2007, p.22). **Proceso de modificación de asfalto.** Las combinaciones son menos vulnerables a las bajas y altas condiciones de temperaturas y están menos "fatigadas" que los caminos tradicionales". De hecho, se puede ver muy bien que hay dos técnicas por las que se puede utilizar el residuo de neumático como material para el asfalto las cuales son. **Por Vía Seca.** La destrucción de neumáticos se utiliza para suplir una parte insignificante del total fino. Además, incluye la fusión directa en la maquina mezcladora de la suma específica para cada combinación (planta discontinua) o la mezcla ya con algún segmento de piedra de la mezcla antes de ensamblar (planta constante). (Cachay, 2014 p. 62-63). En la que el caucho se funde directamente en la mezcla de asfalto caliente, siendo normalmente mezclado con los totales antes de añadir el hormigón de negro. El elástico se consolida típicamente como una parte de los totales finos que es 1-3% de la carga absoluta de los totales en la mezcla.



Figura N° 13 Proceso de adición de neumático reciclado vía seca

Fuente: Guillermo Castro

**Por Vía Húmeda.** Consiste en la ejecución de una mezcla ajustada (betún-caucho reciclado) en la que la expansión de partículas elásticas de neumáticos reutilizados a un betún tradicional, dentro de ciertos límites de mezcla. (Cachay, 2014 p. 59-60). El método regular de establecer el total ajustado elástico se hizo en España, una interacción no necesita molestar con mucha medida de hormigón negro, sin embargo, da menos medida de elástico un normal de 2% de la pesadez de los totales de la mezcla. **Ensayos para asfaltos. ENSAYO MARSHALL:** La idea de la técnica de Marshall para la configuración de la mezcla de compensación fue figurado por Bruce Marshall, un arquitecto de la parte superior negro con el Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, a través de un amplio examen y conexión considera, mejoró y agregó ciertos ángulos al sistema de prueba de Marshall y fomentó una medida de plan de mezcla. La primera técnica Marshall es simplemente pertinente para las combinaciones de desmonte en caliente que contienen totales con un tamaño mayor de 1" (25 mm) o más modesto. La estrategia modificada se creó para tamaños mayores de 38 mm (1,5"). Está prevista para el plan de laboratorio y el control de campo de las combinaciones de black-top de mezcla gruesa revisada en caliente. Dado que la prueba de

solidez es exacta por naturaleza, el significado de los resultados en cuanto a la evaluación de la ejecución en el campo se pierde cuando se realizan cambios en las técnicas estándar. La técnica Marshall utiliza ejemplos de prueba estándar con una medida de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4"). Se disponen utilizando un sistema particular de calentamiento, mezcla y compactación de combinaciones totales de negro. (ASTM D1559). Las dos partes principales de la técnica del plan son el examen del espesor de los huecos y el ensayo de solidez y corriente de los ejemplos compactados. La seguridad del ejemplo de prueba es la fuerza más extrema en N (lb) que un ejemplo estándar creará a 60° C cuando se pruebe. La estimación de la corriente es el desarrollo absoluto o la distorsión, en unidades de 0,25 mm (1/100") que se produce en el ejemplo entre el vertido y el punto de mayor carga durante la prueba de seguridad. **GRANULOMETRIA.** La técnica de Marshall utiliza un gráfico semilogarítmico para caracterizar el tamaño admisible de las moléculas, en el que la ordenada es el nivel de material que pasa por una red específica, y la abscisa las aberturas de la sección transversal en mm, trazadas logarítmicamente. La determinación de una curvatura de revisión para el plano de una mezcla cerrada o gruesa de la tapa negra es un elemento de dos límites: el tamaño ostensible más extremo del total y el tamaño de las líneas de control (superior e inferior). La tabla 2.1 presenta los tamaños ostensibles más utilizados y sus líneas de control según la norma ASTM D3515.

**Graduaciones propuestas para mezclas cerradas (ASTM D3615)**

| Abertura de malla  | Mezclas cerradas                   |                     |                   |                   |                   |                    |                    |                    |                     |
|--|------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|  | Tamaño máximo nominal del agregado |                     |                   |                   |                   |                    |                    |                    |                     |
|  | 2 in<br>(50 mm)                    | 1 ½ in<br>(37,5 mm) | 1 in<br>(25,0 mm) | ¾ in<br>(19,0 mm) | ½ in<br>(12,5 mm) | 3/8 in<br>(9,5 mm) | No. 4<br>(4,75 mm) | No. 8<br>(2,36 mm) | No. 16<br>(1,18 mm) |
| Graduaciones para mezclas de agregados (grueso, fino y filler) |                                    |                     |                   |                   |                   |                    |                    |                    |                     |
| 2 ½ in. (63 mm)  | 100                                | ...                 | ...               | ...               | ...               | ...                | ...                | ...                | ...                 |
| 2 in. (50 mm)  | 90 - 100                           | 100                 | ...               | ...               | ...               | ...                | ...                | ...                | ...                 |
| 1 ½ (37,5 mm)  | ...                                | 90 - 100            | 100               | ...               | ...               | ...                | ...                | ...                | ...                 |
| 1 in. (25,0 mm)  | 60 - 80                            | ...                 | 90 - 100          | 100               | ...               | ...                | ...                | ...                | ...                 |
| ¾ in. (19,0 mm)  | ...                                | 56 - 80             | ...               | 90 - 100          | 100               | ...                | ...                | ...                | ...                 |
| ½ in. (12,5 mm)  | 35 - 65                            | ...                 | 56 - 80           | ...               | 90 - 100          | 100                | ...                | ...                | ...                 |
| 3/8 in. (9,5 mm)   | ...                                | ...                 | ...               | 56 - 80           | ...               | 90 - 100           | 100                | ...                | ...                 |
| No. 4 (4,75 mm)  | 17 - 47                            | 23 - 59             | 29 - 59           | 35 - 65           | 44 - 74           | 55 - 85            | 60 - 100           | ...                | 100                 |
| No. 8 (2,36 mm)  | 10 - 36                            | 15 - 41             | 19 - 45           | 23 - 49           | 28 - 58           | 32 - 67            | 65 - 100           | ...                | 95 - 100            |
| No. 16 (1,18 mm)   | ...                                | ...                 | ...               | ...               | ...               | ...                | 40 - 80            | ...                | 85 - 100            |
| No. 30 (600 µm)  | ...                                | ...                 | ...               | ...               | ...               | ...                | 35 - 65            | ...                | 70 - 95             |
| No. 50 (300 µm)  | 3 - 15                             | 4 - 16              | 5 - 17            | 5 - 19            | 5 - 21            | 7 - 23             | 7 - 40             | ...                | 45 - 75             |
| No. 100 (150 µm)   | ...                                | ...                 | ...               | ...               | ...               | ...                | 3 - 20             | ...                | 20 - 40             |
| No. 200 (75 µm)  | 0 - 5                              | 0 - 6               | 1 - 7             | 2 - 8             | 2 - 10            | 2 - 10             | 2 - 10             | ...                | 9 - 20              |
| Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla    |                                    |                     |                   |                   |                   |                    |                    |                    |                     |
|  | 2 - 7                              | 3 - 8               | 3 - 9             | 4 - 10            | 4 - 11            | 5 - 12             | 6 - 12             | 7 - 12             | 8 - 12              |

**TABLA N° 03 (FUENTE: GRADUACION PARA MEZCLAS CERRADAS)**

**ESPECIFICACIONES DE LA METODOLOGÍA.** La determinación de la sustancia ideal para el asfalto se basa en numerosos modelos que se examinarán en esta sección. Una etapa inicial para la configuración es elegir el nivel de asfalto para el límite normal de vacíos de aire, que es del 4%. Todas las propiedades estimadas y determinadas bajo esta sustancia de asfalto deben ser pensadas en contraste con las reglas para la configuración de la mezcla (Tabla 1.2). Si se cumplen todas las reglas, la configuración de la mezcla de asfalto de imprimación está hecha; si no se cumple una regla, habrá que hacer cambios o mejorar la mezcla.

## Criterio de diseño de mezclas Marshall

| Método Marshall   | Tráfico ligero |       | Tráfico medio  |       | Tráfico pesado |       |
|---|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|   | Carpeta y base |       | carpeta y base |       | carpeta y base |       |
| Criterio de mezcla  | Mín            | Máx   | Mín            | Máx   | Mín            | Máx   |
| Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes | 35             |       | 50             |       | 75             |       |
| Estabilidad, (N)<br>(lb)                                      | 3336           |       | 5338           |       | 8006           |       |
|   | 750            | ----- | 1200           | ----- | 1800           | ----- |
| Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)                                    | 8              | 18    | 8              | 16    | 8              | 14    |
| Porcentaje de vacíos  | 3              | 5     | 3              | 5     | 3              | 5     |
| Porcentaje de vacíos en los agregados minerales               | Ver Tabla 2.2  |       |                |       |                |       |
| Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto                      | 70             | 80    | 65             | 78    | 65             | 75    |

TABLA N° 04 (FUENTE: CRITERIO DE DISEÑO DE MEZCLAS MARSHALL)

### Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)

| Máximo tamaño de partícula nominal |       | Porcentaje mínimo VMA            |      |      |
|------------------------------------|-------|----------------------------------|------|------|
|                                    |       | Porcentaje diseño vacíos de aire |      |      |
| mm                                 | in    | 3.0                              | 4.0  | 5.0  |
| 1.18                               | No.16 | 21.5                             | 22.5 | 23.5 |
| 2.36                               | No.8  | 19.0                             | 20.0 | 21.0 |
| 4.75                               | No.6  | 16.0                             | 17.0 | 18.0 |
| 9.5                                | 3/8.  | 14.0                             | 15.0 | 16.0 |
| 12.5                               | 1/2.  | 13.0                             | 14.0 | 15.0 |
| 19                                 | 3/4.  | 12.0                             | 13.0 | 14.0 |
| 25                                 | 1.0   | 11.0                             | 12.0 | 13.0 |
| 37.5                               | 1.5   | 10.0                             | 11.0 | 12.0 |

**TABLA N° 04 (FUENTE: MINIMO PORCENTAJE DE VACIOS DE  
AGREGADO MINERAL)**

**EVALUACIÓN Y AJUSTES DE UNA MEZCLA DE DISEÑO.** Cuando se fomenta una mezcla del plan, es normal que sea importante hacer unas cuantas mezclas de prueba para descubrir una que cumpla con todas las medidas del plan. Cada una de las mezclas de prueba sirve de ayuda para evaluar y cambiar las pruebas resultantes. Para el plan de mezclas fundamental o exploratorio, es adecuado comenzar con un grado total que esté cerca de lo normal de los límites establecidos. El inicio de las mezclas preliminares sirve para construir la receta de funcionamiento y confirmar que el grado total dentro de lo posible puede repetirse en una planta de mezcla. En el momento en que las mezclas de prueba subyacentes bombardeen las medidas del plan en cualquier sustancia elegida en negro, será importante cambiar o, a veces, actualizar la mezcla. Para solucionar una insuficiencia, el enfoque más directo para actualizar una mezcla es cambiar el grado total modificando las tasas utilizadas. Con frecuencia, este cambio es suficiente para cumplir con los detalles. En el caso de que el cambio de tasa no sea adecuado, se deben hacer verdaderas contemplaciones. Existen directrices generales fiables para cambiar las mezclas de prueba, aunque estas ideas no funcionan en todos los casos. **Vacios bajos y estabilidad baja.** Los espacios vacíos pueden ampliarse de forma inesperada. Como una manera general de lograr altos vacíos en el total mineral (a lo largo de estas líneas que dan espacios adecuados para satisfactoria negro-top y vacíos de aire), el grado total debe ser cambiado mediante la adición de más grueso o fino total. En caso de que la sustancia negra sea superior a la ordinaria y no se espere que la abundancia supla a la consumida por el total, entonces, en ese momento la sustancia negra debería ser disminuida para construir el nivel de vacíos, dando una VMA satisfactoria. Hay que tener en cuenta que la disminución del nivel de black-top puede reducir la robustez del asfalto. Una gran disminución de la sustancia negra puede causar grietas, acelerar la oxidación y ampliar la penetrabilidad. En el caso de que los cambios anteriores no proporcionen una mezcla estable, el total debe ser cambiado. También es posible trabajar en la solidez e incrementar la sustancia vacía del total en la mezcla ampliando el total grueso o disminuyendo la medida del material que pasa por la red n° 200. Con

la expansión de la arena preparada, se puede mejorar la sustancia vacía sin perder la resistencia de la mezcla. **Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria.** La escasa cantidad de huecos puede provocar, en última instancia, flacidez debido a la corriente de plástico o después de que el asfalto haya sido presentado al tráfico durante un tiempo debido a la reorientación de las moléculas y a la compactación adicional. Por otra parte, la falta de huecos puede ser el resultado de la medida de negro necesaria para adquirir una alta solidez en las mezclas escasas; a pesar de ello, la solidez es en un primer momento aceptable para el tráfico particular. La corrupción total sin ayuda durante la creación de la mezcla, así como bajo la actividad del tráfico, puede a lo largo de estas líneas causar flacidez y corriente si la sustancia vacía de la mezcla no es adecuada. En consecuencia, las combinaciones con bajos vacíos deben ser cambiadas por una de las estrategias dadas en la sección pasada si la confiabilidad subyacente es buena o no. **Vacíos satisfactorios y estabilidad baja.** Una solidez baja cuando los vacíos totales y el grado son aceptables puede demostrar algunas insuficiencias en el total. Hay que pensar en desarrollar más la forma de la molécula total utilizando material aplastado o ampliando el nivel de total grueso en la mezcla o quizás ampliando el mayor tamaño del total. Las partículas totales con superficie áspera y menos ajustada muestran una mayor resistencia cuando se mantiene o amplía el volumen de huecos. **Vacíos altos y estabilidad satisfactoria.** Una solidez baja cuando los vacíos totales y el grado son aceptables puede demostrar algunas insuficiencias en el total. Hay que pensar en desarrollar más la forma de la molécula total utilizando material aplastado o ampliando el nivel de total grueso en la mezcla o quizás ampliando el mayor tamaño del total. Las partículas totales con superficie áspera y menos ajustada muestran una mayor resistencia cuando se mantiene o amplía el volumen de huecos. **Vacíos altos y estabilidad baja.** Para este tipo de condiciones se deben considerar dos etapas; la primera es cambiar el volumen de vacíos por las técnicas mencionadas en los enfoques anteriores; y en la siguiente, si los cambios no funcionan en la estabilidad, se debe pensar en la naturaleza de los materiales, tanto por Bajos vacíos y baja solidez como por Bajos vacíos y buena fiabilidad. **RUEBAS A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS.** En la técnica Marshall, se realizan tres tipos de pruebas para decidir las dos sus cualidades volumétricas y mecánicas. **Determinación de la gravedad**

**específica.** La prueba de gravedad explícita puede llevarse a cabo cuando el ejemplo se haya enfriado a temperatura ambiente. Esta prueba se realiza según la norma ASTM D1188, gravedad explícita de las mezclas compactadas de black-top utilizando aceite de lámpara; o la norma ASTM D2726, gravedad explícita de las combinaciones compactadas de black-top utilizando superficies sumergidas de ejemplos secos. Para saber qué norma utilizar, se debe probar la asimilación de la mezcla compactada de black-top; si la retención es superior al 2%, se utiliza la norma ASTM D1188; en cualquier caso, se utiliza la norma ASTM D2726.

