



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Evaluación del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica con cenizas de carbón mineral, Lima, 2022

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
Ingeniero Civil

**AUTORES:**

Paz Castillo, Hilarion ([orcid.org/0000-0002-6272-304X](https://orcid.org/0000-0002-6272-304X))

Rojas Quichca, Alberto Albino ([orcid.org/0000-0002-0782-7313](https://orcid.org/0000-0002-0782-7313))

**ASESOR:**

Dr. Fernández Díaz, Carlos Mario ([orcid.org/0000-0001-6774-8839](https://orcid.org/0000-0001-6774-8839))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de infraestructura vial

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Industria, innovación e infraestructura

**LIMA – PERÚ**

**2022**

### **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mi esposa Victoria, a mis hijos Eder Alberto y Renzo Martin, a mis nietos Santiago Juan Daniel y Camila Victoria para que mis metas alcanzadas les queden como guía, así como también un homenaje póstumo a mis PADRES Adolfo y Marciana (QEPD) quienes son mis ángeles que siempre iluminan mi camino y donde estén sé que estarán orgullosos.

ALBERTO ALBINO ROJAS QUICHCA

### **Dedicatoria**

El presente trabajo es dedicado a Dios y especialmente a mi hija Katheryn que ha sido parte fundamental para poder concluir este trabajo, ella es quien me motiva todos los días para seguir adelante y la principal protagonista de este sueño alcanzado.

HILARION PAZ CASTILLO

### **Agradecimiento**

A mi ESPOSA por todo su amor y comprensión, a mis hijos Eder Alberto y Renzo Martin por su apoyo incondicional en este proceso de retorno a las aulas después de 40 años y darle las gracias por la paciencia que han tenido con su PADRE.

A mi amigo y compañero de armas Lic. Jesús Alfredo Rosales Díaz, quien, con su voz a través del hilo telefónico, me motivaba a continuar en este proceso.

ALBERTO ALBINO ROJAS QUICHCA

### **Agradecimiento**

Agradezco infinitamente a mi familia, a mis padres, a mis amigos, quienes siempre me han dado su apoyo moral necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

Sobre todo, a mi asesor de tesis y a todos mis profesores de la universidad, gracias por su paciencia y comprensión y compartir conmigo sus experiencias y conocimientos ya que, sin su apoyo, probablemente no lo hubiese concluido; por eso, este trabajo es también SUYO.

HILARION PAZ CASTILLO

## Índice de contenido

Carátula .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenido.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras .....	vii
Resumen .....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	21
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	21
3.2 Variables y operacionalización.....	22
3.3 Población, muestra y muestreo.....	24
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	24
3.5 Procedimientos .....	25
3.6 Método de análisis de datos .....	25
3.7 Aspectos éticos.....	26
IV. RESULTADOS .....	27
V. DISCUSIÓN .....	45
VI. CONCLUSIONES.....	49
VII. RECOMENDACIONES .....	51
REFERENCIAS .....	52
ANEXOS:.....	59

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Categorización del carbón</i> .....	9
<b>Tabla 2.</b> <i>Componentes químicos de la ceniza de carbón mineral</i> .....	10
<b>Tabla 3.</b> Elección del asfalto según temperatura media anual del lugar .....	11
<b>Tabla 4.</b> Condiciones de los agregados gruesos que se utilizan en la mezcla asfáltica .....	12
<b>Tabla 5.</b> Condiciones de los agregados finos que se utilizan en la mezcla asfáltica	12
<b>Tabla 6.</b> Condiciones para el Filler.....	13
<b>Tabla 7.</b> Requerimientos para la mezcla asfáltica en caliente .....	14
<b>Tabla 8.</b> Pavimento inestable: causas y efectos .....	16
<b>Tabla 9.</b> Pavimento de poca durabilidad: causas y efectos .....	16
<b>Tabla 10.</b> Permeabilidad: Causas y efectos.....	17
<b>Tabla 11.</b> Inadecuada trabajabilidad: causas y efectos .....	18
<b>Tabla 12.</b> Resistencia inadecuada a la Fatiga: causas y efectos.....	19
<b>Tabla 13.</b> <i>Operacionalización de las variables</i> .....	23
<b>Tabla 14.</b> <i>Análisis granulométrico de la Grava triturada- Cantera Chillón</i> .....	27
<b>Tabla 15.</b> <i>Caracterización de la grava triturada - Cantera Chillón</i> .....	28
<b>Tabla 16.</b> <i>Análisis granulométrico de la Arena triturada- Cantera Chillón</i> .....	29
<b>Tabla 17.</b> Caracterización de la Arena triturada - Cantera Chillón .....	30
<b>Tabla 18.</b> Análisis granulométrico de la Arena natural- Cantera Chillón .....	31
<b>Tabla 19.</b> Caracterización de la Arena triturada - Cantera Chillón .....	32
<b>Tabla 20.</b> Tipos de Mezcla de agregados .....	33
<b>Tabla 21.</b> Análisis de granulométrico de las mezclas de agregado sin ceniza de carbón mineral .....	33
<b>Tabla 22.</b> Tipos de Mezcla de agregados más Ceniza de carbón mineral.....	34
<b>Tabla 23.</b> Análisis de granulométrico de las mezclas de agregado sin ceniza de carbón mineral. ....	35
<b>Tabla 24.</b> Contenidos de asfalto empleados para determinar el contenido optimo...	36
<b>Tabla 25.</b> Resultados del ensayo Marshall para las muestras planteadas para hallar el óptimo contenido de asfalto.....	36

**Tabla 26.** Parámetros de diseño Marshall para la mezcla asfáltica en caliente convencional ..... 37

**Tabla 27.** Resultados para evaluar la deformabilidad de la mezcla asfáltica en caliente con adición de CCM ..... 38

**Tabla 28.** Resultados para evaluar la resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente con adición de CCM..... 41

## Índice de gráficos y figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Carbón Mineral</i> .....	10
<b>Figura 2.</b> Curva granulométrica de las mezclas de agregados.....	34
<b>Figura 3.</b> Comportamiento del flujo de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM.....	38
<b>Figura 4.</b> Comportamiento de la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM.....	39
<b>Figura 5.</b> <i>Comportamiento de la relación estabilidad/flujo de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM</i> .....	40
<b>Figura 6.</b> Comportamiento del porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM .....	42
<b>Figura 7.</b> Comportamiento del V.M.A de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM.....	43
<b>Figura 8.</b> Comportamiento del V.LL.C.A. de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM.....	44

## Resumen

Esta investigación determina la influencia en el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica al adicionarle carbón Mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022. Se hizo uso de una metodología del tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental para la población conformada por el ámbito de estudio del pavimento con ceniza de carbón mineral, la muestra estuvo conformada por la cantidad de briquetas elaboradas para los ensayos. El procedimiento se basó diseñar una mezcla asfáltica convencional por el método Marshall y a esta mezcla asfáltica añadirle porcentajes de 3%, 4% y 5% de ceniza de carbón mineral para luego evaluar sus propiedades Marshall.

Luego de los ensayos los resultados mostraron que el valor el valor de la relación estabilidad/flujo obtuvo un máximo valor de 3607.6 kg/cm lo cual resulto 140.4 kg/cm menor que el de la mezcla asfáltica convencional y el valor del porcentaje de vacíos obtuvo su mínimo valor de 3.1% lo cual resulto 1.15% menor que el de la mezcla asfáltica convencional. A partir de los resultados se concluyó que el porcentaje optimo que genera mejor comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica es la adición de 4% de ceniza de carbón mineral.

**Palabras clave:** Mezcla asfáltica, ceniza de carbón mineral, comportamiento mecánico, ensayo Marshall

## **Abstract**

This research determines the influence on the mechanical behavior of an asphalt mix by adding mineral coal in different percentages - Lima 2022. A methodology of the type applied with a quantitative approach and experimental design was used for the population made up of the area of study of the pavement. with mineral coal ash, the sample consisted of the number of briquettes made for the tests. The procedure was based on designing a conventional asphalt mix by the Marshall method and adding percentages of 3%, 4% and 5% of mineral coal ash to this asphalt mix to later evaluate its Marshall properties.

After the tests, the results showed that the value of the stability/flow ratio obtained a maximum value of 3607.6 kg/cm, which was 140.4 kg/cm lower than that of the conventional asphalt mix and the value of the percentage of voids obtained its minimum value of 3.1% which was 1.15% lower than that of the conventional asphalt mix. Based on the results, it was concluded that the optimum percentage that generates the best mechanical behavior in the asphalt mix is the addition of 4% of mineral coal ash.

**Keywords:** Asphalt mix, mineral coal ash, mechanical behavior, Marshall test

## **I. INTRODUCCIÓN**

A nivel global para apoyar la movilidad intrarregional e interregional y para impulsar su desarrollo económico y regional, cada zona o nación necesita una red de infraestructuras de transporte de alta calidad y eficiente (Polyzos y Tsiotas, 2020). Según BBC MUNDO (2015), el desarrollo de la infraestructura vial no siempre está correlacionado con la riqueza o la pobreza. Un claro ejemplo de ello se observa en los países de América Latina, donde las economías prósperas han luchado recientemente por pavimentar sus carreteras mientras que otros países con menos recursos han logrado construir carreteras que mejoran la calidad de vida de sus ciudadanos e impulsan la productividad de las empresas. Según el Banco Mundial, Ciertos países actualmente tienen problemas claros en sostener sus vías, como es el caso de Haití, Paraguay, Colombia, Nicaragua y Bolivia debido a lo cual los habitantes están insatisfechos con la situación de las carreteras. En consecuencia, es importante construir más carreteras, pero dentro de los parámetros del principio de circularidad de los materiales para una fabricación más sostenible de las mezclas asfálticas (Moura et al.,2022). El principio de circularidad en las mezclas asfálticas, según Wozzuk, Bandura y Franus (2019), trata de sustituir total o parcialmente los áridos y rellenos convencionales por residuos o subproductos, que también pueden utilizarse para modificar el ligante asfáltico. Al modificar las mezclas de asfalto para integrar materiales de desecho, se consumen menos minerales extraídos de forma natural, lo que disminuye la huella de carbono y reduce los efectos negativos de la industria de pavimentos en el medio ambiente (Loureiro, 2022). Además, la utilización de materiales de desecho reduce la deposición en vertederos y pilas y restringe la eliminación de enormes cantidades de residuos producida a partir de varias fuentes (Choudhary, Kumar y Gupta, 2020).

Por otro lado, en el contexto nacional, según el MTC (2020), de la red vial existente en el Perú el 84 % se encuentra en condición de no pavimentada, lo cual representa un problema dado que la carencia de estas es una traba para el desarrollo nacional, ya que las vías son muy valiosas para el avance del Perú. Además, según la oficina de estadística del MTC (2020), la mayoría de las vías que ya están pavimentadas

presentan deficiencias significativas, estas deficiencias que se hallan en los pavimentos se asocian a lo económico y administrativo. Por lo que, a nivel económico se da la elección del diseño con menor costo y a nivel administrativo se tiene la falta de compromiso en la obtención de buen diseño del pavimento y la falta de supervisión al ejecutar. Además, otro problema a nivel nacional es la gran cantidad de desechos que generan las industrias modernas, por lo cual la eliminación de desechos y la protección de los recursos naturales se ha convertido en una de las principales preocupaciones en la actualidad (Kono, Ostermeyer y Wallbaum, 2018).

En el contexto local, en Lima le falta de vías pavimentadas es un asunto social que atañe a los gobiernos locales para que faciliten el desplazamiento de los usuarios de este servicio y es importante que se cuente con estas vías para evitar la saturación del tránsito vehicular.

Por lo mencionado anteriormente en la pavimentación de nuevas vías es importante adoptar estrategias viables para aprovechar materiales reciclables en la incorporación de las mezclas asfálticas para tener costos accesibles y reducir la contaminación ambiental (Ferrotti y Graziani, 2022). Por ello en la presente investigación se analizó la mezcla asfáltica con carbón mineral como aditivo con el objetivo de determinar las características y propiedades que el material puede crear para la mezcla; además de establecer ventajas y desventajas del uso de este material en el diseño de pavimentos flexibles.

En tal sentido se planteó como problema general lo siguiente: ¿De qué manera influye en el comportamiento mecánico de una Mezcla Asfáltica la adición de ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022?; y como problemas específicos se planteó lo siguiente : PE1 ¿De qué manera influye en la deformabilidad de la mezcla asfáltica la adición de ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022?, PE2: ¿De qué manera influye en la Resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica la adición de ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022” ?

En relación a la justificación se tiene que el presente estudio se justifica de manera

social debido a que se obtuvo mejoras en el asfalto modificado con adición de ceniza de carbón mineral, por lo cual se convierte en una alternativa para su aplicación en la construcción de nuevas vías que favorecerán al usuario para tener una alternativa viable y segura para su desplazamiento. Asimismo, se tiene la justificación teórica debido a que al obtener buenos resultados en las mezclas asfálticas al añadirle ceniza de carbón se promueve a que se realicen futuras investigaciones en la mezcla asfáltica con la adición de materiales similares al carbón. Por otro lado, la justificación metodológica se sustenta en el hecho de que este estudio pretende producir un conocimiento nuevo y fiable a través de una metodología rigurosa que pueda ayudar a los estudiantes con investigaciones relacionadas; el método utilizado fue la observación, la identificación del problema, la formulación de la hipótesis, la experimentación y el nuevo conocimiento (conclusiones). Además, es preciso destacar la justificación ambiental en la medida que se hace uso y/o aprovechamiento de materiales reciclables que coadyuvan a reducir el impacto ambiental y evitan el uso inapropiado como lo son la quema de estos o verterlos en cualquier lugar.

Asimismo, en lo referente al objetivo del estudio se planteó como objetivo general: Determinar la influencia en el Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica al adicionarle ceniza de Carbón Mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022. Los objetivos específicos son: OE1: Determinar la influencia en la deformabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022; OE2: Evaluar la influencia en la Resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022.

Finalmente, como Hipótesis de la presente investigación se tuvo, HG: Existe influencia significativa en el Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica al adicionarle ceniza de Carbón Mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022, HE1: Existe influencia significativa en la deformabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022, HE2: Existe influencia significativa en la Resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentaje – Lima 202

## II. MARCO TEÓRICO

A nivel internacional, se consideró a Carreño (2018) quien en su investigación planteó el objetivo de evaluar la viabilidad de la inclusión de residuos carbón (RC), en porcentajes de 5%, 10% y 20%, aun conservando el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente se puede reemplazar parcialmente en los agregados naturales. En esta investigación se empleó una metodología del tipo aplicada, donde se evaluó las propiedades mecánicas como el módulo dinámico, fatiga, CREEP y susceptibilidad a la humedad del asfalto modificado con RC. Luego de los ensayos obtuvieron como resultados que la estabilidad tuvo su máximo valor de 21350 N cuando se le añadió 20% de RC mostrando un incremento del 30% con respecto al asfalto convencional. En caso del Módulo Resiliente conforme aumentaba la temperatura la mezcla asfáltica con 20% de RC tuvo un aumento en su módulo de rigidez de 28% conforme a la mezcla asfáltica convencional. Y en caso del CREEP su valor disminuyó de 1.64% a 0.67% conforme aumentaba el valor de RC. A partir de estos resultados el autor llegó a la conclusión de que se puede incluir RC en las mezclas asfálticas ya que mejoran las propiedades mecánicas del asfalto convencional.

Liu, Zhang y Qu (2020), en su trabajo de investigación propusieron como objetivo estudiar los factores que afectan el desempeño con el uso de la ganga de carbón en la mezcla asfáltica emulsionada. Se empleó una metodología de diseño experimental ortogonal, donde se evalúa la estabilidad en agua de la mezcla asfáltica emulsionada con ganga de carbón mediante la prueba Marshall de inmersión. Luego de los ensayos se obtuvo como resultados que el 7,5 % es la cantidad óptima de asfalto emulsionado en la mezcla de asfalto emulsionado con ganga de carbón, pero se recomienda usar una combinación de 7,5 % de asfalto emulsionado, 6 % de ganga de carbón y 5 % de consumo de agua. A partir de estos resultados el autor llegó a la conclusión de que, con el aumento del contenido de ganga de carbón, la resistencia a la pérdida de agua de la mezcla asfáltica emulsionada aumenta gradualmente, y la estabilidad del agua de la mezcla de asfalto emulsionado se puede mejorar agregando ganga de carbón.

Cajinas et al. (2021), en su trabajo de investigación fijó el objetivo de optimizar el desempeño de la mezcla y el aumento de su vida útil. No se toma en cuenta la reducción de residuos plásticos que no tienen un buen manejo de los desechos. En este caso se consideró el modificante (blíster) y se tomó en cuenta lo necesario para que se cumpla las especificaciones de la metodología Superpave. Contando con el diseño se hizo los especímenes de ensayo evaluando su desempeño mediante pruebas de fatiga en cuatro puntos, rueda de Hamburgo, resistencia a tensión diametral y módulo dinámico. Según el buen comportamiento de la mezcla modificada, se hizo la evaluación de la sensibilidad en el pavimento; tal que las capas de la mezcla asfáltica resultan buenas utilizarla. La adición de GCR al modificar las mezclas asfálticas, tiene buenos beneficios, tal que en estas modificaciones resultan durables en relación con el requerimiento económico a largo plazo dado que reducen la cantidad o plazos de mantenimientos e incrementa la durabilidad, contribuyendo con la disminución de impactos negativos al medio por presentarse la quema de llantas con la cual se genera el CO<sub>2</sub>, que es tóxicos y altamente contaminante para el medio ambiente.

Polania (2021), en su investigación fijo como objetivo determinar una alternativa al uso de residuos sólidos industriales en la mezcla asfáltica tal que se determinó impactos ambientales debido a la producción, y la contaminación causal respecto a los suelos, atmosfera, las aguas y el alto consumo de energía, especialmente en mezclas asfálticas a altas temperaturas. Se considera que los residuos sólidos industriales aptos para la mezcla son cenizas de carbón, cerámica, polvos de hornos de cemento, escorias de cobre, escorias de hierro, escorias de acero, barro rojo, polvo de caucho, polvo de vidrio y restos de construcción, tal que sus propiedades físicas y mecánicas cumplan con requerimientos de la norma dada por Invías, y ajuste de propiedades naturales en mezcla asfáltica. Se dio que las cenizas volantes de carbón son llenantes minerales en porcentajes de 20% y 25% aumentando la resistencia a deformación, la humedad y resulta favorable para la estabilidad y flujo en mezclas semicalientes.

A nivel nacional se consideró a Rosales (2019), quien en su estudio fijó como objetivo determinar la resistencia al problema común de la deformación de las mezclas asfálticas en caliente con adición de un 10% de ceniza de carbón mineral, para dicha mezcla menciona que se empleó áridos de la cantera Rubén y se extrajo el carbón mineral de la mina Santa Cristina. Para dicho proceso se empleó la metodología aplicada porque se realizó el método Marshall con un total de 24 gránulos de briquetas de asfalto, optando por cuatro proporciones de asfalto de 4.0%, 4.5%, 5% y 5,5%. Como resultado se obtuvo que para la mezcla asfáltica en caliente convencional se obtuvo un máximo valor de porcentaje de vacíos de 4.59% y para la mezcla asfáltica en caliente con adición de 10% de ceniza de carbón mineral se obtuvo un máximo valor de porcentaje de vacíos de 4.78%. En el caso de porcentaje de vacíos en el agregado mineral se obtuvo un mismo máximo valor de 17.30% para la mezcla asfáltica en caliente convencional y la modificada con 10% de ceniza de carbón mineral. Y para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto también se obtuvo un mismo máximo valor de 74% para la mezcla asfáltica en caliente convencional y la modificada con 10% de ceniza de carbón mineral. A partir de estos resultados el autor llegó a la conclusión de que al adicionar 10% de ceniza de carbón mineral a la mezcla asfáltica en caliente se generan cambios favorables con respecto a los parámetros Marshall lo cual se traduce en una disminución de la deformabilidad y la pérdida de estabilidad.

Gonzales y Luquillas (2019), a nivel de su estudio precisaron como objetivo Mejorar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica convencional a fin de aumentar su vida útil a través de la adición de fibra acrílica. La metodología en la que se basó es aplicada. Luego de realizar ensayos Marshall al asfalto convencional y al asfalto modificado con adiciones de fibra acrílica se obtuvo como resultados que el valor del flujo para la mezcla asfáltica en caliente convencional fue de 3.12 mm y para las mezclas asfálticas en caliente modificadas con 0.10%, 0.15% y 0.20% de fibra acrílica el flujo obtuvo valores de 2.98 mm, 3.21mm y 3.37 mm respectivamente. Con respecto a la estabilidad para la mezcla asfáltica en caliente convencional se obtuvo un valor de 11.71 kN y para las mezclas asfálticas en caliente modificadas con 0.10%, 0.15% y 0.20% de fibra acrílica la estabilidad obtuvo valores de 13.71 kN, 12.13 kN y 11.87 kN

respectivamente. Y finalmente con respecto a la relación estabilidad flujo para la mezcla asfáltica en caliente convencional se obtuvo un valor de 3812.6 kg/cm y para las mezclas asfálticas en caliente modificadas con 0.10%, 0.15% y 0.20% de fibra acrílica la estabilidad obtuvo valores de 4685 kg/cm, 3852 kg/cm y 3595 kg/cm respectivamente. A partir de los resultados obtenidos los autores llegaron a la conclusión de que se obtuvieron mejoras en el comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica en caliente modificada con arcilla acrílica, lo que hizo viable la incorporación de fibra acrílica porque genera menor pérdida de resistencia debido al agua y mayor resistencia a deformarse; por lo tanto, tendrán mayor durabilidad y vida útil los pavimentos.

Huaquisto y Belizario (2018), hace mención que, el objetivo del estudio se enfoca en la adición de la ceniza volante en la dosificación de la mezcla de concreto con el propósito de mantener o aumentar la resistencia, así como proteger el medio ambiente. La metodología es aplicada porque se empleó como material de experimentación al concreto normal, pero lo peculiar es que se utilizaron cenizas volantes en promedio de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados que se llegó a obtener señalan las resistencias requeridas a los 28 días que tiene un promedio de 221 kg/cm<sup>2</sup>; para concreto con 2.5% de ceniza volante es de 223 kg/cm<sup>2</sup>, para el 5.0% es de 231 kg/cm<sup>2</sup>, para el 10.0% es de 200 kg/cm<sup>2</sup> y 15% es de 192 kg/cm<sup>2</sup>. En síntesis, la ceniza volante se podría emplear como material reemplazante del cemento en un rango menor al 10%, más allá de que este valor baja la resistencia del concreto, porque puede presentarse de manera perjudicial al momento de efectuar las inspecciones de calidad, tanto de los materiales y herramientas, como también de la obra.

Flores (2018), su objetivo fue el análisis de la adición del caucho por vía húmeda para estudiar el comportamiento mecánico en mezcla asfáltica. Se consideró un estudio mediante el método científico, cuyo enfoque es cuantitativo siguiendo un proceso estricto y sucesivo al recabar datos, siendo aplicada tal que se hizo para beneficio de la zona estudiada, siendo explicativa y experimental y su población fue en este caso

las 32 briquetas de concreto asfáltica. Dentro de los resultados que se obtuvo menciona que se calculó por medio de los parámetros de diseño de Marshall el contenido de asfalto de la mezcla convencional y las mezclas asfálticas modificadas con caucho (20%, 10% y 5%): porcentaje de vacíos, estabilidad, peso específico bulk, flujo y relación flujo. Se llegó a la conclusión que para mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla se debe considerar el caucho en porcentajes mayores al 5% para obtener un resultado óptimo.

Sánchez (2021), en su estudio que también adiciona a la mezcla asfáltica un componente diferente al tradicional tuvo como objetivo determinar la cantidad de caucho reciclado necesario para lograr una mezcla con mejores propiedades. La metodología empleada es aplicada porque se preparó las probetas, que fueron de 3 tipos de mezclas de asfalto: tradicionales, también mejoradas con 1% y con 2% de caucho, con ellos se desarrollaron 3 pruebas: Marshall, Modified Lottman y Static Creep para calcular propiedades mecánicas, sensibilidad al agua y grado de deformación, midiendo el cumplimiento de los estándares establecidos. En base a los resultados finales, se obtiene el cumplimiento del parámetro de Marshall con las mezclas asfálticas con 1% de contenido de caucho dadas en la norma MTC E 504 y 505, los cuales no se desvían del porcentaje óptimo de cemento asfáltico, en una estabilidad y cumplimiento del AASHTO T 283 Porcentaje mínimo, excede el caucho modificado al 2% en la resistencia a la tracción indirecta de la junta y reduce la deformación de la unidad. Se concluyó que la mezcla asfáltica con 1% total de caucho fue la mejor alternativa a las mezclas convencionales.

