



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**“Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado  
con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021”**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA CIVIL**

**AUTORA:**

Murillo Luza, Thatiana del Pilar (ORCID: 0000-0003-0815-0508)

**ASESOR:**

Dr. Ing. Vargas Chacaltana, Luis Alberto (ORCID: 0000-0002-4136-7189)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres y de manera especial a mi madre Anita Luza Chara, por haber estado en todo momento de mi vida y brindarme su apoyo incondicional, a mi hermana Xiomara por ser el motivo para esforzarme cada día y demostrar que con esfuerzo todo es posible, a mi familia por brindarme consejos que me ha permitido ser una persona de bien, a ellos les dedico con mucho cariño.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Principalmente a Dios, por darme una vida llena de aprendizajes, experiencias, guiar mi camino y permitirme cumplir con éxito una etapa más de mi vida.*

*A mis padres, hermana y a toda persona que siempre han estado dando su apoyo incondicional durante todo el proceso.*

*Al Ing. Jaime Ticca (QDEP), al personal técnico del laboratorio de la GRTC de Arequipa, el Sr. Marco y Dante por su apoyo en la ejecución de ensayos y consejos que me expresaron, así mismo, al laboratorio RCF S.R.L y a mi amiga Mónica.*

*A mi asesor de tesis el Dr. Luis Alberto Vargas quien brindo su tiempo, apoyo y orientación para lograr el gran anhelo de titularme como ingeniera civil.*

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
ÍNDICE .....	III
ÍNDICE DE TABLAS .....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	36
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.....	37
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO. ....	38
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	39
3.5. PROCEDIMIENTOS.....	41
3.6. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS .....	64
3.7. ASPECTOS ÉTICOS .....	64
IV. RESULTADOS.....	65
V. DISCUSIÓN .....	81
VI. CONCLUSIONES .....	85
VII. RECOMENDACIONES.....	86
ANEXOS .....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Identificación de fases cristalinas en la Ignimbrita.....	12
Tabla 2 Características químicas de la Ignimbrita.....	12
Tabla 3 Índice de Riedel Weber .....	17
Tabla 4 Especificaciones para Filler.....	19
Tabla 5 Causas y Efectos de un Pavimento Inestabilidad.....	24
Tabla 6 Causas y Efectos de la poca durabilidad.....	25
Tabla 7 Causas y Efectos de la permeabilidad. ....	25
Tabla 8 Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad .....	26
Tabla 9 Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga.....	27
Tabla 10 Causas y Efectos de una Mala Resistencia al deslizamiento.....	27
Tabla 11 Cantidades de muestras Mínimas - Rice.....	34
Tabla 12 Población y Muestra .....	39
Tabla 13 Requerimientos para Agregados Gruesos .....	42
Tabla 14 Requerimientos para Agregados Finos. ....	42
Tabla 15 Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC).....	43
Tabla 16 Selección del tipo de cemento asfáltico.....	44
Tabla 17 Requisitos para mezcla de diseño Marshall. ....	44
Tabla 18 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.....	45
Tabla 19 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad.....	46
Tabla 20 Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA).....	47
Tabla 21 Factores de Estabilidad de Correlación.....	57
Tabla 22 Determinación de número de golpes al 7% de vacíos – Convencional. 58	
Tabla 23 Determinación de número de golpes al 7% de vacíos – Modificado 0.5%. .....	59
Tabla 24 Determinación de número de golpes al 7% de vacíos – Modificado 1%. .....	60
Tabla 25 Determinación de número de golpes al 7% de vacíos – Modificado 3%. .....	61
Tabla 26 Coordenadas de la Cantera Km 19+000 Variante Uchumayo.....	65
Tabla 27 Resultados de la Características del Agregado Grueso .....	66
Tabla 28 Resultados de la Características del Agregado Fino.....	67
Tabla 29 Resultados de la Características de la Ignimbrita .....	68

Tabla 31 Pesos materiales para mezcla convencional.....	69
Tabla 32 Requerimientos Diseño Marshall para mezcla Convencional.....	72
Tabla 30 Resultados del pasante en N°80 - MAC 2 .....	73
Tabla 33 Pesos para espécimen de mezcla modificada con ignimbrita .....	73
Tabla 34 Resultados de Parámetros Volumétricos y Mecánicos de mezcla convencional y modificada. ....	74
Tabla 35 Ensayo de Tracción Indirecta de mezclas convencional y modificada. .	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tobas volcánicas (Canteras de Añashuyaco).....	10
Figura 2 Toba de Sillar blanco.....	11
Figura 3. Máquina de Estabilidad con Anillo de Carga.....	23
Figura 4. Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada.....	30
Figura 5 Esquema de mezcla Asfáltica compactada.....	32
Figura 6 Rotura de la briqueta del ensayo TSR, Garnica et al., 2004, p. 51. ....	35
Figura 7. Procedimiento de Diseño, Elaboración Propia .....	41
Figura 8 Carta de Viscosidad Pen 85/100 .....	46
Figura 9. Producción de agregado de TM 1/2" y arena chancada .....	48
Figura 10 Cuarteo de agregado grueso. ....	48
Figura 11. Agregado Grueso TM 3/4".....	49
Figura 12 Cuarteo de agregado Fino. ....	49
Figura 13. Cal hidratada.....	50
Figura 14 Recolección de Residuos de Sillar.....	50
Figura 15 Ignimbrita Tamizada.....	51
Figura 16 Curva granulométrica de la Ignimbrita.....	51
Figura 17 Curva granulométrica mezclas convencional .....	52
Figura 18 Curva granulométrica mezclas modificado con 0.5% de ignimbrita. ....	52
Figura 19 Curva granulométrica mezclas modificado con 1% de ignimbrita. ....	52
Figura 20 Curva granulométrica mezclas modificado con 3% de ignimbrita. ....	53
Figura 21 Mezcla de agregados e Ignimbrita. ....	53
Figura 22 Compactación manual de mezcla para briquetas.....	54
Figura 23 Gravedad Especifica Máxima Teórica.....	54
Figura 24 Especímenes de mezcla convencional. ....	55
Figura 25. Numero de Briquetas por Ensayo .....	55
Figura 26 Rotura de especímenes en Prensa Marshall. ....	56
Figura 27 Curva de Vacíos Vs N° Golpes – Convencional.....	58
Figura 28 Curva de Vacíos Vs N° Golpes - Modificado 0.5%.....	59
Figura 29 Curva de Vacíos Vs N° Golpes - Modificado 1%.....	60
Figura 30 Curva de Vacíos Vs N° Golpes - Modificado 3%.....	61
Figura 31 Especímenes para ensayo Tracción Indirecta .....	62
Figura 32 Sub grupo seco y Acondicionado.....	62