**Prueba de estabilidad y flujo.** Después de que la gravedad particular no se haya asentado realmente, se realiza la prueba de fiabilidad y flujo, que consiste en inundar el ejemplo en una ducha de agua a  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $140^{\circ}\text{F} \pm 1.8^{\circ}\text{F}$ ) durante 30 a 40 minutos antes de la prueba. Con el hardware de prueba preparado, eliminar el ejemplo de prueba de la ducha de agua y secar con precaución la superficie. Colocarlo y enfocararlo en la mordaza inferior, continuar colocando la mordaza superior y enfocararlo totalmente en el conjunto mecánico de apilamiento. La carga de prueba se aplica entonces al ejemplo con una torsión constante de 51mm (5") cada momento hasta que se produzca la decepción. El punto de desilusión se caracteriza por la mayor carga perada adquirida. El número de Newtons (lb) necesario para que se produzca la incapacidad del ejemplo debe registrarse como la estima de seguridad Marshall. Mientras la prueba de fuerza está en progreso, si el hardware de registro programado no es utilizado, el medidor de flujo debe ser sostenido sobre la barra de ayuda y cuando la pila comienza a disminuir la pericia debe ser tomada y registrada como la última estima de flujo. La diferencia entre la última corriente y la introductoria, comunicada en unidades de 0,25 mm (1/100"), será la corriente Marshall.

**Análisis de densidad y vacíos.** Tras la realización de las pruebas de estabilidad y de flujo, se realiza un examen del espesor y de los vacíos para cada conjunto de ejemplos de prueba. Se trata de decidir la mayor gravedad explícita hipotética (ASTM D2041) para no menos de dos sustancias negras, idealmente las que están cerca de la sustancia negra ideal. A partir de estas cualidades se determinará un valor normal de la gravedad explícita exitosa del total. Utilizando la gravedad particular y la gravedad explícita exitosa del total, la normalidad de las gravedades particulares de las mezclas compactadas, la gravedad particular del black-top y la mayor gravedad explícita hipotética de la combinación de black-

top, se determina el nivel de black-top consumido por peso del total seco, el porcentaje de vacíos (Va), el porcentaje de vacíos cargados con black-top (VFA) y el porcentaje de vacíos en el total mineral (VMA). **PROBLEMA GENERAL:** ¿De qué manera influirá el grano de caucho reciclado en el diseño de un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021? **PROBLEMA ESPECÍFICO.** ¿De qué manera influirá el grano de caucho reciclado en las propiedades físicas en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021?, ¿De qué manera influirá el grano de caucho reciclado en las propiedades mecánicas en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021?, ¿Cómo influye el grano de caucho reciclado en los costos de producción en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021? **OBJETIVO GENERAL:** Analizar la influencia del grano de caucho reciclado en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. **OBJETIVO ESPECÍFICOS:** Determinar de qué manera influirá el grano de caucho reciclado en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. Determinar de qué manera influirá el grano de caucho reciclado en las propiedades mecánicas en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. Determinar de qué manera influye el grano de caucho reciclado en los costos de producción en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. **HIPÓTESIS:** La incorporación del grano de caucho reciclado influye significativamente en el en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. **HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:** La incorporación del grano de caucho reciclado influye significativamente en las propiedades físico en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. La incorporación del grano de caucho reciclado influye significativamente en las propiedades mecánica en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. La incorporación del grano de caucho reciclado influye en el costo de producción en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021. **JUSTIFICACIÓN. Técnica** La utilización del grano del caucho reciclado genera propiedades físico mecánicas en el asfalto que son favorables ya que le proporcionan mayor resistencia y mejor estabilidad en la mezcla asfáltica. **Económica.** Al utilizar el grano de caucho reciclado queremos demostrar que el costo de producción de un asfalto modificado sea

menor al de un convencional, aparte que tendría una vida útil más prolongada, también significativamente reduciríamos el presupuesto para su ejecución ya que al ser un producto reciclable su costo es más bajo. **Ambiental.** Al utilizar el caucho reciclado como agregado del asfalto reduciremos la cantidad de desperdicios contaminantes y apoyaremos al reciclaje del caucho de esta manera contribuiremos con el cuidado y preservación del medio ambiente. **Social.** Al utilizar el caucho reciclado podemos generar ingresos en las familias peruanas incentivándoles a reciclar este material a fin de que lo puedan negociar y de esta mejorar su economía generando así también conciencia ambientalística.

### **III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipos y diseño de Investigación**

##### **Experimental:**

Plan o técnica imaginada para obtener los datos idóneos. De esta manera, la configuración de la exploración se imagina como técnicas en las que se planea adquirir respuestas a las indagaciones y probar las especulaciones del examen, para cumplir con los objetivos de la investigación. (Hernández, Fernández et al., 2015, p.44).

##### **Enfoque de Investigación**

##### **Cuantitativo**

El especialista utiliza su plan para diseccionar el aseguramiento de las teorías definidas en un escenario específico o para dar pruebas con respecto a las reglas de exploración. (Hernández, Fernández et al., 2015, p.44).

##### **Tipo de investigación**

El presente proyecto tiene un tipo de investigación:

##### **Aplicada.**

El trabajo/proyecto se preocupa por la utilización de información hipotética a una circunstancia sustancial dada. Trata de saber hacer, de actuar, de ajustar. Convierte la información lógica en innovación.

##### **Nivel de investigación**

##### **Investigación explicativa:**

Significa aclarar la conexión del impacto de la razón entre al menos dos factores. Esto se logra con el Diseño Experimental.

### **3.2. Variables y Operacionalización**

Según Hernández, Fernández et al. (2015), una variable se caracteriza como construcciones especulativas que pueden ser notables o cuantificables y que como crea cumple un valor significativo en el examen lógico, que trae al menos una teoría (p.4).

Entonces, en ese punto, los factores en este proyecto de exploración son los acompañantes:

**Variable Independiente (X):** Grano de caucho reciclado

**Variable Dependiente (Y1):** Propiedades físico - mecánica en pavimentos asfálticos.

**MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

| VARIABLE   | DEFINICIÓN CONCEPTUAL  | DEFINICIÓN OPERACIONAL  | DIMENSIONES                        | INDICADORES   | ESCALA DE MEDICIÓN |
|--|--|---|------------------------------------|---|--------------------|
| <b>Caucho Reciclado</b>  | De los neumáticos usados suele utilizarse como elemento del material de fijación o de la capa de fijación del negro (negro-elástico) o como total (cemento negro-elástico ajustado). Dependiendo de la estructura adoptada, se pueden utilizar entre 1.000 y 7.000 neumáticos por kilómetro de calle de dos vías, cifras tan elevadas que la reutilización en el asfalto es concebible (Castro, 2007, p.5). (Castro, 2007, p.5).   | El caucho reciclado proveniente de llantas en desuso se incorporará en polvo a la mezcla asfáltica para mejorar sus propiedades físico – mecánicas de estampanera disminuir el costo de producción. | <b>Adición del grano de Caucho</b> | Porcentaje de adición del caucho con el 1.5%; 2.5% y 3.5% | Razón              |
| <b>Propiedades físico - mecánica en pavimentos asfálticos.</b> | Diseño realizado a partir de capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura un sujetador hecho de materiales bituminosos como folios, totales y, si es importante, sustancias añadidas. A continuación, se consideran sobre todo como seminario de desgaste negro sobre capas granulares: mortero negro, tratamiento superficial bicapa, revestimiento miniatura, macadán negro, mezclas negras en frío y mezclas negras en caliente. (Servicio de Transportes y Comunicaciones, 2013, p. 24). | Son diseñadas para mejorar el tránsito vehicular, para soportar las cargas a las que se somete, brindando mayor comodidad a los transeúntes.  | <b>Propiedades Físicas</b>         | Durabilidad   | Razón              |
|  |  |   |                                    | Estabilidad   | Razón              |
|  |  |   | <b>Propiedades Mecánicas</b>       | Rigidéz   | Razón              |
|  |  |   |                                    | Resistencia a la deformación                              | Razón              |

### 3.3. Población y Muestra

#### Población

Los sujetos o especímenes que se tomara en cuenta esta referida a ensayos destinados a determinar la calidad y resistencia de las muestras asfálticas usadas para pavimentos para la ciudad de Huancayo.

#### Muestra

La muestra se determina usando la fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 (N - 1) + Z^2 \sigma^2}$$

n = tamaño de muestra a obtener.

N = población total.

$\sigma$  = es la desviación estándar de la población. Si no se conoce este valor este equivale a 0.5

Z = nivel de confianza. dependiendo el grado de confianza que se desee siendo 99% el valor más alto (este valor equivale a 2.58) y 95% (1.96) el valor mínimo aceptado para considerar la investigación como confiable.

e = error muestral, generalmente va del 1% (0.01) al 9% (0.09), siendo 5% (0.5) el valor estándar usado en las investigaciones.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### Técnicas

**Observación experimental:** Fue la técnica que se utilizó para la recolección de la información referida al asfalto con agregado de caucho reciclado para condiciones gélidas.

La percepción experimental tiene las condiciones generalmente limitadas por el especialista, especialmente a la luz del hecho de que el científico puede controlar la(s) variable(s).

Es todo menos un increíble procedimiento de exploración lógica.

Puede utilizar como instrumento la hoja de registro de información o información como instrumento.

**Análisis documental:** Esencialmente, este método se utilizó para reunir, descifrar y componer el material investigado según las normas y directrices. Se realizaron pruebas en las instalaciones de investigación para estudiar las características físico y mecánicas de la construcción de la mezcla asfáltica modificado con caucho reciclado.

### **Instrumentos**

Se utilizaron fichas técnicas y protocolos para recolectar datos de la muestra de estudio y evaluar los indicadores de la variable de investigación. Las fichas de protocolos son las siguientes.

- Diseño Marshall (incluye % de vacíos, peso específico, estabilidad y flujo, ensayos físicos de los agregados
- Granulometría
- Caras Fracturadas
- Chatas y Alargadas

### **Validación y confiabilidad del instrumento.**

De por si el uso de métodos y ensayos aprobados por las normas nacionales e internacionales ya cuentan con la aprobación y validez de las instituciones certificadas pues nos dan condiciones parámetros tablas etc. Para poder verificar las condiciones de los especímenes a analizar.

## **3.5. Procedimientos**

### **GRANULOMETRÍA**

#### **Procedimiento:**

- Realizar un cuarteo uniforme para poder garantizar una correcta distribución y así tener un dato optimo en el tamizado del agregado
- Realizar un secado del material y tomar las medidas correspondientes y pesos de cada muestra

- Como siguiente paso se toma el peso del material requerido de acuerdo a :

**3" (75.0 mm) / N° 4 (4.75 mm)**

**2" (50.0 mm) / N° 10 (2.00 mm)**

**1 1/2" (50.0 mm) / N° 20 (0.850 mm)**

**1" (25.0 mm) / N° 30 (0.600 mm)**

**3" (75.0 mm) / N° 4 (4.75 mm)**

**3" (75.0 mm) / N° 4 (4.75 mm)**

**3" (75.0 mm) / N° 4 (4.75 mm)**

, y se procede a lavarlo a través del tamiz N° 200, luego el material retenido debe de secarse en el horno por 24 horas

- Separe el tamiz del ejemplo contenido en el filtro No. 4 en una progresión de divisiones utilizando los tamices., o la información relevante para el tipo de prueba, o las determinaciones para el material que se está probando. En la tarea de tamizado manual, el colador o los tamices se mueven de un lado a otro y los círculos se vuelven a lavar de la manera en que el ejemplo continúa avanzando el trabajo
- También se determina el peso de cada parte en una escala con una sensibilidad del 0,1%. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso
- Pesado del material retenido en cada tamiz.
- Se separan por cuarteles, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con una precisión de 0,1 g.
- El análisis granulométrico de la fracción que pasa por el tamiz de 4.760 mm (No.4) se verá afectado por el TAMAÑO Y / O LA SEDIMENTACIÓN de acuerdo con las características de la muestra y de acuerdo con la información requerida.
- Esta es la parte de la parte que debe seguirse para analizar la misma forma que la anterior para el material retenido en el tamiz No. 200

## ENSAYO MARSHALL

Ensayo Marshall Con el ensayo Marshall lograremos determinar las proporciones adecuadas para diseñar la mezcla asfáltica, a su vez podremos establecer la resistencia, la estabilidad y el flujo de la mezcla del estudio, en ASTM D-1559 MÉTODO MARSHALL PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS, donde nos indica el procedimiento respectivo para realizar una mezcla optima según esta norma. Para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente, a continuación, detallaremos los materiales utilizados para el diseño de mezcla asfáltica en caliente

### Material utilizado:

**GRAVA MOLIDA TMN ¾ " -----→ 40%**

**ARENA MOLIDA TMN 3/8" -----→ 40%**

**ARENA FINA TMN ¼" -----→ 20%**

**CEMENTO ASFÁLTICO -----→ 5.5%**

- Para empezar, adquirimos las muestras individuales guardados en la placa con el material anteriormente dado y se calibra cada ejemplar.
- Seguimos poniendo las muestras a calentar en la parrilla a una temperatura supuesta en algún lugar en el rango de 140° y 150°C.
- En este sentido, los moldes se calentaron a una temperatura entre 95° y 150°C y se colocaron en la base de compactación. Asimismo, se añadió un canal a la base y se llenó el ejemplo contenido en una de las placas con las diferentes extensiones, dispersando así la mezcla mediante la aplicación de los 75 golpes con el soporte de una espátula de compactación.
- A continuación, se introduce el termómetro en la mezcla para ver la temperatura de la compactación y se anota la información particular, este tipo de sistema será sucesivo con las extensiones que faltan de acompañar.
- Después de las 2 horas de elaboración, desmoldamos las probetas, con la ayuda del artilugio extractor, las probetas secas se hacen un aire

de apariencia y se anotan las cargas individuales, como etapa posterior se presentan en una ducha de agua a unos 25°C durante un tiempo de 5 min, cuando el tiempo ha terminado las sacamos de la ducha y las dejamos en agua.

- Entonces, en ese punto, seguimos lavando su superficie y pasamos en ellos en el exterior para decidir la carga en el comportamiento de los ejemplos sumergidos con la superficie seca.
- Entonces, en ese punto calentamos la ducha de agua hasta llegar a la temperatura de prueba (60°C), entonces, en ese punto bajamos los ejemplos dispersos a poca distancia unos de otros para permanecer en el agua durante un tiempo similar, durante unos 35 minutos cada uno de los ejemplos.
- Una vez transcurrido el tiempo, continuamos eliminando los ejemplares y los colocamos en las mordazas de la máquina de ensayo Marshall, hasta que el ejemplar llega a la condición de corte de su firmeza, y es el lugar donde registramos las cualidades previamente adquiridas del ensayo y cerramos la prueba.

En la tabla adjunta podemos notar los efectos posteriores de una mezcla convencional de asfalto que muestra que el nivel ideal de concreto asfáltico es de 5.5% que se ajusta a las particularidades peruanas especializadas para un tráfico medio que son calles de recolectores y arteriales.

Este plan fue completado con el objetivo de tener una mezcla ordinaria ideal de asfalto manteniendo las directrices para la planificación de una calle de tipo B y el resultado está dentro del borde de la solidez y la proporción de fluencia, en consecuencia, cumple con la necesidad.