En relación con la teoría de la variable independiente, según Vicente (2013), el carbón es roca sedimentaria que tiene parte orgánica (macéales) y, en pocas cantidades, sustancias minerales, cuyo contenido es de agua y gases. Estos componentes orgánicos en mayoría provienen de la condensación de anillos polinucleares carbocíclicos, tal que el hidrógeno, carbono y oxígeno son relevantes y el nitrógeno y azufre son parte complementaria. El carbón tiene que ver con la carbogénesis que se

dio. Por ello, respecto al carbón resalta su situación petrográfica, asociado a su distribución y proporción de los minerales y macérales que lo conforman. Se clasifica como sigue en la Tabla 1:

**Tabla 1.** *Categorización del carbón*

<b>Tipo de carbón</b>	<b>Grupo</b>
Antracita	Meta antracita
	Antracita
	Semiantracita
Bituminoso	Bituminoso de bajo volátil
	Bituminoso de volátil intermedio
	Bituminoso A de alto volátil
	Bituminoso B de alto volátil
	Bituminoso C de alto volátil
Subbituminoso	Subbituminoso A
	Subbituminoso B
	Subbituminoso C
Lignito	Lignito A
	Lignito B

Fuente: Rosales,2019

Además, según Peña (2011), luego de la calcinación del carbón mineral a temperaturas aproximadas de 700 c<sup>o</sup> se obtiene el carbón mineral activado (ceniza de carbón) que está conformado por residuos que se da de descomponer los carbonatos, silicatos, sulfuros y otros por acción térmica. La composición química se manifiesta en óxidos, dándose como guía de los minerales que se presentan en el carbón, en especial, silicoaluminatos. De acuerdo con la Tabla 2 se puede observar esta

**Tabla 2.** Componentes químicos de la ceniza de carbón mineral

Óxidos	% en masa
SiO <sub>2</sub>	30 al 50%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15 al 35%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 al 20%
CaO	2 al 15%
MgO	1 al 4%
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	1 al 4%
SO <sub>3</sub>	1 al 3%
TiO <sub>2</sub>	0.5 al 2%

Fuente: Peña (2011)

**Figura 1.** Carbón Mineral



Fuente: Carbotecnia en línea

En relación con las teorías relativas a la variable dependiente, Padilla (2009) describe la mezcla asfáltica en caliente como la combinación de un ligante hidrocarbonado, los agregados, incluido el polvo mineral, y, por último, los aditivos, de forma que todas las partículas de los áridos estén muy bien recubiertas por una capa homogénea de ligante. El porcentaje de asfalto en la mezcla puede oscilar entre el 3% y el 6% del volumen total. Su procedimiento de producción se lleva a cabo calentando el ligante y

los áridos (aparte del polvo mineral, si es necesario), y debe aplicarse in situ a una temperatura sustancialmente superior a la del aire circundante.

El asfalto es un material que ha sido sometido a múltiples destilaciones mediante un proceso artificial o natural a base de petróleo (Díaz y Castro, 2017). El objetivo de utilizar el asfalto como aglutinante de los materiales pétreos es crear una masa homogénea y trabajable teniendo en cuenta las condiciones de carga, la impermeabilidad y su adecuada duración según las necesidades del proyecto (Rondón y Reyes, 2015). El grado de penetración y la viscosidad absoluta se utilizarán para clasificar el cemento asfáltico que se utilizará en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas en caliente. Los rasgos climáticos de la región, como se indica en el cuadro 3, determinarán su utilización.

**Tabla 3.** Elección del asfalto según temperatura media anual del lugar

TEMPERATURA MEDIA ANUAL			
24° C o más	24°C-15°C	15°C-5°C	Menos de 5°
40-50 O 60-70 O Modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto modificado

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG -2013 MTC. Perú

Los agregados de la mezcla bituminosa deben ser de un tipo que resista la acción del agua y el tráfico después de que se le haya colocado una capa de material asfáltico; si no es así, será esencial añadir un aditivo adhesivo con un historial de éxito para garantizar una buena adherencia. El agregado es un componente clave de las estructuras de empaque flexible. Soporta la carga generada por el tráfico y la transfiere a la capa inferior, por lo que es necesaria en cuanto a durabilidad, textura y resistencia mecánica, y la relación masa-volumen de la mezcla asfáltica es 75% y 88% 96%. Además, el material granular -el principal componente resistivo en una mezcla bituminosa- permite clasificar en tres tipos a la mezcla asfáltica en caliente y estos vienen a ser: mezclas de gradación abierta, mezclas de gradación densa y mezclas de gradación incompleta (Minaya y Ordoñez, 2006).

El porcentaje de agregados retenidos en la malla N° 4 se denominará agregado grueso y estará constituido por piedra y/o grava triturada. Los áridos gruesos deberán cumplir los siguientes requisitos enumerados en la Tabla 4.

**Tabla 4.** *Condiciones de los agregados gruesos que se utilizan en la mezcla asfáltica*

Ensayos	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM / AASHTO	
Durabilidad (a sulfato de sodio)	MTC E 209	ASTM C-88	10% máx.
Durabilidad (a sulfato de magnesio)	MTC E 209	ASTM C- 88	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	ASTM C- 131	35% máx.
Partículas chatas y alargadas	—	ASTM D- 4791	10% máx.
Caras fracturadas o más (≤ 3 millones de ejes equivalentes)	MTC E 210	ASTM D- 5821	40% min
Sales solubles totales	MTC E 219	ASTM D-1888	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	ASTM C- 118	según diseño
Adherencia	MTC E 519	AASHTO T-182	+ 95

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG -2013 MTC. Perú

El término "agregado fino" se refiere a la porción de agregados que pasan a través del tamiz No. 4, y debe estar compuesto por arena natural, piedra triturada, grava o escoria, o una mezcla de ambos. Estos materiales deben estar libres de grumos de arcilla u otros aglomerados de material fino, y deben estar formados por partículas ordenadas, compactas, algo angulares y de superficie rugosa. En la tabla 5 se especifican los siguientes requerimientos para los áridos finos.

**Tabla 5.** *Condiciones de los agregados finos que se utilizan en la mezcla asfáltica*

Ensayos	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM/ AASHTO	
Equivalente de arena	MTC E 209	ASTM D 2419	45% min.
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	MTC E 220	6 min
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	ASTM D 4318	N.P
Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	ASTM D 4318	N.P.
Sales solubles totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205	ASTM C 118	según diseño

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG -2013 MTC. Perú

El material de relleno de origen mineral, conocido como filler, debe utilizarse como relleno de vacíos, espesante del asfalto o, según la situación, como potenciador de la adherencia del par agregado-asfalto. Estará compuesto por materiales como polvo calcáreo, polvo de roca y/o cal hidratada no plástica. El polvo mineral o relleno se generará durante la trituración de los áridos de piedra o puede ser un producto manufacturado, normalmente cal hidratada o cemento portland. Siempre que se pueda confirmar que la sustancia preventiva no es plástica y no tiene actividad, está bien utilizar una parte de ella. Estas sustancias no deben incluir grumos, estar completamente secas para que puedan fluir libremente, y estar desprovistas de material extraño o indeseable. El filler empleado en la mezcla asfáltica debe cumplir con los requerimientos mostrados en la tabla 6.

**Tabla 6.** *Condiciones para el Filler*

<b>Malla</b>	<b>% que pasa (en peso seco)</b>
N° 30	100
N° 50	95-100
N° 200	80-100

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG -2013 MTC. Perú

La mezcla asfáltica debe presentar un comportamiento mecánico, por lo cual manifiesta propiedades mecánicas como la deformación, Resistencia al daño inducido por humedad y resistencia a la pérdida de estabilidad.

Se entiende por deformación de las mezclas asfálticas la deformación plástica que se produce debido a la carga o calentamiento repetido del tráfico en carreteras flexibles. En las proximidades del carril, que podría deformarse durante el deslizamiento o solidificarse, la piedra se reposicionará tras el inicio de la puesta en servicio. (Menéndez, 2006). Las mezclas asfálticas por lo general presentan deformaciones provocadas por muchos factores después de su puesta en circulación, principalmente las condiciones de funcionamiento y climáticas; los indicadores característicos para establecer la deformación se denominan flujo Marshall y estabilidad (MTC, 2016)

El método de Marshall es el diseño de mezclas asfálticas más recurrente en el Perú, mediante el cálculo de las proporciones de cada material y el ajuste de su resistencia

a la carga en términos de estabilidad y flujo, el proceso tiene como objetivo encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico para una adecuada mezcla asfáltica. (Rondon y Reyes, 2015). El diseño de la mezcla asfáltica se selecciona de acuerdo con el método Marshall para obtener la relación óptima de asfalto en base a dos factores principales: flujo Marshall y estabilidad. Se consideran como porcentajes de vacíos y agregados, respectivamente. Mide la cantidad de betún necesaria para hacer una mezcla asfáltica (Universidad de los Andes, 2002). En la Tabla 3 se detalla los requisitos para el modelamiento del diseño de la mezcla asfáltica.

**Tabla 7.** Requerimientos para la mezcla asfáltica en caliente

Parámetros de diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN
3. Flujo 0.01" (0.25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentajes de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 423-10		
<b>Inmersión - Compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa (min).	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia retenida % (min)	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto (2)	0.6-1.3	0.6-1.3	0.6-1.4
Relación Estabilidad/ flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 min.		

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones (EG-2013).

Las mezclas asfálticas en caliente de alta calidad funcionan bien porque incorporan los elementos necesarios en su diseño, fabricación y aplicación. Una variedad de

cosas contribuye a los pavimentos de mezcla en caliente de alta calidad. Entre ellos se encuentran la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento (Menéndez, 2012).

Las mezclas asfálticas en caliente de calidad funcionan eficazmente porque se consiguen las cualidades necesarias a lo largo del diseño, la producción y la colocación. Los pavimentos de mezcla en caliente de alta calidad pueden atribuirse a una serie de factores. Estos consisten en la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. (Menéndez, 2012).

La estabilidad es la capacidad de un asfalto para soportar desplazamientos y deformaciones bajo cargas de tráfico. Un pavimento inestable genera surcos (roderas), ondulaciones (corrugaciones) y otros indicadores que sugieren en la mezcla, mientras que un pavimento estable es capaz de conservar su forma bajo esfuerzos repetidos. Los requisitos de estabilidad deben establecerse a un nivel que pueda soportar el tráfico previsto, pero no más de lo necesario. Un pavimento con valores de estabilidad extremadamente altos es excesivamente rígido y, como resultado, menos duradero de lo previsto (Menéndez, 2012). En la tabla 4 se puede observar un cuadro causa efecto con respecto a la inestabilidad del pavimento.

**Tabla 8.** Pavimento inestable: causas y efectos

<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Demasiado asfalto en la mezcla	Ondulaciones, Ahuellamiento y afloramiento o exudación.
Demasiada arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual (MS-2)

Durabilidad, es la competencia de resistir a variables como el deterioro de los agregados, los cambios relacionados con la oxidación en las características del asfalto (oxidación) y la separación de las películas asfálticas. El tiempo, el tráfico o una mezcla de ambos pueden contribuir a estos problemas. Hay tres técnicas para aumentar la durabilidad de una mezcla. Utilizar todo el asfalto que se pueda, elegir un árido con una gradación gruesa que resista la separación, y planificar y compactar la mezcla para conseguir la mayor impermeabilidad. En la tabla 5 se puede observar un cuadro causa efecto con respecto a una poca durabilidad del pavimento

**Tabla 9.** Pavimento de poca durabilidad: causas y efectos

<b>POCA DURABILIDAD</b>	
<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Bajo contenido de asfaltos.	Endurecimiento rápido de asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano de asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles de agua (hidrofílicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual (MS-2)

La Impermeabilidad consiste en la capacidad de resistir el paso de aire y agua a su interior por medio de él. Dado que esta propiedad está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, la impermeabilidad es un tema importante de discusión cuando se habla del porcentaje de vacíos en las secciones de diseño de la mezcla. Por otro lado, indica la cantidad de vacíos que indica la cantidad de aire y agua que pasa por medio del pavimento. Así mismo, está determinado por el tamaño de los vacíos, desligándose de la conexión, y por el acceso que tienen a la superficie.

A pesar de que la impermeabilidad resulta crucial para la longevidad de las mezclas compactadas, la mayoría de las mezclas de asfalto utilizadas en la construcción de carreteras tienen algún nivel de permeabilidad. Si la permeabilidad se mantiene dentro de los rangos especificados, está bien. Los valores de permeabilidad bajos para los pavimentos asfálticos tienen una variedad de causas y efectos, que se detallan en la Tabla nº 6.

**Tabla 10. Permeabilidad: Causas y efectos**

<b>ALTA PERMISIBILIDAD EN LA MEZCLA</b>	
<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Bajo contenido de asfaltos.	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual (MS-2)

La trabajabilidad, denota la facilidad de la mezcla de pavimentación para su colocación y compactación. Ajustando la granulometría y el tipo de agregado, se pueden mejorar las propiedades de la mezcla. En consecuencia, una buena trabajabilidad permite una fácil colocación de los agregados, tipos de agregados y/o granulometría.

Las mezclas tiernas son aquellas que pueden ser fácilmente trabajadas o deformadas. Las mezclas tiernas no pueden colocarse o compactarse correctamente porque son demasiado inestables. Suelen ser el resultado de un poco cantidad de relleno mineral, un exceso de arena de tamaño medio, partículas de áridos redondeadas y lisas, y/o

una cantidad excesiva de humedad en la mezcla. En la tabla 7 se incluyen algunos factores y consecuencias referidos con la trabajabilidad de las mezclas de pavimentación.

**Tabla 11.** *Inadecuada trabajabilidad: causas y efectos*

<b>MALA TRABAJABILIDAD</b>	
<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Tamaño máximo de partícula grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente perméable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual (MS-2)

La flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para aceptar el asentamiento progresivo y el movimiento de la subrasante sin agrietarse. La flexibilidad es una característica deseable de cualquier pavimento asfáltico porque casi todas las subbase se hunden (bajo carga) o se hinchan (debido a la expansión del suelo). El cumplimiento se refiere a la capacidad de un pavimento de asfalto para acomodar el movimiento de la carretera y el hundimiento gradual sin agrietarse. En comparación con una mezcla densamente graduada con baja concentración de asfalto, una mezcla de grado abierto con alto porcentaje de asfalto suele ser más flexible. A menudo es necesario encontrar un equilibrio entre los requisitos de flexibilidad y estabilidad para evitar conflictos entre estas dos características.

La resistencia a la fatiga es la capacidad de soportar flexiones repetidas mientras se soportan cargas. A través de la investigación, se ha establecido que la viscosidad y los vacíos (asociados al contenido de asfalto) tienen un impacto significativo en la resistencia a la fatiga. La resistencia a la fatiga de un pavimento (la cantidad de tiempo durante el cual un pavimento es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye a medida que aumenta el porcentaje de vacíos en el pavimento, ya sea debido al diseño o a la falta de compactación. Además, un pavimento que contiene asfalto que ha envejecido y soportado mucho tiene menos resistencia a una fuerza. Los factores que contribuyen a la baja resistencia a la fatiga se enumeran en la Tabla N° 8.

**Tabla 12. Resistencia inadecuada a la Fatiga: causas y efectos**

<b>MALA RESISTENCIA A LA FATIGA</b>	
<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano de asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano de asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual (MS-2)

La resistencia al deslizamiento es la capacidad de un pavimento para reducir el deslizamiento de las ruedas, especialmente cuando el pavimento está mojado. En lugar de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento, el neumático debe ser capaz de mantener el contacto con las partículas de los áridos para tener una adecuada resistencia al deslizamiento (hidroplaneo).

La resistencia al deslizamiento es mayor si la superficie del pavimento es rugosa áspera que si es lisa. Una superficie rugosa no es la única necesidad de los agregados; también deben ser resistentes al pulido (alisado) por el tráfico. La resistencia al deslizamiento es un problema importante en las mezclas inestables que tienen tendencia a deformarse o a exudarr (el asfalto fluye hacia la parte superior). Los

factores que contribuyen a una baja resistencia al deslizamiento se presentan en la Tabla 9.

**Tabla 9.** *Poca Resistencia al Deslizamiento: causas y efectos*

<b>POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO</b>	
<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual (MS-2)

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

##### Tipo de investigación

Según Jilcha (2019), un tipo de investigación aplicada es el camino por el que se plantean los problemas y objetivos y presentar logros mediante datos logrados en el período de estudio.

Por lo tanto, esta investigación es de tipo aplicado debido a que se trata de determinar las ventajas que nos da el carbón mineral en la mezcla asfáltica.

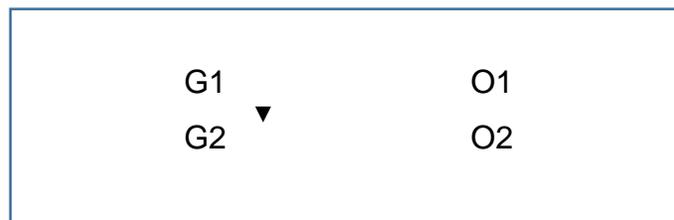
Según Hammed (2020), el estudio cuantitativo corresponde al enfoque racional y los datos numéricos utilizados para interpretar los resultados. También, Valderrama (2015) menciona que, mediante el análisis cuantitativo, se analiza los datos de las variables.

Entonces el presente estudio presenta un enfoque cuantitativo debido a que se interpretan los resultados válidos para mejorar el problema existente.

##### Diseño de investigación

En relación al diseño experimental Valderrama (2015), mencionó que se busca encontrar mejoras respecto al estudio realizado en la medida de hacer mejoras en las características de la variable, tal que se analiza las variaciones habidas en el estudio. La presente investigación es de diseño experimental debido a que se propone la mejora de la mezcla asfáltica con cenizas de carbón mineral en los pavimentos

**Figura 2.** *Diseño de Investigación*



Esquema de variable independiente y dependiente

### **3.2 Variables y operacionalización**

#### **Variables**

Variable independiente: Ceniza de carbón mineral

Según Carreño (2018), el polvo de carbón y las cenizas de carbón han sido objeto de varias investigaciones y, desde entonces, se han convertido en un valioso subproducto en el hormigón hidráulico, las mezclas asfálticas en caliente, las mezclas asfálticas en frío y la estabilización de la subrasante.

Variable dependiente: Mezcla asfáltica

Según Villalobos (2014), las mezclas asfálticas son materiales viscoelásticos cuyas características están influenciadas por la temperatura y la frecuencia de las aplicaciones de carga, lo que a su vez afecta a cómo se comportarán cuando se pongan en uso.

## Operacionalización

**Tabla 13. Operacionalización de las variables**

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES DE MEDICIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN
V.I.: Ceniza de carbón Mineral	Según Carreo (2018), el polvo de carbón y las cenizas de carbón han sido objeto de varias investigaciones y, desde entonces, se han convertido en un valioso subproducto en el hormigón hidráulico, las mezclas asfálticas en caliente, las mezclas asfálticas en frío y la estabilización de la subrasante.	Este material se añade en porcentajes de 3%, 4% y 5% a la mezcla asfáltica con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.	Características Físicas	Peso específico	N/m <sup>3</sup>	Nominal
				Granulometría	%	Razón
			Dosificación	3% de ceniza de carbón mineral	%	Razón
				4% de ceniza de carbón mineral		
				5% de ceniza de carbón mineral		
V.D.: Mezcla asfáltica	Según Villalobos (2014), las mezclas asfálticas son materiales viscoelásticos cuyas características están influenciadas por la temperatura y la frecuencia de las aplicaciones de carga, lo que a su vez afecta a cómo se comportarán cuando se pongan en uso.	El comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica se mide a través de la relación estabilidad/flujo y el porcentaje de vacíos, los cuales permiten estimar la deformabilidad y la resistencia al daño inducido por humedad y a la pérdida de estabilidad	Deformabilidad	Estabilidad	kN	Nominal
				Flujo	mm	Nominal
				Relación Estabilidad/flujo	kg/cm	Nominal
			Resistencia al daño inducido por humedad y a la pérdida de estabilidad	Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% V.M.A.)	%	Razón
				Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (% V.F.A.)	%	Razón
				Porcentaje de vacíos (%)	%	Razón

Fuente: Elaboración propia

### **3.3 Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

Magid (2016), precisó sobre población que es aquel grupo objetivo para estudiar en una investigación. En ese sentido, la población de esta investigación está conformada por el ámbito de estudio del pavimento con el material propuesto.

#### **Muestra**

Según Hernández y Mendoza (2018), la muestra es una fracción de la población, tal que es válida para recolectar datos específicos y son representativas.

Por lo que, en este estudio, se considera como muestra a la cantidad de briquetas elaboradas para los ensayos.

#### **Muestreo**

Cabezas, Andrade y Torres (2018), el muestreo hace posible aplica a la muestra y de acuerdo con el criterio de selección de elementos sustentados según el estudio efectuado. Por lo que en este caso particular se obvia el muestreo.

#### **Unidad de análisis**

La unidad de análisis en esta investigación fueron las briquetas de mezcla asfáltica sin y con adición de ceniza de carbón

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

#### **Técnicas de recolección de datos**

Los autores Navarro *et al.* (2017), manifestaron que es preciso las mediciones y evaluaciones de instrumentos tomados en cuenta en la investigación. Y, en este caso la técnica se realiza mediante la observación de los resultados logrados en los ensayos y los registros de los mismos para su consolidación.

#### **Instrumentos de recolección de datos**

Según Baena (2015), los instrumentos son el respaldo a las técnicas cumpliendo una misión. En la presente investigación se utilizaron Fichas de recolección de Datos.

### **3.5 Procedimientos**

En el presente estudio se realizaron diferentes procesos para el análisis del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica con el agregado de carbón mineral. Para esto, se mostró el ensayo de Marshall, cuyo procedimiento se establece en el MTC E 504 correspondientes que permitieron comprobar que dicha mezcla asfáltica es un material adecuado para el uso de vías.

A continuación, se presentaron los siguientes pasos:

#### **Paso 1: Caracterización de los agregados**

- Mediante los ensayos solicitados por la normativa

#### **Paso 2: Preparación de los especímenes**

- Se elabora las probetas Marshall

#### **Paso 3: Cálculo de su densidad**

- Apoyo de una balanza

#### **Paso 4: Cálculo de la estabilidad**

- Apoyo del equipo Marshall

#### **Paso 5: Cálculo del flujo**

- Apoyo del equipo Marshall

#### **Paso 6: Cálculo de la relación flujo/estabilidad**

- Apoyo del equipo Marshall

#### **Paso 7 Cálculo del porcentaje de vacíos**

- Apoyo del equipo Marshall

### **3.6 Método de análisis de datos**

Ghood jani (2016), Señaló que es necesario el uso de software para describir datos, gráficos, tablas y estadísticas descriptivas para ilustrar los resultados obtenidos.

En este caso, |se realizarán ensayos y comprobaciones de propiedades mecánicas mediante ensayos de resistencia, registrándose los resultados en las tablas facilitadas

por el laboratorio. Con los datos procesados, se generarán gráficos que lo ilustraron y se representaron mediante frecuencias y tablas en Excel.

### **3.7 Aspectos éticos**

Al respecto, se cumple con lo precisado en el protocolo de la Universidad acorde con la resolución vicerrectoral, software antiplagio turnitin, Referencias Estilo ISO 690 Y 690-2 para las citas en la redacción, así como para la bibliografía aplicados a este estudio investigativo. Asimismo, se cumple con los principios de aporte y beneficios para bien de las organizaciones y entidades en las cuales se hace el estudio, siendo importante tener elementos probatorios de los logros alcanzados de manera técnica.

#### IV. RESULTADOS

En la presente investigación se planteó como objetivo general determinar la variación del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica al adicionarle Carbón Mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022. Por ello se realizó el ensayo Marshall en la mezcla asfáltica en caliente convencional y en la mezcla asfáltica con incorporación de ceniza de carbón en diferentes porcentajes (3%, 4% y 5%).

Para poder realizar el ensayo Marshall primeramente se caracterizó los agregados que se emplearon en el diseño de mezcla asfáltica en caliente. Esta caracterización consistió en realizar el análisis granulométrico de los agregados, realizar Abrasión los ángeles, determinar el porcentaje de sales solubles totales, hallar la durabilidad al sulfato de sodio y magnesio, determinar la gravedad específica y absorción, establecer el porcentaje de caras fracturadas, hallar el porcentaje de partículas chatas y alargadas, determinar el equivalente de arena y hallar los límites de consistencia.

En la tabla 14 y 15 se muestra la caracterización de la Grava triturada de la cantera chillón que se utilizara en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente.