Figura 33 Congelamiento de muestras a -18°C de muestras acondicionadas.....	62
Figura 34 Saturación a 60°C de muestras acondicionadas.....	63
Figura 35 Ensayo de Tracción Indirecta.....	63
Figura 36. Ubicación de la cantera km19 de la GRTC. ....	65
Figura 37. Localización a nivel nacional y regional - Arequipa .....	65
Figura 38 Ensayo de Adherencia de Ignimbrita.....	68
Figura 39. Peso Unitarios en función del Porcentaje de Asfalto.....	70
Figura 40. Porcentajes de Vacíos en función del Porcentaje de Asfalto. ....	70
Figura 41. Vacíos llenos de asfalto en función del Porcentaje de Asfalto. ....	70
Figura 42. Vacíos del agregado mineral función del Porcentaje de Asfalto. ....	71
Figura 43. Estabilidad en función del Porcentaje de Asfalto. ....	71
Figura 44. Flujo en función del Porcentaje de Asfalto. ....	71
Figura 45 Evaluación de Vacíos con adición de Ignimbrita. ....	74
Figura 46 Evaluación de Vacíos en el Agregado Mineral con adición de Ignimbrita. .....	75
Figura 47 Evaluación de Vacíos llenos de asfalto con adición de Ignimbrita. ....	76
Figura 48. Evaluación del Flujo con adición de Ignimbrita. ....	76
Figura 49 Evaluación de Estabilidad con adición de Ignimbrita.....	77
Figura 50. Esfuerzos a la Tensión de Sub grupos Secos.....	78
Figura 51. Esfuerzos a la Tensión de Sub grupos Saturados .....	79
Figura 52 Evaluación de Tracción Indirecta de mezcla convencional y modificada. .....	79
Figura 53 Espécimen después de ensayo - sub saturado.....	80
Figura 54. Espécimen después de ensayo - sub grupo seco .....	80



## RESUMEN

La presente investigación, tiene como objetivo principal determinar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente sustituido parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, de tal manera dar un valor al sillar proveniente de las canteras Añashuayco en la ciudad de Arequipa.

La investigación presenta un marco metodológico de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, niveles descriptivos – correlacional – explicativo y diseño experimental. Se desarrolló la caracterización de los agregados pétreos e ignimbrita, seguido se elaboró el diseño para mezcla asfáltica en caliente convencional e incorporando ignimbrita en remplazo del agregado fino pasante de la malla N°80 a fondo en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 3.0%, se utilizó cemento asfáltico PEN 85-100 aplicado a tipo de tránsito pesado con ESAL  $10^6$  millones de ejes equivalentes cumpliendo con la gradación MAC 2, se evaluó los parámetros Marshall y la resistencia de daño inducido a la humedad mediante el ensayo de Tracción Indirecta (TSR).

Los resultados obtenidos, demostraron que influye de manera positiva en las propiedades mecánicas la adición de ignimbrita de 0.5 a 1.0%, respecto a la resistencia al daño inducido por humedad (TRS) se observó una mejora de hasta 6.5% con diseño de 0.5% de ignimbrita respecto al diseño convencional.

Finalmente llegando a la conclusión que la sustitución parcial de 0.5 % de ignimbrita en agregado fino mejora las propiedades mecánicas, así mismo se obtiene una curva granulométrica con tendencia a fracción de finos influenciando en el aumento de la deformación (flujo).

**Palabras Clave:** Mezcla Asfáltica en Caliente, Sustitución Parcial del agregado fino, Ignimbrita, Propiedades Mecánicas, Resistencia al daño inducido por humedad.

## ABSTRACT

The main objective of this research is to determine the mechanical properties of a hot asphalt mixture partially replaced by ignimbrite in the fine aggregate for high traffic roads, in such a way to give a value to the ashlar from the Añashuayco quarries in the city of Arequipa.

The research presents an applied methodological framework with a quantitative approach, descriptive - correlational - explanatory levels and experimental design. The characterization of the stone aggregates and ignimbrite was developed, followed by the design for conventional hot asphalt mixing and incorporating ignimbrite to replace the fine aggregate through mesh No. 80 thoroughly in percentages of 0.5%, 1.0% and 3.0%, PEN 85-100 asphalt cement was used applied to heavy traffic with ESAL 106 million equivalent axles complying with the MAC 2 gradation, the Marshall parameters and the resistance to moisture induced damage were evaluated by the Traction test Indirect (TSR).

The results obtained showed that the addition of ignimbrite from 0.5 to 1.0% has a positive influence on the mechanical properties, with respect to resistance to moisture-induced damage (TRS), an improvement of up to 6.5% is achieved with a design of 0.5% of ignimbrite with respect to the conventional design.