**TABLA N° 07.** Resumen de la mezcla asfáltica tradicional

| RESUMEN DE RESULTADOS  |    |       |   | CARACTERÍSTICAS<br>(Mezcla tipo A) |
|------------------------|----|-------|---|------------------------------------|
| DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO |    |       |   |                                    |
| GOLPES POR LADO        | 75 |       |   | 75                                 |
| CEMENTO ASFALTICO      | -  | 5.5 % | - | +/-0.3 %                           |
| DENSIDAD               | -  | 2520  | - |                                    |
| VACIOS                 | -  | 3.7   | - | 3 – 4 %                            |

|  |   |      |   |           |
|--|---|------|---|-----------|
| V.M.A.                                 | - | 15.2 | - | Min 14    |
| VACIOS LLENOS CON C.A.                 | - | 74.8 | - | Min. 80   |
| FLUENCIA                               | - | 4.3  | - | 2 – 5 mm  |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN            | - | 2.12 | - | Min. 2.1  |
| RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUENCIA          | - | 3417 | - | 1700-4000 |
| INDICE DE COMPACTABILIDAD              | - | -    | - | Min. 5.67 |
| ESTABILIDAD RETENIDA, 24 HORAS A 60° C | - | 85   | - | Min. 75   |
| RESISTENCIA RETENIDA EN TRACCION       | - | 79   | - | 80        |

En consecuencia, para la siguiente prueba de un asfalto ajustado bajaremos el nivel de hormigón del asfalto para ver con qué nivel de polvo elástico adquirimos una mezcla de asfalto ideal que además cumple con las particularidades especializadas mostradas en la norma especializada peruana. CE. 010 pavimentos urbanos.

#### **Peso específico de BULK: (densidad)**

Con esta prueba decidiremos la gravedad particular y la medida de huecos de los ejemplares compactados (briquetas) del ensayo Marshall, observando los prerrequisitos de la norma ASTM D -1188.

#### **Ensayo de vacíos**

Para asegurar el nivel específico de los materiales utilizados, los cuales fueron expuestos a diferentes pruebas propuestas por la norma para asegurar una correcta exposición de la mezcla. La norma determina la medida del nivel de vacíos que el plan debe obtener para una mezcla ideal de asfalto en el plan INVE - 736 - 07.

#### **Caucho reciclado:**

Para hacer la mezcla asfáltica, se ha utilizado elástico reutilizado obtenido de una empresa de caucho reciclado que vende polvo

elástico en sacos. El saco pesa aproximadamente 40 kg y el gasto por saco es de 15,00 nuevos soles.

**TABLA N° 8.** Caucho reciclado

| TAMICES |       | Peso retenido | Porcentaje Retenido | Retenido Acumulado | Porcentaje que Pasa |
|---------|-------|---------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| ASTM    | mm    |               |                     |                    |                     |
| N° 20   | 0.840 |               | 0                   | 0                  | 100                 |
| N° 30   | 0.600 | 127.3         | 25.70               | 25.70              | 74.30               |
| N° 40   | 0.425 | 189.5         | 38.26               | 63.96              | 36.04               |
| N° 50   | 0.300 | 103.6         | 20.92               | 84.88              | 15.12               |
| N° 80   | 0.177 | 69.4          | 14.01               | 98.89              | 1.11                |
| N° 100  | 0.150 | 5.1           | 1.03                | 99.92              | 0.08                |
| N° 200  | 0.075 | 0.4           | 0.08                | 100.00             | 0.00                |
| total   |       | 495.3         |                     |                    |                     |

Fuente: Elaboración propia

El caucho reutilizado utilizado para la configuración de la mezcla asfáltica es de 1,5%, 2,5% y 3,5%.

**Material utilizado:**

**GRAVA MOLIDA TMN ¾ “-----→ 40%**

**ARENA MOLIDA TMN 3/8” -----→ 40%**

**ARENA FINA TMN ¼” -----→ 18.5%, 17.5%, 16.5%**

**CAUCHO R. GRANULAR N° 40-----→ 1.5%, 2.5%, 3.5%**

**CEMENTO ASFÁLTICO -----→ 5.6%**

Cabe mencionar que parte del agregado fino será reemplazado por el material de caucho reciclado por lo que los porcentajes varían proporcionalmente para llegar a un 100 % del material agregado

Para completar este proyecto de exploración, la ejecución del elástico reutilizado se hizo a través de la interacción en seco, que comprende la adición del elástico reutilizado, suplantando un nivel de los totales finos.

Para completar esta exploración, se ha tomado como premisa de estudio las directrices colombianas-INVIAS, donde utilizaremos 1,5%, 2,5% y 3,5%. los cuales suplantarán un nivel de los totales finos.

El polvo elástico utilizado para el trabajo investigativo es de 0,44 mm, siendo trabajado con la malla N° 40.

Para medir la temperatura del asfalto alterado, debemos calentar con un soplete la combinación de totales gruesos y finos hasta adquirir una temperatura de 170° - 210°.

Medimos la temperatura del caucho, seguimos mezclando el elástico con los totales calientes a una temperatura de 160° y 200°, durante un periodo de dos minutos.

Elaboración de la mezcla con el elástico reutilizado: calentamos el asfalto, para incrustarlo y lograr una combinación homogénea. Periodo de absorción: la combinación de asfalto se coloca en la estufa a una temperatura de 170° durante aproximadamente 60 minutos, tiempo durante el cual se procesa el elástico reutilizado.

A continuación, en ese momento se elaboran las pruebas (briquetas) por lo que se utiliza la forma para ello.

Por fin se rompen las briquetas, esta prueba se terminará utilizando el trineo Marshall y comprobaremos si su oposición mejora con el polvo de elástico.

La obstrucción del plano con polvo elástico reutilizado para tráfico medio en la ciudad de Huancayo, se encuentra dentro de las determinaciones especializadas del plano, lo que nos muestra que consolidando el elástico reutilizado en la combinación asfáltica se obtienen mejoras significativas ya que se trabaja sobre la naturaleza de la mezcla asfáltica utilizando menos extensión de hormigón asfáltico y para esta situación será de 5.5 %.

La tabla adjunta muestra los límites para el plan de la mezcla convencional y la mezcla ideal (parte de prueba).

**TABLA N° 9.** Resultados-características de un diseño convencional y un diseño modificado

| PARÁMETRO DE DISEÑO                  | VALORES ESTANDARES SEGUN NORMA | MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL | MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON |       |       |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
|                                      |                                |                               | POLVO DE CAUCHO                 |       |       |
|                                      | TIPO A                         | 5.5                           | 1.50%                           | 2.50% | 3.50% |
| GOLPES                               | 75                             | 75                            | 75                              | 75    | 75    |
| PESO ESPECÍFICO APARENTE DE LA ARENA |                                | 2.434                         | 2.425                           | 2.425 | 2.425 |
| PESO ESPECÍFICO APARENTE <N°200      |                                | 2.476                         | 2.467                           | 2.467 | 2.467 |
| VACÍOS                               | 3-5                            | 3.7                           | 3.3                             | 3.1   | 3.2   |
| % VACÍOS DE AGREGADO MINERAL         | Min 14                         | 15.2                          | 15                              | 15    | 14.9  |
| RELACIO POLVO ASFALTO                | 0.6-1.3                        | 0.8                           | 0.9                             | 0.8   | 0.7   |
| FLUENCIA                             | 2 – 5 MM                       | 4.3                           | 4.10                            | 4.1   | 4.2   |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPA)    | 2.1 (min)                      | 2.12                          | 2.1                             | 2.2   | 2.12  |
| RELACIÓN ESTABILIDAD /FLUENCIA       | 1700-4000                      | 3417                          | 3391                            | 3584  | 3370  |

**Interpretación:** La tabla 9 muestra los contrastes entre los atributos de un asfalto convencional y un asfalto modificado con 1,5%, 2,5% y 3,5% de elástico reutilizado.

En la tabla adjunta vemos que el nivel ideal de c.a. para planificar nuestra mezcla de asfalto es de 5.5 %, por lo que podemos ver que los resultados eventuales están dentro de los límites de los detallados en la normativa vigente para una calle de tráfico medio, este plan puede soportar hasta 2740.6 kg / cm<sup>2</sup> que es una carga impresionante y está dentro de los límites de la mezcla de asfáltica tipo A para las calles y arterias de tráfico medio, para la ciudad de Pasco distrito de Huayllay utilizamos un borde de 5.6 de cemento asfáltico de PEN 120/150.(Por ubicarnos a más de 3000 msnm.).

**TABLA N° 10.** Resultados de diseño con grano de caucho

| RESUMEN DE RESULTADOS                  |    |             |   | CARACTERÍSTICAS<br>(Mezcla tipo A) |
|--|----|-------------|---|------------------------------------|
| DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO CON EL % OPTIMO |    |             |   |                                    |
| GOLPES POR LADO                        | 75 |             |   | 75                                 |
| GRANO DE CAUCHO (%)                    | -  | 1.5/2.5/3.5 | - | ' +/-0.3 %                         |
| CEMENTO ASFALTICO (%)                  | -  | 5.5         | - | ' +/-0.3 %                         |
| DENSIDAD                               | -  | 2735        | - |                                    |
| VACIOS                                 | -  | 3.1         | - | 3 - 4                              |
| V.M.A.                                 | -  | 15          | - | Min 14                             |
| VACIOS LLENOS CON C.A.                 | -  | 81.7        | - | Min. 80                            |
| FLUENCIA                               | -  | 4.1         | - | 2-5 mm                             |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN            |    | 2.2         | - | Min. 2.1                           |
| RELACION ESTABILIDAD/FLUENCIA          | -  | 3584        | - | 1700 - 4000                        |
| INDICE DE COMPACTABILIDAD              | -  | -           | - | Min. 5.67                          |
| ESTABILIDAD RETENIDA, 24 HORAS A 60° C | -  | 80          | - | Min. 75                            |
| RESISTENCIA RETENIDA EN TRACCION       | -  | 75          | - | 80                                 |

### 3.6. Método de análisis de datos

Toda la medida de investigación de información se realizó en los laboratorios de CD CONSULT (HUANCAYO).

Etapa de iniciación: En esta etapa se coordinó cada uno de los ejercicios a realizar como la recopilación de datos a través de libros y revistas, asimismo se dispuso cada uno de los ejercicios a realizar en el campo y en el lugar de trabajo, estableciendo un cronograma para cada movimiento.

Etapa de campo: En esta etapa se compraron los totales de piedra (piedra y arena), así como el hormigón negro PEN 120/150 y se llevaron al laboratorio de CD CONSULT.

Etapa de laboratorio: En esta etapa se completan las pruebas en los laboratorios de CD CONSULT,

Etapa de gabinete: En esta etapa desciframos y medimos la información dada por el centro de investigación trae sobre la solicitud para decidir la conducta mecánica de la combinación de asfalto con el caucho reutilizado.

### 3.7. Aspectos éticos

teniendo todo en cuenta, no causamos en el comportamiento desafortunado lógico como la tergiversación, el control de la información y la violación de los derechos de autoría.

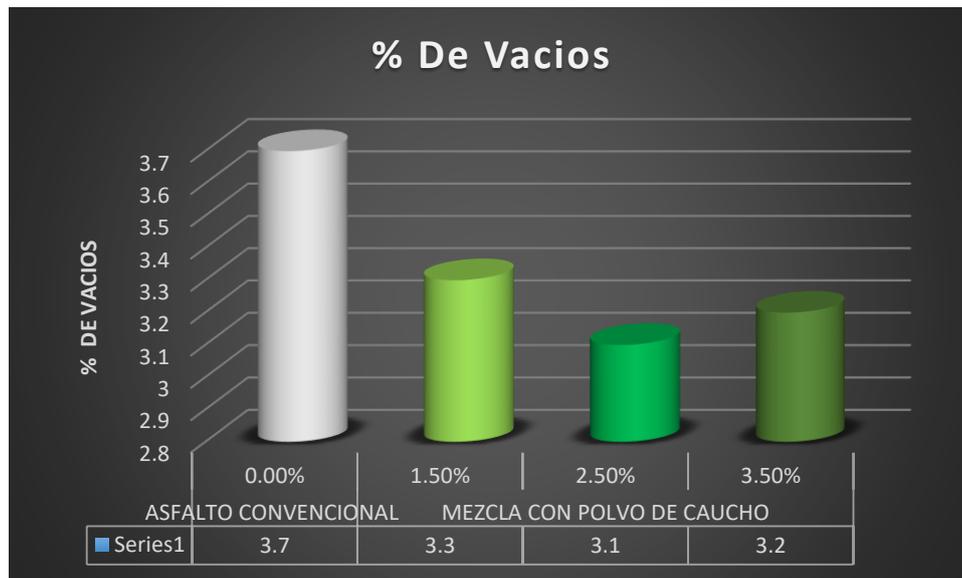
La autenticidad se mantuvo comunicada en esta investigación, ya que, al adquirir el sistema hipotético de varias fuentes como postulaciones, libros y principios, se consideraron los derechos de autor, además los instrumentos que utilizamos para la obtención de los resultados siguen la metodología punto por punto por las Normas ASTM y MTC.

## IV. RESULTADOS

De acuerdo a los datos procesados tenemos que en comparación con una mezcla convencional los porcentajes de caucho reciclado para una combinación de asfalto modificado varían en:

| PARÁMETRO DE DISEÑO                   | MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL | MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON |       |       |
|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
|                                       |                               | POLVO DE CAUCHO                 |       |       |
|                                       | 5.5                           | 1.50%                           | 2.50% | 3.50% |
| GOLPES                                | 75                            | 75                              | 75    | 75    |
| PESO ESPECÍFICO APARENTE DE LA ARENA  | 2.434                         | 2.425                           | 2.425 | 2.425 |
| PESO ESPECÍFICO APARENTE <N°200       | 2.476                         | 2.467                           | 2.467 | 2.467 |
| VACÍOS                                | 3.7                           | 3.3                             | 3.1   | 3.2   |
| % VACÍOS DE AGREGADO MINERAL          | 15.2                          | 15                              | 15    | 14.9  |
| RELACION POLVO ASFALTO                | 0.8                           | 0.9                             | 0.8   | 0.7   |
| FLUJO                                 | 4.3                           | 4.10                            | 4.1   | 4.2   |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa min) | 2.12                          | 2.1                             | 2.2   | 2.12  |
| RELACIÓN ESTABILIDAD /FLUENCIA        | 3417                          | 3391                            | 3584  | 3370  |

## 1. Porcentaje de vacíos (aspecto mecánico)



**GRÁFICO N° 14 Porcentaje de vacíos**

De acuerdo al gráfico expuesto tenemos que una mezcla convencional que no contiene ningún porcentaje de caucho se encuentra en el rango de 3-5 ( tabla MTC E 505), Este contiene 3.7 % de vacíos, lo recomendable en un mezcla asfáltica, así mismo podemos apreciar que los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 3.5% de polvo caucho añadido a la mezcla tienen 3.3%, 3.1% y 3.2% respectivamente, se puede señalar que al incrementar polvo de caucho a la mezcla el contenido de vacíos aumenta, por el tamaño del grano de caucho, eso conlleva a que ciertamente aunque estos vacíos de aire funcionan como puntos de tracción entre los materiales y el cemento asfalto, no son perjudiciales por ser de mayor porcentaje en comparación con la mezcla asfáltica convencional, ya que estos se encuentran en el rango permitido para zonas mayores a 3000 msnm.