**Tabla 14.** *Análisis granulométrico de la Grava triturada- Cantera Chillón*

TAMIZ ASTM	ANALISIS GRANULOMÉTRICO				
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	687.0	60.8	60.8	39.2
3/8"	9.525	375.0	33.2	94.0	6.0
1/4"	6.350	-	-		
N° 4	4.760	63.0	5.6	99.6	0.4
N° 6	3.360	-	-		
N° 8	2.380	5.0	0.4	100.0	0.0
N° 10	2.000	-	-		
N°16	1.190	-	-		
N° 20	0.840	-	-		
N° 30	0.590	-	-		
N° 40	0.426	-	-		
N° 50	0.297	-	-		
N° 80	0.177	-	-		
N° 100	0.149	-	-		
N° 200	0.074	-	-		0.0
-200	-	-	-		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se observa que las proporciones de agregados que conforman la Grava triturada son: 99.6 % de agregado grueso, 0.4% de agregado Fino y 0.0% de fino malla 200.

**Tabla 15. Caracterización de la grava triturada - Cantera Chillón**

CARACTERISTICAS		VALOR	NORMA	
			Ensayo	REQUERIMIENTO ( $\leq$ 3000 m.s.n.m)
Contenido de Humedad		0.4 %	ASTM D-2216	.....
Abrasión los Ángeles		17 %	MTC E207	40% máx.
Sales solubles totales		0.09 %	MTC E219	0.5 máx.
Durabilidad al sulfato de sodio y magnesio		3.76 %	MTC 209	18% máx.
Gravedad específica y absorción	Peso Específico bulk (base seca)	2.722 g/cc	MTC E206	....
	Pes Específico bulk (base saturada)	2.735 g/cc		.....
	Peso Específico aparente (base seca)	2.756 g/cc		...
	Porcentaje de absorción	0.4 %		1.0% máx.
Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	Una o más caras	90.31 %	MTC E210	85/50
	Dos o más caras fracturadas	77.15 %		
Partículas chatas y alargadas		6.52 %	ASTM D4791	10% máx.

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 15 se observa que todas las características de la Grava triturada están dentro de los parámetros que establece la normativa peruana.

Luego de la caracterización de la Grava triturada se realizó la caracterización de la Arena triturada – Cantera Chillón, cuyos resultados se presentan en las tablas 16 y 17.

**Tabla 16. Análisis granulométrico de la Arena triturada- Cantera Chillón**

TAMIZ ASTM	ANALISIS GRANULOMÉTRICO				
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa
1"	25.400	0	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	-	100.0
N° 4	4.760	77.3	10.8	<b>10.8</b>	89.2
N° 6	3.360	-	-	<b>10.8</b>	89.2
N° 8	2.380	295.4	41.2	<b>52.0</b>	48.0
N° 10	2.000	35.2	4.9	<b>56.9</b>	43.1
N°16	1.190	143.8	20.1	<b>76.9</b>	23.1
N° 20	0.840	45.9	6.4	<b>83.3</b>	16.7
N° 30	0.590	27.6	3.8	<b>87.2</b>	12.8
N° 40	0.426	15.1	2.1	<b>89.3</b>	10.7
N° 50	0.297	8.2	1.1	<b>90.4</b>	9.6
N° 80	0.177	8.5	1.2	<b>91.6</b>	8.4
N° 100	0.149	2.3	0.3	<b>91.9</b>	8.1
N° 200	0.074	8.6	1.2	<b>93.1</b>	6.9
-200	-	49.2	6.9	100.0	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16 se interpreta que las proporciones de agregados que conforman la Arena triturada son: 10.8% de agregado grueso, 89.2% de agregado Fino y 0.0% de fino malla 200.

**Tabla 17. Caracterización de la Arena triturada - Cantera Chillón**

CARACTERISTICAS		VALOR	NORMA	
			Ensayo	REQUERIMIENTO (≤ 3000 m.s.n.m)
Contenido de Humedad		0.8 %	ASTM D-2216	.....
Equivalente de arena		68 %	MTC E514	60-70
Límites de Consistencia	Límite Líquido	N.P	MTC E 111	.....
	Límite Líquido	N.P		
Gravedad específica y absorción	Peso Específico bulk (base seca)	2.696 g/cc	MTC E205	.....
	Pes Específico bulk (base saturada)	2.719 g/cc		.....
	Peso Específico aparente (base seca)	2.76 g/cc		.....
	Porcentaje de absorción	0.9 %		0.5 % max.
Durabilidad al sulfato de sodio y magnesio		3.5 %	MTC 209	.....
Sales solubles totales		0.08 %	MTC E219	0.5 % max.
Azul de metileno		5 mg/g	AASHTO TP 57	8 mg/g max

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 17 se interpreta que todas las características de la Arena triturada están dentro de los parámetros que establece la normativa peruana.

Luego de la caracterización de la grava triturada y Arena triturada se realizó la caracterización de la Arena natural – Cantera Chillón, cuyos resultados se presentan en la tabla 18 y 19.

**Tabla 18.** Análisis granulométrico de la Arena natural- Cantera Chillón

TAMIZ ASTM	ANALISIS GRANULOMÉTRICO				
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	-	100.0
N° 4	4.760	38.9	4.3	4.3	95.7
N° 6	3.360	-	-	4.3	95.7
N° 8	2.380	115.3	12.9	17.2	82.8
N° 10	2.000	27.2	3.0	20.2	79.8
N°16	1.190	115.2	12.9	33.1	66.9
N° 20	0.840	74.3	8.3	41.4	58.6
N° 30	0.590	74.5	8.3	49.7	50.3
N° 40	0.426	72.7	8.1	57.8	42.2
N° 50	0.297	65.7	7.3	65.1	34.9
N° 80	0.177	139.3	15.5	80.7	19.3
N° 100	0.149	40.3	4.5	85.2	14.8
N° 200	0.074	54.6	6.1	91.3	8.7
-200	-	78.1	8.7	100.0	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 se observa que las proporciones de agregados que conforman la Arena triturada son: 4.3% de agregado grueso, 95.7% de agregado Fino y 0.0% de fino malla 200.

**Tabla 19. Caracterización de la Arena triturada - Cantera Chillón**

CARACTERISTICAS		VALOR	NORMA	
			Ensayo	REQUERIMIENTO ( $\leq 3000$ m.s.n.m)
Contenido de Humedad		0.7 %	ASTM D-2216	.....
Equivalente de arena		58 %	MTC E514	60-70
Límites de Consistencia	Límite Líquido	N.P	MTC E 111	.....
	Límite Líquido	N.P		
Gravedad específica y absorción	Peso Específico bulk (base seca)	2.628 g/cc	MTC E205	.....
	Pes Específico bulk (base saturada)	2.648 g/cc		.....
	Peso Específico aparente (base seca)	2.681 g/cc		.....
	Porcentaje de absorción	0.8 %		0.5 % max
Durabilidad al sulfato de sodio y magnesio		6.15 %	MTC 209	.....
Sales solubles totales		0.11 %	MTC E219	0.5 % max
Azul de metileno		7.5 mg/g	AASHTO TP 57	8 mg/g max

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 19 se interpreta que todas las características de la Arena natural están dentro de los parámetros que establece la normativa peruana.

Una vez realizado la caracterización de los agregados se planteó tres tipos de mezclas para los agregados y se analizó su granulometría y verificó según la MAC-2 de la normativa. Los tipos de mezclas y su respectivo análisis granulométrico se presentan en las tablas 20 y 22

**Tabla 20. Tipos de Mezcla de agregados**

MEZCLA	Grava triturada	Arena triturada	Arena natural	Filler
Mezcla N° 01	30%	30%	40%	0%
Mezcla N° 02	35%	30%	35%	0%
Mezcla N° 03	40%	30%	30%	0%

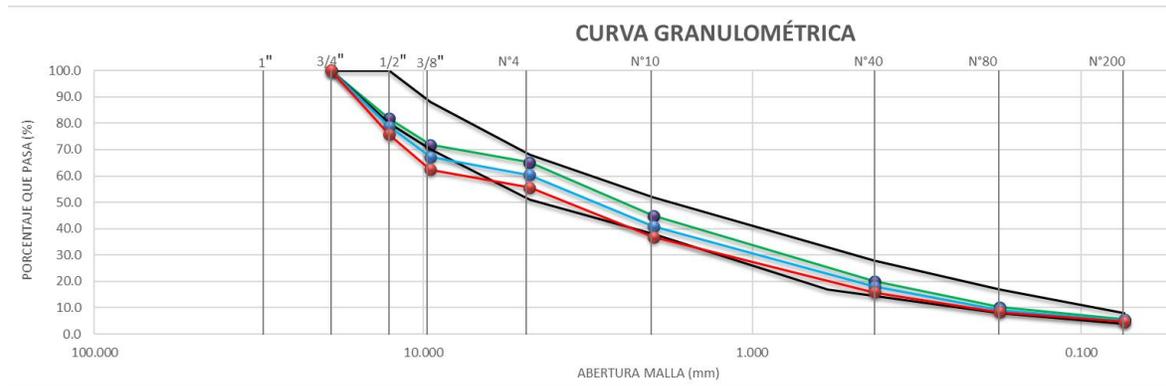
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21. Análisis de granulométrico de las mezclas de agregado sin ceniza de carbón mineral**

TAMIZ ASTM	ANALISIS GRANULOMÉTRICO					Mezcla N°.1	Mezcla N°.2	Mezcla N°.3	MAC-2	
	ABERT . mm	Grava triturada	Arena triturada	Arena natural	Filler	% Pasa	% Pasa	% Pasa		
1"	25.400								100.0	100.0
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.700	39.2	100.0	100.0		81.8	78.7	75.7	80.0	100.0
3/8"	9.525	6.0	100.0	100.0		71.8	67.1	62.4	70.0	88.0
1/4"	6.350									
N° 4	4.760	0.4	89.2	95.7		65.2	60.4	55.6	51.0	68.0
N° 6	3.360									
N° 8	2.380									
N° 10	2.000		43.1	79.8		44.8	40.9	36.9	38.0	52.0
N°16	1.190									
N° 20	0.840									
N° 30	0.590									
N° 40	0.426		10.7	42.2		20.1	18.0	15.9	17.0	28.0
N° 50	0.297									
N° 80	0.177		8.4	19.3		10.2	9.3	8.3	8.0	17.0
N° 100	0.149									
N° 200	0.074		6.9	8.7		5.5	5.1	4.7	4.0	8.0
-200	-									

Fuente: Elaboración propia

**Figura 2. Curva granulométrica de las mezclas de agregados**



Fuente: Elaboración propia

De la tabla 21 y la figura 2 se puede notar que la mezcla N°01 es la que se encuentra dentro de los parámetros de la MAC-2 para la construcción de carreteras de la normativa (EG-2013). Por lo tanto, la mezcla N° 1 es la que se utilizó para realizar la mezcla de agregados más ceniza de carbón mineral y también la que es la que se utilizó para realizar el diseño de la mezcla asfáltica convencional.

A continuación, en la tabla 22 y 23 se muestran los tipos de mezclas que se plantaron con la incorporación de ceniza de carbón mineral y además sus respectivos análisis granulométricos.

**Tabla 22. Tipos de Mezcla de agregados más Ceniza de carbón mineral**

MEZCLA	Grava triturada	Arena triturada	Arena natural	Ceniza de carbón mineral
Mezcla N° 01 + 3% de Ceniza de Carbón mineral	30%	30%	37%	3%
Mezcla N° 01 + 4% de Ceniza de Carbón mineral	30%	30%	36%	4%
Mezcla N° 01 + 5% de Ceniza de Carbón mineral	30%	30%	35%	5%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 22 se observa que entre los tipos de mezclas la dosificación de grava triturada y arena triturada se mantienen constantes y por el contrario la dosificación de arena y ceniza de carbón mineral varía.

**Tabla 23.** Análisis de granulométrico de las mezclas de agregado sin ceniza de carbón mineral.

TAMIZ ASTM	ANALISIS GRANULOMÉTRICO					Mezcla Nº.1 +3%CCM	Mezcla Nº.2 +4%CCM	Mezcla Nº.3 +5%CCM	MAC-2	
	ABERT. mm	Grava triturada	Arena triturada	Arena natural	Ceniza de Carbón mineral	% Pasa	% Pasa	% Pasa		
1"	25.400								100.0	100.0
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	100.0	100.0
1/2"	12.700	39.2	100.0	100.0	100.0	<b>81.8</b>	<b>81.8</b>	<b>81.8</b>	80.0	100.0
3/8"	9.525	6.0	100.0	100.0	100.0	<b>71.8</b>	<b>71.8</b>	<b>71.8</b>	70.0	88.0
1/4"	6.350									
Nº 4	4.760	0.4	89.2	95.7	100.0	<b>65.3</b>	<b>65.3</b>	<b>65.4</b>	51.0	68.0
Nº 6	3.360									
Nº 8	2.380									
Nº 10	2.000		43.1	79.8	96.7	<b>45.3</b>	<b>45.5</b>	<b>45.7</b>	38.0	52.0
Nº16	1.190									
Nº 20	0.840									
Nº 30	0.590									
Nº 40	0.426		10.7	42.2	45.3	<b>20.2</b>	<b>20.2</b>	<b>20.2</b>	17.0	28.0
Nº 50	0.297									
Nº 80	0.177		8.4	19.3	22.7	<b>10.3</b>	<b>10.4</b>	<b>10.4</b>	8.0	17.0
Nº 100	0.149									
Nº 200	0.074		6.9	8.7	9.6	<b>5.6</b>	<b>5.6</b>	<b>5.6</b>	4.0	8.0
-200	-									

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 23 se puede constatar que las tres mezclas con adición de porcentajes de ceniza de carbón (3%, 4% y 5%) están dentro de los parámetros de la MAC-2 para la construcción de carreteras de la normativa (EG-2013), por lo tanto, se emplearon para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente modificada.

Tras la realización de las fases anteriores, se utilizó la técnica Marshall para diseñar la mezcla asfáltica en caliente convencional. Para ello primero se planteó 4 porcentajes de contenido de asfalto y en base a los resultados del ensayo Marshall de estos se determinó el contenido óptimo de asfalto en la mezcla asfáltica en caliente convencional. En la tabla 24 se observa los diferentes contenidos de asfalto y sus respectivas dosificaciones de materiales para la mezcla que se emplearon para determinar el contenido de asfalto óptimo.

**Tabla 24.** *Contenidos de asfalto empleados para determinar el contenido optimo*

<b>MUESTRA Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
% Asfalto	4.9%	5.4%	5.9%	6.4%
Peso asfalto (gr)	59.5	65.6	71.7	77.8
Peso grava t. (gr)	346.6	344.8	343.0	341.2
Peso arena t. (gr)	346.6	344.8	343.0	341.2
Peso arena n. (gr)	462.2	459.8	457.3	454.9
Filler (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0
Total (gr)	1215.0	1215.0	1215.0	1215.0

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el ensayo Marshall para cada uno de las dosificaciones se obtuvo los resultados que se presentan en la tabla 17.

**Tabla 25.** *Resultados del ensayo Marshall para las muestras planteadas para hallar el óptimo contenido de asfalto*

<b>MUESTRA Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
% C.A.	4.9	5.4	5.9	6.4
P.U. BRIQUETA	2.371	2.396	2.406	2.408
VACÍOS	6.4	5.0	3.6	3.1
V.M.A.	15.8	15.4	15.5	15.9
V.LL.A	59.8	67.8	76.5	80.7
POLVO / ASF.	1.4	1.2	1.1	1.0
FLUJO	11.7	12.3	13.3	14.7
ESTABILIDAD	9.8	10.8	12.5	9.3
ESTAB / FLUJO	3370.1	3507.9	3738.9	2532.2

Fuente: Elaboración propia

A partir de la tabla 25 y de los grafico presentados en el anexo 3 se determinó el contenido óptimo de asfalto y las características Marshall para la mezcla asfáltica en caliente convencional, los cuales se muestran en la tabla 26.

**Tabla 26.** *Parámetros de diseño Marshall para la mezcla asfáltica en caliente convencional*

Parámetros de diseño		% Óptimo	Especificación EG 2013
GOLPES	N°	<b>75.0</b>	75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	<b>5.60</b>	
PESO NITARIO	kg/m <sup>3</sup>	<b>2.400</b>	
VACÍOS	%	<b>4.2</b>	3 - 5
V.M.A.	%	<b>15.4</b>	14
V. LL.C.A.	%	<b>70.7</b>	
POLVO / ASFALTO	%	<b>1.18</b>	0.6 - 1.3
FLUJO	0.01"(0.25 mm)	<b>12.7</b>	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	<b>11.89</b>	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	<b>3748.0</b>	1700 - 4000
RESISTENCIA RETENIDA	%	<b>81</b>	75

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 se observa que todos los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica convencional se encuentran dentro de los requerimientos solicitados por la norma. Por ello en base a esta mezcla asfáltica se realizará el diseño de las mezclas asfálticas con adiciones de porcentajes de ceniza de carbón.

El objetivo específico 1 de la presente investigación fue determinar la influencia en la deformabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022. Por lo cual a partir del diseño de la mezcla asfáltica convencional se realizó el ensayo Marshall para las mezclas asfálticas con adición de ceniza de carbón mineral (3%, 4% y 5%). En la tabla 19 y los gráficos 3, 4 y 5 se muestran los resultados de los indicadores que permiten evaluar la deformabilidad.

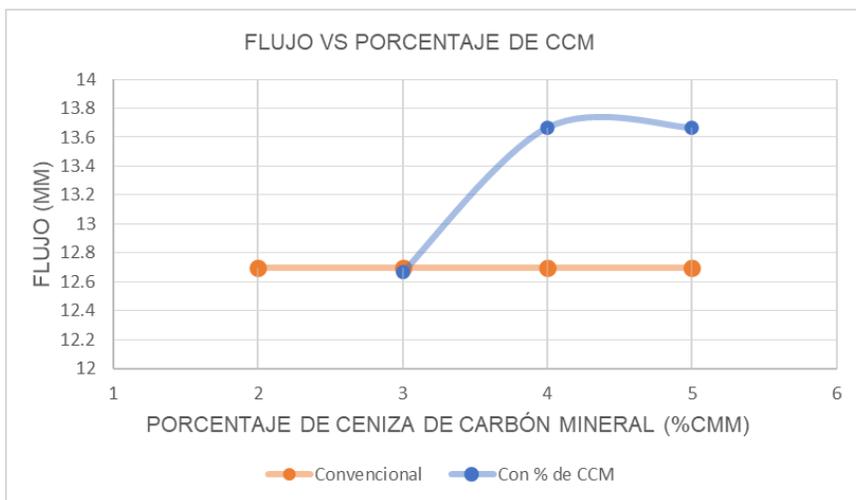
**Tabla 27.** Resultados para evaluar la deformabilidad de la mezcla asfáltica en caliente con adición de CCM

Parámetros de diseño		% Óptimo diseño convencional	Mezcla con 3.0% CCM	Mezcla con 4.0% CCM	Mezcla con 5.0% CCM	Especificación EG 2013
GOLPES	N°	75	75	75	75	75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.60	5.60	5.60	5.60	
FLUJO	0.01", 0.25 mm	12.7	12.7	13.7	13.7	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	11.9	11.2	12.3	12.0	8,15
ESTABILIDAD/FLUJO	kg/cm	3748.0	3551.7	3607.6	3517.4	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 27 se observa que los parámetros de flujo, estabilidad y estabilidad/flujo de la mezcla asfáltica en caliente modificada con porcentajes de ceniza de carbón mineral se encuentran dentro de los requerimientos solicitados para la construcción de carreteras de la normativa (EG-2013)

**Figura 3.** Comportamiento del flujo de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM

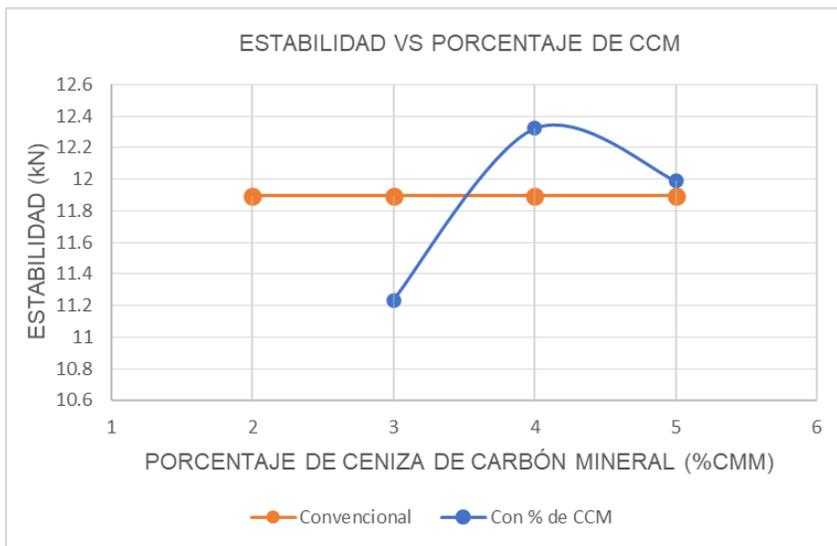


Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se observa que el valor del flujo de la mezcla asfáltica en caliente con adición de 3% de ceniza de carbón mineral (CCM) es similar al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, pero para valores de 4% y 5% de CCM el valor del flujo es

superior al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, obteniendo su máximo valor de 13.7 mm para un porcentaje de 4% de CCM. Entonces a partir de esto se observó que al adicionar porcentajes de 5% y 4% de CCM aumenta el valor del flujo lo cual se traduce en un aumento de la deformabilidad de la mezcla asfáltica en caliente modificada. Además, se puede interpretar del grafico mencionado que si se continuara adicionando porcentajes mayores de CCM el valor del flujo empezaría a disminuir.

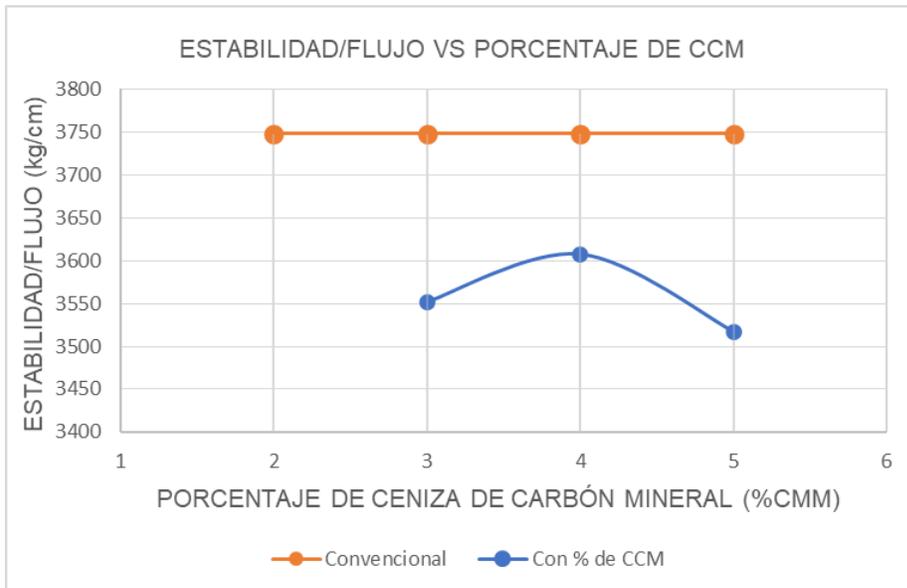
**Figura 4.** Comportamiento de la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se observa que el valor de la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente con adición de 3% de CCM es menor al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, pero para valores de 4% y 5% de CCM el valor del flujo es superior al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, obteniendo su máximo valor de 12.3 kN para un porcentaje de 4% de CCM. Entonces a partir de esto se observó que al adicionar porcentajes de 5% y 4% de CCM aumenta el valor de la estabilidad lo cual se traduce en un aumento de la resistencia a la deformabilidad de la mezcla asfáltica en caliente modificada. Además, se puede interpretar del grafico mencionado que si se continuara adicionando porcentajes mayores de CCM el valor de la estabilidad empezaría a disminuir.

**Figura 5.** Comportamiento de la relación estabilidad/flujo de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM



Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se observa que el valor de la relación estabilidad/flujo de la mezcla asfáltica en caliente para las adiciones de 3%, 4% y 5% es inferior al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, obteniendo su máximo valor de 3607.6 kg/cm para un porcentaje de 4% de CCM. Entonces a partir de esto se observó que al adicionar porcentajes de 3%, 5% y 4% de CCM disminuirá el valor de la relación estabilidad/flujo lo cual se traduce en que la mezcla asfáltica en caliente modificada tendrá menor resistencia ante las cargas y mayores deformaciones en comparación con la mezcla asfáltica en caliente convencional.

El objetivo específico 2 de la presente investigación fue evaluar la influencia en la Resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022. Por lo cual a partir del diseño de la mezcla asfáltica convencional se realizó el ensayo Marshall para las mezclas asfálticas con adición de ceniza de carbón mineral (3%, 4% y 5%). En la tabla 19 se muestran los resultados de los indicadores que

permiten evaluar la Resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad.