Finally reaching the conclusion that the partial substitution of 0.5% of ignimbrite in fine aggregate improves the mechanical properties, likewise a granulometric curve is obtained with a tendency to fraction of fines influencing the increase in deformation (flow).

**Key Words:** Hot Mix Asphalt, Partial Replacement of fine aggregate, Ignimbrite, Mechanical Properties, Resistance to moisture-induced damage.

## I. INTRODUCCIÓN

**A nivel internacional** (World Economic Forum, 2019), realiza anualmente un análisis de competitividad a nivel mundial de 141 países e indica doce principales pilares que genera el desarrollo económico, siendo uno de los tres principales el de la Infraestructura. Con referente a lo mencionado el Perú toma el puesto 65/141 en ingreso económico, 88/141 en infraestructura de transporte y 110/141 en calidad de infraestructura vial, siendo este último indicador el más desfavorable con respecto a calidad en vías asfaltadas en nuestro país.

Por otro lado, **a nivel nacional** y debido al crecimiento poblacional que existe en el Perú, la demanda de infraestructura vial cada vez es mayor, siendo de suma importancia, ya que permite el canje de bienes y servicios, favoreciendo al desarrollo social, económico y cultural.

Actualmente, según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020) el Perú cuenta con una red vial de 169,218.00 km entre nacional, departamentales y vecinales, el cual solo el 17.2% se encuentra pavimentada; asimismo en la red vial departamental de la macro región sur que conforman las ciudades: Cusco, Puno, Arequipa, Madre de Dios, Moquegua y Tacna, indica que la región de Arequipa tiene una participación porcentual de 28% en vías pavimentadas. El resultado de la cifra se debe principalmente a la poca gestión de proyectos viales perjudicando muchas veces al incremento del comercio y turismo por un diseño deficiente y la falta del control de calidad en los materiales utilizados, causando accidentes de tránsito y miles de muertos cada año. El crecimiento de nuestra región depende de estos puntos básicos.

**En la región** de Arequipa el incremento del mercado automotor es del 200% respecto a la última década, ubicándose en el segundo lugar como una de las regiones con mayor número de vehículos que ingresan al parque automotor, entre autos, ómnibus de transporte público y taxis informales (SUNARP, Superintendencia Nacional de Públicos, 2019), estos flujos diarios de vehículos pesados entre camiones de carga mineral, buses interprovinciales transitan en una de las vías más importantes (La vía de Evitamiento) del distrito de Cerro Colorado ocasionando congestión vehicular y deterioro en la carpeta asfáltica tal como la deformación permanente, agrietamientos y desintegración de agregado-asfalto. Las fallas en el pavimento flexible también son provocadas por diversas causas

como la segregación del asfalto, la poca adherencia y factores climatológicos incidiendo en la estructura mecánica del pavimento quedando así vulnerables y patentes a mayor descarte.

En vista a estos problemas latentes se optó por formular el siguiente **problema general**:

¿De qué manera influye la sustitución parcial de ignimbrita en agregado fino en las propiedades mecánicas para vías de alto tránsito en una mezcla asfáltica en caliente, Arequipa 2021?; Asimismo, los **Problemas específicos**.

Problema específico 1: ¿Cuál es la resistencia de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito, Arequipa 2021?;

Problema específico 2: ¿Cómo influye en la resistencia de estabilidad y flujo la sustitución parcial de ignimbrita en el agregado fino de una mezcla asfáltica en caliente para vías de alto tránsito, Arequipa 2021?;

Problema específico 3: ¿Cuál es el análisis de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito , Arequipa 2021?;

Problema específico 4: ¿Cuál es el análisis de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito , Arequipa 2021?.

#### **Justificación de la Investigación:**

- **Justificación Teórica:** Previas investigaciones mencionan el uso de ignimbrita como material en remplazo de agregados ya que contiene en gran parte componentes químicos como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}$  y por sus propiedades físicas es un material poroso de absorción rápida de líquidos sin perder cohesión, presenta resistencia ante la fricción, tracción y compresión (Aire Untiveros, 2015).
- **Justificación técnica:** La finalidad de usar la “ignimbrita” en remplazo parcial del material fino da solución con nuevas alternativas en la incorporación de materiales naturales que permita explorar y aplicar nuevos estudios tecnológicos establecidas por las normas cumpliendo parámetros de diseño y calidad.
- **Justificación social:** Se pretende dar valor a los residuos de la extracción de bloques de sillar como material fino en la fabricación de mezclas asfálticas

y ser comercializados por los canteros de Añashuayco generando ingresos económicos.

- **Justificación económica:** Con la obtención de ignimbrita y en remplazo parcial de agregado fino el costo de la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, en las plantas de asfalto será menores.
- **Justificación ambiental:** En la investigación se logra la sostenibilidad ambiental, reutilizando residuos naturales y reduciendo la explotación de recursos naturales.

### **Objetivos:**

**Objetivo general:** Determinar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente sustituido parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021; Asimismo, **Objetivos específicos:** Determinar la resistencia de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito, Arequipa 2021, Determinar la resistencia estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente sustituidos parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021, Determinar la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito, Arequipa 2021; Determinar la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente sustituidos parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.

### **Hipótesis:**

**Hipótesis general:** La sustitución parcial de ignimbrita en agregado fino de una mezcla asfáltica en caliente influye de manera positiva en las propiedades mecánicas para vías de alto tránsito, Arequipa 2021; Asimismo, las **Hipótesis Específica:** La resistencia de estabilidad y flujo en una mezcla asfáltica en caliente convencional es mayor a la modificada para vías de alto tránsito, Arequipa 2021; La sustitución parcial de ignimbrita en agregado fino de una mezcla asfáltica en caliente influye de manera positiva en los parámetros de estabilidad y flujo para vías de alto tránsito, Arequipa 2021; La resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente convencional es mayor a la mezcla modificada para vías de alto tránsito, Arequipa 2021; y La sustitución parcial de ignimbrita en el agregado fino de una mezcla asfáltica en caliente influye de manera positiva en la resistencia al daño inducido por humedad para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.