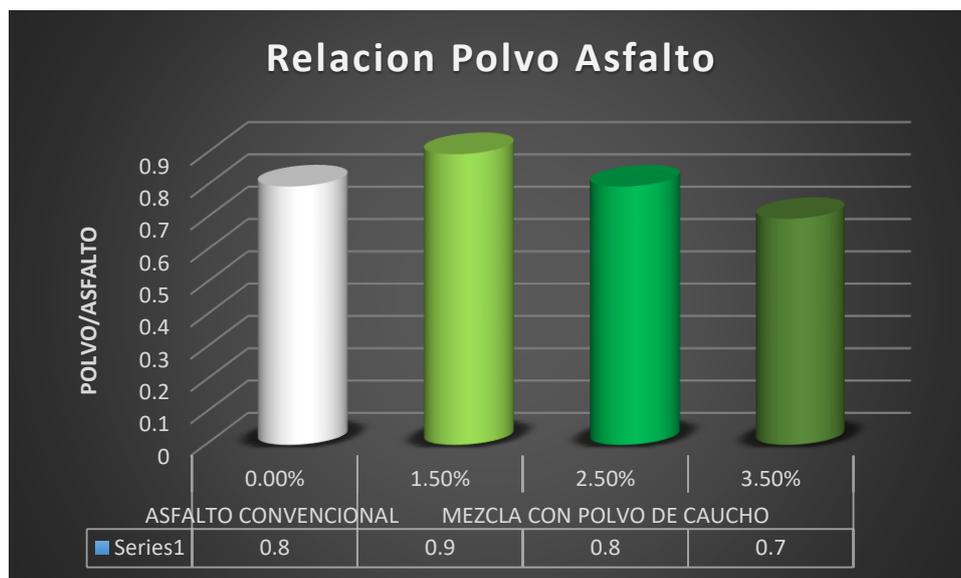
## 2. Porcentaje De Vacíos De Agregado Mineral (aspecto mecánico)



**GRÁFICO N° 15 Porcentaje De Vacíos De Agregado Mineral**

De acuerdo al gráfico expuesto tenemos que una mezcla convencional que no contiene ningún porcentaje de caucho se encuentra en el rango del mínimo aceptable de 15.2% para agregados con TMN DE  $\frac{3}{4}$ " ( tabla 423-08 MTC), Este contiene 15.1 % de vacíos, así mismo podemos apreciar que los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 3.5% de polvo caucho añadido a la mezcla tienen 15.00%, 15.00% y 14.9% respectivamente, se puede señalar que al incrementar polvo de caucho a la mezcla el contenido de vacíos de agregado mineral disminuye, por el tamaño del grano de caucho inferior al de los agregados minerales, eso conlleva a que ciertamente aunque estos vacíos de aire funcionan como puntos de tracción entre los materiales y el cemento asfalto, no son perjudiciales por ser de mayor porcentaje en comparación con la mezcla asfáltica convencional, ya que estos son mayores al mínimo permitido para zonas mayores a 3000 msnm.

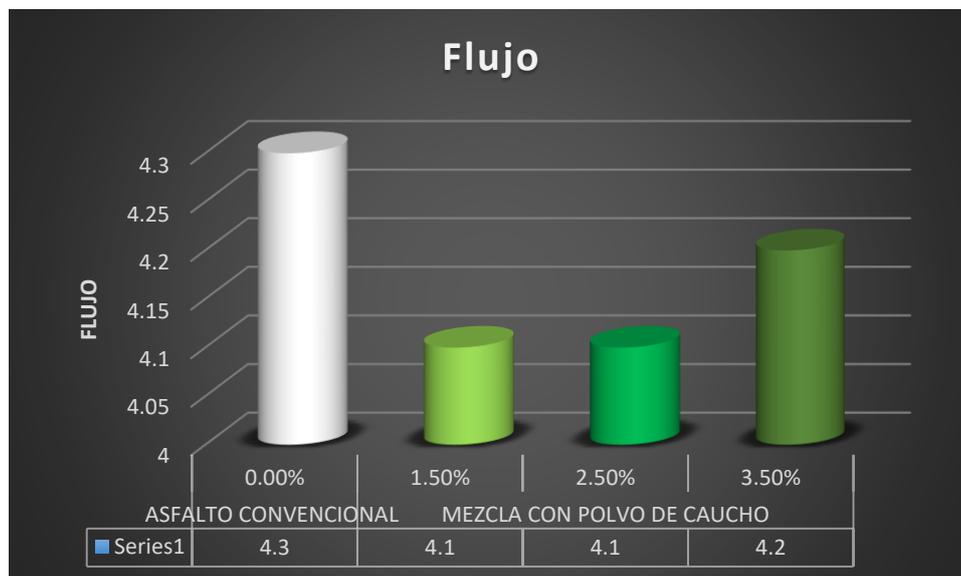
### 3. Relación Polvo Asfalto (aspecto físico)



**GRÁFICO N° 16 Relación Polvo Asfalto**

De acuerdo al grafico expuesto tenemos que una mezcla convencional que no contiene ningún porcentaje de caucho se encuentra en el rango de 0.6-1.3 ( tabla 423-06 MTC), la relación polvo/asfalto es de 0.8, así mismo podemos apreciar que los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 3.5% de polvo caucho añadido a la mezcla tienen 0.9,0.8,0.7 de la relación respectivamente, se puede señalar que al incrementar polvo de caucho a la mezcla la relación Polvo/asfalto disminuye, estos no son perjudiciales por ser de mayor porcentaje en comparación con la mezcla asfáltica convencional, ya que estos están en el rango permitido para zonas mayores a 3000 msnm.

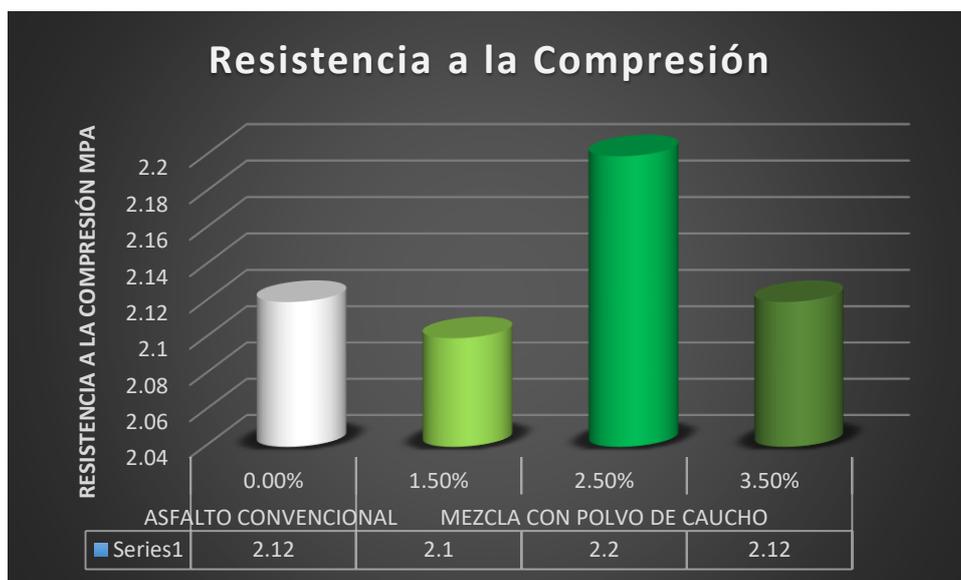
#### 4. Flujo (aspecto físico)



**GRÁFICO N° 17 Flujo**

De acuerdo al gráfico expuesto tenemos que una mezcla convencional que no contiene ningún porcentaje de caucho se encuentra en el rango de 3-5 ( tabla 423-06 MTC), el flujo para la mezcla es de 4.3, así mismo podemos apreciar que los porcentajes de 4.1%, 4.1% y 4.2% de polvo caucho añadido a la mezcla tienen 8, 8.02, 8.01 de la relación respectivamente, se puede señalar que al incrementar polvo de caucho a la mezcla el flujo aumenta su índice, esto indica que el mejor flujo para la mezcla es 4.1 en relación a las demás características del ensayo, así mismo, no son perjudiciales por ser de mayor porcentaje en comparación con la mezcla asfáltica convencional, ya que estos están en el rango permitido para zonas mayores a 3000 msnm.

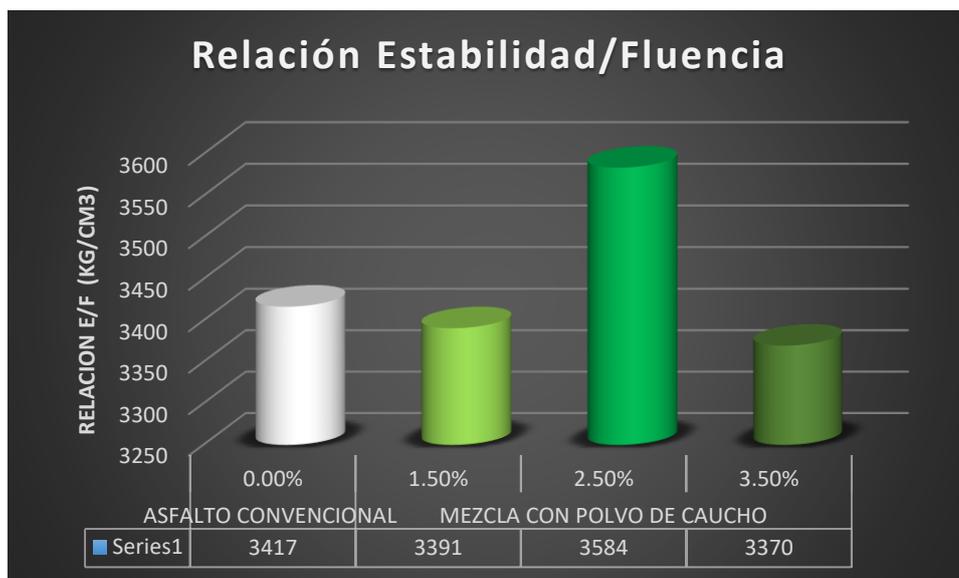
## 5. Resistencia a la compresión (aspecto físico)



**GRÁFICO N° 18 resistencia a la compresión**

De acuerdo al gráfico expuesto tenemos que una mezcla convencional que no contiene ningún porcentaje de caucho se encuentra en el mínimo de 2.1 MPA (tabla 423-06 MTC), la R.C. para la mezcla es de 2.12 MPA, así mismo podemos apreciar que los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 3.5% de polvo caucho añadido a la mezcla tienen 2.1, 2.2, 2.12 MPA, se puede señalar que la resistencia a la compresión es aumenta cuando aumentamos 2.5 % de polvo de caucho reciclado lo que aumenta la característica física del asfalto , ya que estos están en el rango permitido para zonas mayores a 3000 msnm.

## 6. Relación Estabilidad/Fluencia (aspecto físico)



**GRÁFICO N° 19 Relación Estabilidad/Fluencia**

De acuerdo al gráfico expuesto tenemos que una mezcla convencional que no contiene ningún porcentaje de caucho se encuentra en el rango de 1700-4000 kg/cm<sup>3</sup> ( tabla 423-06 MTC), la relación E/F. para la mezcla es de 3417 Kg/cm<sup>3</sup>, así mismo podemos apreciar que los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 3.5% de polvo caucho añadido a la mezcla tienen 3391, 3584, 3370 Kg/cm<sup>3</sup> de la relación respectivamente, se puede señalar que la resistencia a la compresión es aumenta cuando aumentamos 2.5 % de polvo de caucho reciclado lo que aumenta la característica física del asfalto , ya que estos están en el rango permitido para zonas mayores a 3000 msnm.

## V. DISCUSIÓN

Según la tesis de Salazar (2019) el cual maneja porcentajes de 2.5, 3.5 Y 4.5 por ciento para la incorporación de caucho reciclado en la mezcla asfáltica, este indica que su mejor comportamiento de este agregado para con la mezcla asfáltica llega con un porcentaje de 4.5 % así mismo cabe resaltar que la zona en la que se ejecuto esta tesis es Lima, ciudad que tiene condiciones climáticas distintas a la de Huancayo y así mismo está ubicado a menos de 200 m.s.n.m. la discusión es que nuestra tesis esta hecha en una ciudad ubicada a mas de 3200 m.s.n.m. es por ellos que con un porcentaje de 2.5 alcanza una condición optima cumpliendo los requisitos establecidos por le normativa del M.T.C.

Así mismo tenemos en cuenta que Carrizales (2015) en su tesis indica que hizo pruebas de la mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado usando 3%,5%,7% y 9% en las pruebas, dando como resultado que el porcentaje de 3% de caucho reciclado adicionado a la mezcla de asfalto modificado da mejores resultados que otros porcentajes porque estos distan de las condiciones mínimas que establece la normativa vigente. Por ello esto no se aleja de la realidad de nuestra tesis ya que la tesis de Carrizales esta ubicada en Puno que se encuentra a mas de 3200 m.s.n.m. coincidiendo con nuestro trabajo el que obtuvo mejores resultados con 2.5% de caucho reciclado a la mezcla asfáltica

Ubidia (2019) indica que se ha hecho la incorporación de grano de caucho para modificar la mezcla asfáltica, así mismo, señala que se utilizo probetas con 0.25%, 0.5%, 0.75% y 1%; concluyendo que con el agregado de 0.5% de caucho se obtienen altos valores de resistencia axial, lo que indica que la mezcla asfáltica también cumple requisitos con valores porcentuales menores al 1%

## VI. CONCLUSIONES

Al término de la tesis, afirmamos que la adición de caucho reciclado para mezclas asfálticas modificadas en climas mayores a 3000 m.s.n.m. cumple la función destinada que es mejorar las características físicas y mecánicas de la mezcla, es así pues que este diseño se hace mas resistencia a las deformaciones causadas por las cargas de tránsito vehicular, como también amplía el tiempo de uso de la vía

Se deduce que incorporar caucho reciclado (2.5%) a una mezcla para modificar sus características físicas-mecánica, disminuye los vacíos de agregado mineral lo que beneficia a la compactación total de la mezcla asfáltica siendo este porcentaje menor en 0.2% en comparación con una mezcla asfáltica

Respecto de la resistencia a la compresión la mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado ese inclemente su rango a 2.2 MPA en comparación a una mezcla asfáltica que solo obtiene una resistencia de 2.12 MPA. Lo cual indica una condición física mas optima que si no se usará caucho reciclado.

El incorporar caucho reciclado a una mezcla asfáltica disminuye la fluencia a un 4.1, siendo este comparado con un asfalto normal, así pues, el pavimento tenga una disminuye la flexibilidad, frente a las cargas del tránsito vehicular, esto nos indica que se modifica por las condiciones climatológicas ya que nos ubicamos a más de 3000 m.s.n.m. sin embargo no es considerable la disminución pues se encuentra entre el rango dispuesto (3-5) por la normativa del MTC

Finalmente tenemos que al incorporar el polvo de caucho reciclado a una mezcla asfáltica tenemos que, aunque la fluencia disminuye, la relación estabilidad/fluencia aumenta significativamente en 3584 kg/cm lo que aumenta su resistencia a las cargas axiales producidas por los vehículos.

Estos porcentajes de adición de caucho reciclado fueron de 1.5%, 2.5%, y 3.5% respecto al peso total de mezcla, el método Marshall fue el utilizado para realizar las pruebas respectivas, siendo 2.5% de caucho agregado el que mejor respuesta da para la mayoría de pruebas dadas en el presente trabajo

## VII. RECOMENDACIONES

La utilización de caucho reutilizado en la mezcla de asfalto muestra mejoras en cuanto al coste en contraste con el asfalto habitual, ya que la utilización del cemento asfáltico sería menor, no obstante. Estos estudios deberán ser investigados con porcentajes mayores, en zonas frías para obtener un margen de visión más amplio respecto al uso del caucho reciclado

Se recomienda usar el 2.5 % de caucho reciclado para mezclas asfálticas, en ciudades ubicadas a más de 3000 m.s.n.m. por tener una respuesta positiva frente a cargas axiales y una mejor resistencia a la compresión

El mundo está cambiando no solamente por la industrialización y la comodidad del ser humano con la tecnología y la modernidad, sino también por la contaminación excesiva de distintos materiales no degradables como el caucho, por ello se recomienda plantas de reciclaje para caucho desechado, pues como se evidencia este podría usarse en beneficio de proyectos viales incrementando ciertas características.