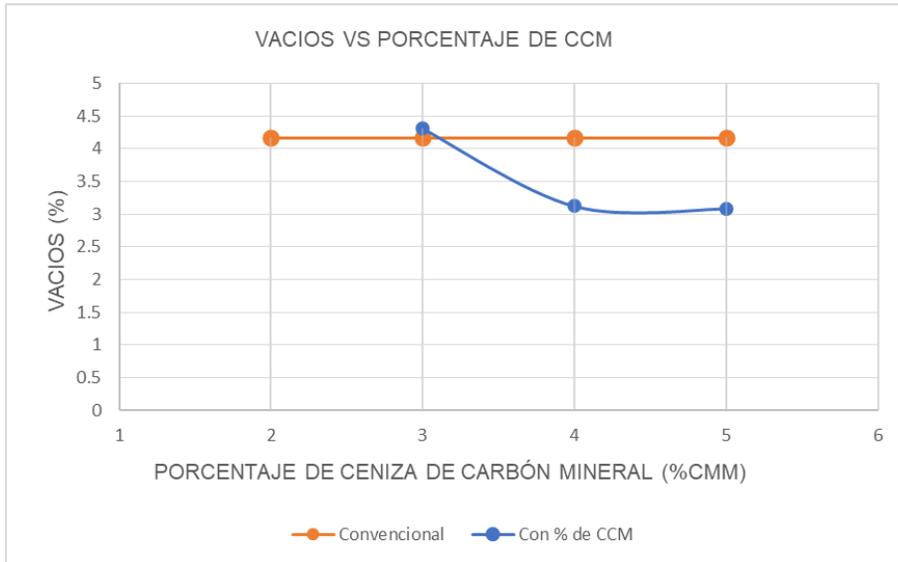
**Tabla 28.** Resultados para evaluar la resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente con adición de CCM.

Parámetros de diseño		% Óptimo diseño convencional	Mezcla con 3.0% CCM	Mezcla con 4.0% CCM	Mezcla con 5.0% CCM	Especificación EG 2013
GOLPES	N°	75	75	75	75	75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.60	5.60	5.60	5.60	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.400	2.388	2.411	2.405	
VACIOS	%	4.2	4.3	3.1	3.1	3 - 5
V.M.A.	%	15.4	15.9	15.0	15.3	14
V. LL.C.A.	%	70.7	72.8	79.3	79.8	
POLVO / ASFALTO	%	1.18	0.89	0.91	0.93	0.6 - 1.3

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28 se observa que los parámetros de Vacíos, Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.), Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A.) y la relación polvo/asfalto de la mezcla asfáltica en caliente modificada con porcentajes de ceniza de carbón mineral se encuentran dentro de los requerimientos solicitados para la construcción de carreteras de la normativa (EG-2013).

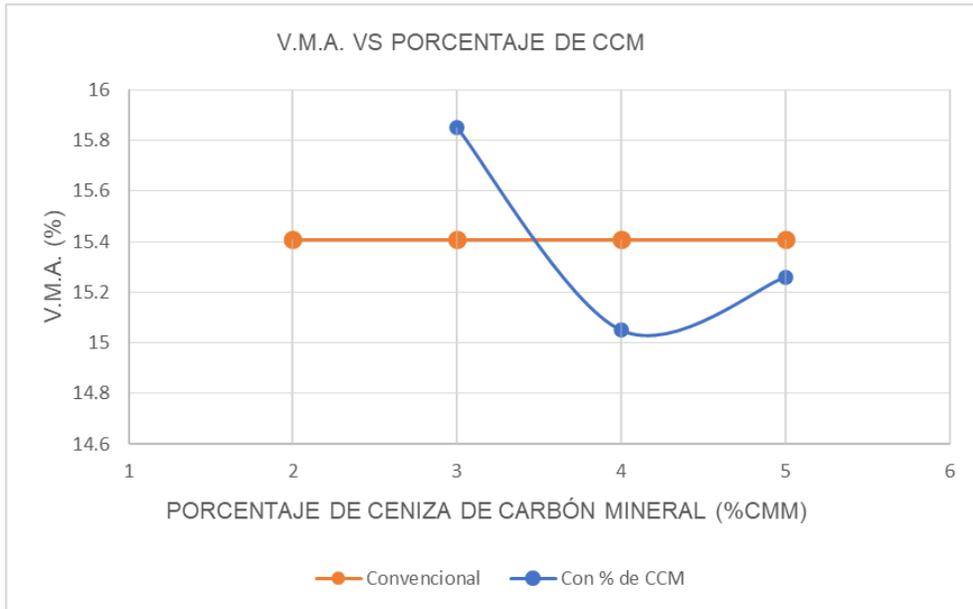
**Figura 6.** Comportamiento del porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM



Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se observa que el valor del porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente con adición de 3% de ceniza de carbón mineral (CCM) es similar al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, pero para valores de 4% y 5% de CCM el valor del porcentaje de vacíos es inferior al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, obteniendo su máximo valor de 4.3% para un porcentaje de 4% de CCM. Entonces a partir de esto se observó que al adicionar porcentajes de 5% y 4% de CCM reduce la cantidad de pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre partículas de agregado lo cual se traduce en una disminución de espacios que pueden generar exudación, pérdida de estabilidad o efectos dañinos del aire o el agua en la mezcla asfáltica en caliente modificada. Además, se puede interpretar del gráfico mencionado que si se continuara adicionando porcentajes mayores de CCM el valor de vacíos empezaría a disminuir aún más.

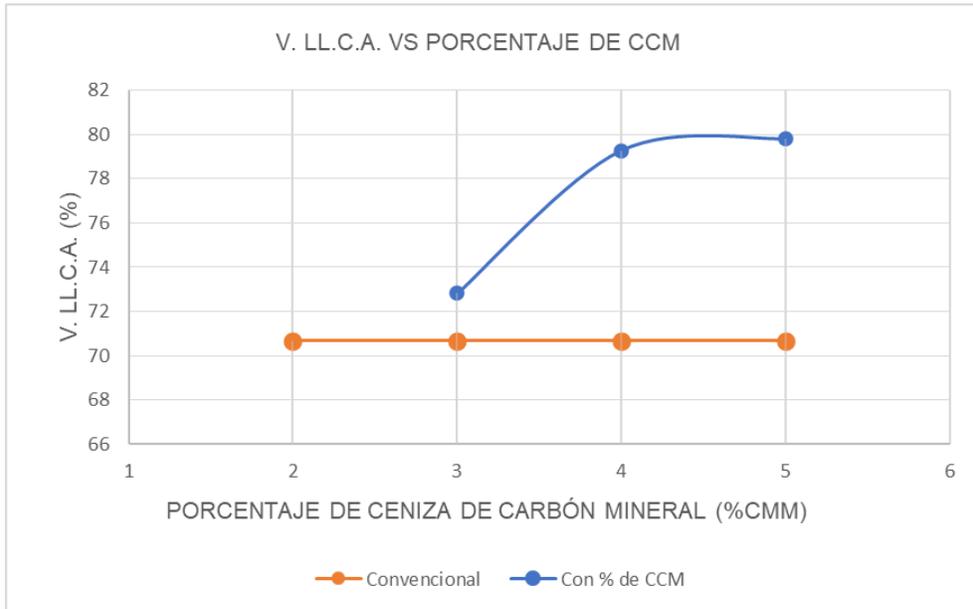
**Figura 7.** Comportamiento del V.M.A de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM



Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se observa que el valor del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.), de la mezcla asfáltica en caliente con adición de 3% de ceniza de carbón mineral (CCM) es superior al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, pero para valores de 4% y 5% de CCM el valor del V.M.A es inferior al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, obteniendo su máximo valor de 15.9% para un porcentaje de 4% de CCM. Entonces a partir de esto se observó que al adicionar porcentajes de 5% y 4% de CCM reduce el espacio intergranular que se hallan entre las partículas del agregado en la mezcla compactada lo cual se traduce en una disminución de espacios que pueden generar exudación, pérdida de estabilidad en la mezcla asfáltica en caliente modificada. Además, se puede interpretar del grafico mencionado que si se continuara adicionando porcentajes mayores de CCM el valor de V.M.A empezaría a aumentar.

**Figura 8.** Comportamiento del V.LL.C.A. de la mezcla asfáltica convencional y con incorporación CCM.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se observa que el valor del porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A.), de la mezcla asfáltica en caliente con adición de 3%, 4% y 5% de ceniza de carbón mineral (CCM) es superior al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, obteniendo su máximo valor de 79.8% para un porcentaje de 5% de CCM. Entonces a partir de esto se observó que al adicionar porcentajes de CCM aumenta los vacíos llenos de asfalto y se reduce el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada lo cual se traduce en una disminución de espacios que pueden generar exudación, pérdida de estabilidad o efectos dañinos del aire o el agua en la mezcla asfáltica en caliente modificada. Además, se puede interpretar del gráfico mencionado que si se continuara adicionando porcentajes mayores de CCM el valor de V.M.A empezaría a aumentar.

## V. DISCUSIÓN

En presente tesis se fijó como primer objetivo específico determinar la influencia en la deformabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022, Veropalumbo, Viscione y Formisano (2018) afirman que, para evaluar la deformabilidad, se debe tener en cuenta la relación estabilidad/flujo; la estabilidad Marshall ilustra la capacidad de la mezcla asfáltica para evitar el empuje y la formación de surcos. Por otra parte, el flujo demuestra la capacidad de la mezcla asfáltica para soportar asentamientos y deformaciones progresivas sin agrietarse. En esta investigación se determinó que el valor del flujo para la mezcla asfáltica en caliente convencional y la mezcla asfáltica en caliente modificada con 3% ceniza de carbón mineral obtuvieron valores iguales de 12.7 mm; pero para mezclas asfálticas en caliente modificadas con 4% y 5% de ceniza de carbón mineral se obtuvieron valores de 13.7 mm, cuyo valor representa un aumento de 7.87% respecto al valor de la muestra patrón, evidenciándose un influencia significativa en el flujo al adicionar ceniza de carbón mineral en la mezcla asfáltica convencional. Con respecto a la estabilidad se obtuvo que su valor fue variable conforme se le añadía porcentajes de ceniza de carbón mineral, obteniéndose para la mezcla asfáltica en caliente convencional un valor de 11.9 kN, para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 3% de ceniza de carbón mineral un valor de 11.2kN, para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 4% ceniza de carbón mineral un valor de 12.3 kN y para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 5% ceniza de carbón mineral un valor de 12.0 kN, evidenciándose un influencia significativa en la estabilidad al adicionar ceniza de carbón mineral en la mezcla asfáltica convencional. Y finalmente con respecto a la relación estabilidad/flujo también se obtuvo un comportamiento irregular conforme se añadía porcentajes de ceniza de carbón mineral, obteniéndose para la mezcla asfáltica en caliente convencional un valor de 3748.0 kg/cm, para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 3% de ceniza de carbón mineral un valor de 3551.7 kg/cm, para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 4% ceniza de carbón mineral un valor de 3607.6 kg/cm y para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 5% ceniza de carbón mineral un valor de 3517.4 kg/cm; esta disminución de la relación flujo/estabilidad respecto a la mezcla asfáltica en caliente

convencional cuando se añade porcentajes de ceniza de carbón mineral significa que la deformabilidad de la mezcla asfáltica en caliente modificada aumenta lo cual no es beneficioso. En la investigación realizado por Gonzales y Luquillas (2019), se encontró coincidencias con los resultados obtenidos en flujo y estabilidad pero hubo discordancia con respecto a los resultados obtenidos para relación flujo/estabilidad, el autor luego de realizar ensayos Marshall al asfalto en caliente convencional y al asfalto en caliente modificado con adiciones de fibra acrílica obtuvo como resultados que el valor del flujo para la mezcla asfáltica en caliente convencional fue de 3.12 mm y para las mezclas asfálticas en caliente modificadas con 0.10%, 0.15% y 0.20% de fibra acrílica el flujo obtuvo valores de 2.98 mm, 3.21mm y 3.37 mm respectivamente, evidenciándose un comportamiento irregular. Con respecto a la estabilidad para la mezcla asfáltica en caliente convencional se obtuvo un valor de 11.71 kN y para las mezclas asfálticas en caliente modificadas con 0.10%, 0.15% y 0.20% de fibra acrílica la estabilidad obtuvo valores de 13.71 kN, 12.13 kN y 11.87 kN respectivamente, evidenciándose un comportamiento irregular. Y finalmente con respecto a la relación estabilidad/flujo para la mezcla asfáltica en caliente convencional se obtuvo un valor de 3812.6 kg/cm y para las mezclas asfálticas en caliente modificadas con 0.10%, 0.15% y 0.20% de fibra acrílica la relación estabilidad/flujo obtuvo valores de 4685 kg/cm, 3852 kg/cm y 3595 kg/cm respectivamente. Esto se debe a que al adicionar cierto porcentaje de arcilla acrílica la deformabilidad de la mezcla asfáltica disminuye. La coincidencia en cuanto a los aumento para valores de flujo y estabilidad para algunos porcentajes de ceniza de carbón mineral y arcilla acrílica se debe a que estos materiales ayudan a que la mezcla asfáltica sea menos deformable ante cargas y tenga mayor resistencia a la deformación; y respecto a la discrepancia presentada en cuanto al comportamiento de la relación estabilidad/flujo se debe a que en esta investigación el aumento porcentual de la estabilidad fue menor al del flujo, pero para el caso de la investigación de Gonzales y Luquillas fue al revés por cual ellos si obtuvieron resultados positivos para la relación estabilidad/flujo.

En presente tesis se fijó como segundo objetivo específico evaluar la influencia en la Resistencia al daño inducido por humedad y perdida de estabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022, según Asphalt Institute (1982), para evaluar Resistencia al daño inducido por humedad y perdida de estabilidad se debe considerar el porcentaje de vacíos, porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.) y porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A.); donde el porcentaje de vacíos se indica por la presencia de pequeñas burbujas de aire entre las partículas de los áridos recubiertos de asfalto; el porcentaje de vacíos en el agregado mineral está definido por los espacio intergranular de vacíos que se hallan entre partículas de agregado de la mezcla asfáltica compactada, incluyendo los vacíos y el contenido efectivo de asfalto y se expresa como un porcentaje de del volumen total de la mezcla asfáltica; y los vacíos llenos de asfalto está representado por el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado que se encuentran llenos de asfalto. En esta investigación se determinó que el valor vacío para la mezcla asfáltica en caliente convencional fue de 4.2%, para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 3% ceniza de carbón mineral obtuvieron se obtuvo un valor de 4.3%, para mezclas asfálticas en caliente modificadas con 4%y 5% de ceniza de carbón mineral se obtuvieron valores de 3.1%, evidenciándose un comportamiento irregular en el porcentaje de vacíos conforme se añadía porcentajes de ceniza de carbón mineral. Con respecto al porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.) se obtuvo que su valor fue variable conforme se le añadía porcentajes de ceniza de carbón mineral, obteniéndose para la mezcla asfáltica en caliente convencional un valor de 15.4%, para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 3% de ceniza de carbón mineral un valor de 15.9%, para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 4% ceniza de carbón mineral un valor de 15.0% y para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 5% ceniza de carbón mineral un valor de 15.3%. Y finalmente con respecto a porcentaje de vacíos llenos de asfalto también se obtuvo un comportamiento ascendente conforme se añadía porcentajes de ceniza de carbón mineral, obteniéndose para la mezcla asfáltica en caliente convencional un valor de 70.7%, para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 3% de ceniza de carbón mineral un valor de 72.8%, para la mezcla

asfáltica en caliente modificada con 4% ceniza de carbón mineral un valor de 79.3% y para la mezcla asfáltica en caliente modificada con 5% ceniza de carbón mineral un valor de 79.8%. Estos aumentos en los valores de porcentajes de vacíos, porcentaje de vacíos en el agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto cuando se incorpora ciertos porcentajes de ceniza de carbón significa que la resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica mejoran lo cual es beneficioso para la duración del pavimento flexible. En la investigación realizado por Rosales (2019), se encontró coincidencias con los resultados de porcentaje de vacíos pero hay discrepancias con respecto a los valores de porcentaje de vacíos en el agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto, el autor determino que para la mezcla asfáltica en caliente convencional se obtuvo un máximo valor de porcentaje de vacíos de 4.59% y para la mezcla asfáltica en caliente con adición de 10% de ceniza de carbón mineral se obtuvo un máximo valor de porcentaje de vacíos de 4.78%. En el caso de porcentaje de vacíos en el agregado mineral se obtuvo un mismo máximo valor de 17.30% para la mezcla asfáltica en caliente convencional y la modificada con 10% de ceniza de carbón mineral. Y para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto también se obtuvo un mismo máximo valor de 74% para la mezcla asfáltica en caliente convencional y la modificada con 10% de ceniza de carbón mineral. La coincidencia en cuanto a los aumento para valores de porcentaje de vacíos para algunos porcentajes de ceniza de carbón mineral se debe a que estos materiales ayudan a que la mezcla asfáltica presente mayor resistencia al daño inducido por humedad y menor pérdida de estabilidad; y respecto a la discrepancia presentada en cuanto al comportamiento de la porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.) y porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A.) se debe a que en esta investigación los porcentajes de ceniza de carbón adicionados fueron menores (3%, 4% y 5%) en comparación del porcentaje añadido por Rosales (10%).

## VI. CONCLUSIONES

1. En esta investigación se logró determinar que existe influencia en el Comportamiento Mecánico de una mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de Carbón Mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022. Esto se constató mediante ensayos Marshall a la mezcla asfáltica en caliente convencional y modificadas con la incorporación por vía seca de porcentajes de ceniza de carbón mineral (3%,4% y 5%). Los resultados mostraron que al adicionar porcentajes de ceniza de carbón mineral los valores de la relación estabilidad/flujo disminuyen y obtienen su máximo valor de 3607.6 para 4% de ceniza de carbón mineral, esta disminución repercute en un aumento de la deformabilidad de la mezcla asfáltica; y los valores de porcentajes de vacíos disminuye hasta un valor mínimo de 3.1% para 3% de ceniza de carbón mineral, esta disminución repercute en la mejora de la resistencia al daño inducido por humedad y una disminución de la pérdida de estabilidad. Por lo mencionado se concluye que el porcentaje óptimo que genera mejor comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica es la adición de 4% de ceniza de carbón mineral.
2. La deformabilidad de la mezcla asfáltica se ve influenciada al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes. Esto debido a que a partir de los resultados de los ensayos se determinó que el flujo tuvo un máximo aumento de 1mm cuando se incorporó 4% y 5% de ceniza de carbón mineral; la estabilidad tuvo un máximo aumento de 0.4 kN cuando se añadió 4% de ceniza de carbón mineral; y la relación estabilidad/flujo disminuyó cuando se incorporó ceniza de carbón mineral obteniendo un máximo valor de 3607.6 kg/cm<sup>2</sup> lo cual resultó 140.4 gr/cm<sup>2</sup> menos que el valor de la mezcla asfáltica en caliente convencional.
3. La resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica se ven influenciados al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes. Esto debido a que a partir de los resultados de los ensayos se determinó que el porcentaje de vacíos aumentó hasta 4.3% cuando se incorporó 3% de ceniza de carbón mineral, pero luego para porcentajes mayores disminuyó hasta 3.1%; el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.) obtuvo un máximo valor de 15.9% para 3% de ceniza de carbón mineral y un mínimo valor

,inferior en 0.4 % al de la mezcla asfáltica convencional, de 15.0%; y el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A.) obtuvo un máximo valor, superior en 9.1% al de la mezcla asfáltica convencional, de 79.8%.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Para futuras investigaciones realizar la incorporación de ceniza de carbón mineral por vía húmeda a la mezcla asfáltica en caliente, dado que los resultados obtenidos en esta investigación son para mezclas asfálticas donde se a incorporado porcentajes de ceniza de carbón mineral por vía seca.
2. Para obtener resultados complementarios en futuras investigaciones realizar el ensayo de tracción directa e inmersión compresión a la mezcla asfáltica modificada con adición de ceniza de carbón mineral.
3. Al realizar futuras investigaciones sobre la adición de ceniza de carbono mineral en la mezcla asfáltica en caliente considerar el estudio económico para evaluar el costo beneficio respecto a la mezcla asfáltica sin adición o con la incorporación de otros materiales.

## REFERENCIAS

ASPHALT INSTITUTE (E.U.). Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales N.º 22 (MS-22) E.U., 1982. 275 pp.

BAENA Guillermina. Planeación prospectiva estratégica. Mexico: Metadata, 2015. 638 pp.

ISBN: 978-607-02-6715-4

CABEZAS, Edison, ANDRADE, Diego y TORRES, Johana. Introducción a la metodología de la investigación científica. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018. 137 pp.

ISBN: 978-9942-765-44-4

CARBOTECNIA [en línea] tipos de carbón mineral

<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/cuales-son-los-tipos-de-carbon-mineral/>

CAJINA, Nicole [et al]. Evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster”, Infraestructura Vial [en línea]. 30 de Julio 2021, 23 (42). [Fecha de consulta: 30 de agosto de 2022]. Disponible en:

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/44688/47563>

ISSN: 2215-3705

CARREÑO, Edgar. Síntesis y caracterización de zeolitas a partir de cenizas volantes provenientes de la combustión del carbón en la termoeléctrica termotasajero s.a.s por el método de hidrogel (Archivo Electrónico). Universidad Francisco de Paula

Santander, Cúcuta, Colombia, 2018. Disponible en: <http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/5315>

CARREÑO, Katerine. Evaluación del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con residuos de minería de carbón para la construcción y/o mantenimiento de vías sostenibles en norte de Santander. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, 2018. Disponible en: <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/10083>

CHOUDHARY, Jayvant, KUMAR, Brind y GUPTA, Ankit. Utilization of solid waste materials as alternative fillers in asphalt mixes: A review. Construction and Building Materials [en línea]. 20 febrero 2020, 234. [Fecha de consulta: 24 de agosto de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117271>

DÍAZ, Cesar y CASTRO, Liliana. Implementación del grano de caucho reciclado (gcr) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá. Universidad Santo Tomás de Bogotá, 2017. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2633c>

FERROTTI, Gilda y GRAZIANI, Andrea. Characterization of Innovative Asphalt Materials for Use in Pavement Design and Analysis. [en línea]. 3 de marzo de 2022, 15(5). [Fecha de consulta: 10 de agosto de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/ma15051883>

FLORES, Jhon. Comportamiento mecánico de mezcla asfáltica incorporando caucho por vía húmeda, avenida Perú, Callao, 2018, en la Universidad César Vallejo, Lima, Perú, 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/25348>

GHOODJANI, Abolfazl. Book: Advanced Statistical Methods and Applications. See discussions, stats, and author profiles for this publication 2022.

Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/328214659>.

GONZALES, María y LUQUILLAS, Karla (2019). Evaluación del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente mejorada con fibra acrílica respecto a la mezcla asfáltica convencional. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2818>

HAMMED, Hasan. Quantitative and qualitative research methods: Considerations and issues in qualitative research [en línea]. June 2020. [Fecha de consulta: 27 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://acortar.link/xPCysE>

HERNÁNDEZ, Roberto y MENDOZA, Christian. Metodología de la investigación. 6ª ed. Editorial Mc GrawHill, 2014. 600 pp.

ISBN: 978-1-4562-2396-0

HUAQUISTO, Samuel y BELIZARIO, German. Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento Use of the flying ash in the dosing of the concrete as a substitute for the cement. Revista de Investigaciones Altoandinas [en línea]. 27 de abril de 2018, 20 (2). [Fecha de consulta: 26 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.18271/ria.2018.366>

ISSN: 2313-2957

JILCHA, Sileyew. We are IntechOpen, the world's leading publisher of Open Access books Built by scientists, for scientists. Research Design and Methodology. 7 de agosto de 2019. [Fecha de consulta: 24 de septiembre de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.85731>

KONO, Jun, OSTERMEYER, York y WALLBAUM, Holger. Investigation of Regional Conditions and Sustainability Indicators for Sustainable Product Development of Building Materials. Cleaner Production [en línea]. 20 septiembre 2018, 196. [Fecha de consulta: 24 de agosto de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.057>

MAGID, Umair. Research Fundamentals: Study Design, Population, and Sample Size, Infraestructura Vial [en línea]. 10 de Enero 2018, 2(1) . [Fecha de consulta: 05 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.26685/urncst.16>

MENÉNDEZ Eduardo, DE FRUTOS José, y ANDRADE Carmen (2009) Análisis no destructivo del estado de degradación en morteros bajo la acción de ciclos hielo-deshielo, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, ISSN 0366-3175, Vol. 48, N<sup>o</sup>. 5, 2009, págs. 223-230

MINAYA, Silene y ORDONEZ, Abel. Diseño moderno de pavimentos asfálticos [en línea]. 2.<sup>a</sup> ed. Lima, 2006. 485 pp. [fecha de consulta: 4 septiembre del 2022]. Disponible en: <https://acortar.link/Lalsmr>

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (Perú). Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Lima: MTC, 2013. 1282 pp.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (Perú). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos. Lima: MTC, 2014. 305 pp.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (Perú). Manual de Ensayo de Materiales. Lima: MTC, 2017. 1273 pp.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (Perú). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Recursos de internet [en línea]. Lima: Enero 2018 [Fecha de consulta: 05 de septiembre de 2022]. Disponible en <https://acortar.link/Z0Q8Rk>

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (Perú). Diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o de acceso a servicios. Recursos de internet [en línea]. Lima: enero 2020 [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://acortar.link/d5zQE9>

MOURA, Caroline [et al.]. Viability of Using High Amounts of Steel Slag Aggregates to Improve the Circularity and Performance of Asphalt Mixtures. Applied Sciences [en línea]. 4 junio 2022, 12 (1). [Fecha de consulta: 24 de agosto de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/app12010490>

NAVARRO, Enrique [et al.]. Fundamentos de investigación y la innovación educativa. Universidad Internacional de La Rioja, S. A., España, 2017. 276 pp.