## II. MARCO TEÓRICO

Se encontró diversas investigaciones que se han realizado, que servirán para una posterior discusión:

Como **antecedentes internacionales** tenemos a (Triana Nigrinis & Grandas Castillo, 2019) menciona como **objetivo** comparar el comportamiento mecánico-dinámico de una mezcla asfáltica convencional y modificada con residuos de cerámicos al 30% reemplazando de agregados pétreos proveniente del río Chicamocha para evaluar su aplicación en proyectos con volúmenes de bajo tránsito. Se realizaron un total de 21 briquetas para convencional y 18 para modificados con porcentajes de asfalto de 3.5, 4.0, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5 por ciento. Se obtuvo como **resultados** 5.6% de óptimo de asfalto en muestra convencional y 5.8% de modificada, con estabilidad de 14.593 kn - flujo de 5.8 mm y 17.275 kn – flujo 5.6 mm respectivamente; los resultados del ensayo de Tracción Retenida de la mezcla asfáltica convencional fueron de 80.75% y modificada 80.89% llegando a la **conclusión** una mejor capacidad de resistencia de la mezcla tradicional frente a cargas aplicadas, para el caso de ensayo de susceptibilidad al agua ambas muestras tiene respuestas semejante provocados por la humedad en el desempeño de la mezcla.

(Ayala Cabrera & Heredia Miranada , 2019) refiere como **objetivo** principal evaluar de manera experimental el efecto del caucho de llantas recicladas añadido por vía seca y en distintos porcentajes, en el comportamiento de mezclas asfálticas densas estudiadas mediante pruebas convencionales y de desempeño. La **metodología** es tipo experimental; en la cual se han desarrollado muestras con 0.75% y 1.5% de caucho en reemplazo parcial de agregado fino como **resultados** del procedimiento Marshall se obtuvo en mezcla convencional 2789 lb - 13in de estabilidad y flujo con óptimo asfáltico de 6.1%; el primer modificado 3375 lb de estabilidad y el flujo fuera del rango, con contenido óptimo de 7.1% finalmente el segundo modificado tiene una estabilidad es de 2453lb, flujo (NO) fuera de la especificación con contenido óptimo de 8.0%; los resultados para el ensayo de TSR fueron: 0,82%, 0,60% y 0,69% **concluyendo** los valores de estabilidad en ambas muestras Cumplen con lo especificado para carreteras de tránsito pesado (1800 lb); conforme incrementa de porcentaje de caucho presentan una disminución en la estabilidad tendiendo a ser menos rígida, en mezclas modificadas no debe ser considerado el flujo, ya que

en la aplicación de la carga podrán presentar mayor deformidad; respecto a los resultados de resistencia retenida (daño al agua) se determinó que los valores son menores al 80%; respecto en mezclas con caucho el límite usual es del 75%, para tal caso no habiendo cumplido con se sugiere implementar aditivos de adherencia con temperaturas y tiempos diferentes en la digestión.

(Salamanca Vera , 2018) tiene como **objetivo** principal comparar las propiedades entre una mezcla de asfalto modificado con caucho nacional, una mezcla modificada con polímero y una mezcla de asfalto multigrado, con mezcla extraída in situ y con mezcla confeccionada en laboratorio. La **metodología** es de tipo experimental; modificado con 0.5% caucho en peso de los áridos con rangos de  $5,5 \pm 0,3$  % obteniendo **resultados** con un óptimo de asfalto de 5.5% de estabilidad 12911 - fluidez de 16; para los ensayos de sensibilidad al agua ITSR los valores promedios de 6 probetas fueron de 67.2% teniendo como **conclusión** que el asfalto modificado con caucho es dos veces más rígido al de los asfaltos multigrado y modificado con polímeros, dando solución a menor presupuesto en obras, y una conducta satisfactorio ante el daño, así mismo menciona que es amigable con el medio ambiente para el ensayo de ITSR se concluye el rechazo el uso asfalto con caucho en planta asfáltica continua.

**A nivel nacional** a (Aduato Orellana, 2019) refiere como **objetivo** determinar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con la adición de ceniza de caña de maíz para aumentar la resistencia estructural del pavimento la **metodología** del proyecto de investigación de tipo, explicativa, diseño experimental, correlacional, deductivo, descriptivo, enfoque cuantitativo. Los **resultados** de los parámetros Marshall en la mezcla asfáltica convencional fueron: en estabilidad 1444 kg – flujo 3.73 mm con asfalto óptimo de 6.0%; para mezclas modificadas con cenizas de 0.20% fueron: 1294 kg – 3.4 mm, 0.5% de 241kg – 3.6 mm, 1.0% de 1077 kg – 3.4 mm, 2.0% de 939 kg – 4.1 mm, 3.0% de 757 kg – 4.4 mm y 4.0% de 670 kg – 4.7 mm respectivamente. En el ensayo de resistencia al daño por humedad inducida dieron como resultado en mezcla convencional 81.4 por ciento, para mezcla modificada con 0.2 de ceniza de 84.1%, con 0.5 de 86.2%, 1.0 de 80.7%, 2.0 de 80.8% y 3.0 de 74.5%. Se **concluye** que hasta la adición de 1.0% mejora el comportamiento estabilidad – flujo cumpliendo con los parámetros

de (1,700 – 4,000 kg/cm), por otro lado, otro aspecto en la mezcla adicionando de 1.0%. es el aumento de resistencia inducida al daño por humedad fue la mezcla adicionando con 1.0%. Concluyendo que el valor más apropiado en adición de ceniza de caña de maíz es de 0.5% mejorando el comportamiento mecánico.