La autoridad pública y las empresas privadas deberían seguir los modelos mundiales, por ejemplo, la teoría de desarrollo americana que recomienda que el 5% de la calle se trabaje con materiales reutilizados, para esta situación el residuo elástico.

## REFERENCIAS

ÁLVAREZ Briceño, Luis A. y CARRERA Sánchez, Ever Tony Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica (2016)

ARIAS, J., VILLASÍS, M. y MIRANDA, M. El protocolo de investigación III: la población de estudio. Rev Alerg Méx, 63(2), 201-206. (2016).

CABERO Colín, Fernando. "Experiencia Española del Caucho NFU en las Mezclas Asfálticas." 2016 España Internet: [www.recuperacion.org/proyecto/vernoticias.aspx?IdNoticia=164](http://www.recuperacion.org/proyecto/vernoticias.aspx?IdNoticia=164)

CARRIZALES, F (2015) Tesis Titulada "Asfalto Modificado con Materiales Reciclados d Llantas para su Aplicación en Pavimentos Flexibles

CIVILENGINEERSPK (2016) "Exp 7 Marshall Method of Mix Design". Recuperation de <https://civilengineerspk.com/transportation-engineeringexperiments/exp-7-marshall-method-of-mix-design/>

DÍAZ, C. Tesis Titulada "Implementación del grano de caucho reciclado (GRC) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá", realizada para obtener el grado de magister en ingeniería-geotecnia - Universidad Nacional de Colombia

FAJARDO, L., & VERGARAY, D. Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Perú. (2015)

Carrizales (2015) "Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles"

INTAN SUHANA Marshall Mix Design Method. (2015) Recuperado de: [http://ocw.ump.edu.my/pluginfile.php/14252/mod\\_resource/content/1/OCW% 2 0 Marshall%20Mix%20Design%20Method.pdf](http://ocw.ump.edu.my/pluginfile.php/14252/mod_resource/content/1/OCW%20Marshall%20Mix%20Design%20Method.pdf)

JOHN.EMERY (2016) Evaluation of Rubber Modified Asphalt Demonstration Projects, Recuperado de <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1515/1515-005.pdf>

LO PRESTI, D. Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: a literatura review. Construction and Building Materials. Recuperation de [http://eprints.nottingham.ac.uk/3124/1/Lo\\_Presti\\_Recycled\\_tyre\\_rubber\\_modi f ed\\_bitumens.pdf](http://eprints.nottingham.ac.uk/3124/1/Lo_Presti_Recycled_tyre_rubber_modified_bitumens.pdf) (2013).

Salazar Incorporación de Caucho Reciclado en las Mezclas Asfálticas para Mejorar Pavimentos Flexibles en la Ciudad de Lima, Perú 2019 (2019)

MATHEW AND K V KRISHNA RAO Introduction to Transportation Engineering. (2000) Recuperado de <http://nptel.ac.in/courses/105101087/downloads/Lec-26.pdf>

Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” 557 (EG – 2018) Sección 423 pavimento de concreto asfáltico en caliente EG 2018 normas peruanas para el diseño de pavimento sección 423 (2018)

Ubidia (2019) “Diseño de pavimento flexible con la utilización de polvo de caucho reciclado para minimizar la generación de fisuras del Jr. Jorge Chávez cdra. 01-09 Ciudad de Tarapoto San Martín.”

20. PEREDA. C, 2015 con su tesis” Investigación De Los Asfaltos Modificados Con El Uso De Caucho Reciclado De Llantas Y Su Comparación TécnicoEconómico Con Los Asfaltos Convencionales”, tesis profesional para optar el 52 título de ingeniero civil, Universidad Privada Antenor Orrego -Trujillo-Perú

ENGINEERING Marshall Mix Design and Analysis. (2015) Recuperado de [http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/6226/9/09\\_chapter%204.pdf](http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/6226/9/09_chapter%204.pdf)

WILLIAMS, M., Tutty, L. y Grinnell Writing quantitative proposals and reports. En R. M. Grinnell y. A. Unrau (Eds.). Social work: Research and evaluation. Quantitative and qualitative approaches (7a. ed., pp. 372-384). Nueva York: Oxford university Press.

Lapa (2018) “estabilización de base granular de la cantera de chupuro, con fibra de caucho reciclado de la en el año 2018”.

Garnica, Delgado, Gomez, Alonso, Alarcon: “aspectos Del Diseño Volumétrico De Mezclas Asfálticas” (2004)

## ANEXOS

### ANEXO 1. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

| VARIABLE                         | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DEFINICIÓN OPERACIONAL   | DIMENSIONES                        | INDICADORES  | ESCALA DE MEDICIÓN |
|----------------------------------|---|--|------------------------------------|--|--------------------|
| <b>Grano de Caucho Reciclado</b> | <p>De los neumáticos usados suele utilizarse como elemento del material de fijación o de la capa de fijación del negro (negro-elástico) o como total (cemento negro-elástico ajustado).</p> <p>Dependiendo de la estructura adoptada, se pueden utilizar entre 1.000 y 7.000 neumáticos por kilómetro de calle de dos vías, cifras tan elevadas que la reutilización en el asfalto es concebible (Castro, 2007, p.5). (Castro, 2007, p.5).</p>  | <p>El caucho reciclado proveniente de llantas en desuso se incorporará en polvo a la mezcla asfáltica para mejorar sus propiedades físico – mecánicas de esta manera disminuir el costo de producción.</p> | <b>Adición del grano de Caucho</b> | <p>Porcentaje de adición del caucho con el 1.5%; 2.5% y 3.5%</p> | Razón              |
| <b>Pavimento Flexible</b>        | <p>Diseño realizado a partir de capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura un sujetador hecho de materiales bituminosos como folios, totales y, si es importante, sustancias añadidas. A continuación, se consideran sobre todo como seminario de desgaste negro sobre capas granulares: mortero negro, tratamiento superficial bicapa, revestimiento miniatura, macadán negro, mezclas negras en frío y mezclas negras en caliente. (Servicio de Transportes y Comunicaciones, 2013, p. 24).</p> | <p>Son diseñadas para mejorar el tránsito vehicular, para soportar las cargas a las que se somete, brindando mayor comodidad a los transeúntes.</p>  | <b>Propiedades Físicas</b>         | Durabilidad  | Razón              |
|                                  |   |  |                                    | Estabilidad  | Razón              |
|                                  |   |  | <b>Propiedades Mecánicas</b>       | Rigidéz  | Razón              |
|                                  |   |  |                                    | Resistencia a la deformación                                     | Razón              |

**ANEXO 2. MATRIZ DE CONSISTENCIA**

| <b>TÍTULO:</b> “INCORPORACIÓN DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE EN CLIMAS MAYORES A 3000 M.S.N.M. – HUANCAYO 2021” |   |   |  |   |  |  |  |   |
|--|---|---|--|---|--|--|--|---|
| <b>AUTORES:</b> DANTE YACOLCA POMA Y JEAN PAUL ROJAS BASILIO   |   |   |  |   |  |  |  |   |
| <b>PROBLEMAS</b>   | <b>OBJETIVOS</b>  | <b>HIPÓTESIS</b>  | <b>VARIABLES</b>   | <b>DIMENSIONES</b>  | <b>INDICADORES</b>                                   | <b>METODOLOGÍA</b>   |  |   |
| <b>GENERAL</b>   | ¿De qué manera influirá el grano de caucho reciclado en el diseño de un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021? | Analizar la influencia del grano de caucho reciclado en el diseño de pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021?                  | La incorporación del polvo de caucho influye significativamente en el diseño de pavimento asfáltico flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. - Huancayo- 2021      | <b>Variable Independiente:</b><br>Grano de caucho reciclado   | <b>Adición del grano de caucho reciclado</b>         | Porcentaje de adición del grano de caucho reciclado con el 1.5%; 2.5% y 3.5% | <b>Metodología de investigación</b><br>Método Científico |   |
|  | <b>ESPECÍFICOS</b>  | ¿De qué manera influirá el grano de caucho reciclado en las propiedades físicas en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021? | Determinar de qué manera influirá el grano de caucho reciclado en las propiedades físicas en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021 | La incorporación del grano de caucho reciclado influye significativamente en las propiedades físico en un pavimentos flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021 | <b>Variable Dependiente :</b><br>Pavimentos Flexible | <b>Propiedades Físicas</b>   | Durabilidad  | <b>Diseño de Investigación</b><br>Tipo Experimental |
| ¿De qué manera influirá el grano de caucho reciclado en  |   | Determinar de qué manera influirá el grano de caucho  | La incorporación del grano de caucho reciclado influye   | Estabilidad   |  |  | <b>Enfoque de Investigación</b><br>Enfoque Cuantitativo  |   |

|   |   |  |                                     |                                     |   |
|---|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| <p>las propiedades mecánicas en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021?</p>  | <p>reciclado en las propiedades mecánicas en pavimento en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021</p>   | <p>significativamente en las propiedades mecánica de pavimentos flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021</p>                                     | <p><b>Propiedades Mecánicas</b></p> | <p>Rigidéz</p>                      | <p><b>Tipo de Investigación</b><br/>Tipo Aplicada</p>     |
| <p>¿Cómo influye el grano de caucho reciclado en los costos de producción de un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021?</p> | <p>Determinar de qué manera influye el grano de caucho reciclado en los costos de producción de un pavimento en un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021</p> | <p>La incorporación del grano de caucho reciclado influye en el costo de producción de un pavimento flexible en climas mayores a 3000 m.s.n.m. – Huancayo 2021</p> |                                     | <p>Resistencia a la deformación</p> | <p><b>Nivel de Investigación</b><br/>Tipo Descriptivo</p> |

Con el fin de verificar los valores óptimos de asfalto estimados, se realizaron probetas con los porcentajes estimados, los resultados obtenidos integran la Tabla 5.4.

**Tabla 6.4**  
**Comparación de los parámetros volumétricos reales**

| Parámetros           | Métodos de diseño |           |
|----------------------|-------------------|-----------|
|                      | Marshall          | Superpave |
| % de asfalto óptimo  | 5.3               | 5.9       |
| Gmb                  | 2.360             | 2.405     |
| Gmm                  | 2.406             | 2.501     |
| VMA (%)              | 16                | 14        |
| VFA (%)              | 75                | 72        |
| Estabilidad (kN)     | 16204             | -----     |
| Flujo                | 14                | -----     |
| Inmersión-compresión | -----             | 97 %      |

Con los valores de la tabla anterior se puede determinar que el valor seleccionado de contenido óptimo fue correcto, ya que no existen diferencias significativas en entre los valores estimados y los reales en ninguno de los dos métodos.

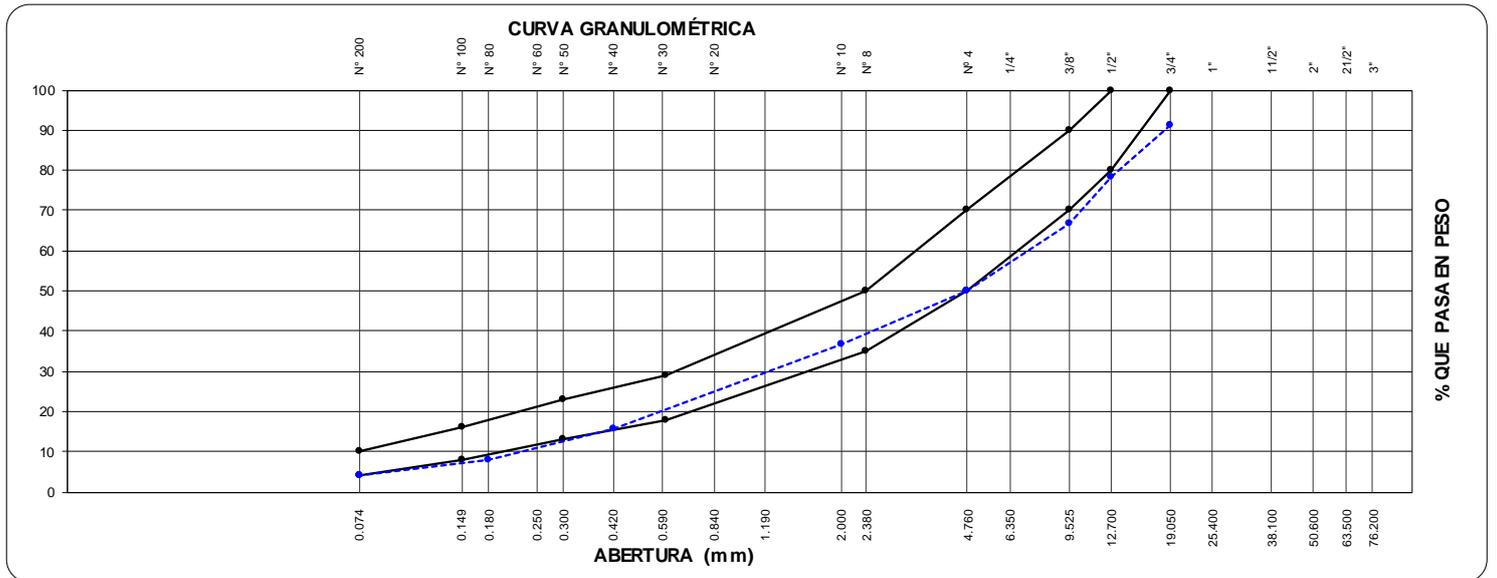
## Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 204)

**Material** Mezcla Teórica de Agregados para Asfalto  
**Muestra** Mezcla-01  
**Cantera** CANCHACUCHO-PASCO  
**Ubicación (Km.)** Planta de Asfalto

**Certificado**  
**Hecho por**  
**Revisado por**  
**Fecha** : 10-Jul-21

| Malla               |        | Porcentajes pasantes (%) |                     |                    |                |        | Especificaciones  |               | Observaciones |
|---------------------|--------|--------------------------|---------------------|--------------------|----------------|--------|-------------------|---------------|---------------|
| Tamiz               | mm.    | PIEDRA                   |                     | ARENAS             |                | MEZCLA | Curva IV-B        | Tamaño máximo |               |
|                     |        | pedra 3/4" CRUSHING      | pedra 1/2" CRUSHING | Arena Sarandeadada | Arena Chancada |        | Instituto Asfalto |               |               |
| <b>Proporciones</b> |        | 3/4"                     | 1/2"                | SARANDEADA         | CHANCADA       | 100%   |                   |               |               |
|                     |        | 18%                      | 25%                 | 33.0%              | 24.0%          |        |                   |               |               |
| 1"                  | 25.400 | 100.0                    | 100.0               | 100.0              | 100.0          |        |                   |               |               |
| 3/4"                | 19.050 | 51.3                     | 100.0               | 100.0              | 100.0          | 91.2   | 100               | 100           |               |
| 1/2"                | 12.700 | 0.9                      | 84.8                | 100.0              | 100.0          | 78.4   | 80 - 100          | 90            |               |
| 3/8"                | 9.525  | 0.1                      | 39.4                | 100.0              | 100.0          | 66.9   | 70 - 90           | 80            |               |
| Nº 4                | 4.760  | 0.1                      | 1.1                 | 90.7               | 83.1           | 50.2   | 50 - 70           | 60            |               |
| Nº 8                | 2.360  | 0.1                      | 0.3                 | 77.7               | 54.5           | 38.8   | 35 - 50           | 42            |               |
| Nº 10               | 2.000  | 0.0                      | 0.0                 | 75.1               | 49.3           | 36.6   |                   |               |               |
| Nº 16               | 1.180  |                          |                     | 66.8               | 36.8           | 30.9   |                   |               |               |
| Nº 30               | 0.600  |                          |                     | 51.6               | 15.8           | 20.8   | 18 - 29           | 23            |               |
| Nº 40               | 0.420  |                          |                     | 39.0               | 11.9           | 15.7   |                   |               |               |
| Nº 50               | 0.300  |                          |                     | 22.7               | 7.0            | 9.2    | 13 - 23           | 18            |               |
| Nº 80               | 0.180  |                          |                     | 20.0               | 6.0            | 8.0    |                   |               |               |
| Nº 100              | 0.150  |                          |                     | 14.0               | 5.0            | 5.8    | 8 - 16            | 12            |               |
| Nº 200              | 0.074  |                          |                     | 10.0               | 4.0            | 4.3    | 4 - 10            | 7             |               |
| pasa                |        |                          |                     |                    |                |        |                   |               |               |