ISBN: 978-84-16602-55-1

LIU, ZhanLiang, ZHANG, Chen y QU, Xin. Study on the Parameter Optimization and Strength Mechanism of Coal Gangue Emulsified Asphalt Mixture. Advances in Materials Science and Engineering [en línea]. 28 Julio 2020, 2020. [Fecha de consulta: 26 de agosto de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1155/2020/9139575>

LOURERIO, Carlos [et al.]. Steel Slag and Recycled Concrete Aggregates: Replacing Quarries to Supply Sustainable Materials for the Asphalt Paving Industry. Sustainability [en línea]. 22 de abril 2022, 14. [Fecha de consulta: 24 de agosto de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/su14095022>

PADILLA, Rodriguez. Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista, (tesina para optar el título de ingeniero de caminos). Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech, 2004. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>

PEÑA, María. Caracterización de cenizas de algunos carbones colombianos in situ por retro dispersión gamma-gamma, (tesis para optar el título de maestría en Ciencias Químicas). Universidad nacional de Colombia, Bogotá Colombia, Colombia, 2011. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8404/1/862206-2021-I-GA.pdf>

POLANIA, Julieh. Aprovechamiento de residuos del sector industrial en la producción de mezclas asfálticas para la infraestructura vial. Fundación Universitaria de América, Bogotá, Colombia, 2021. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8404>

POLYZOS, Serafeim y TSIOTAS, Dimitrios. The contribution of transport infrastuctures to the economic and regional development: A review of the conceptual framework. Theoretical and Empirical Researches in Urban Management [en línea]. Febrero 2020, 15 (1). [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022]. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/10.2307/26868292>

RONDÓN, Hugo y REYES, Fredy. Pavimentos: Materiales, construcción y diseño. Bogota: Ecoe Ediciones Ltda, 2015. 608 pp.  
ISBN: 978-958-771-175-2

ROSALES, Joan. Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral. Universidad de San Pedro, Chimbote, Perú, 2019. Disponible en: <https://acortar.link/E8gft2>

SÁNCHEZ, Hildebrando (2021). Mejoras mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho como parte del agregado fino para la ciudad de Piura. Universidad de Piura, Perú. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4871>

VALDERRAMA, Santiago. Pasos para Elaborar Proyectos de Investigación Científica Cualitativa, Cuantitativa y Mixta [en línea]. 2.<sup>a</sup> ed. Lima: Editorial San Marcos. 2013. [fecha de consulta: 18 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://acortar.link/qwhjJc>

ISBN: 978-612-302-878-7

VICENTE, José (2013). Composición y estructura del carbón mineral. Disponible en: <http://www.factoria3.com/documentos/carbon.pdf>.

VILLALOBOS, Cindy. Caracterización de mezclas asfálticas fabricadas con agregados de algunas canteras de Bogotá al fenómeno Creep e implementación en un modelo racional de diseño de pavimentos. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 2014. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1507&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1507&context=ing_civil)

WOSZUK, Agnieszka, BANDURA, Lidia y FRANUS, Wojciech. Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt. Cleaner Production [en línea]. 20 octubre 2019, 235. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.353>

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de Consistencia

**Título:** Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con la Adición de Carbón Mineral – Lima 2022

**Autor:** Paz Castillo, Eduardo Hilarión

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE: CENIZA DE CARBÓN MINERAL		
¿De qué manera influye en el Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica la Adición de Carbón Mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022”	Determinar la influencia en el Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica al adicionarle Carbón Mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022	Existe influencia significativa en el Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica al adicionarle ceniza de Carbón Mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022	Características Físicas	Peso específico	Peso específico NTP 440.022
				Granulometría	Análisis Granulométrico NTP 400.012
			Dosificación	3 % de ceniza de carbón mineral	Balanza calibrada
				4 % de ceniza de carbón mineral	
5% de ceniza de carbón mineral					
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	VARIABLE DEPENDIENTE: MEZCLA ASFÁLTICA		
¿De qué manera influye en la deformabilidad de la mezcla asfáltica la adición de ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022”?	Determinar la influencia en la deformabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022	Existe influencia significativa en la deformabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022	Deformabilidad	Estabilidad	Equipo Marshall
				Flujo	
				Relación Estabilidad/flujo	
¿De qué manera influye en la Resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica la adición de ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022”?	Evaluar la influencia en la Resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022	Existe influencia significativa en la Resistencia al daño inducido por humedad y pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica al adicionarle ceniza de carbón mineral en diferentes porcentajes – Lima 2022	Resistencia al daño inducido por humedad y a la pérdida de estabilidad	Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% V.M.A.)	Equipo Marshall
				Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (% V.F.A.)	
				Porcentaje de vacíos (%)	

**Fuente:** elaboración propia

## Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variables

**Título:** Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con la Adición de Carbón Mineral – Lima 2022

**Autor:** Paz Castillo, Eduardo Hilarión

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES DE MEDICIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>V.I.:</b> Ceniza de carbón Mineral	Según Carreo (2018), el polvo de carbón y las cenizas de carbón han sido objeto de varias investigaciones y, desde entonces, se han convertido en un valioso subproducto en el hormigón hidráulico, las mezclas asfálticas en caliente, las mezclas asfálticas en frío y la estabilización de la subrasante.	Este material se añade en porcentajes de 3%, 4% y 5% a la mezcla asfáltica con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.	Características Físicas	Peso específico	N/m <sup>3</sup>	Nominal
				Granulometría	%	Razón
			Dosificación	3% de ceniza de carbón mineral	%	Razón
				4% de ceniza de carbón mineral		
5% de ceniza de carbón mineral						
<b>V.D.:</b> Mezcla asfáltica	Según Villalobos (2014), las mezclas asfálticas son materiales viscoelásticos cuyas características están influenciadas por la temperatura y la frecuencia de las aplicaciones de carga, lo que a su vez afecta a cómo se comportarán cuando se pongan en uso.	El comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica se mide a través de la relación estabilidad/flujo y el porcentaje de vacíos, los cuales permiten estimar la deformabilidad y la resistencia al daño inducido por humedad y a la pérdida de estabilidad	Deformabilidad	Estabilidad	kN	Nominal
				Flujo	mm	Nominal
				Relación Estabilidad/flujo	kg/cm	Nominal
			Resistencia al daño inducido por humedad y a la pérdida de estabilidad	Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% V.M.A.)	%	Razón
				Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (% V.F.A.)	%	Razón
				Porcentaje de vacíos (%)	%	Razón

### Anexo 3. Análisis de Resultados



(511) 457 2237 / 989349903

informes@mtlgeotecniasac.com

Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima- Perú

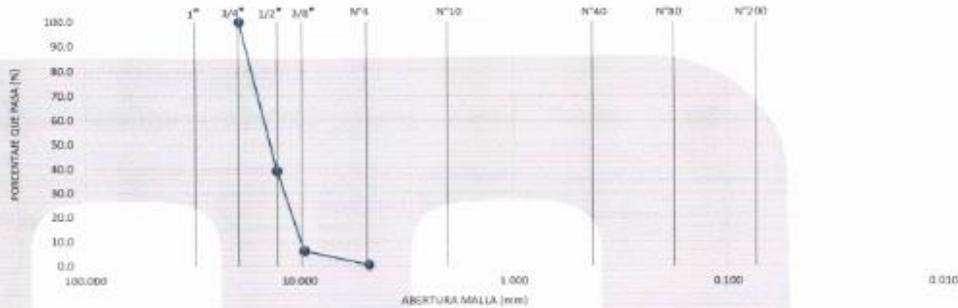
www.mtlgeotecniasac.com



**Proyecto Tesis** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichca Alberto  
**Ubicación de Proyecto** : Lima  
**Fecha de Ensayo** : 07/11/2022  
**Material** : Grava triturada  
**Cantera** : Chillon

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400	-	-	-	100.0	
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	<b>Calculos.</b>
1/2"	12.700	687.0	60.8	60.8	39.2	Tara
3/8"	9.525	375.0	33.2	94.0	6.0	Peso de Tara
1/4"	6.350	-	-	-	-	Tara + muestra Humeda
N° 4	4.750	63.0	5.6	99.6	0.4	Tara + muestra Seca
N° 6	3.360	-	-	-	-	Contenido de Humedad (%)
N° 8	2.380	5.0	0.4	100.0	0.0	
N° 10	2.000	-	-	-	-	Muestra Seca
N° 16	1.190	-	-	-	-	
N° 20	0.840	-	-	-	-	
N° 30	0.590	-	-	-	-	
N° 40	0.425	-	-	-	-	
N° 50	0.297	-	-	-	-	<b>Proporciones Agregados.</b>
N° 80	0.177	-	-	-	-	Agregado Grueso.
N° 100	0.149	-	-	-	-	Agregado Fino.
N° 200	0.074	-	-	-	0.0	Fino Malla 200.
-200	-	-	-	-	-	

CURVA GRANULOMÉTRICA



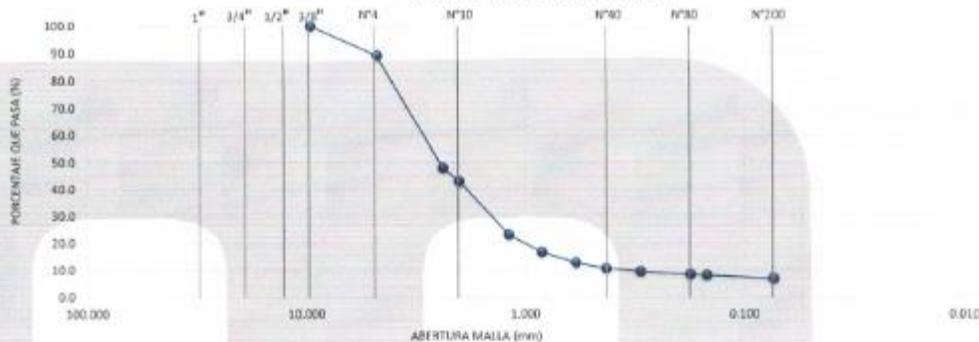
OBSERVACIONES:

<b>Elaborado por:</b>  MTL GEOTECNIA S.A.C. LABORATORIO DE MATERIALES Jefe de Laboratorio	<b>Revisado por:</b>  MTL GEOTECNIA S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	<b>Aprobado por:</b>  MTL GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad MTL GEOTECNIA
---	--	--

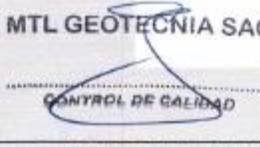
Proyecto Tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
 Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichca Alberto  
 Ubicación de Proyecto : Lima  
 Fecha de Ensayo : 07/11/2022  
 Material : Arena triturada  
 Canteras : Chillon

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400	0	-	-	100.0	
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	<b>Calculos.</b>
1/2"	12.700	-	-	-	100.0	Tara
3/8"	9.525	-	-	-	100.0	Peso de Tara
1/4"	6.350	-	-	-	100.0	Tara + muestra Humeda
N° 4	4.760	77.3	10.8	10.8	89.2	Tara + muestra Seca
N° 6	3.380	-	-	10.8	89.2	Contenido de Humedad (%)
N° 8	2.380	295.4	41.2	52.0	48.0	
N° 10	2.000	35.2	4.9	56.9	43.1	Muestra Seca
N° 16	1.190	143.8	20.1	76.9	23.1	
N° 20	0.840	45.9	6.4	83.3	16.7	
N° 30	0.600	27.6	3.8	87.2	12.8	
N° 40	0.425	15.1	2.1	89.3	10.7	
N° 50	0.297	8.2	1.1	90.4	9.6	<b>Proporciones Agregados.</b>
N° 60	0.177	5.5	1.2	91.6	8.4	Agregado Grueso.
N° 100	0.149	2.3	0.3	91.9	8.1	Agregado Fino.
N° 200	0.074	8.6	1.2	93.1	6.9	Fino Malla 200.
-200	-	40.2	6.0	100.0		

CURVA GRANULOMÉTRICA



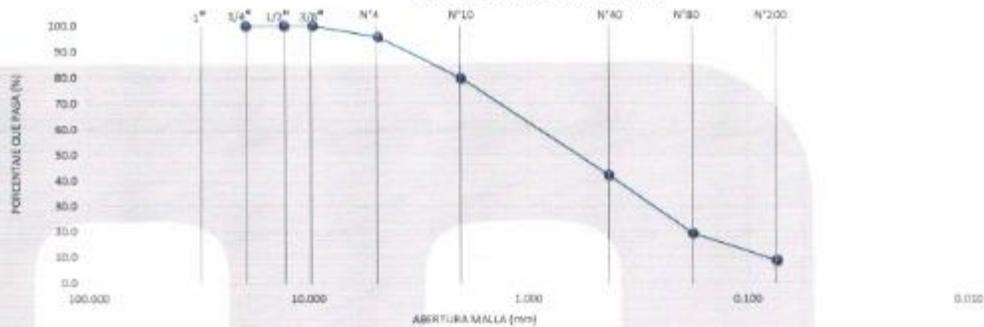
OBSERVACIONES:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

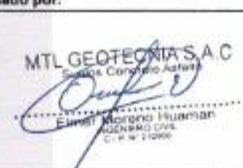
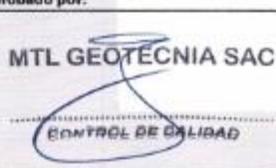
Proyecto Tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
 Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichua Alberto  
 Ubicación de Proyecto : Lima  
 Fecha de Ensayo : 07/11/2022  
 Material : Arena Natural  
 Cantera : Chillon

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pase	
1"	25.400	-	-	-	100.0	
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	Calculos.
1/2"	12.700	-	-	-	100.0	Tara
3/8"	9.525	-	-	-	100.0	Peso de Tara
1/4"	6.350	-	-	-	100.0	Tara + muestra Humeda
N° 4	4.750	38.9	4.3	4.3	95.7	Tara + muestra Seca
N° 6	3.350	-	-	4.3	95.7	Contenido de Humedad (%)
N° 8	2.380	115.3	12.9	17.2	82.8	
N° 10	2.000	27.2	3.0	20.2	79.8	Muestra Seca
N° 16	1.190	115.2	12.9	33.1	66.9	
N° 20	0.840	74.3	8.3	41.4	58.6	
N° 30	0.590	74.5	8.3	49.7	50.3	
N° 40	0.425	72.7	8.1	57.8	42.2	
N° 50	0.297	85.7	7.3	65.1	34.9	Proporciones Agregados.
N° 80	0.177	139.3	15.5	80.7	19.3	Agregado Grueso.
N° 100	0.149	40.3	4.5	85.2	14.8	Agregado Fino.
N° 200	0.074	54.6	6.1	91.3	8.7	Fino Malla 200.
-200	-	78.1	8.7	100.0		

CURVA GRANULOMÉTRICA



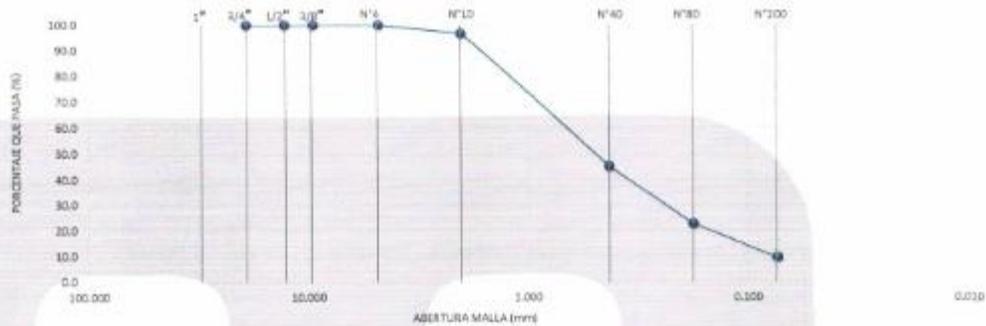
OBSERVACIONES:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

Proyecto Tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichca Alberto  
Ubicación de Proyecto : Lima  
Fecha de Ensayo : 07/11/2022

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400	-	-	-	100.0	
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	Calculos.
1/2"	12.700	-	-	-	100.0	Tara
3/8"	9.625	-	-	-	100.0	Peso de Tara
1/4"	6.350	-	-	-	100.0	Tara + muestra Humeda
N° 4	4.750	-	-	-	100.0	Tara + muestra Seca
N° 6	3.350	-	-	-	100.0	Contenido de Humedad (%)
N° 8	2.380	4.0	2.0	2.0	98.0	
N° 10	2.000	2.7	1.3	3.3	95.7	Muestra Seca
N° 16	1.190	19.7	9.9	13.2	85.8	
N° 20	0.840	26.4	13.2	26.4	73.6	
N° 30	0.590	26.9	13.5	39.8	60.2	
N° 40	0.425	29.7	14.9	54.7	45.3	
N° 50	0.297	19.5	9.7	64.4	35.6	Proporciones Agregados.
N° 60	0.177	25.7	12.9	77.3	22.7	Agregado Grueso.
N° 100	0.149	7.1	3.5	80.8	19.2	Agregado Fino.
N° 200	0.074	19.1	9.6	90.4	9.6	Fino Malla 200.
-200	-	19.2	9.6	100.0		

CURVA GRANULOMÉTRICA



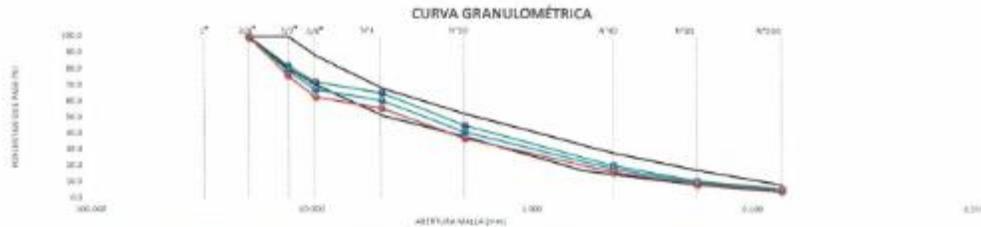
OBSERVACIONES:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

Proyecto Tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
 Solicitante : Paz Castillo Hilarco / Rojas Quichua Alberto  
 Ubicación de Proyecto : Lima  
 Fecha de Ensayo : 07/11/2022

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					1	2	3	MAC-3	
	ABERT. (mm)	Grava (kg/m³)	arena (kg/m³)	arena (kg/m³)	Fines (kg/m³)	% Pasa	% Pasa	% Pasa		
1"	25.400					100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.500	30.2	100.0	100.0		70.0	70.0	70.0	80.0	100.0
3/8"	9.525	8.0	100.0	100.0		71.0	71.0	70.4	70.0	86.0
1/4"	6.300									
Nº 4	4.750	5.4	89.2	95.7		95.0	95.0	90.0	91.0	88.0
Nº 8	3.350									
Nº 8	2.360									
Nº 10	2.000		43.1	76.8		61.0	61.0	50.0	50.0	52.0
Nº 16	1.180									
Nº 20	0.840									
Nº 30	0.600									
Nº 40	0.425		19.7	42.2		30.0	30.0	20.0	17.0	28.0
Nº 50	0.297									
Nº 60	0.177		9.4	19.3		16.0	16.0	8.0	8.0	17.0
Nº 100	0.149									
Nº 200	0.074		0.8	0.7		0.0	0.0	0.0	4.0	0.0
-200	-									

Mezcla de agregados					
Mezcla Nº 31	91.0	30.0	40.0	0.0	OK
Mezcla Nº 32	30.0	30.0	30.0	0.0	
Mezcla Nº 33	40.0	30.0	30.0	0.0	



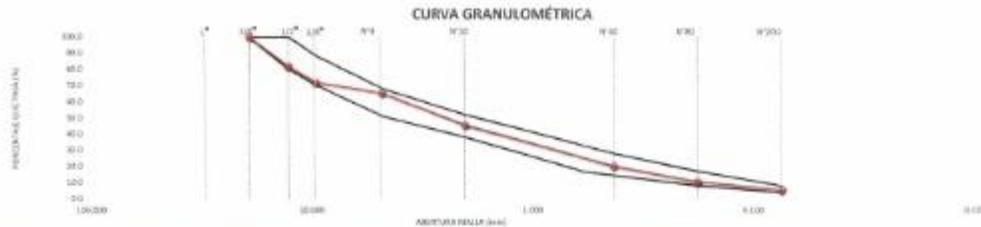
OBSERVACIONES:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

Proyecto Test : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
 Sistema : Paz Castillo Huanon / Rojas Duchra Albano  
 Ubicación de Proyecto : Lima  
 Fecha de Ensayo : 07/11/2022

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					1	2	3	MAC-8	
	ABERT. mm	Grava gruesa	Grava fina	Arena natural	Carbon mineral	% Pasa	% Pasa	% Pasa		
4"	25.400					100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.500	99.2	100.0	100.0	100.0	91.9	91.9	91.9	80.0	100.0
3/8"	9.525	9.0	100.0	100.0	100.0	71.9	71.9	71.9	70.0	88.0
1/4"	6.350									
N° 4	4.750	9.4	99.2	95.7	100.0	65.9	65.9	65.9	51.0	68.0
N° 5	3.350									
N° 8	2.360									
N° 10	2.000		45.1	79.9	96.7	45.9	45.9	45.9	38.0	53.0
N° 16	1.180									
N° 20	0.840									
N° 30	0.600									
N° 40	0.425		10.7	42.2	45.3	36.2	36.2	36.2	17.0	28.0
N° 60	0.250									
N° 80	0.175		8.4	19.3	22.7	19.2	19.2	19.2	8.0	17.0
N° 100	0.149									
N° 200	0.074		6.9	8.7	6.6	5.8	5.8	5.8	4.0	6.9
-200	-									

Mezcla de agregados				
Mezcla N° 01	90.9	96.9	91.9	9.9
Mezcla N° 02	90.9	96.9	90.0	9.9
Mezcla N° 03	90.9	96.9	90.0	9.9



OBSERVACIONES:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**DATOS GENERALES**

Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichos Aberto  
 Tema de tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
 Ubicación : Lima  
 Fecha de emisión : 07/11/2022

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
 Identificación : Cantera Chillon  
 Descripción : Grava triturada

**ABRASIÓN LOS ÁNGELES (MTC E207)**

MUESTRA	1	2	3	4	5	6
GRADACIÓN "B"						
PESO MUESTRA	5003	5005				
1 1/2" - 1"						
1" - 3/4"						
3/4" - 1/2"	2500	2501				
1/2" - 3/8"	2503	2504				
3/8" - 1/4"	-	-				
1/4" - Nº 4	-	-				
Nº 4 - Nº 6	-	-				
RETENIDO Nº12	4160	4147				
PASA Nº 12	843	856				
% DESGASTE	16.8	17.1				
<b>PROMEDIO</b>	<b>17.0 %</b>					

Observaciones :

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

**DATOS GENERALES**

**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichoa Alberto  
**Tema de tesis** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha de emisión** : 07/11/2022

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
**Identificación** : Cantera Chillón  
**Descripción** : Grava triturada

**SALES SOLUBLES TOTALES (MTC E219)**

Ensayo	Resultados		Especificación
	ppm	%	%
Contenido de sales solubles	900.0	0.09	0.5 máx.