(Chávez More, 2019) la presente tesis tiene como **objetivo** evaluar el uso de residuo de concha de abanico - RCA triturado como reemplazo de agregados naturales en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente. El proyecto de investigación usó la **metodología** Marshall planteando el retiro de todas las partículas de agregado fino, remplazándolas por residuo de concha de abanico triturado en cantidades similares en peso, en la primera mezcla se reemplazó las partículas finas pasantes de la malla #8 y #50; para la segunda mezcla, pasante de los tamices #50 y #100; finalmente la tercera mezcla, pasantes de los tamices #100 y #200. El **resultado** de mezcla adicionando RCA indican los valores de estabilidad para MP, M1, M2 y M3 de 12 kN, 19 kN, 11.1 kN y 10.6 kN y flujo 3.07 mm, 7.6 mm, 4.13 mm y 4 mm respectivamente; respecto a la relación estabilidad/flujo para mezcla MP de 3946 kN/mm, M1 1463 kN/mm, M2 2562 kN/mm y M3 4935 kN/mm. Podemos **concluir** que las partículas de la M1 se obtiene mezcla más abiertas, menor compactibilidad y mayor facilidad de producir vacíos, todo lo contrario, en la M3 cerca a la malla #200 que producen mezclas densas facilitando la compactación con menor cantidad de vacíos que la mezcla M2 deduciendo que la mezcla M2 fue la que obtuvo un mejor comportamiento mecánico y volumétrico (alrededor de tamiz #50).

Seguida la tesis de (Santamaría Chipana, 2020) presenta como **objetivo** evaluar el comportamiento de durabilidad a corto y mediano plazo de mezclas como susceptibilidad al agua y la deformación plástica, empleando los valores mecánicos (estabilidad y flujo), mencionados con anterioridad (Chávez More, 2019) . Obteniendo **resultados** resistencia frente a la humedad en mezcla de control MP de 14.47% y mezclas remplazadas por valvas de concha de abanico M1 de 52.43%, M2 de 34.83% y M3 de 17.68% **concluyendo** que ninguna de la muestras alcanza el valor mínimo de 80% como menciona la norma , sin embargo , la mezcla que tiene la mejor relación de TSR es la mezcla M1 donde se hicieron remplazo de



partículas entre tamiz N°8 y N°50, lo que representa el 57.16%, porcentaje en peso del total de agregado fino (arena).

(Zambrano Cince, 2020) el **objetivo** de la presente investigación fue determinar de qué manera influye la adición de ceniza de cáscara de arroz, en las propiedades físico-mecánica-dinámicas de asfalto para reparación en Carabayllo 2019. Así mismo la **metodología** de tipo aplicativo ya que pretende adicionar 5% de ceniza de cáscara de arroz en la mezcla asfáltica en caliente reemplazando al agregado fino; los **resultados** en estabilidad Marshall y flujo para mezcla sin ceniza fueron 1205 kg – 2.99 mm con óptimo de asfalto de 5.75% y con ceniza 1260 kg – 3.19 mm con óptimo de 6.0% aumentando en 4.37% respecto a la primera en estabilidad y 6.27% en fluencia; por otra lado los resultados de la relación estabilidad fluencia fue de 4030.10 sin ceniza y 3949.84 con ceniza, disminuyendo en 2.0% respecto al primero, **Concluyendo** que la mezcla asfáltica modificado con ceniza de cáscara de arroz tiene una mayor capacidad de deformación antes de llegar a su límite de falla e incide de manera positiva en las propiedades físico, mecánica, dinámicas con respecto a una mezcla asfáltica sin ceniza.

**En otros idiomas** a (Dhieyatul Husna, Ratnasamy, & Salihudin , 2018) with the scientific article had **objetivo** of proposing the use of ceramic residues in fine aggregate and the production of hot asphalt mix. The **metodología** to be used will be to choose 20% 40% 60% 80% and 100% replacing 5.0 mm downwards, including the filling of 75 microns of fine stripes, using an optimum of asphalt between 4.0% and 6.0% with intervals of 0.5% . As a **resultado** it is evident that the best performance reached 20%. Marshall stability showed an increase of approximately 25% while compared to the control sample. The 20% ceramic and granite samples of 5 mm ceramic aggregates had better results in stability and flow, also **conclusión** that a lower percentage of asphalt and according to research is an important factor related to production cost.

(AlKheder, Alkhedher, & Alshraiedeh, 2021) the **objetivo** main part of this work is to investigate the possibility of using activated date seed additives in Hot Mix Asphalt (HMA) as a partial replacement for fine aggregates (sand). The percentage proportions of date seeds were 7, 10 and 15%; **resultado** in that the proportion of

10% gave greater stability, for the index of retained resistance TSR the highest value was 7%. A T-test analysis was carried out to study the influence of the percentages of date seeds in different measurements and the ANOVA test to demonstrate factors of statistical significance in the response variables considered; **resultado** in significant support in the influence of stability measurements and Marshall flow values.

( Andrzejuk, Barnat-Hunek, Siddique, Zegardło, & Łagód, 2018) The document **objetivo** to determine a new method to design and produce innovative mineral-asphalt mixtures, using waste aggregates from the recycling of sanitary ceramics. Four series of mixtures were designed: the first and second, the ceramic aggregate constituted a partial substitute for dolomite, the third was replaced by granodiorite and the fourth contained only dolomite, followed by the Marshall test, obtaining an optimal percentage of asphalt. **Concluyendo** that all parts of the mixture had good particle-asphalt adhesion except the one that was replaced by granodiorite and giving a recommendation that the 20 and 30% ceramic substitution meet the requirements of the technical specifications.