### REPRESENTACIÓN GRÁFICA



**OBSERVACIONES :**

**PROYECTO** "INCORPORACIÓN DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE EN CLIMAS MAYORES A 3000 M.S.N.M. – HUANCA YO 2021"  
**UNIVERSIDAD** UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO  
**CLIENTE** DANTE YACOLCA POMA -JEAN PAUL ROJAS BASILIO

### Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 204)

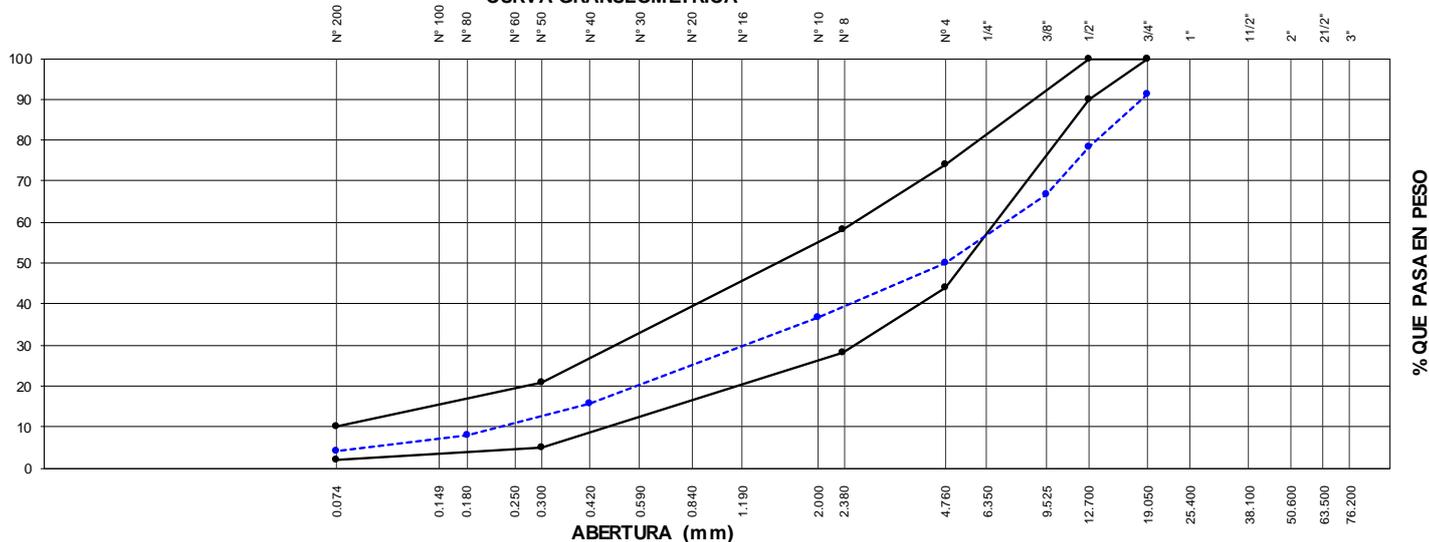
**Material** Mezcla Teórica de Agregados para Asfalto  
**Muestra** Mezcla-01  
**Cantera** CANCHACUCHO-PASCO  
**Ubicación (Km.)** Planta de Asfalto

**Certificado**  
**Hecho por**  
**Revisado por**  
**Fecha** : 10-Jul-21

| Malla               |        | Porcentajes pasantes (%) |                     |                   |                |        | Especificaciones | Observaciones      |
|---------------------|--------|--------------------------|---------------------|-------------------|----------------|--------|------------------|--------------------|
| Tamiz               | mm.    | PIEDRA                   |                     | ARENAS            |                | MEZCLA | ASTM             |                    |
|                     |        | pedra 3/4" CRUSHING      | pedra 1/2" CRUSHING | Arena Sarandecada | Arena Chancada |        | D 3515           |                    |
| <b>Proporciones</b> |        | 3/4"                     | 1/2"                | SARANDEADA        | CHANCADA       | 100%   | D - 5            | Tamaño máximo 3/4" |
|                     |        | 18.0%                    | 25%                 | 33.0%             | 24.0%          |        |                  |                    |
| 1"                  | 25.400 | 100.0                    | 100.0               | 100.0             | 100.0          | 100.0  |                  |                    |
| 3/4"                | 19.050 | 51.3                     | 100.0               | 100.0             | 100.0          | 91.2   | 100              | 100                |
| 1/2"                | 12.700 | 0.9                      | 84.8                | 100.0             | 100.0          | 78.4   | 90 - 100         | 95                 |
| 3/8"                | 9.525  | 0.1                      | 39.4                | 100.0             | 100.0          | 66.9   |                  |                    |
| Nº 4                | 4.760  | 0.1                      | 1.1                 | 90.7              | 83.1           | 50.2   | 44 - 74          | 59                 |
| Nº 8                | 2.360  | 0.1                      | 0.3                 | 77.7              | 54.5           | 38.8   | 28 - 58          | 43                 |
| Nº 10               | 2.000  | 0.0                      | 0.0                 | 75.1              | 49.3           | 36.6   |                  |                    |
| Nº 16               | 1.180  |                          |                     | 66.8              | 36.8           | 30.9   |                  |                    |
| Nº 30               | 0.600  |                          |                     | 51.6              | 15.8           | 20.8   |                  |                    |
| Nº 40               | 0.420  |                          |                     | 39.0              | 11.9           | 15.7   |                  |                    |
| Nº 50               | 0.300  |                          |                     | 22.7              | 7.0            | 9.2    | 5 - 21           | 13                 |
| Nº 80               | 0.180  |                          |                     | 20.0              | 6.0            | 8.0    |                  |                    |
| Nº 100              | 0.150  |                          |                     | 14.0              | 5.0            | 5.8    |                  |                    |
| Nº 200              | 0.074  |                          |                     | 10.0              | 4.0            | 4.3    | 2 - 10           | 6                  |
| pasa                |        |                          |                     |                   |                |        |                  |                    |

### REPRESENTACIÓN GRÁFICA

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES :

**ELIMINAR FINOS**

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>PROYECTO</b>    | “INCORPORACIÓN DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE EN CLIMAS MA YORES A 3000 M.S.N.M. – HUANCAYO 2021” |
| <b>UNIVERSIDAD</b> | UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO  |
| <b>CLIENTE</b>     | DANTE YACOLCA POMA -JEAN PAUL ROJAS BASILIO  |

### Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 204)

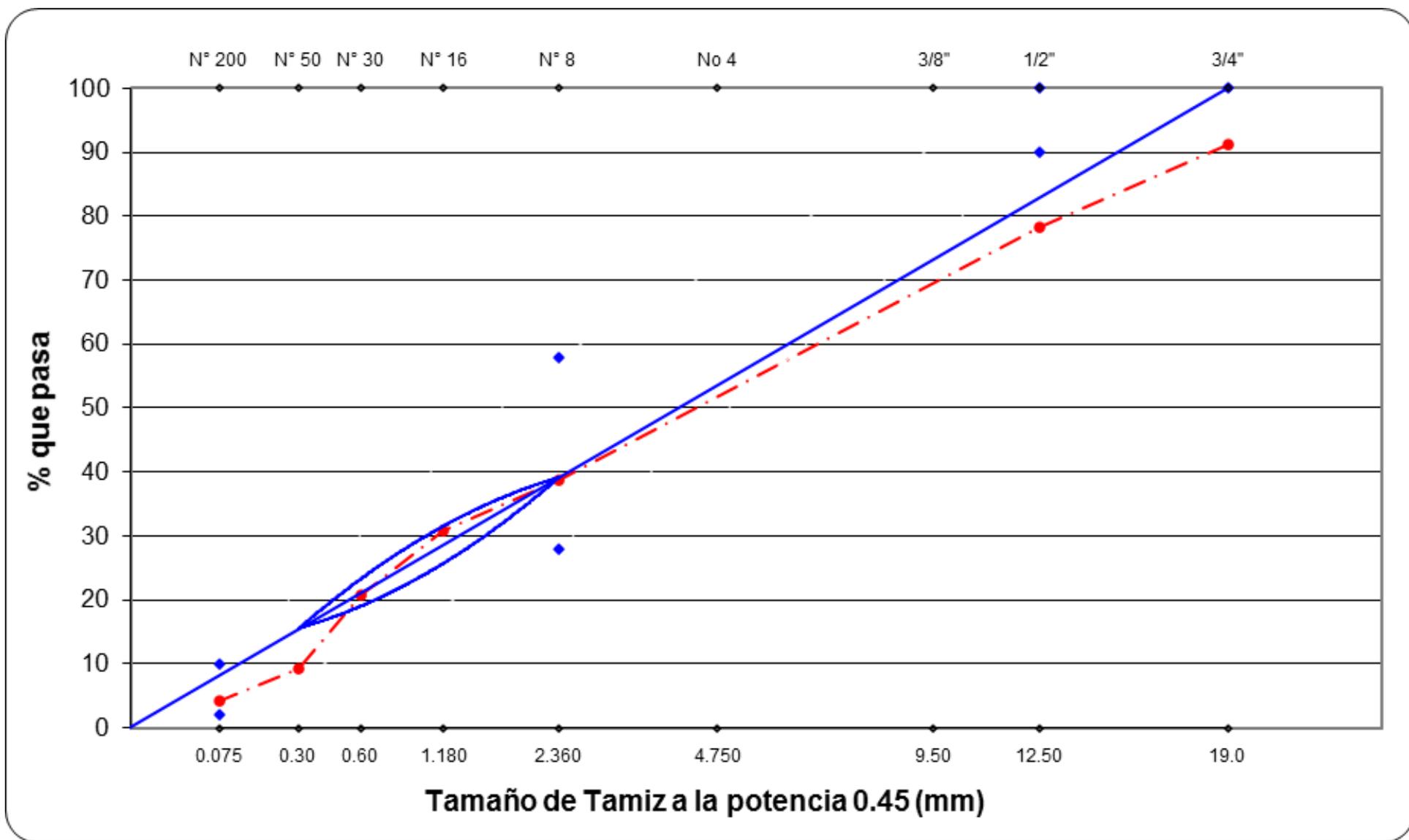
**Material** Mezcla Teórica de Agregados para Asfalto  
**Muestra** Mezcla-01  
**Cantera** CANCHACUCHO-PASCO  
**Ubicación (Km.)** Planta de Asfalto

**Certificado**  
**Hecho por**  
**Revisado por**  
**Fecha** : 10-Jul-21

#### Graduación Superpave para Agregado de tamaño máximo nominal de 12.5 mm.

| Tamices |       |                   | Puntos<br>de<br>Control | Zona<br>de<br>Restricción |      | Fórmula<br>de<br>Mezcla | Tolerancia |
|---------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------------|------|-------------------------|------------|
| Ø       | mm    | Ø <sup>0,45</sup> |                         | Min.                      | Max. |                         |            |
| ASTM    |       |                   |                         |                           |      |                         |            |
| 1"      | 25.40 | 4.287             |                         |                           |      | 100.0                   |            |
| 3/4"    | 19.00 | 3.762             |                         | 100.0                     |      | 91.2                    |            |
| 1/2"    | 12.50 | 3.116             | 100.0                   | 90.0                      |      | 78.4                    |            |
| 3/8"    | 9.500 | 2.754             |                         |                           |      | 66.9                    |            |
| n° 4    | 4.750 | 2.016             |                         |                           |      | 50.2                    | [6]        |
| n° 8    | 2.360 | 1.472             | 58.0                    | 28.0                      | 39.1 | 39.1                    | 38.8 [6]   |
| n° 10   | 2.00  | 1.366             |                         |                           |      | 36.6                    |            |
| n° 16   | 1.180 | 1.077             |                         |                           | 25.6 | 31.6                    | 30.9       |
| n° 30   | 0.600 | 0.795             |                         |                           | 19.1 | 23.1                    | 20.8 [4]   |
| n° 40   | 0.420 | 0.677             |                         |                           |      |                         | 15.7       |
| n° 50   | 0.300 | 0.582             |                         |                           | 15.5 | 15.5                    | 9.2 [3]    |
| n° 80   | 0.177 | 0.459             |                         |                           |      |                         | 8.0        |
| n° 100  | 0.150 | 0.426             |                         |                           |      |                         | 5.8        |
| n° 200  | 0.075 | 0.312             | 10.0                    | 2.0                       |      |                         | 4.3 [2]    |

|        |       | Ø <sup>0,45</sup> | MEZC. | LM D |
|--------|-------|-------------------|-------|------|
| 1"     | 100.0 | 4.287             | 100.0 | 100  |
| 3/4"   | 100.0 | 3.762             | 100.0 | 88.4 |
| 1/2"   | 95.2  | 3.116             | 94.1  | 73.2 |
| 3/8"   | 81.6  | 2.754             | 83.0  | 59.6 |
| n° 4   | 50.9  | 2.016             | 62.3  | 49.5 |
| n° 8   | 35.0  | 1.472             | 48.8  | 34.6 |
| n° 10  |       | 1.366             | 46.0  |      |
| n° 16  | 24.8  | 1.077             | 39.0  | 25.3 |
| n° 30  | 17.7  | 0.795             | 28.6  | 18.7 |
| n° 40  |       | 0.677             | 24.0  |      |
| n° 50  | 11.2  | 0.582             | 20.0  | 13.7 |
| n° 80  |       | 0.459             | 13.3  |      |
| n° 100 | 7.2   | 0.426             | 11.4  | 10.0 |
| n° 200 | 5.7   | 0.312             | 4.7   | 7.3  |