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**DATOS GENERALES**

Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Guichica Alberto  
 Tema de tesis : 'Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022'  
 Ubicación : Lima  
 Fecha de emisión : 07/11/2022

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
 Identificación : Cantero Chillón  
 Descripción : Grava triturada

**DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO (MTC 209)**

**ANÁLISIS CUANTITATIVO**

**AGREGADO GRUESO**

TAMARJO		Gradación Original (%)	Peso requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	N° de partículas	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Pasa	Retiene						Peso (gr)	%		
2 1/2"	2"		3000±300							
2"	1 1/2"		2000±200							
1 1/2"	1"		1000±50							
1"	3/4"		500±30							
3/4"	1/2"	91.1	670±10	670.0		059.0	14.7	2.2	1.34	
1/2"	3/8"	33.3	330±5	300.0		292.0	8.0	2.7	0.89	
3/8"	N° 4	5.6	300±5	300.0		258.2	81.8	27.3	1.53	

**TOTAL 3.76**

**OBSERVACIONES:**

Solución en Sulfato de Magnesio

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**DATOS GENERALES**

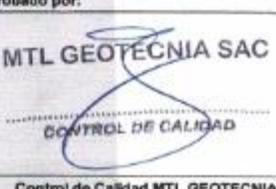
**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichoa Alberto  
**Tema de tesis** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha de emisión** : 07/11/2022

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
**Identificación** : Carretera Chillón  
**Descripción** : Grava triturada

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E206)**

AGREGADO GRUESO					
MUESTRA	1	2	3	4	PROMEDIO
A Peso del mat. sat. super. seco (en el aire) (g)	1334.0	1245.0			
B Peso del mat. sat. super. seco (en el agua) (g)	846.0	799.0			
C Vol. de masa + Vol. de vacíos (cc)	486.0	455.1			
D Peso del material seco en el horno (105°C) (g)	1328.0	1238.5			
E Vol. de masa (cc)	482.0	449.6			
F Peso específico bulk (base seca) (g./cc)	2.721	2.734			2.722
G Peso específico bulk (base saturada) (g./cc)	2.734	2.736			2.735
H Peso específico aparente (base seca) (g./cc)	2.755	2.757			2.756
I % de absorción	0.45	0.44			0.4

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichua Alberto
Tema de base	: "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"
Ubicación	: Lima
Fecha de emisión	: 07/11/2022

Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera Chillon
Descripción	: Grava triturada

**PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (MTC E210)**

Porcentaje con una o más caras fracturadas						
Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido T.	(g)	(g)	(BA)*100	% Parcial	CxD
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.3	462.8	96.5	43.46	41.94
1/2"	3/8"	345.8	301.7	87.2	30.04	26.21
3/8"	1/4"	305.0	255.1	83.6	26.50	22.16
<b>TOTAL</b>					<b>90.31 %</b>	

Porcentaje con dos o más caras fracturadas						
Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido Tamiz	(g)	(g)	(BA)*100	% Parcial	CxD
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.3	429.3	85.8	43.46	37.29
1/2"	3/8"	345.8	254.1	73.5	30.04	22.07
3/8"	1/4"	305.0	204.7	67.1	26.50	17.78
<b>Total:</b>					<b>77.18 %</b>	

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**DATOS GENERALES**

**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichca Alberto  
**Tema de tesis** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha de emisión** : 07/11/2022

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
**Identificación** : Cambera Chilón  
**Descripción** : Grava triturada

**PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS (ASTM D4791)**

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido Tamiz	(g)	(g)	(BAU*100)	%	(C/D*100)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.3	28.2	5.6	43.46	2.45
1/2"	3/8"	345.8	24.7	7.1	30.04	2.15
3/8"	1/4"	305.0	22.1	7.2	26.50	1.92
<b>TOTAL</b>						<b>6.52 %</b>

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichua Alberto
Tema de tesis	: "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"
Ubicación	: Lima
Fecha de emisión	: 07/11/2022

Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera Chillón
Descripción	: Arena triturada

**EQUIVALENTE DE ARENA (MTC E514)**

DESCRIPCIÓN		MUESTRAS			
		1	2	3	4
Tamaño máximo (pasa malla Nº 4)	mm	4.70	4.70		
Hora de entrada a saturación		09:15	09:23		
Hora de salida de saturación	(10')	09:25	09:33		
Hora de entrada a decantación		09:27	09:35		
Hora de salida de decantación	(20')	09:47	09:55		
Lectura Inicial	pulg	5.1	5.2		
Lectura Final	pulg	3.5	3.5		
Equivalente de Arena	%	68.8	67.3		
<b>PROMEDIO</b>		<b>68.0 %</b>			

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Paz Castillo Hilarion / Rojas Quicho Aberto
Tema de teste	: "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"
Ubicación	: Lima
Fecha de emisión	: 07/11/2022

Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera Chillón
Descripción	: Arena triturada

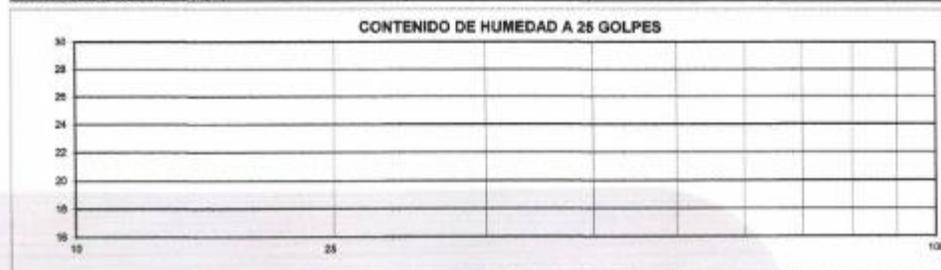
LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 111)

LIMITE LÍQUIDO				
Nº TARRO	1	2	3	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)				
PESO TARRO + SUELO SECO (g)				
PESO DE AGUA (g)				
PESO DEL TARRO (g)				
PESO DEL SUELO SECO (g)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
NÚMERO DE GOLPES				

N.P

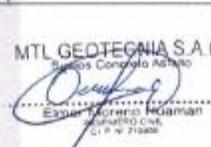
LIMITE PLÁSTICO				
Nº TARRO	4	5	6	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)				
PESO TARRO + SUELO SECO (g)				
PESO DE AGUA (g)				
PESO DEL TARRO (g)				
PESO DEL SUELO SECO (g)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

N.P



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LÍQUIDO	
LIMITE PLÁSTICO	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	

OBSERVACIONES
Pesando la malla Nº 40

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichca Alberto
Tema de teste	: "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"
Ubicación	: Lima
Fecha de emisión	: 07/11/2022

Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera Chillon
Descripción	: Arena triturada

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E205)**

AGREGADO FINO						
MUESTRA		1	2	3	4	PROMEDIO
A	Peso del mat. sat. superf. Seco (en el aire)	(g)	500.00	500.00		
B	Peso foleo calibrada con agua	(g)	854.67	854.67		
C	Peso foleo con agua + peso del mat. s.s.c.	(g)	1154.67	1154.67		
D	Peso del mat. + peso foleo + H <sub>2</sub> O	(g)	870.75	870.65		
E	Vol. de masa + vol. de vacíos	(cc)	183.87	183.82		
F	Peso mat. seco en el horno (105°C)	(g)	495.80	495.60		
G	Vol. de masa	(g)	178.77	178.42		
H	Peso específico bulk (base seca)	(g/cc)	2.665	2.686		2.666
I	Peso específico bulk (base saturada)	(g/cc)	2.718	2.720		2.719
J	Peso específico aparente (base seca)	(g/cc)	2.768	2.762		2.760
K	% de absorción		0.85	0.86		0.9

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <p><b>Jefe de Laboratorio</b></p>	 <p><b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b></p>	 <p><b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b></p>

**DATOS GENERALES**

Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichoa Alberto  
 Tema de tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
 Ubicación : Lima  
 Fecha de emisión : 07/11/2022

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
 Identificación : Cantera Chillon  
 Descripción : Arena triturada

**DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO (MTC 209)**

**ANÁLISIS CUANTITATIVO**

**AGREGADO FINO**

TAMAÑO		Gradación Original (%)	Peso mín. requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	N° de partículas	Peso rel. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Pasa	Retiene						Peso (gr)	%		
3/5"	N° 04	13.9	100	100	—	92.8	7.2	1.00	—	
N° 04	N° 08	53.3	100	100	—	97.5	2.5	1.33	—	
N° 08	N° 16	26.9	100	100	—	95.5	4.5	1.17	—	
N° 16	N° 30	5.0	100	100	—	93.1	6.9	9.00	—	
N° 30	N° 60									
N° 60	N° 100									

TOTAL 3.89

**OBSERVACIONES:**

Solución en Sulfato de Magnesio

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Paz Castillo Hilarion / Rojas Quicho Alberto
Tema de tesis	: "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"
Ubicación	: Lima
Fecha de emisión	: 07/11/2022
Tipo de muestra	
Identificación	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Descripción	: Cantera Chillón : Arena triturada
SALES SOLUBLES TOTALES (MTC E219)	

Ensayo	Resultados		Especificación
	ppm	%	%
Contenido de sales solubles	812.0	0.08	0.5 máx.

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <p><b>Jefe de Laboratorio</b></p>	 <p><b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b></p>	 <p><b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b></p>

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Paz Castillo Hilarion / Rojas Quiñoa Alberto
Tema de tesis	: "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"
Ubicación	: Lima
Fecha de emisión	: 07/11/2022
Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera Chillón
Descripción	: Arena triturada
AZUL DE METILENO (AASHTO TP 57)	

Ensayo	Resultados	Especificación
	mg/g	mg/g
Contenido de reactividad	5.0 mg/g	5.0 máx.

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 MTL GEOTECNIA S.A.C. <b>Jefe de Laboratorio</b>	 MTL GEOTECNIA S.A.C. Especialista en Control de Calidad <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 MTL GEOTECNIA S.A.C. <b>CONTROL DE CALIDAD</b> <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Paz Castillo Hilarion / Rojas Quicho Alberto
Tema de tesis	: "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"
Ubicación	: Lima
Fecha de emisión	: 07/11/2022

Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera Chillón
Descripción	: Arena natural

**EQUIVALENTE DE ARENA (MTC E514)**

DESCRIPCIÓN	MUESTRAS			
	1	2	3	4
Tamaño máximo (pasa malla Nº 4) mm	4.76	4.76		
Hora de entrada a saturación	09:55	10:03		
Hora de salida de saturación (10')	10:06	10:13		
Hora de entrada a decantación	10:07	10:15		
Hora de salida de decantación (20')	10:27	10:35		
Lectura Inicial pulg	5.6	5.6		
Lectura Final pulg	3.2	3.4		
Equivalente de Arena %	57.1	58.6		
<b>PROMEDIO</b>	<b>58.6 %</b>			

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichca Alberto
Tema de tesis	: "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"
Ubicación	: Lima
Fecha de emisión	: 07/11/2022

Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera Chillón
Descripción	: Arena natural

LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 111)

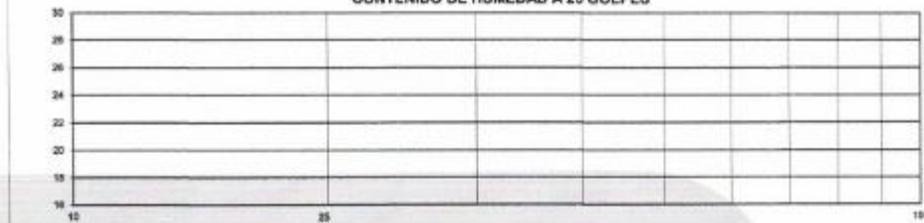
LÍMITE LÍQUIDO			
Nº TARRO	1	2	3
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)			
PESO TARRO + SUELO SECO (g)			
PESO DE AGUA (g)			
PESO DEL TARRO (g)			
PESO DEL SUELO SECO (g)			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
NÚMERO DE GOLPES			

N.P

LÍMITE PLÁSTICO			
Nº TARRO	4	5	6
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)			
PESO TARRO + SUELO SECO (g)			
PESO DE AGUA (g)			
PESO DEL TARRO (g)			
PESO DEL SUELO SECO (g)			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			

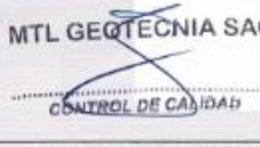
N.P

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	
LÍMITE PLÁSTICO	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	

OBSERVACIONES
Presente la malla N° 40

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**DATOS GENERALES**

Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichica Alberto  
 Tema de tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
 Ubicación : Lima  
 Fecha de emisión : 07/11/2022

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
 Identificación : Cantera Chilón  
 Descripción : Arena natural

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E205)**

		AGREGADO FINO				
MUESTRA		1	2	3	4	PROMEDIO
A	Peso del mat. snt. superl. Seco (en el aire) (g)	500.00	500.00			
B	Peso folo calibrado con agua (g)	854.67	854.67			
C	Peso folo con agua + peso del mat. s.s.s. (g)	1154.67	1154.67			
D	Peso del mat. + peso folo + H <sub>2</sub> O (g)	905.90	905.76			
E	Vol. de masa + vol. de vacíos (cc)	188.77	188.91			
F	Peso mat. sacco en el horno (105°C) (g)	495.50	495.99			
G	Vol. de masa (cc)	185.27	184.90			
H	Peso específico bulk (base seca) (g./cc)	2.630	2.626			2.628
I	Peso específico bulk (base saturado) (g./cc)	2.649	2.647			2.648
J	Peso específico aparente (base seca) (g./cc)	2.680	2.682			2.681
K	% de absorción	0.70	0.61			0.8

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**DATOS GENERALES**

Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichca Alberto  
 Tema de tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
 Ubicación : Lima  
 Fecha de emisión : 07/11/2022

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
 Identificación : Cantero Chillón  
 Descripción : Arena triturada

**DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO (MTC 209)**

**ANÁLISIS CUANTITATIVO**

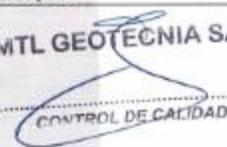
**AGREGADO FINO**

TAMAÑO		Gradación Original (%)	Peso mín. requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	N° de partículas	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Peso	Retiene						Peso (gr)	%		
3/8"	N° 04	8.5	100	100	--	93.0	7.0	7.0	0.80	--
N° 04	N° 08	25.0	100	100	--	95.0	4.1	4.1	1.05	--
N° 08	N° 16	25.0	100	100	--	94.3	5.7	5.7	1.46	--
N° 16	N° 30	15.0	100	100	--	92.2	7.8	7.8	1.29	--
N° 30	N° 60	14.6	100	100	--	93.5	6.5	6.5	0.95	--
N° 60	N° 100	9.0	100	100	--	91.1	8.9	8.9	0.80	--

**TOTAL**      **6.16**

**OBSERVACIONES:**

Solución en Sulfato de Magnesio

<p>Elaborado por:</p>  <p><b>Jefe de Laboratorio</b></p>	<p>Revisado por:</p>  <p><b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b></p>	<p>Aprobado por:</p>  <p><b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b></p>
---	---	---

DATOS GENERALES	
Solicitante	: Paz Castillo Hilarion / Rojas Quíchca Alberto
Tema de tests	: "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"
Ubicación	: Lima
Fecha de emisión	: 07/11/2022
Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera "Chillon"
Descripción	: Arena natural
SALES SOLUBLES TOTALES (MTC E219)	

Ensayo	Resultados		Especificación
	ppm	%	%
Contenido de sales solubles	1050.0	0.11	0.5 máx.

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**DATOS GENERALES**

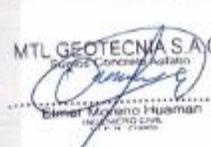
Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Guichca Alberto  
 Tema de tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
 Ubicación : Lima  
 Fecha de emisión : 07/11/2022

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
 Identificación : Cantera Chillón  
 Descripción : Arena natural

**AZUL DE METILENO (AASHTO TP 57)**

Ensayo	Resultados	Especificación
	mg/g	mg/g
Contenido de reactividad	7.5 mg/g	8.0 máx.

Observaciones:

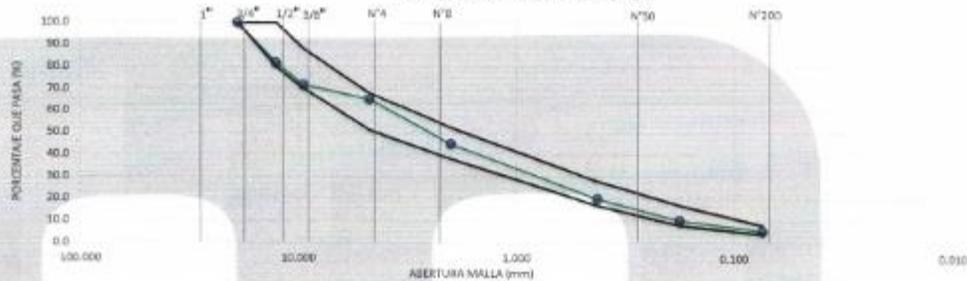
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

Proyecto Tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichua Alberto  
Ubicación : Lima  
Fecha : 07/11/2022

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					1 % Pasa	MAC - 2	
	ABERT. mm	Grava triturada	Arena triturada	Arena natural	Filler			
1"	25.400							
3/4"	19.060	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	
1/2"	12.700	39.2	100.0	100.0		81.8	80.0	
3/8"	9.525	6.0	100.0	100.0		71.8	70.0	
1/4"	6.350							
N° 4	4.750	0.4	89.2	95.7		65.2	51.0	
N° 6	3.350							
N° 8	2.360							
N° 10	2.000		43.1	79.8		44.8	38.0	
N° 16	1.180							
N° 20	0.840							
N° 30	0.590							
N° 40	0.425		10.7	42.2		26.1	17.0	
N° 50	0.297							
N° 80	0.177		8.4	19.3		10.2	8.0	
N° 100	0.149							
N° 200	0.074		6.9	8.7		5.5	4.0	
-200	-							

Mezcla de agregados  
Mezcla N° 01    39.2    39.0    40.0    6.9    OK

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



OBSERVACIONES:

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Control de Calidad MTL GEOTECNIA
---	---	---

**Proyecto Tests** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichca Alberto  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha** : 07/11/2022  
**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
**Identificación** :  
**Descripción** : Mezcla asfáltica en caliente con asfalto convencional 60/70

**MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO**  
(RESUMEN)

**1.- Mezcla de agregados (Dosificación)**

Agregado grava triturada "TMN 3/4" : 30.0 %  
 Agregado arena triturada : 30.0 %  
 Agregado arena natural : 40.0 %  
 Filler : 0 %

Gradación : MAC- 2 "Especificación Técnica MTC EG -2013 / Sección 423"

**2.- Ligante asfáltico**

Tipo de asfalto : Asfalto convencional 60/70  
 % óptimo de asfalto residual : 5.6 %

**3.- Características marshall modificado**

Parámetro de diseño	- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	N°	75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.40	5.80	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2,395	2,400	2,404
VACÍOS	%	4.7	4.3	3 - 5
V.M.A.	%	15.4	15.4	14
V.L.L.C.A.	%	57.5	70.7	73.5
POLVOS / ASFALTO	%	1.23	1.18	1.13
FLUJO	0.01 (0.25 mm)	12.3	12.7	13.1
ESTABILIDAD	KN	11.69	11.89	11.76
ESTABILIDAD FLUJO	kg/cm	3792.9	3748.0	3588.8
RESISTENCIA RETENIDA	%		81	75

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad MTL GEOTECNIA

**Proyecto Tesis** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichica Alberto  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha** : 07/11/2022

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
**Identificación** :  
**Descripción** : Moldeo de núcleos con 4.9% de asfalto

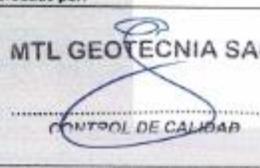
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	300.0	100.0	81.8	71.8	55.1	44.8	28.1	20.7	11.5
ESPECIFICACIONES	300	100 - 100	80 - 100	70 - 80	55 - 68	38 - 53	22 - 28	8 - 17	4 - 8
BRICQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en peso de la Mezcla					4.9			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					33.13			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					61.97			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla					9.00			
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.825			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.722			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.497			
8	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Aluce promedio de la briqueta				cm				
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1183.2	1191.8	1202.8		
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)				1120.1	1197.9	1206.7		
14	Peso de la briqueta desatizada (gr)				696.2	696.4	704.1		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				502.9	502.5	507.6		
16	Peso Específico Bulk de la Briqueta				2.373	2.372	2.370	2.371	
17	Peso Específico Máximo - Rosa (ASTM D 2041)					2.532			
18	% de Vacíos (ASTM D 3209)				6.3	6.3	6.4	6.4	3 - 5
19	Peso Específico Bulk Agregado Total					2.679			
20	Peso Específico Efectivo Agregado total					2.741			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.9			
22	% de Asfalto Efectivo					4.1			
23	Relación Polvo/Asfalto					1.06			0.8 - 1.3
24	V.M.A.				15.8	15.6	15.5	15.8	14
25	% Vacíos llenos con C.A.				60.9	59.9	59.6	59.8	
26	Flujo 0.60" (0.25 mm)				11.9	12.0	12.0	11.7	8 - 14
27	Estabilidad sin osarreg (Kg)				666	610	621		
28	Factor de estabilidad				1.84	1.04	1.04		
29	Estabilidad Correída				3208	953	960	983	MDN 815
30	Estabilidad / Flujo				5799	3176	3226	3389	1700 - 4000

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**Proyecto Tesis** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichoa Alberto  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha** : 07/11/2022

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
**Identificación** :  
**Descripción** : Molding de núcleos con 5.4% de asfalto

TAMAJOS ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 60	No 200	
% PAGA MATERIAL	100.0	100.0	81.8	71.0	65.2	44.8	25.1	15.2	5.1	
ESPECIFICACIONES	250	100 - 130	80 - 100	70 - 80	51 - 60	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	
PROBETA N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.					
1	% C.A. en Peso de la Mezcla									
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla									
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla									
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla									
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc									
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc									
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc									
8	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc									
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc									
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc									
11	Altura promediada de la briqueta cm									
12	Peso de la briqueta al aire (gr)									
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)									
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)									
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)									
16	Peso Específico Bulk de la Briqueta									
17	Peso Específico Máximo - Húmedo (ASTM D 2041)									
18	% de Vacíos (ASTM D 3203)									
19	Peso Específico Bulk Agregado Total									
20	Peso Específico Efectivo Agregado total									
21	Asfalto Absorbido por el Agregado									
22	% de Asfalto Efectivo									
23	Relación Filler/Fuelen									
24	U.M.A.									
25	% Vacíos llenos con C.A.									
26	Flujo 0.31 (0.25 mm)									
27	Estabilidad sin correr (Kg)									
28	Factor de estabilidad									
29	Estabilidad Correída									
30	Estabilidad / Flujo									

<p>Elaborado por:</p>  <p><b>Jefe de Laboratorio</b></p>	<p>Revisado por:</p>  <p><b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b></p>	<p>Aprobado por:</p>  <p><b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b></p>
---	---	---

**Proyecto Tesis** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichua Alberto  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha** : 07/11/2022

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
**Identificación**  
**Descripción** : Moldeo de núcleos con 5.9% de asfalto

UNIDADES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
N. PASA MATERIAL	100.0	100.0	75.8	71.6	95.2	69.8	26.1	10.2	2.5
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	86 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	PROYECTOS	INPRCIP
1	% C.A. en peso de la Mezcla					<b>5.9</b>			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					32.78			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					61.32			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla					0.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) g/cc					1.603			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) g/cc					2.722			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (bulk) g/cc					2.657			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) g/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) g/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) g/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1197.7	1189.9	1204.1		
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)				1200.3	1193.0	1197.2		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				702.1	697.9	701.8		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				496.2	495.1	495.4		
16	Peso Especifico Bulk de la Briqueta				2.404	2.403	2.410	<b>2.406</b>	
17	Peso Especifico Máximo - Rico (ASTM D 3043)					2.497			
18	% de Vacíos (ASTM D 3203)				3.7	3.7	3.5	<b>3.6</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.679			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.745			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.8			
22	% de Asfalto Efectivo					3.0			
23	Relación Hiler/Núcleos					1.10			0.6 - 1.3
24	U.M.A.				15.6	15.6	15.3	<b>15.5</b>	14
25	% Vacíos llenos con C.A.				76.2	76.0	77.4	<b>76.5</b>	
26	Flujo 0.075(3.25 mm)				13.6	13.0	14.0	<b>13.3</b>	8 - 14
27	Estabilidad sin correaje (kg)				1119	1179	1180		
28	Factor de estabilidad				1.64	1.00	1.00		
29	Estabilidad Correjada				1154	1285	1300	<b>1246</b>	MIN 825
30	Estabilidad / Flujo				3551	3953	3715	<b>3746</b>	1700 - 4000

<p>Elaborado por:</p>  <p><b>Jefe de Laboratorio</b></p>	<p>Revisado por:</p>  <p><b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b></p>	<p>Aprobado por:</p>  <p><b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b></p>
---	---	---

**Proyecto Test:** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Solicitante:** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichca Alberto  
**Ubicación:** : Lima  
**Fecha:** : 07/11/2022

**Tipo de muestra:** : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
**Identificación:**  
**Descripción:** : Módulo de núcleos con 6.4% de asfalto