(Çağdaş & Karacasu, 2017) **objetivo** to explore the effects of residual ceramic tile additives on the performance properties of asphalt mixes. For the Marshall design, five different aggregate mixtures of 0, 10, 20, 30 and 40% by weight and different percentages of bitumen 3.5 to 6.5% with intervals of 0.5% were prepared; obtaining as **resultado** the difference of 22.7% of freezing and thawing resistance compared to the conventional one, finally **concluyendo**, according to all the results of the tests in HMA, up to 30% of the natural aggregates can be replaced by WCA (ceramic) by exhibit sufficiently good mechanical characteristics in compliance with Turkish road construction specifications.

**Artículos Científicos a** (Carreño, Martínez-Arguelles, & Fuentes, 2019) tiene como **objetivo** reemplazar parcialmente la utilización de agregados naturales por residuos de la explotación del carbón mineral del departamento Norte de Santander en Colombia. La **metodología** es tipo experimental, por otro lado, se planteó incorporara 5, 10, 20% en relación del peso natural, dando de **resultados** con un óptimo de asfalto de 5.5% para mezcla patrón y modificada en estabilidad y fluencia de: 16591 - 3.3, 16933 - 3.8, 19238 – 4.1, 20228 – 4.01 (N – mm) respectivamente

y resultados de TRS 86%, 83%, 82% y 81%. **Concluyendo** el aumento en la estabilidad Marshall a medida que aumenta el contenido de RC, por un lado, el flujo se conserva relativamente constante y finalmente, se observó que los RC no afectaron de manera significativa la resistencia al daño por humedad.

(Byung-Soo Yoo, Dae-Wook Park, & Hai Viet Vo, 2016) Tiene como **objetivo** reciclar las cenizas de fondo, que son un subproducto de las cenizas de carbón en la planta de energía, como agregados finos en mezclas de asfalto en caliente (HMA). Se utilizó remplazo de agregado fino pasante de 4.75 mm, en una proporción de 10%, 20% y 30%. Se realizó una prueba de lixiviación para medir la concentración de toxicidad en las cenizas de fondo. Los resultados fueron con un óptimo de asfalto 5.2% para mezcla control; y con cenizas de 5 un óptimo de 5.2%, con 10 óptimo de 5.7% y de 20 óptimo de 6%; los resultados de estabilidad y flujo fueron de 1230 - 35, 1700 - 35, 1200 - 36, 1100 - 37 kgf y cm respectivamente; los **resultados** de la IDT tracción indirecta fueron de 72%, 74%, 71% y 73%, respectivamente. Se **concluyo** que el diseño óptimo de asfalto aumenta con la presencia de BA; sin embargo, el posterior aumento del contenido de BA de 10 al 30 por ciento no tiene un efecto significativo, finalmente la ceniza de carbón se puede utilizar eficientemente como agregados finos en mezclas asfálticas.

En la investigación se consignó las siguientes **bases teóricas** relacionados a las siguientes variables de estudio que contribuya a un mejor entendimiento de la presente investigación.

## **2.1. Variable independiente: Los Residuos de Ignimbrita**

Según (Lara Galindo, 1988) la ignimbrita es una roca piroclástica que se sitúa extensamente alrededor del flanco occidental andino del Perú, termino denominado como sillar en la región de Arequipa. Existe una gran cantidad de depósitos que contienen flujos piroclásticos o también llamadas piedra sillar. La roca ígnea al ser formado como depósito volcánico está resulta de la combinación de fragmentos de roca y fenocristales en un componente de fragmentos de vidrio en polvo, además de los pedazos de piedra pómez y bloque de lava densa.

Por otra parte, los autores Díaz Valdiviezo & Ramírez Carrión (2010), denominan al sillar a la combinación de cenizas con contenidos de lapilli en algunos casos andesita, dacita, riolita con diferentes grados de cohesión. Uno de los aspectos de

calidad de los sillares es el grado de cohesión debido a la cementación de las cenizas.

Así mismo, según el manual Características físicas de las canteras de sillar (2015), durante las erupciones volcánicas y la acumulación de la expulsión de cenizas forman las tobas volcánicas conocido como roca ígnea volcánica ligera.



*Figura 1 Tobas volcánicas (Canteras de Añashuyaco).  
Adaptado de Díaz Valdiviezo & Ramírez Carrión, 2010.*

### **2.1.1. Características del Sillar**

En Arequipa los sillares, tiene la presentación de diversas tonalidades como el blanco, gris, amarillento y rojizo, de textura semejante, por lo general son finas y con cascajos de rocas. El **grado de cohesión es otro aspecto importante en la calidad de sillares** y esto se debe a la compactación y cementación de las cenizas y piroclastos (Díaz Valdiviezo & Ramírez Carrión, 2010, p. 106). Así mismo, el sillar presenta una textura porfirítica, **de dureza media** acumulada en grandes cantidades con **bajo peso específico de masas cristalinas, cuarzo, feldespato, fragmentos de andesitas y piedra pómez** (Díaz Valdiviezo & Ramírez Carrión, 2010, p. 106).

En tal sentido según Aire Untiveros (2015), el sillar es labrado por sus distintas de sus perfiles dando una forma rectangular; en Arequipa tiene como **función la**

**decoración arquitectónica** en los templos, edificios, portales, piletas unidas por medio de arena y cal en ninguna ciudad del mundo se da usa del mismo modo.