# Análisis Mecánico por Tamizado y Límites de Atterberg

**Diseño** PEN 120/150  
**Fecha** 10/07/2021  
**Material** Grava Chancada TM 3/4"  
**Cantera** Canchacucho-Pasco

**Granulometría (MTC E 204)**

**Datos de ensayo**  
 Peso Total : 2000.0

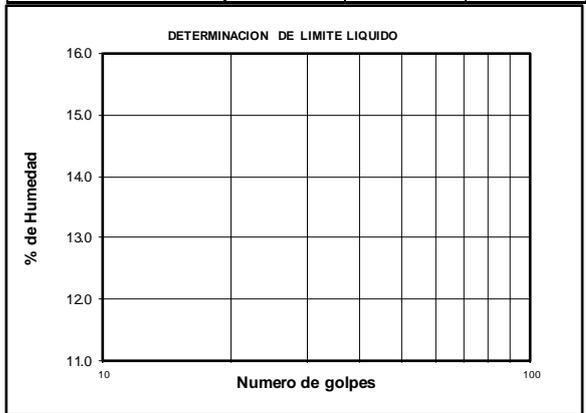
**Límite Líquido MTC E 110**

| Ensayo         | 1 | 2 | 3 |
|----------------|---|---|---|
| Nº de Golpes   |   |   |   |
| Recipiente N°  |   |   |   |
| R + Suelo Hum. |   |   |   |
| R + Suelo Seco |   |   |   |
| Peso Recip.    |   |   |   |
| Peso Agua      |   |   |   |
| Peso S. Seco   |   |   |   |
| % de Humedad   |   |   |   |

**Límite Plástico MTC E 111**

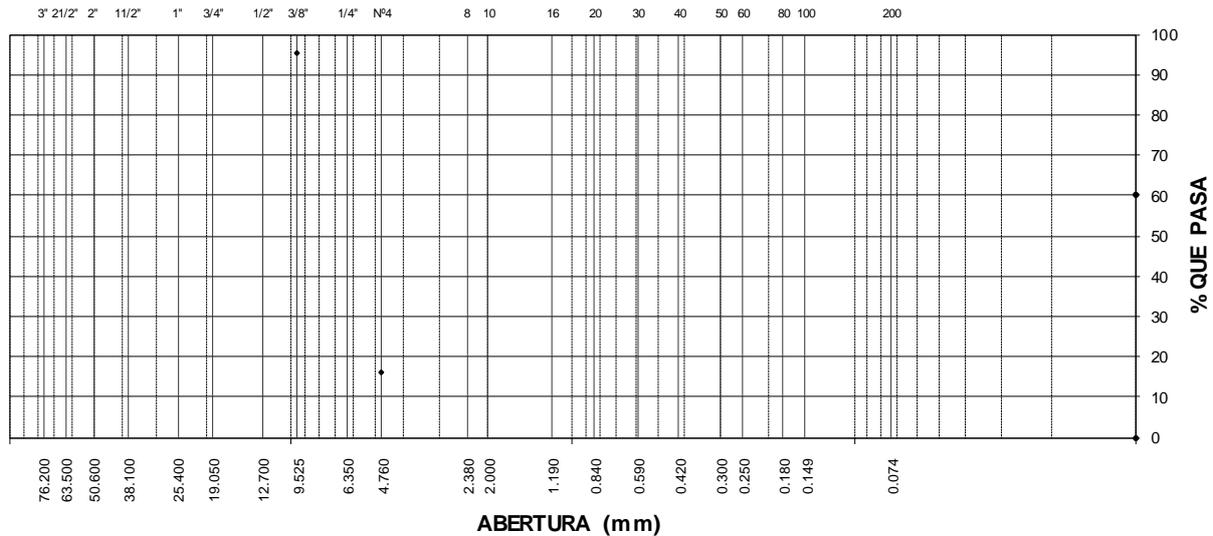
| Ensayo         | 1 | 2 |  |
|----------------|---|---|--|
| Recipiente N°  |   |   |  |
| R + Suelo Hum. |   |   |  |
| R + Suelo Seco |   |   |  |
| Peso Recip.    |   |   |  |
| Peso Agua      |   |   |  |
| Peso S. Seco   |   |   |  |
| % de Humedad   |   |   |  |

| Malla Tamiz | Malla mm. | Peso (gr) | % Ret Parcial | % Ret Acum. | % que Pasa | Especificaciones |
|-------------|-----------|-----------|---------------|-------------|------------|------------------|
|             |           |           |               |             |            |                  |
| 2 1/2"      | 63.500    |           |               |             |            |                  |
| 2"          | 50.600    |           |               |             |            |                  |
| 1 1/2"      | 38.100    |           |               |             |            |                  |
| 1"          | 25.400    |           |               |             |            |                  |
| 3/4"        | 19.050    |           |               |             |            |                  |
| 1/2"        | 12.700    |           |               |             |            |                  |
| 3/8"        | 9.525     | 93        | 4.7           | 4.7         | 95.4       |                  |
| 1/4"        | 6.350     |           |               | 4.7         |            |                  |
| No4         | 4.760     | 1496      | 74.8          | 79.5        | 15.9       |                  |
| 8           | 2.360     | 406       | 20.3          | 99.8        | -83.9      |                  |
| 10          | 2.000     |           |               | 99.8        |            |                  |
| 16          | 1.190     | 5.0       | 0.3           | 100.0       |            |                  |
| 20          | 0.840     |           |               |             |            |                  |
| 30          | 0.600     |           |               |             |            |                  |
| 40          | 0.420     |           |               |             |            |                  |
| 50          | 0.300     |           |               |             |            |                  |
| 60          | 0.250     |           |               |             |            |                  |
| 80          | 0.180     |           |               |             |            |                  |
| 100         | 0.149     |           |               |             |            |                  |
| 200         | 0.074     |           |               |             |            |                  |
| < 200       |           |           |               |             |            |                  |



|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|

**CURVA GRANULOMETRICA**



# Análisis Mecánico por Tamizado y Límites de Atterberg

**Diseño** PEN 120/150  
**Fecha** 10/07/2021  
**Material** Grava Chancada TM 3/4"  
**Cantera** Canchacucho-Pasco

## Granulometría (MTC E 204)

### Datos de ensayo

Peso Total : 2210.0

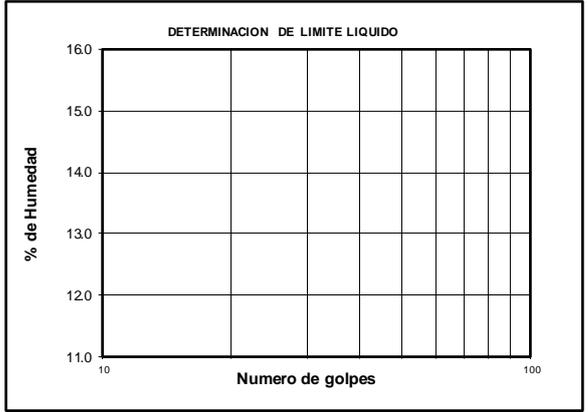
## Límite Líquido MTC E 110

| Ensayo         | 1 | 2 | 3 |
|----------------|---|---|---|
| Nº de Golpes   |   |   |   |
| Recipiente N°  |   |   |   |
| R + Suelo Hum. |   |   |   |
| R + Suelo Seco |   |   |   |
| Peso Recip.    |   |   |   |
| Peso Agua      |   |   |   |
| Peso S. Seco   |   |   |   |
| % de Humedad   |   |   |   |

## Límite Plástico MTC E 111

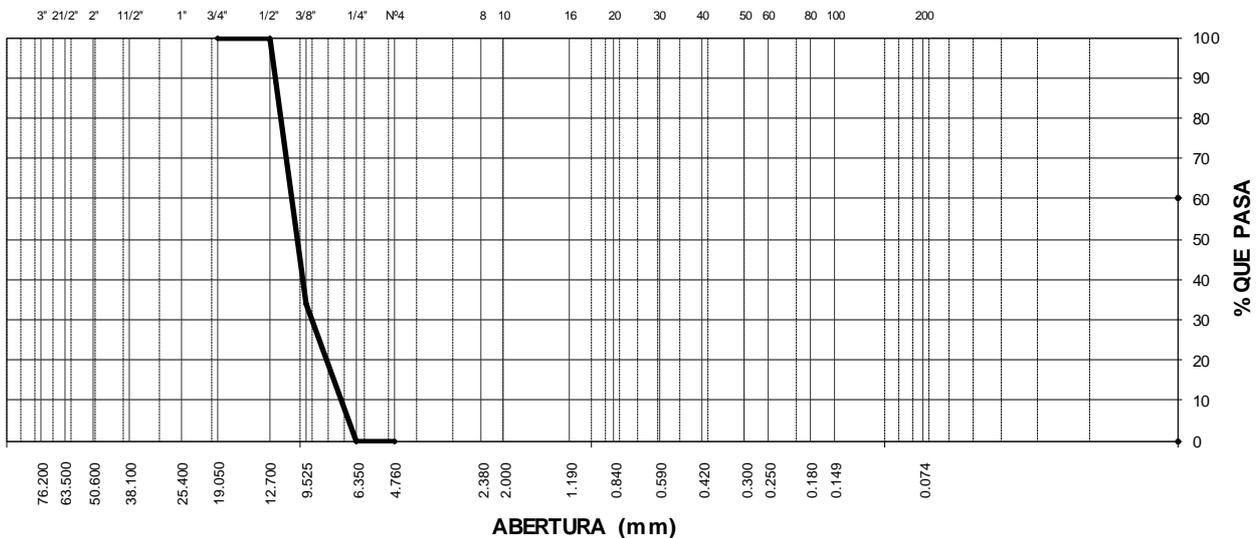
| Ensayo         | 1 | 2 | 3 |
|----------------|---|---|---|
| Recipiente N°  |   |   |   |
| R + Suelo Hum. |   |   |   |
| R + Suelo Seco |   |   |   |
| Peso Recip.    |   |   |   |
| Peso Agua      |   |   |   |
| Peso S. Seco   |   |   |   |
| % de Humedad   |   |   |   |

| Malla Tamiz | mm.    | Peso (gr) | % Ret Parcial | % Ret Acum. | % que Pasa | Especificaciones |
|-------------|--------|-----------|---------------|-------------|------------|------------------|
| 3"          | 76.200 |           |               |             |            |                  |
| 2 1/2"      | 63.500 |           |               |             |            |                  |
| 2"          | 50.600 |           |               |             |            |                  |
| 1 1/2"      | 38.100 |           |               |             |            |                  |
| 1"          | 25.400 |           |               |             |            |                  |
| 3/4"        | 19.050 |           |               |             | 100.0      |                  |
| 1/2"        | 12.700 | 0         |               |             | 100.0      |                  |
| 3/8"        | 9.525  | 1456      | 65.9          | 65.9        | 34.1       |                  |
| 1/4"        | 6.350  | 0         | 0.0           | 65.9        | 0.0        |                  |
| Nº4         | 4.760  | 15        | 0.7           | 100.0       | 0.0        |                  |
| 8           | 2.360  | 0         | 0.0           | 100.0       |            |                  |
| 10          | 2.000  | 0         | 0.0           |             |            |                  |
| 16          | 1.190  |           |               |             |            |                  |
| 20          | 0.840  |           |               |             |            |                  |
| 30          | 0.600  |           |               |             |            |                  |
| 40          | 0.420  |           |               |             |            |                  |
| 50          | 0.300  |           |               |             |            |                  |
| 60          | 0.250  |           |               |             |            |                  |
| 80          | 0.180  |           |               |             |            |                  |
| 100         | 0.149  |           |               |             |            |                  |
| 200         | 0.074  |           |               |             |            |                  |
| < 200       |        |           |               |             |            |                  |



|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|

## CURVA GRANULOMETRICA



# Análisis Mecánico por Tamizado y Límites de Atterberg

**Diseño** PEN 120/150  
**Fecha** 10/07/2021  
**Material** Grava Chancada TM 3/4"  
**Cantera** Canchacucho-Pasco

### Granulometría (MTC E 204)

#### Datos de ensayo

Peso Total : 2000.0  
 Peso muestra lavada : 1995.0

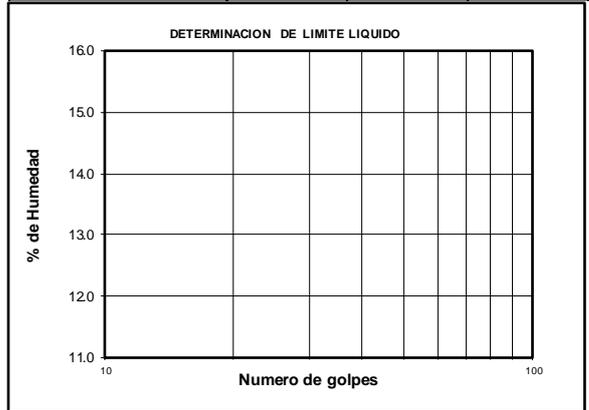
| Malla  |        | Peso (gr) | % Ret Parcial | % Ret Acum. | % que Pasa | Especificaciones |
|--------|--------|-----------|---------------|-------------|------------|------------------|
| Tamiz  | mm.    |           |               |             |            |                  |
| 3"     | 76.200 |           |               |             |            |                  |
| 2 1/2" | 63.500 |           |               |             |            |                  |
| 2"     | 50.600 |           |               |             |            |                  |
| 1 1/2" | 38.100 |           |               |             |            |                  |
| 1"     | 25.400 |           |               |             |            |                  |
| 3/4"   | 19.050 |           |               |             |            |                  |
| 1/2"   | 12.700 |           |               |             |            |                  |
| 3/8"   | 9.525  |           |               |             |            |                  |
| 1/4"   | 6.350  |           |               |             | 100.0      |                  |
| Nº4    | 4.760  | 15.0      | 0.8           | 0.8         | 99.3       |                  |
| 8      | 2.360  | 582.0     | 29.1          | 29.9        | 70.2       |                  |
| 10     | 2.000  |           | 0.0           | 29.9        | 70.2       |                  |
| 16     | 1.190  | 608.0     | 30.4          | 60.3        | 39.8       |                  |
| 20     | 0.840  |           |               |             |            |                  |
| 30     | 0.600  | 492.0     | 24.6          | 84.9        | 15.2       |                  |
| 40     | 0.420  |           | 0.0           | 84.9        | 15.2       |                  |
| 50     | 0.300  | 177.0     | 8.9           | 93.7        | 6.3        |                  |
| 60     | 0.250  |           |               |             |            |                  |
| 80     | 0.180  |           | 0.0           | 93.7        | 6.3        |                  |
| 100    | 0.149  | 86.0      | 4.3           | 98.0        | 2.0        |                  |
| 200    | 0.074  | 35.0      | 1.8           | 99.8        | 0.3        |                  |
| < 200  |        | 5.0       | 0.3           | 100.0       |            |                  |