TAMICES ASTM	3"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 60	No 80	No 200
% PASA MAXIMAL	100.0	100.0	81.8	71.8	66.2	44.8	23.1	10.2	5.5
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	80 - 100	75 - 88	51 - 68	38 - 57	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	MEZCLADO	ESPECIF.
1	% C.A. en peso de la Mezcla					6.4			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					32.81			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					66.99			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla					0.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					3.023			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.732			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.857			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Albano prometido de la briqueta								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1206.4	1196.6	1198.8		
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)				1206.7	1200.6	1201.1		
14	Peso de la briqueta despojada (gr)				766.2	762.7	763.9		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				560.5	497.8	497.2		
16	Peso Especifico Bulk de la Briqueta				2.106	2.407	2.411	2.488	
17	Peso Especifico Máximo - Rice		(ASTM D 3041)			2.485			
18	% de Vacíos		(ASTM D 3053)		3.1	3.1	3.8	3.1	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.679			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.754			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.0			
22	% de Asfalto Efectivo					5.4			
23	Galación Filler/Betun					1.02			0.5 - 1.3
24	v.M.A.				15.9	15.9	15.0	15.0	14
25	% Vacíos llenos con C.A.				80.3	80.5	81.3	86.7	
26	Flujo 0.61"(0.25 mm)				15.0	15.0	14.0	14.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				861	990	917		
28	Factor de estabilidad				1.44	1.04	1.04		
29	Cantidad Corregida				866	936	924	938	MDV 815
30	Estabilidad / Flujo				2389	2495	2726	3937	1700 - 4000

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**Proyecto Tests** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichua Alberto  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha** : 07/11/2022

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
**Identificación**  
**Descripción**

MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	8047.0	8047.0	8047.0	8047.0	
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	8214.0	8214.0	8214.0	8214.0	
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	7735.0	7734.0	7733.0	7729.0	
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8945.0	8944.0	8934.0	8934.0	
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1213.0	1295.0	1261.0	1205.0	
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	475.0	460.0	481.0	455.0	
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.532	2.521	2.497	2.489	
CONTENIDO % C.A.	4.90	5.40	5.90	6.40	

**Observaciones :**

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

Proyecto Tesis : Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022

Subsistema : Puz. Caedro Hilarion / Rojas Quirino Alberto

Ubicación : Lima

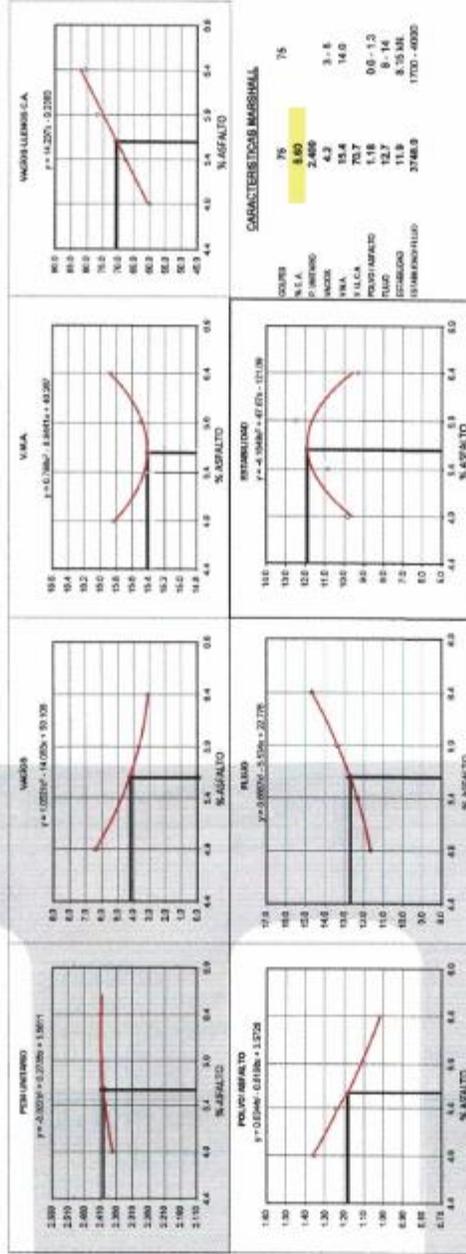
Fecha : 07/11/2022

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica en caliente

Identificación

Designación

**DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO  
CURVAS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTE**



N.º C.A.	4.5	5.4	6.3	6.4
P.º INTENS.	2.371	2.708	2.426	2.426
INDICE	6.4	5.0	3.6	3.1
VMA	16.1	15.4	15.5	15.9
N.º C.A.	59.1	67.8	70.5	80.7
INDICE/IND.	1.6	1.2	1.1	1.0
INDICE	11.7	12.3	13.3	14.7
ESTABILIDAD	8.8	10.8	12.5	13.3
ESTABILIDAD	3071.1	3077.2	3736.5	2632.2

Elaborado por: \_\_\_\_\_

Revisado por: \_\_\_\_\_

Aprobado por: \_\_\_\_\_

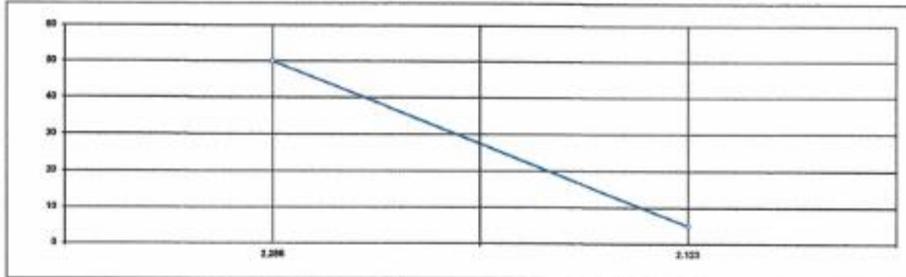
Jefe de Laboratorio

Ingeniero de Suelos y Pavimentos

Control de Calidad MTL GEOTECNIA

MTL GEOTECNIA SAC  
CONTRATO DE CALIDAD

**Proyecto Tests** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichoa Alberto  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha** : 07/11/2022  
**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
**Identificación** :  
**Descripción** : ENSAYO ÍNDICE DE COMPACTABILIDAD

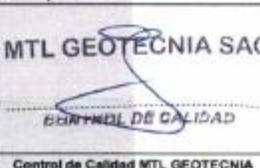


Nº de Muestras	01	02	03	04
Nº de Golpes Marshall	50	50	5	5
1.- Peso Biquete Al Aire	1204.9	1202.4	1203.4	1206.5
2.- Peso Biquete Saturado con Superf. Seca	1211.2	1209.1	1215.7	1217.3
3.- Peso por Desplazamiento	684.2	682.9	649.8	648.3
4.- Volumen de la Biquete	527.0	525.2	585.9	586.0
5.- Peso Unitario ( Gr./cc)	2.286	2.285	2.127	2.120
<b>PROMEDIOS</b>	<b>2.286</b>		<b>2.123</b>	

2.286	2.123
50	5

1
3.102
GGNO - GGNO

IC =	6.16
------	------

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**Proyecto Tesis** : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
**Solicitante** : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichua Alberto  
**Ubicación** : Lima  
**Fecha** : 07/11/2022  
**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
**Identificación** :  
**Descripción** : ENSAYO DE INMERSIÓN COMPRESIÓN - MTC E 518

N° DE PROJETAS	Grupo seco			Grupo húmedo	
	01	02	Promedio	04	05
1 Diámetro	10.1	10.1		10.1	10.1
2 Espesor	6.6	6.6		6.6	6.6
3 Contenido de Cemento Asfáltico	5.66	5.66		5.60	5.60
4 Peso Probeta al Aire	1204.9	1202.1		1209.2	1205.2
5 Peso de la Probeta Saturada (60')	1206.6	1205.4		1208.2	1206.1
6 Peso de la Probeta en el Agua	786.9	786.0		788.9	787.6
7 Volumen de la Probeta	660.0	489.4		500.2	486.1
8 Peso Específico Bulk de la Probeta	2.424	2.407		2.409	2.415
9 Estabilidad sin cargar	1158	1158		923	947
10 Factor Estabilidad	1.04	1.04		1.04	1.04
11 Estabilidad corregida (kg)	1204	1155		963	955
12 Promedio Estabilidad ( 30 Minutos) (kg)	1194				
13 Promedio Estabilidad ( 24 Horas) (kg)				972	
14 Resistencia retenida (%)				81	

Observaciones :

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

Proyecto Tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbon Mineral, Lima, 2022"  
Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichua Alberto  
Ubicación de Proyecto : Lima  
Fecha de Ensayo : 07/11/2022

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
Identificación :  
Descripción : Comparativo de mezcla asfáltica en caliente incorporando Ceniza de Carbon Mineral en la composición granulométrica (3.0%)

**INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D 6927)**

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 6	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	100 - 100	100 - 100	51 - 60	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en peso de la Mezcla					5.6			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					32.76			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					61.94			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla					0.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.023			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.722			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.657			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1209.5	1204.9	1195.9		
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)				1210.9	1207.0	1200.0		
14	Peso de la briqueta desplazado (gr)				795.2	792.3	695.1		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				905.7	904.7	902.9		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.390	2.387	2.396	2.398	
17	Peso Especifico Maximo - Ricos (ASTM D 2041)					2.496			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				4.2	4.3	4.4	4.3	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.679			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.729			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.70			
22	% de Asfalto Efectivo					4.94			
23	Relación Poro/Asfalto					0.89		0.89	0.6 - 1.2
24	V.V.A.				15.7	15.9	15.9	15.9	14
25	% Vacios llenos con C.A.				73.5	72.6	72.4	72.8	
26	Flujo 0.01" (0.25 mm)				13.0	13.0	13.0	12.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (%)				1075	1066	1080		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1117	1111	1142	1123	MIN 915
30	Estabilidad / Flujo				3725	3407	3513	3552	1700 - 4500

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

Proyecto Tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichua Alberto  
Ubicación de Proyecto : Lima  
Fecha de Ensayo : 07/11/2022

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
Identificación :  
Descripción : Comparativo de mezcla asfáltica en caliente incorporando Ceniza de Carbon Mineral en la composición granulométrica (4.0%)

**INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D 8927)**

TAMOS ASTM	3"	3/4"	3/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 60	No 200	
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	81.8	71.8	65.3	45.5	26.2	15.4	5.4	
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 65	35 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	
BRQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.	
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				5.60					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				32.72					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				61.68					
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla				0.00					
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc				1.923					
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.732					
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.657					
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc									
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc									
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc									
11	Altura promedio de la briqueta cm									
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1201.9	1200.0	1201.9			
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1252.0	1201.3	1202.9			
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				704.0	703.2	706.2			
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				496.9	496.1	497.7			
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.409	2.409	2.415	2.411		
17	Peso Especifico Maximo - Roca (ASTM D 2041)				2.469					
18	% de vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3303)				3.2	3.2	3.0	3.1	3 - 5	
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total				2.679					
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total				2.720					
21	Asfalto Absorbido por el Agregado				0.57					
22	% de Asfalto Efectivo				5.06					
23	Relación Polvo/Asfalto				0.91					
24	V.M.A.				15.1	15.1	14.9	15.0	14	
25	% Vacios llenos con C.A.				76.8	76.8	80.1	79.3	0.5 - 1.3	
26	Flujo 0.01" (0.25 mm)				13.0	14.0	14.0	13.7	8 - 14	
27	Estabilidad sin correge (Kg)				1137	1196	1232			
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04			
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1182	1243	1271	1232	MIN 815	
30	Estabilidad / Flujo				3638	3952	3632	3668	1700 - 4000	

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

Proyecto Tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quichcha Alberto  
Ubicación de Proyecto : Lima  
Fecha de Ensayo : 07/11/2022

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
Identificación :  
Descripción : Comparativo de mezcla asfáltica en caliente incorporando Ceniza de Carbon Mineral en la composición granulométrica (5.0%)

**INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D 6927)**

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	91.8	71.8	55.4	45.7	20.2	10.4	5.6
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	30 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA Nº					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mecla					5.80			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mecla					32.68			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mecla					61.72			
4	% Cemento Portland en peso de la Mecla					0.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.023			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.722			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.657			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1299.5	1297.9	1295.0		
13	Peso de la briqueta al agua por 60" (gr)				1201.5	1199.0	1196.0		
14	Peso de la briqueta desplazado (gr)				701.8	701.2	699.4		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				499.7	497.8	496.6		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.402	2.406	2.406	2.405	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.482			
18	% de Vacios = (17-16)/(100)/17 (ASTM D 3203)				3.2	3.0	3.0	3.1	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.679			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.711			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.45			
22	% de Asfalto Efectivo					5.10			
23	Relación Pavej/Asfalto					0.90		0.93	0.6 - 1.3
24	V.N.A.				15.4	15.2	15.2	15.3	14
25	% Vacios llenos con C.A.				79.2	80.1	80.1	79.8	
26	Flujo 0.01"(0.25 mm)				13.0	14.0	14.0	13.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (kg)				1199	1141	1120		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1246	1187	1164	1199	MD 815
30	Estabilidad / Flujo				2825	3290	3327	3517	1700 - 4000

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

Proyecto Tests : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbon Mineral, Lima, 2022"  
Solicitante : Paz Castillo Hilarion / Rojas Quilchoa Alberto  
Ubicación : Lima  
Fecha de Ensayo : 07/11/2022

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
Identificación : Carretera "Cristófer"  
Descripción : Comparativo de mezcla asfáltica en caliente incorporando Cenizas de Carbon Mineral en la composición granulométrica (3.0%, 4.0% y 5.0%)

MUESTRA N°	Núcleo con 3.0 % Ceniza de carbon mineral	Núcleo con 4.0 % Ceniza de carbon mineral	Núcleo con 5.0 % Ceniza de carbon mineral		
1.- PESO DEL FRASCO	6047.0	6047.0	6047.0		
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	8198.0	8198.0	8198.0		
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	7709.2	7709.2	7713.0		
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8929.2	8924.8	8921.8		
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1220.0	1215.0	1211.0		
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	488.0	489.2	488.0		
PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.490	2.486	2.482		
CONTENIDO % C.A.	5.86	5.90	5.80		

Observaciones :

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
  <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>MTL GEOTECNIA S.A.C</b> <small>Calle Los Compañeros 264</small> <b>Elmer Moreno Huaman</b> <small>INGENIERO CIVIL C.I.P. N° 21996</small> <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>MTL GEOTECNIA SAC</b> <small>CONTROL DE CALIDAD</small> <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

Proyecto Tesis : Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral. Lima, 2022

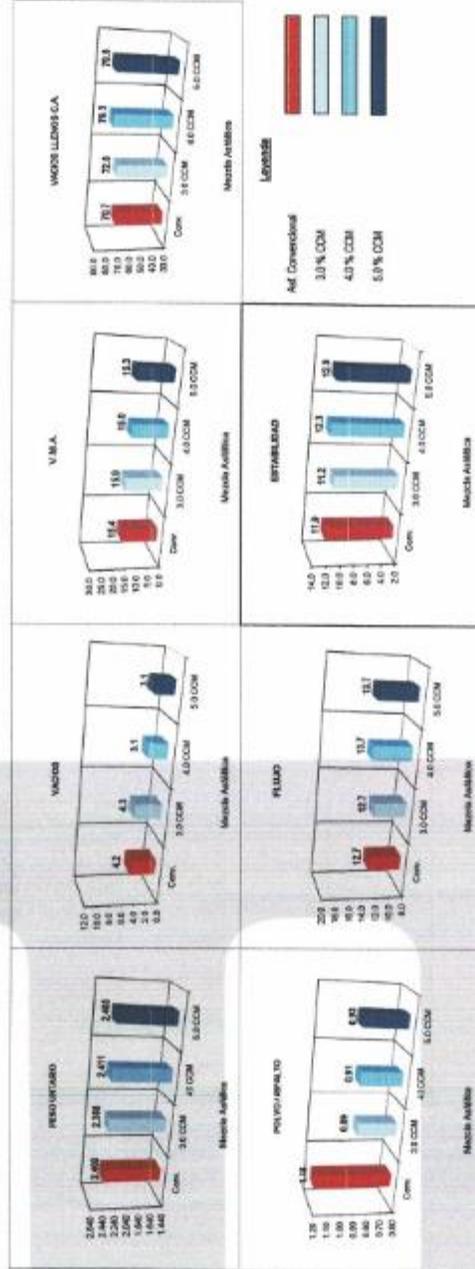
Realizado por : Paz Cabello Hilarion / Ifigenia Quichua Alberti

Fecha de Emisión : 07/11/2022

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Descripción : Comparativo de mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas de Carbon Mineral en la composición granulométrica (3.0%, 4.0% y 5.0%)

**COMPARATIVO DE RESULTADOS VARIANDO PORCENTAJES DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL (CCM) EN LA MEZCLA ASFÁLTICA GRÁFICOS DE BARRAS**



	3.0% CCM	4.0% CCM	5.0% CCM
ASFALTO Convencional	2.400	2.411	2.425
P.V. BURGUETA	4.2	4.3	4.4
V.M.A.	11.4	11.9	12.4
VACÍOS	4.2	4.3	4.4
PREGUNTADO	2.408	2.418	2.428
POLVO/ASFALTO	6.89	6.91	6.93
FLEJADO	12.7	12.7	12.7
MAQUINA LLUVIS CA	70.7	72.9	78.3
DETERMINADO	11.86	11.92	11.95
REVISADO	37.66.0	38.47.2	39.26.6

Elaborado por:

Revisado por:

Aprobado por:

**MTL GEOTECNIA SAC**  
Control de Calidad

**MTL GEOTECNIA S.A.C**  
Suavizado y Control de Calidad  
Eduardo Alejandro Huamani  
C.O.P. N.º 10.004

Jefe de Laboratorio      Ingeniero de Suelos y Pavimentos      Control de Calidad MTL GEOTECNIA

Proyecto Tesis : "Evaluación del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica con cenizas de Carbón Mineral, Lima, 2022"  
Solicitante : Paz Castillo Hilerion / Rojas Guichoa Alberto  
Ubicación de Proyecto : Lima  
Fecha de Ensayo : 07/11/2022

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
Identificación :  
Descripción : Comparativo de mezcla asfáltica en caliente incorporando Ceniza de Carbon Mineral en la composición granulométrica (3.0%, 4.0% y 5.0%)

**DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE**  
**MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO**  
(RESUMEN)

**1.- Mezcla de agregados (Dosificación)**

Agregado grava bituminosa TM 3/4"  
Agregado arena bituminosa  
Agregado arena natural  
Ceniza de carbon mineral

30.0	30.0	30.0	30.0
30.0	30.0	30.0	30.0
40.0	37.0	36.0	35.0
0.0	3.0	4.0	5.0

Gración : MAC-2 "Especificación técnica MTC EG -2013 sección (422)"

**2.- Ligante asfáltico**

Tipo de asfalto : PEN 60 / 70  
% óptimo de asfalto residual : 5.8

**3.- Características marshall modificado**

Parámetros de diseño	% Óptimo diseño convencional	Mezcla con 3.0% CCM	Mezcla con 4.0% CCM	Mezcla con 5.0% CCM	Especificación EG 2013	
GOLPES	N°	75	75	75	75	
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.80	5.80	5.80	5.60	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2,460	2,388	2,411	2,405	
VACIOS	%	4.2	4.5	3.1	3.1	3 - 5
V.M.A.	%	15.4	15.9	15.0	15.3	14
V.L.L.C.A.	%	70.7	72.8	75.3	79.8	
POLVO / ASFALTO	%	1.18	0.89	0.91	0.93	0.8 - 1.3
FLUJO	0.01", 0.25 mm	12.7	12.7	13.7	13.7	8 - 14
ESTABILIDAD	MM	11.8	11.2	12.3	12.0	8-15
ESTABILIDAD FLUJO	kg/cm	3748.0	3561.7	3607.6	3617.4	1700 - 4000

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

## Anexo 4. Validación de Instrumentos de recolección de datos

### ANEXO 03: VALIDACION DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION CIENTIFICA

#### I. DATOS GENERALES

**Apellidos y nombres del experto:** EDWIN APOLINARIO MORALES

**Institución donde labora:** U.N.I.

**Especialidad:** Ing. Civil

**Instrumento de evaluación:** Ensayo Marshall, Resistencia, Estabilidad, Deformaciones, flujo, peso específico y granulometría.

**Autores de los instrumentos:** Paz Castillo Hilarión & Rojas Quichca Alberto

#### II. ASPECTOS DE VALIDACION

**MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)**

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL en todas sus dimensiones e indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	el instrumento demuestra vivencia a corde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal e inherente a la variable MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organización lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable de manera que permita hacer injerencia en función a las hipótesis problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad a corde con la variable, dimensiones y indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable carbón mineral y mezcla asfáltica					X
METODOLOGUIA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
<b>PUNTAJE TOTAL</b>		<b>50</b>				

(Nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se obtiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

#### III. OPINION DE APLICABILIDAD: EL TRABAJO DE INVESTIGACION ES PROCEDENTE

IV. PROMEDIO: 50

Lima 16 de noviembre del 2022

  
EDWIN WILDER APOLINARIO MORALES  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 40658

**ANEXO 03: VALIDACION DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION  
INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION CIENTIFICA**

**I. DATOS GENERALES**

**Apellidos y nombres del experto:** MARCO ANTONIO PAREDES BACA

**Institución donde labora:** SAC. GERENCIA Y PROYECTOS

**Especialidad:** Ing. Civil

**Instrumento de evaluación:** Ensayo Marshall, Resistencia, Estabilidad, Deformaciones, flujo, peso específico y granulometría.

**Autores de los instrumentos:** Paz Castillo Hilarión & Rojas Quichca Alberto

**II. ASPECTOS DE VALIDACION**

**MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)**

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL en todas sus dimensiones e indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	el instrumento demuestra vivencia a corde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal e inherente a la variable MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organización lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable de manera que permita hacer injerencia en función a las hipótesis problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad a corde con la variable, dimensiones y indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable carbón mineral y mezcla asfáltica					X
METODOLOGUIA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
<b>PUNTAJE TOTAL</b>						<b>50</b>

(Nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se obtiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

**III. OPINION DE APLICABILIDAD: EL TRABAJO DE INVESTIGACION ES PROCEDENTE**

**IV.**

**PROMEDIO:**

**50**

**Lima 16 de noviembre del 2022**

  
 MARCO ANTONIO PAREDES BACA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP Nº 72487

**ANEXO 03: VALIDACION DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION**

**INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION CIENTIFICA**

**I. DATOS GENERALES**

**Apellidos y nombres del experto:** DAYANNA YOSSELYN PALOMINO MEZA

**Institución donde labora:** DUEM INGENIEROS S.A.C.

**Especialidad:** Ing. Civil

**Instrumento de evaluación:** Ensayo Marshall, Resistencia, Estabilidad, Deformaciones, flujo, peso específico y granulometría.

**Autores de los instrumentos:** Paz Castillo Hilarión & Rojas Quichca Alberto

**II. ASPECTOS DE VALIDACION**

**MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)**

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL en todas sus dimensiones e indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	el instrumento demuestra vivencia a corde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal e inherente a la variable MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL.					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organización lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable de manera que permita hacer injerencia en función a las hipótesis problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad a corde con la variable, dimensiones y indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable carbón mineral y mezcla asfáltica					X
METODOLOGUIA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
<b>PUNTAJE TOTAL</b>		<b>50</b>				

(Nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se obtiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

**III. OPINION DE APLICABILIDAD: EL TRABAJO DE INVESTIGACION ES PROCEDENTE**

**IV.**

**PROMEDIO:**

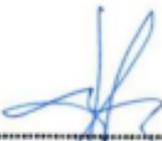
**50**

**Lima 16 de noviembre del 2022**



Dayanna Y. Palomino Meza  
**GERENTE GENERAL**  
DUEM INGENIEROS S.A.C.  
RUC: 20605691324

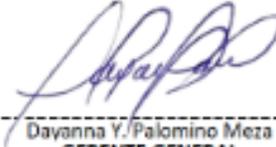
### FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

<b>Nombre del instrumento</b>	CUESTIONARIO
<b>Objetivo del instrumento</b>	VALIDACION
<b>Nombres y apellidos del experto</b>	EDWIN WILDER APOLINARIO MORALES
<b>Documento de identidad</b>	22418879
<b>Años de experiencia en el área</b>	15 años
<b>Máximo Grado Académico</b>	Maestría en Ciencias con mención en Ingeniería de Transportes
<b>Nacionalidad</b>	Peruano
<b>Institución</b>	U.N.I.
<b>Cargo</b>	Docente
<b>Número telefónico</b>	988647989
<b>Firma</b>	 <b>EDWIN WILDER APOLINARIO MORALES</b> <b>INGENIERO CIVIL</b> <b>Reg. CIP Nº 40656</b>
<b>Fecha</b>	16/11/2022

### FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

<b>Nombre del instrumento</b>	CUESTIONARIO
<b>Objetivo del instrumento</b>	VALIDACION
<b>Nombres y apellidos del experto</b>	MARCO ANTONIO PAREDES BACA
<b>Documento de identidad</b>	10625183
<b>Años de experiencia en el área</b>	19 años
<b>Máximo Grado Académico</b>	INGENIERO CIVIL
<b>Nacionalidad</b>	PERUANO
<b>Institución</b>	SAC. GERENCIA Y PROYECTOS
<b>Cargo</b>	GERENTE DE PROYECTOS
<b>Número telefónico</b>	986139624
<b>Firma y sello</b>	 <b>MARCO ANTONIO PAREDES BACA</b> <b>INGENIERO CIVIL</b> <b>Reg. CIP Nº 72487</b>
<b>Fecha</b>	16/11/2022

### VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	CUESTIONARIO
Objetivo del instrumento	VALIDACION
Nombres y apellidos del experto	DAYANNA YOSSELYN PALOMINO MEZA
Documento de identidad	DNI: 74952236
Años de experiencia en el área	5 AÑOS
Máximo Grado Académico	INGENIERO CIVIL
Nacionalidad	PERUANA
Institución	DUEM INGENIEROS S.A.C.
Cargo	GERENTE GENERAL
Número telefónico	957927549
Firma y sello	 ----- Dayanna Y. Palomino Meza GERENTE GENERAL DUEM INGENIEROS S.A.C. RUC: 20605691324
Fecha	16/11/2022

### VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	CUESTIONARIO
Objetivo del instrumento	VALIDACION
Nombres y apellidos del experto	CESAR MARTIN PALOMINO ZAVALA
Documento de identidad	DNI: 08594139
Años de experiencia en el área	22 AÑOS
Máximo Grado Académico	INGENIERO CIVIL
Nacionalidad	PERUANA
Institución	INDEPENDIENTE
Cargo	CONSULTOR
Número telefónico	995656207
Firma y sello	 CESAR MARTIN PALOMINO ZAVALA INGENIERO CIVIL Reg. del Colegio de Ingenieros N° 60191
Fecha	16/11/2022

## Anexo 5. Confiabilidad



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD  
NTP ISO / IEC 17025:2017

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 17263 - 2022

PROFORMA : 0341A

Fecha de emisión : 2022 - 04 - 26

Página 1 de 3

SOLICITANTE : INGEPAV INGENIEROS S.A.C.