*Figura 2 Toba de Sillar blanco.*

*Adaptado de Díaz Valdiviezo & Ramírez Carrión, 2010.*

### **2.1.2. Propiedades físicas**

Determinando el compuesto por “elementos como el estroncio, litio y rubidio. Los principales componentes macroscópicamente son: feldespato potásico, oligoclasa, cuarzo, vidrio, biótica y óxido de hierro, colocados de forma irregular en una pasta piroclástica. Estos componentes son de naturaleza vítrea cristalina y lítica”, otro aspecto importante, según Aire Untiveros (2015) menciona la presencia de fractura terrosa, y de acuerdo a las pruebas de absorción se obtuvo un 30.88%, peso específico de 1.65kg/cm<sup>2</sup>, peso específico aparente de 2.05kg/cm<sup>2</sup>, teniendo en cuenta las normas de la ASTM C-127-59 y también son altamente permeable a causa de su porosidad (p. 8).

### **2.1.3. Propiedades químicas**

En la tesis de Soto Cruz (2019), se realizaron ensayos a una muestra representativa por difracción de rayos X, para obtener sus componentes detallados en la siguiente tabla 1.

**Tabla 1**

*Identificación de fases cristalinas en la Ignimbrita.*

<b>Fases cristalinas</b>	<b>Ignimbrita</b>
Quartz ( $\text{SiO}_2$ )	-
Albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )	22.3
Moscovita 2MI ( $\text{KAl}_3\text{SiO}_{10}(\text{OH})_2$ )	1.6
Cristobalita ( $\text{SiO}_2$ )	28.9
Clorita ( $(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ )	-
Microlina ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )	37.2

*Nota:* Se observa presencia alta de aluminosilicatos, lo cual consiente a los geos poliméricos en los materiales. Adaptado de Soto Cruz, 2019, p.52.

**Tabla 2**

Características químicas de la Ignimbrita.

<b>Elementos</b>	<b>Ignimbrita</b> <b>Si.Al = 5.1</b>
Aluminio (Al)	26496.7 ± 1086.7
Silicio (Si)	136373.3 ± 4622.9
Fósforo (P)	112.2 ± 16.7
Cloro (Cl)	240.9 ± 31.3
Potasio (K)	16586.7 ± 1055.0
Calcio (Ca)	4995.7 ± 131.2
Titanio (Ti)	921.2 ± 155.9
Cromo (Cr)	-
Manganeso (Mn)	359.8 ± 56.8
Hierro (Fe)	6056.3 ± 75.3
Nickel (Ni)	12.4 ± 3.3
Cobre (Cu)	29.7 ± 0.03
Zinc (Zn)	48.7 ± 1.8
Arsénico (As)	-
Rubidio (Rb)	68.4 ± 9.3
Estroncio (Sr)	126.7 ± 13.4
Bario (Ba)	941.5 ± 70.6
Plomo (Pb)	16.4 ± 1.9

*Nota:* Adaptado de Soto Cruz, 2019, p.53. Se observa presencia alta de aluminosilicatos, lo cual consiente a los geos poliméricos en los materiales.

#### 2.1.4. Propiedades Mecánicas

Se detallan algunas de las principales propiedades mecánicas que la hacen idónea para su ejecución en la rama de la construcción de la construcción Díaz Valdiviezo & Ramírez Carrión (2010).

- Resistencia de aplastamiento.
- Resistencia a la tensión.
- Porosidad y permeabilidad altas.
- Resistencia a los fenómenos de meteorización.
- Resistencia a la fricción.
- Fractura fácil y regular.
- Resistencia a la insolación (soportando cambios de  $T^{\circ}$ ).
- Resistencia al fuego.
- Aislante acústico.

A continuación, se detallan **ventajas** que presenta el material a estudiar tal es el caso:

- La obtención fácil y accesibilidad a las canteras sin costo alguno.
- Material poroso de modo que absorbe a los líquidos sin perder cohesión, es decir se altera fácilmente por la humedad.
- Alta resistencia al calor tolerando temperaturas mayores a  $500^{\circ}$  C sin fundirse.
- Material con altos porcentajes de finos, utilizado como llenante mineral.

No obstante, la ignimbrita también presenta algunas **desventajas** que incidan en la mezcla asfáltica como:

- Baja densidad en comparación a la arena.
- Según Soto Cruz (2019), tiene una estructura de fase amorfa baja de 22.2% debido a que las fuerzas interatómicas son más débiles en comparación a las de una estructura de fase cristalina (p.53).

## **2.2. Agregado Fino**

Según la norma NTP 400.011, los agregados pétreos también conocidos como áridos, en la cual define al conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, cuyas dimensiones están percibidas entre los límites fijados por la norma.

Asi mismo, el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción EG- 2013, denomina al agregado fino como la fracción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (Nº4 y Nº200). La proporción de los materiales pasantes en la malla Nº4 y retenidas en la malla Nº200 se designa como agregado fino y está compuesta con arena natural de rio o arena triturada, o compuesta por ambos.

Uno de los requisitos de los granos del agregado fino es que deben ser deberán ser ásperos, con superficie rugosa, angulosa, y limpias que no contengan sustancias adheridas al material que impidan la adhesión del asfalto y satisfacen los requerimientos de calidad indicados en cada especificación.

## **2.3. Dimensión 1: Propiedades de Agregado Fino**

### **2.3.1. Equivalente de arena (MTC E 114)**

Este método de prueba es para indicar bajo condiciones de estándares las proporciones relativas entre arcilla, polvos plásticos, suelos granulares y agregados finos que pasen la malla Nº4 (4.75 mm).