### Límite Líquido MTC E 110

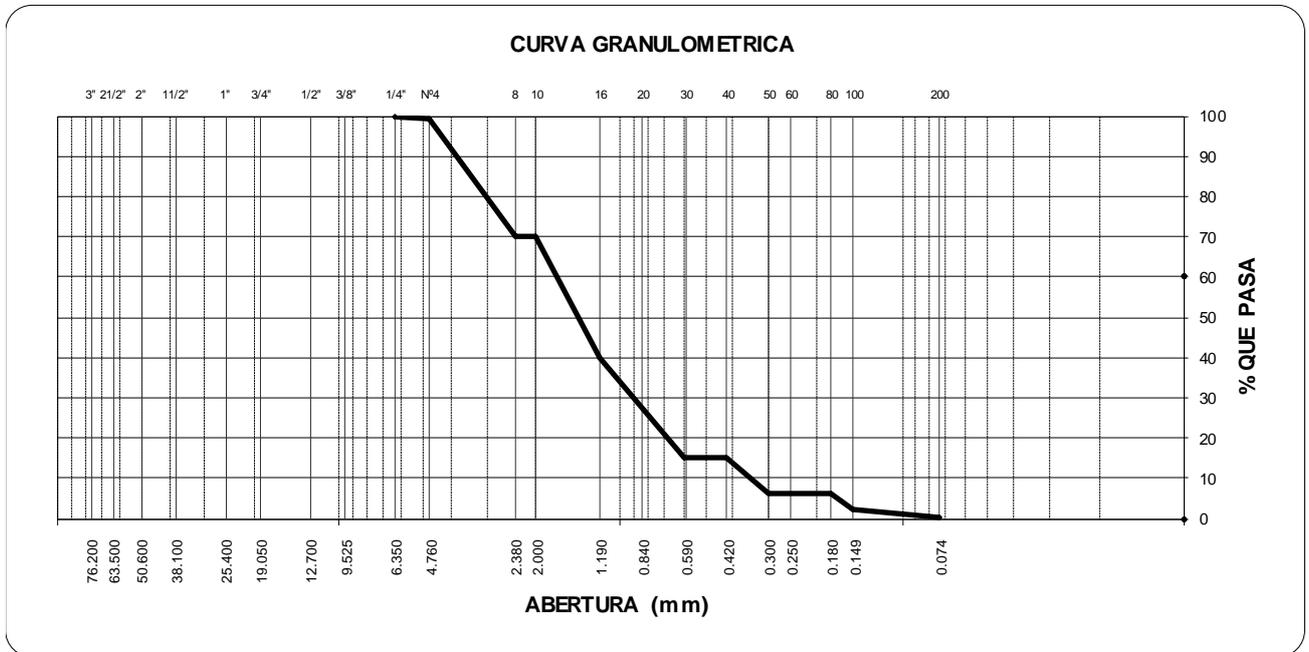
| Ensayo         | 1 | 2 | 3 |
|----------------|---|---|---|
| Nº de Golpes   |   |   |   |
| Recipiente N°  |   |   |   |
| R + Suelo Hum. |   |   |   |
| R + Suelo Seco |   |   |   |
| Peso Recip.    |   |   |   |
| Peso Agua      |   |   |   |
| Peso S. Seco   |   |   |   |
| % de Humedad   |   |   |   |

### Límite Plástico MTC E 111

| Ensayo         | 1 | 2 |
|----------------|---|---|
| Recipiente N°  |   |   |
| R + Suelo Hum. |   |   |
| R + Suelo Seco |   |   |
| Peso Recip.    |   |   |
| Peso Agua      |   |   |
| Peso S. Seco   |   |   |
| % de Humedad   |   |   |



|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|



**PROYECTO** "INCORPORACIÓN DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE EN CLIMAS MA YORES A 3000 M.S.N.M. – HUANCAYO 2021"  
**UNIVERSIDAD** UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO  
**CLIENTE** DANTE YACOLCA POMA -JEAN PAUL ROJAS BASILIO

**DISEÑO** : PEN 120/150-001  
**REFERENCIA** : MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE  
**FECHA** : 21-07-2021

**ENSAYO MARSHALL**  
**NORMA MTC E-504 (AASHTO T-245 / ASTM D-1559)**

| BRIQUETAS |   | Nº    | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      |
|-----------|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1         | Cemento Asfáltico en peso de la mezcla            | %     | 4.00   | 4.00   | 4.00   | 4.50   | 4.50   | 4.50   | 5.00   | 5.00   | 5.00   | 5.50   | 5.50   | 5.50   | 6.00   | 6.00   | 6.00   |
| 2         | Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4       | %     | 41.28  | 41.28  | 41.28  | 41.07  | 41.07  | 41.07  | 40.85  | 40.85  | 40.85  | 40.64  | 40.64  | 40.64  | 40.42  | 40.42  | 40.42  |
| 3         | Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4         | %     | 54.72  | 54.72  | 54.72  | 54.44  | 54.44  | 54.44  | 54.15  | 54.15  | 54.15  | 53.87  | 53.87  | 53.87  | 53.58  | 53.58  | 53.58  |
| 4         | Filler en peso de la mezcla                       | %     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 5         | Peso específico del cemento asfáltico aparente    | gr/cc | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  |
| 6         | Peso específico del agregado grueso - Bulk        | gr/cc | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  |
| 7         | Peso específico del agregado fino - Bulk          | gr/cc | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  |
| 8         | Peso específico del filler - aparente             | gr/cc |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 9         | Peso de la briketa al aire                        | gr    | 1244.0 | 1252.0 | 1250.3 | 1262.1 | 1246.7 | 1250.4 | 1256.6 | 1259.0 | 1250.7 | 1260.0 | 1246.0 | 1250.4 | 1251.9 | 1252.0 | 1250.0 |
| 10        | Peso de la briketa saturada                       | gr    | 1247.7 | 1253.8 | 1251.0 | 1264.1 | 1248.7 | 1251.1 | 1257.0 | 1259.6 | 1251.6 | 1260.4 | 1246.5 | 1251.3 | 1252.2 | 1252.7 | 1250.8 |
| 11        | Peso de la briketa en agua                        | gr    | 748.4  | 749.9  | 748.3  | 760.9  | 752.1  | 752.5  | 758.5  | 759.6  | 755.2  | 759.2  | 751.7  | 754.4  | 752.0  | 751.5  | 750.4  |
| 12        | Volumen de briketa + parafina                     | c.c.  | 499.3  | 503.9  | 502.7  | 503.2  | 496.6  | 498.6  | 498.5  | 500.0  | 496.4  | 501.2  | 494.8  | 496.9  | 500.2  | 501.2  | 500.4  |
| 13        | Peso específico Bulk de la briketa                | gr/cc | 2.491  | 2.485  | 2.487  | 2.508  | 2.510  | 2.508  | 2.521  | 2.518  | 2.520  | 2.514  | 2.518  | 2.516  | 2.503  | 2.498  | 2.498  |
| 14        | Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)    | gr/cc | 2.681  | 2.681  | 2.681  | 2.660  | 2.660  | 2.660  | 2.641  | 2.641  | 2.641  | 2.616  | 2.616  | 2.616  | 2.580  | 2.580  | 2.580  |
| 15        | Vacios (MTC E-505)                                | %     | 7.1    | 7.3    | 7.2    | 5.7    | 5.6    | 5.7    | 4.6    | 4.7    | 4.6    | 3.9    | 3.7    | 3.8    | 3.0    | 3.2    | 3.2    |
| 16        | Peso específico Bulk del agregado total           | gr/cc | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  |
| 17        | V.M.A.  | %     | 14.9   | 14.9   | 15.0   | 15.0   | 15.1   | 15.0   | 14.9   | 14.8   | 14.9   | 15.1   | 15.3   | 15.0   | 15.2   | 15.1   | 15.2   |
| 18        | Vacios llenos con cemento asfáltico               | %     | 52.6   | 50.8   | 51.6   | 61.9   | 62.8   | 61.8   | 69.4   | 68.5   | 69.1   | 74.2   | 75.6   | 74.6   | 80.3   | 79.0   | 79.1   |
| 19        | Peso específico del agregado total                | gr/cc | 2.876  | 2.876  | 2.876  | 2.878  | 2.878  | 2.878  | 2.882  | 2.882  | 2.882  | 2.878  | 2.878  | 2.878  | 2.859  | 2.859  | 2.859  |
| 20        | Cemento asfáltico absorbido por el agregado total | %     | 6.04   | 6.04   | 6.04   | 6.06   | 6.06   | 6.06   | 6.11   | 6.11   | 6.11   | 6.06   | 6.06   | 6.06   | 5.83   | 5.83   | 5.83   |
| 21        | Cemento asfáltico efectivo                        | %     | -1.80  | -1.80  | -1.80  | -1.29  | -1.29  | -1.29  | -0.80  | -0.80  | -0.80  | -0.23  | -0.23  | -0.23  | 0.52   | 0.52   | 0.52   |
| 22        | Flujo/fluencia                                    | mm    | 3.40   | 3.30   | 3.40   | 3.70   | 3.50   | 3.60   | 3.90   | 4.00   | 4.10   | 4.20   | 4.30   | 4.40   | 4.70   | 4.50   | 4.60   |
| 23        | Estabilidad sin corregir                          | kg    | 1409   | 1419   | 1435   | 1453   | 1469   | 1478   | 1440   | 1452   | 1477   | 1337   | 1348   | 1361   | 1253   | 1261   | 1278   |
| 24        | Factor de estabilidad                             |       | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.09   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   |
| 25        | Estabilidad corregida                             | kg    | 1465   | 1476   | 1492   | 1511   | 1528   | 1537   | 1498   | 1510   | 1536   | 1390   | 1469   | 1415   | 1303   | 1311   | 1329   |
| 24        | Estabilidad - Flujo                               | kg/cm | 4310   | 4472   | 4389   | 4084   | 4365   | 4270   | 3840   | 3775   | 3747   | 3311   | 3417   | 3217   | 2773   | 2914   | 2889   |
| 26        | Compactación, numero de golpes por cara           |       | 75     |        |        | 75     |        |        | 75     |        |        | 75     |        |        | 75     |        |        |

PROYECTO

“INCORPORACIÓN DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE EN CLIMAS MA YORES A 3000 M.S.N.M. – HUANCA YO 2021”

UNIVERSIDAD

UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO

CLIENTE

DANTE YACOLCA POMA -JEAN PAUL ROJAS BASILIO

DISEÑO : PEN 120/150-001

REFERENCIA : MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

FECHA : 21-07-2021

**ENSAYO MARSHALL**

**NORMA MTC E-504 (AASHTO T-245 / ASTM D-1559)**

| BRIQUETAS |   | Nº    | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      |
|-----------|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0         | Agregado de Caucho Reciclado                      | %     | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.20   | 1.00   | 1.50   | 2.50   | 3.50   | 4.50   | 5.50   | 6.50   |
| 1         | Cemento Asfáltico en peso de la mezcla            | %     | 4.00   | 4.00   | 4.00   | 4.50   | 4.50   | 4.50   | 5.00   | 5.00   | 5.00   | 5.50   | 5.50   | 5.50   | 6.00   | 6.00   | 6.00   |
| 2         | Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4       | %     | 41.28  | 41.28  | 41.28  | 41.07  | 41.07  | 41.07  | 40.85  | 40.85  | 40.85  | 40.64  | 40.64  | 40.64  | 40.42  | 40.42  | 40.42  |
| 3         | Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4         | %     | 54.72  | 54.72  | 54.72  | 54.44  | 54.44  | 54.44  | 54.15  | 54.15  | 54.15  | 53.87  | 53.87  | 53.87  | 53.58  | 53.58  | 53.58  |
| 4         | Filler en peso de la mezcla                       | %     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 5         | Peso específico del cemento asfáltico aparente    | gr/cc | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  | 1.020  |
| 6         | Peso específico del agregado grueso - Bulk        | gr/cc | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  | 2.434  |
| 7         | Peso específico del agregado fino - Bulk          | gr/cc | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  | 2.476  |
| 8         | Peso específico del filler - aparente             | gr/cc |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 9         | Peso de la briketa al aire                        | gr    | 1244.0 | 1252.0 | 1250.3 | 1262.1 | 1246.7 | 1250.4 | 1256.6 | 1259.0 | 1250.7 | 1260.0 | 1246.0 | 1250.4 | 1251.9 | 1252.0 | 1250.0 |
| 10        | Peso de la briketa saturada                       | gr    | 1247.7 | 1253.8 | 1251.0 | 1264.1 | 1248.7 | 1251.1 | 1257.0 | 1259.6 | 1251.6 | 1260.4 | 1246.5 | 1251.3 | 1252.2 | 1252.7 | 1250.8 |
| 11        | Peso de la briketa en agua                        | gr    | 748.4  | 749.9  | 748.3  | 760.9  | 752.1  | 752.5  | 758.5  | 759.6  | 755.2  | 759.2  | 751.7  | 754.4  | 752.0  | 751.5  | 750.4  |
| 12        | Volumen de briketa + parafina                     | c.c.  | 499.3  | 503.9  | 502.7  | 503.2  | 496.6  | 498.6  | 498.5  | 500.0  | 496.4  | 501.2  | 494.8  | 496.9  | 500.2  | 501.2  | 500.4  |
| 13        | Peso específico Bulk de la briketa                | gr/cc | 2.491  | 2.485  | 2.487  | 2.508  | 2.510  | 2.508  | 2.521  | 2.518  | 2.520  | 2.514  | 2.518  | 2.516  | 2.503  | 2.498  | 2.498  |
| 14        | Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)    | gr/cc | 2.681  | 2.681  | 2.681  | 2.660  | 2.660  | 2.660  | 2.641  | 2.641  | 2.641  | 2.600  | 2.600  | 2.600  | 2.580  | 2.580  | 2.580  |
| 15        | Vacios (MTC E-505)                                | %     | 7.1    | 7.3    | 7.2    | 5.7    | 5.6    | 5.7    | 4.6    | 4.7    | 4.6    | 3.3    | 3.1    | 3.2    | 3.0    | 3.2    | 3.2    |
| 16        | Peso específico Bulk del agregado total           | gr/cc | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  | 2.458  |
| 17        | V.M.A.  | %     | 14.9   | 14.9   | 15.0   | 15.0   | 15.1   | 15.0   | 14.9   | 14.8   | 14.9   | 15.0   | 15.0   | 14.9   | 15.3   | 15.4   | 15.4   |
| 18        | Vacios llenos con cemento asfáltico               | %     | 52.6   | 50.8   | 51.6   | 61.9   | 62.8   | 61.8   | 69.4   | 68.5   | 69.1   | 77.9   | 79.0   | 78.4   | 80.4   | 79.3   | 79.4   |
| 19        | Peso específico del agregado total                | gr/cc | 2.876  | 2.876  | 2.876  | 2.878  | 2.878  | 2.878  | 2.882  | 2.882  | 2.882  | 2.858  | 2.858  | 2.858  | 2.859  | 2.859  | 2.859  |
| 20        | Cemento asfáltico absorbido por el agregado total | %     | 6.04   | 6.04   | 6.04   | 6.06   | 6.06   | 6.06   | 6.11   | 6.11   | 6.11   | 5.81   | 5.81   | 5.81   | 5.83   | 5.83   | 5.83   |
| 21        | Cemento asfáltico efectivo                        | %     | -1.80  | -1.80  | -1.80  | -1.29  | -1.29  | -1.29  | -0.80  | -0.80  | -0.80  | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 0.52   | 0.52   | 0.52   |
| 22        | Flujo/fluencia                                    | mm    | 3.40   | 3.30   | 3.40   | 3.70   | 3.50   | 3.60   | 3.90   | 4.00   | 4.10   | 4.10   | 4.10   | 4.20   | 4.70   | 4.50   | 4.60   |
| 23        | Estabilidad sin corregir                          | kg    | 1409   | 1419   | 1435   | 1453   | 1469   | 1478   | 1440   | 1452   | 1477   | 1337   | 1348   | 1361   | 1253   | 1261   | 1278   |
| 24        | Factor de estabilidad                             |       | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.09   | 1.04   | 1.04   | 1.04   | 1.04   |
| 25        | Estabilidad corregida                             | kg    | 1465   | 1476   | 1492   | 1511   | 1528   | 1537   | 1498   | 1510   | 1536   | 1390   | 1469   | 1415   | 1303   | 1311   | 1329   |
| 24        | Estabilidad - Flujo                               | kg/cm | 4310   | 4472   | 4389   | 4084   | 4365   | 4270   | 3840   | 3775   | 3747   | 3391   | 3584   | 3370   | 2773   | 2914   | 2889   |
| 26        | Compactación, numero de golpes por cara           |       | 75     |        |        | 75     |        |        | 75     |        |        | 75     |        |        | 75     |        |        |