Dirección CAL.21 MZA. Z. LOTE.34 URB.COOPPI LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN MAQUINA DE ABRASIÓN  
Marca METROTEST  
Modelo MC - 152  
N° de serie 112  
Procedencia PERUANA  
Identificación Noindica  
Fecha de Calibración 2021 - 06 - 25  
Ubicación LABORATORIO

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipo de medición basados a la Norma

Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad garantizando la satisfacción de nuestros clientes

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los Patrones Nacionales o Internacionales de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

#### LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de INGEPAV INGENIEROS S.A.C.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados

#### MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa utilizando patrones calibrados y trazables al sistema Internacional de medida.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

#### CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	25,1 °C	24,9 °C
Humedad Relativa	50,5 %	47,4 %

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Pizarro  
Gerente Técnico  
CFP: 0316

## CERTIFICADO DE CALIBRACION TC - 17254 - 2022

PROFORMA : 5341A Fecha de emisión : 2022-04-25

**SOLICITANTE : INGEPAV INGENIEROS S.A.C.**  
Dirección : CAL.21 MZA. Z LOTE. 34 URB. COOPPIP LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES

**INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA**  
Tipo : ELECTRÓNICA  
Marca : OHAUS  
Modelo : R31930  
N° de Serie : 8335450116  
Capacidad Máxima : 30000 g  
Resolución : 1 g  
División de Verificación : 10 g  
Clase de Exactitud : III  
Capacidad Mínima : 200 g  
Procedencia : CHINA  
Identificación : No Indica  
Ubicación : LABORATORIO  
Variación de  $\Delta T$  Local : 10 °C  
Fecha de Calibración : 2022-11-25

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**LUGAR DE CALIBRACION**  
Instalaciones de INGEPAV INGENIEROS S.A.C.

**MÉTODO DE CALIBRACION**  
La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-001 "Procedimiento para la Calibración de Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático Clase III y IIII". Primera Edición - Mayo 2019. DM - INACAL.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar  
Gerente Técnico  
CFP: 0316



TRAZABILIDAD

Trazabilidad	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 100 mg a 1 kg Clase de Exactitud M2	TC-5069-2020 Mayo 2020
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 2 kg Clase de Exactitud M2	TC-5071-2020 Mayo 2020
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 5 kg Clase de Exactitud M2	TC-5072-2020 Mayo 2020
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 10 kg Clase de Exactitud M2	TC-5073-2020 Mayo 2020
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 20 kg Clase de Exactitud M2	TC-5075-2020 Mayo 2020

RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCION VISUAL

Ajuste de Cero	Tiene	Escala	No Tiene
Oscilación Libre	Tiene	Cursor	No Tiene
Plataforma	Tiene	Nivelación	Tiene
Sistema de Traba	No Tiene		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	22,7 °C	22,9 °C
Humedad Relativa	69 %	68 %

Medición N°	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Medición N°	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15000	14 999	0,8	-1,3	1	30000	30 000	0,7	-0,2
2		14 999	0,8	-1,3	2		30 000	0,7	-0,2
3		15 000	0,9	-0,4	3		30 000	0,7	-0,2
4		14 999	0,8	-1,3	4		30 000	0,6	-0,1
5		14 999	0,7	-1,2	5		30 001	0,9	0,6
6		15 000	0,9	-0,4	6		29 999	0,4	-0,9
7		14 999	0,6	-1,1	7		30 000	0,7	-0,2
8		15 000	0,8	-0,3	8		29 999	0,4	-0,9
9		14 999	0,7	-1,2	9		29 999	0,4	-0,9
10		14 999	0,8	-1,3	10		30 001	0,9	0,6
Emax - Emin   (g)				1,0	Emax - Emin   (g)				1,5
e.m.p. ± (g)				20	e.m.p. ± (g)				30

Certificado de Calibración  
TC - 17254 - 2022

2	5
1	
3	4

**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	22,9 °C	23,0 °C
Humedad Relativa	67 %	67 %

N°	Determinación de Eo				Determinación del Error Corregido Ec					e.m.p. ± (g)
	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
1	100	100	0,6	-0,1	10000	10 000	0,8	-0,3	-0,2	20
2		100	0,5	0,0		9 999	0,4	-0,9	-0,9	
3		100	0,8	-0,3		9 999	0,4	-0,9	-0,6	
4		100	0,6	-0,1		9 999	0,8	-1,3	-1,2	
5		100	0,7	-0,2		9 999	0,6	-1,1	-0,9	

**ENSAYO DE PESAJE**

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	22,9 °C	23,0 °C
Humedad Relativa	67 %	67 %

Carga (g)	Carga Creciente				Carga Decreciente				e.m.p. ± (g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
100,0	100	0,6	-0,1						
200,0	200	0,6	-0,1	0,0	200	0,7	-0,2	-0,1	10
500,0	500	0,8	-0,3	-0,2	500	0,7	-0,2	-0,1	10
1 000,0	1 000	0,7	-0,2	-0,1	1 000	0,6	-0,1	0,0	10
2 000,0	2 000	0,7	-0,2	-0,1	2 000	0,6	-0,1	0,0	10
5 000,0	5 000	0,6	-0,1	0,0	5 000	0,7	-0,2	-0,1	10
10 000,3	10 000	0,6	-0,4	-0,3	10 000	0,7	-0,5	-0,4	20
15 000,3	14 999	0,5	-1,3	-1,2	15 000	0,7	-0,5	-0,4	20
20 000,6	20 000	0,8	-0,9	-0,8	20 000	0,6	-0,7	-0,6	20
25 000,6	25 000	0,7	-0,8	-0,7	25 000	0,7	-0,8	-0,7	30
30 000,9	30 000	0,7	-1,1	-1,0	30 000	0,7	-1,1	-1,0	30

Donde:

I : Indicación de la balanza  
e.m.p. : Error máximo permitido

ΔL : Carga incrementada  
E : Error encontrado

Eo : Error en cero  
Ec : Error corregido

**LECTURA CORREGIDA E INCERTIDUMBRE DE LA BALANZA**

$$\text{Lectura Corregida} = R + 4,26 \times 10^{-5} \times R$$

$$\text{Incertidumbre Expandida} = 2 \times \sqrt{5,25 \times 10^{-1} \text{ kg}^2 + 2,38 \times 10^{-9} \times R^2}$$

R : Lectura, cualquier indicación obtenida después de la calibración (g)

**OBSERVACIONES**

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado. La indicación de la balanza fue de 30 000 g para una carga de valor nominal 30000 g.

**INCERTIDUMBRE**

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 17268 - 2022

PROFORMA : 5341A

Fecha de emisión: 2022 - 25 - 04

Página 1 de 5

SOLICITANTE: INGEPAV INGENIEROS S.A.C

Dirección CAL.21 MZA. Z. LOTE.34 URB.COOP PIP - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES

<b>INSTRUMENTO DE MEDICIÓN</b>	<b>BAÑO TERMOSTÁTICO</b>
Marca	METROTEST
Modelo	No indica
N° de serie	43- 1L12NB11BR BAWAS
Líquido termostático	Agua destilada
Muestra	Briqueta de asfalto
Procedencia	PERU.
Identificación	146
Fecha de Calibración	2022 - 21 - 04
Ubicación	LABORATORIO

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipo de medición basados a la Norma

Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad garantizando la satisfacción de nuestros clientes

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los Patrones Nacionales o Internacionales de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

### LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de INGEPAV INGENIEROS S.A.C

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados

### MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa con nuestra termómetro patrón según Procedimiento PC - 019 "Procedimiento de calibración para baños termostáticos" Primera Edición Abril 2009 SNM - INDECOP

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

### CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	25,1 °C	24,9 °C
Humedad Relativa	50,5 %	47,4 %

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello



L.I.C. Nicolás Ramos Paucar  
Gerente Técnico  
CFP: 0316

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN TC - 17339 - 2022

PROFORMA : 5341A

Fecha de emisión: 2022 - 04 - 04

Página : 1 de 3

SOLICITANTE : INGEPAV INGENIEROS S.A.C.

Dirección : Cal.21 Mza. Z Lote. 34 Urb. Coopip Lima - Lima - San Martin De Porres

**INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : COMPARADOR DE CUADRANTE**

Tipo : Analógico  
Marca : ELE  
Modelo : AP-171B  
N° de Serie : 122224843  
Intervalo de Indicación : 0 in a 1 in  
División de Escala : 0,01 in  
Procedencia : U.S.A.  
Identificación : No Indica  
Fecha de Calibración : 2022 - 27 - 03

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

### LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de TEST & CONTROL S.A.C.

### MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa con nuestros bloques patrón según procedimiento PC - 014 "Procedimiento para la calibración de comparadores utilizando bloques patrón de longitud" Edición 3 - Julio 2019 INACAL

### CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	20,6 °C	20,4 °C
Humedad Relativa	57,8 %	58,1 %

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar  
Gerente Técnico  
CFP: 0316

**TRAZABILIDAD**

Patron de Referencia	Patron de Trabajo	Certificado de Calibracion
Bloques Patrón Grado K DM-INACAL	Bloques Patrón de Longitud 0,5 mm a 100 mm Grado 0	LLA-261-2020

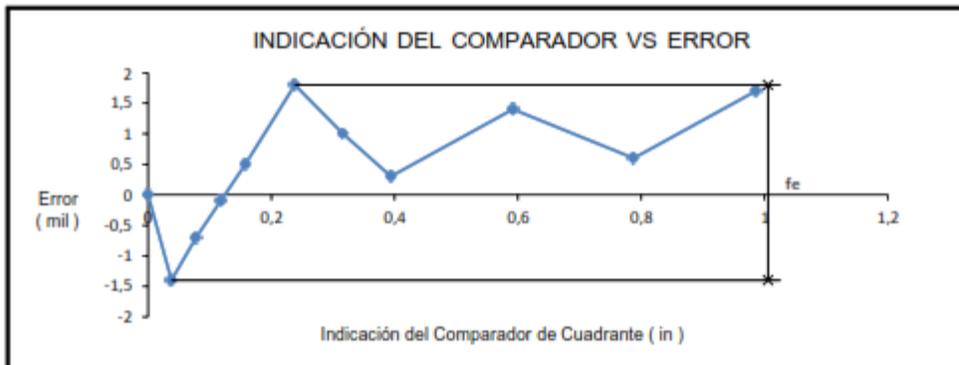
**RESULTADOS DE MEDICIÓN**

Error de referencia inicial = 0,0 mil

**Error de Indicación**

Valor Patrón ( in )	Indicación del Comparador ( in )	Error ( mil )
0,0394	0,0380	-1,4
0,0787	0,0780	-0,7
0,1181	0,1180	-0,1
0,1575	0,1580	0,5
0,2362	0,2380	1,8
0,3150	0,3160	1,0
0,3937	0,3940	0,3
0,5906	0,5920	1,4
0,7874	0,7880	0,6
0,9842	0,9859	1,7

Alcance de error de indicación ( $f_e$ ): 3,2 mil  
Incertidumbre del error de indicación: 2,4 mil

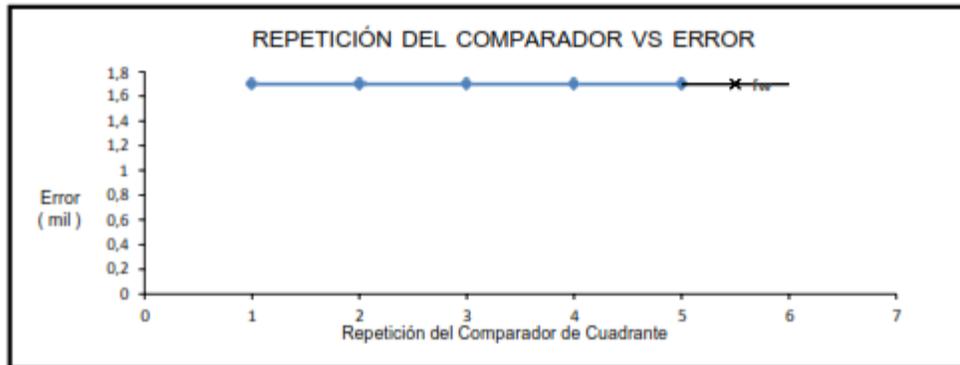


### RESULTADOS DE MEDICIÓN

#### Error de Repetibilidad

Valor Patrón ( in )	Indicación del Comparador ( in )	Error ( mil )
0,9842	0,9859	1,7
	0,9859	1,7
	0,9859	1,7
	0,9859	1,7
	0,9859	1,7

Alcance de error de indicación ( $f_w$ ): 0 mil  
Incertidumbre del error de indicación: 2,4 mil



#### OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.  
Para una mejor aproximación del instrumento bajo calibración, se subdividió la división de escala en 5 partes.  
El instrumento tiene un error máximo permisible ( $f_e$ ) de 0,8 mil, según norma DIN 878.

#### INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura  $k=2$  que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**TC - 17269 - 2022**

PROFORMA : 5341A

Fecha de emisión : 2022 - 06 - 04

Página 1

SOLICITANTE : NGEPAV INGENIEROS S.A.C.

Dirección CAL.21 MZA. Z. LOTE.34 URB.COOP PIP - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES

<b>EQUIPO</b>	<b>HORNO</b>
Marca	METROTEST
Modelo	No indica
N° de serie	No indica
Tipo de Ventilación	Natural
Procedencia	PERUANA
Identificación	325
<b>INSTRUMENTO DE MEDICIÓN</b>	<b>TERMÓMETRO DIGITAL</b>
Marca	AUTCOMP
Alcance	No indica
Resolución	0.1 °C
<b>TIPO DE CONTROLADOR</b>	<b>DIGITAL</b>
Marca	AUTCOMP
Alcance	No indica
Resolución	0.1°C
Fecha de Calibración	2022 - 25 - 03
Ubicación	LABORATORIO

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipo de medición basados a la Norma Técnica Peruana BQ/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los Patrones Nacionales o Internacionales de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

**LUGAR DE CALIBRACIÓN**

Instalaciones de INGEPAV INGENIEROS S.A.C

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

**MÉTODO DE CALIBRACIÓN**

La calibración se realizó por comparación directa con el sistema de medición de temperatura patrón según procedimiento PC- 010 "Procedimiento de calibración o caracterización de medios isotermos con aire como medio termostático". Segunda Edición Junio 2009. SNM • NDECOPI.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**CONDICIONES AMBIENTALES**

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	25,1 °C	24,9 °C
Humedad Relativa	50,5 %	47,4 %

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Pucur  
Gerente Técnico  
CFP: 0316



Certificate PE22/819943976

The management system of  
**MTL GEOTECNIA S.A.C.**

Calle La Madrid 264 Asc. Los Olivos, San Martin De Porres,  
Lima, Perú.

has been assessed and certified as meeting the requirements of

**ISO 9001:2015**

For the following activities

**Servicio de laboratorio de ensayos de materiales y muestreo para  
suelos, concreto y asfalto.**

**Materials testing and soil sampling laboratory service concrete and  
asphalt.**

This certificate is valid from 24 March 2022 until 23 March 2025  
and remains valid subject to satisfactory surveillance audits.  
Recertification audit due a minimum of 60 days before the expiration date.  
Issue 1. Certified since 24 March 2022.

Authorised by

SGS United Kingdom Ltd  
Rossmore Business Park, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 3EN, UK  
t +44 (0)151 350-6666 f +44 (0)151 350-6600 [www.sgs.com](http://www.sgs.com)

21HC 9001 2015 0421

Page 1 of 1



This document is a Web version of SGS certificate for electronic use exclusively. It shall only be available by clicking on SGS Certification Mark which has been posted on Your website. It shall not be printed in anyway. This document is copyright protected. No content or appearance may be reproduced without the express written permission of SGS. Any misuse, alteration, forgery or falsification is unlawful.

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 17259 - 2022

PROFORMA : 5341A

Fecha de emisión : 2022 - 13 - 04

Página 1

SOLICITANTE : INGEPAVINGENIEROS S.A.C.

Dirección CAL.21 MZA. Z. LOTE.34 URB.COOPPIP - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES

**INSTRUMENTO DE MEDICIÓN** PRENSA MARSHALL  
Marca No indica  
Modelo MA - 75  
N° de serie 156  
Intervalo de Indicación 0 - 5000Kg  
Procedencia PERUANA  
Identificación No indica  
Fecha de Calibración 2022 - 22 - 03  
Ubicación LABORATORIO

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipo de medición basados a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad garantizando la satisfacción de nuestros clientes

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los Patrones Nacionales o Internacionales de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

### LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de INGEPAVINGENIEROS S.A.C.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados

### MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa utilizando el PIC 023  
Procedimiento para la calibración de prensas, celdas y anillos de carga

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

### CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	25,1 °C	24,9 °C
Humedad Relativa	50,5 %	47,4 %

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento

El presente documento carece de valor sin firma y sello



Lic. Nicolás Ramos Paucar  
Gerente Técnico  
CFP: 0316

## Anexo 6. Panel Fotográfico

### Figura 1

*Cuarteo del agregado grueso*



Fuente: Elaboración Propia

### Figura 2:

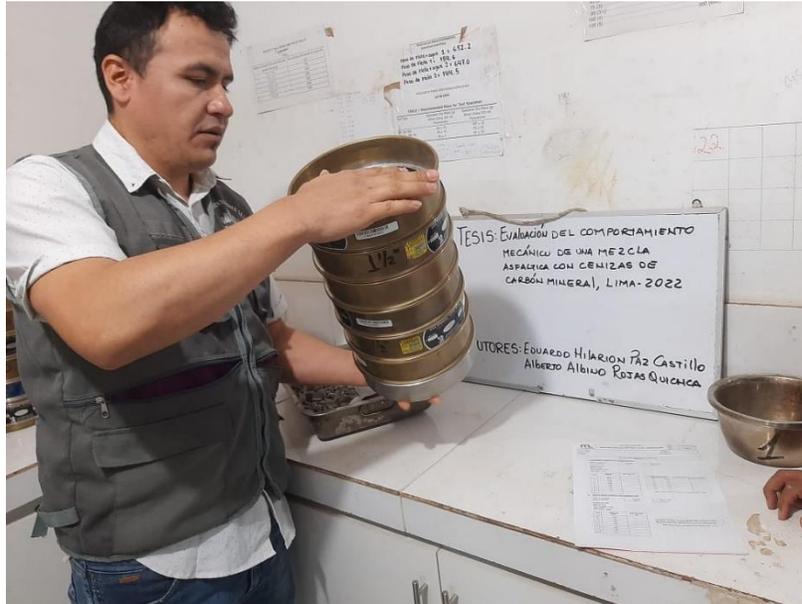
*Peso del material con apoyo de la una balanza*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 3**

*Análisis granulométrico ASTM D-422*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4:**

*Peso unitario suelto [PUS y PUC] del agregado fino NTP. 400.017 ASTM C-29 MTC E-203*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 5**

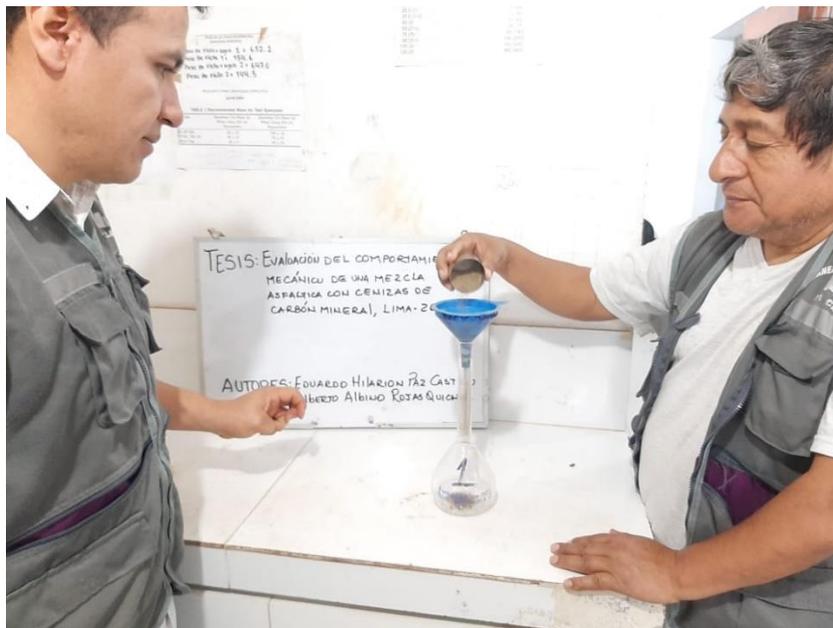
*Peso unitario suelto [PUS y PUC] del agregado fino NTP. 400.017 ASTM C-29 MTC E-203*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 6**

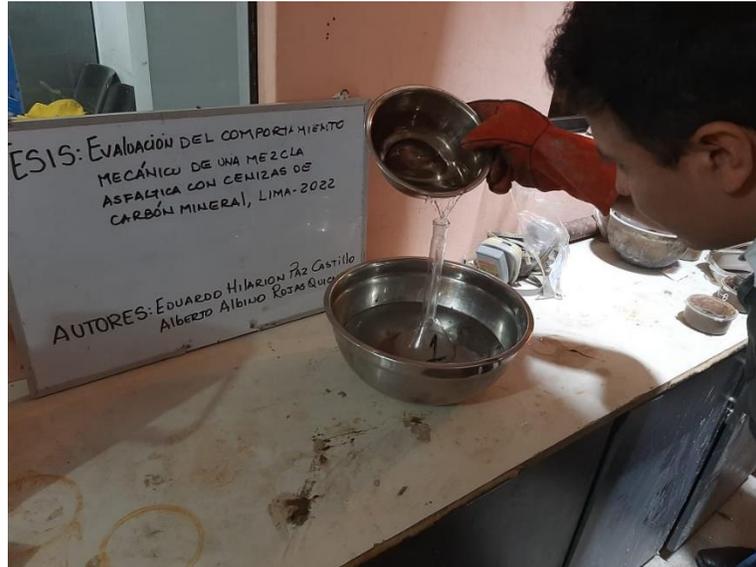
*Peso específico y absorción del agregado fino ASTM C-127 NTP 400.022*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 7**

*Peso específico y absorción del agregado fino ASTM C-127 NTP 400.022*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 8**

*Peso específico y absorción del agregado fino ASTM C-127 NTP 400.022*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 9**

*Peso del molde de la briqueta ASTM D6927*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 10**

*Peso de la muestra (probeta) AASHTO T 245 o (ASTM D1559). MTC E504*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 11**

*Equipo Marshall AASHTO T 245 o (ASTM D1559). MTC E504*



Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, FERNÁNDEZ DÍAZ CARLOS MARIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON CENIZAS DE CARBÓN MINERAL, LIMA, 2022", cuyos autores son ROJAS QUICHCA ALBERTO ALBINO, PAZ CASTILLO HILARION, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

LIMA, 25 de Noviembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
FERNÁNDEZ DÍAZ CARLOS MARIO <b>DNI:</b> 09026248 <b>ORCID:</b> 0000-0001-6774-8839	Firmado electrónicamente por: CMFERNANDEZD el 13-12-2022 21:00:38

Código documento Trilce: TRI - 0455278