Inicialmente tamizamos el material por la malla número 4 Seguido llenamos la probeta plástica con 10.2 ml de cloruro de calcio (stock), vacié el material y golpe la base para sacar las burbujas, humedecer el material y deja reposar el material durante 10 minutos, en seguida agitamos la probeta de plástico mecánicamente durante 45 segundos 0 segundos para luego dejar reposar el material durante 20 minutos para así dar lectura a las medidas de arena y arcilla.

$$SE = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$

Dónde:

SE= equivalencia de arenaC

### **2.3.2. Angularidad del agregado fino (MTC E 222)**



El método de ensayo describe la determinación del contenido de vacíos de un material suelto o agregado fino pasante de la malla N°8 levemente compactados, también determina la angularidad, rugosidad con el objetivo de facilitando la trabajabilidad

Se inicia con la obtención del material pasante de la malla N° 8 y retenido en la N° 200, con el objetivo de determinar la gravedad específica del material, finalmente se vierte la arena por un embudo metálico hacia el cilindro enrasando y determinando el peso.

$$A^{\circ} = \frac{V - \frac{W}{G_{sb}}}{V} * 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

A° = Angularidad de agregado fino

Gsb = Gravedad específica del agregado fino

W = Peso de agregado fino

### **2.3.3. Azul metil (ASTHO TP 57)**

La obtención del material se hace mediante el tamizado pasante de la malla N° 200 obteniendo 10 g, por otro lado, la solución se obtiene mediante la combinación de un gramo de azul de metileno en relación a 1000 ml de agua destilada. Se agita el material hasta colocar 0.5 ML por un período de 1 minuto que estos pasos se realiza hasta obtener un aro sobre un papel filtro número 40. Finalmente se toma los números realizados hasta obtener la aureola azul.

### **2.3.4. Durabilidad al sulfato de magnesio (MTC E 209)**

Tiene como objetivo determinar la resistencia a la desintegración de agregados pétreos saturadas mediante soluciones de sulfatos de magnesio y sodio entre los tiempos de 16 y 18 horas durante 5 ciclos se sumerge. Finalmente, en el ciclo ultimo deseamos la solución, llevando la muestra al horno hasta obtener un T° constante; se pesa el material, anotando la diferencia de pesos inicial y final.

### **2.3.5. Índice de plasticidad - malla N°40 (MTC E 111)**

En primer lugar, se tamiza el material pasante de la malla N°40, los cuales se selecciona 30 gr de material aproximadamente para enseguida mezclar con agua

hasta obtener un material consistente con el fin de colocar a la máquina de Casagrande. Una vez colocado en la cuchara se realiza una abertura, donde ambas partes del material no tenga un encuentro, seguido se realizará golpes de 15 a 30 golpes hasta obtener los resultados deseados, caso contrario se determinará que el material no posee un límite líquido, así mismo un índice de plasticidad.

#### **2.3.6. Índice de plasticidad - malla N°200 (MTC E 111)**

En primer lugar, se tamiza el material pasante de la malla N°200, los cuales se selecciona 30 gr de material aproximadamente para enseguida mezclar con agua hasta obtener un material consistente con el fin de colocar a la máquina de Casagrande. Una vez colocado en la cuchara se realiza una abertura, donde ambas partes del material no tenga un encuentro, seguido se realizará golpes de 15 a 30 golpes hasta obtener los resultados deseados, caso contrario se determinará que el material no posee un límite líquido, así mismo un índice de plasticidad.

#### **2.3.7. Sales solubles totales - MTC E 219**

El ensayo tiene la capacidad de determinar otras sustancias como los sulfatos Y cloruros solubles al agua De agregados pétreos empleados y mezclas asfálticas en caliente. Se selecciona una muestra (arena) como mínimo 100 gr, seguido se lleva al horno con un secado de 110 °C, se colocó la muestra un vaso precipitado colocando con agua destilada 3 cm por encima del material, se lleva a la ebullición y agita el material durante 1 minuto en intervalos de tiempo de 10 minutos, dejar el material reposando hasta la sedimentación para verter en dos tubos de ensayo, uno de ellos para determinar los sulfatos y el otro los cloruros con sus respectivos reactivos.

Finalmente, una vez enfriado el material se vierte en una alícuota de volumen es de 50 a 100 ml para cristalizar en el horno a 100 °C hasta obtener una masa constante.

#### **2.3.8. Adhesividad de ligantes bituminosos / áridos finos - Riedel Weber (MTC E 220)**

El ensayo tiene como objetivo determinar el grado de adherencia entre el cemento asfáltico y agregado fino mediante solución de carbonato de sodio e intervenciones decrecientes. La utilización de los materiales se realiza mediante el tamizado entre

las mallas N° 30 y 70 (pas. – ret.). A continuación se elabora la mezcla de asfalto y agregado en proporciones de 71 volúmenes de agregado y 29 de bitumen para tal caso PEN 85/100 a temperatura de 140 °C, una vez enfriado el material se da forma a 11 esferas de aproximadamente 0.5 gr, colocándolos en los tubos de ensayo enumerados de 0 a 12 con disoluciones molares de carbonato de sodio de 6 cm<sup>3</sup> en forma decreciente de acuerdo a la **Tabla 3**, se calienta con mechero cuidadosamente y agita durante 10 segundos, determinando visualmente el desprendimiento que existe del ligante, finalmente se clasifica con rangos de 0-10.

**Tabla 3**

*Índice de Riedel Weber*

Solución de Ensayo	Índices de Adhesividad Riedel - Weber
Desplazamiento total con: Agua destilada	0
Carbonato de Sodio	
M/256	1
M/128	2
M/64	3
M/32	4
M/16	5
M/8	6
M/4	7
M/2	8
M/1	9
Si no hay desplazamiento total con la solución M/1	10

Nota. Si el desplazamiento se produce con agua deshidrada se asignará adhesividad número 0, por otro lado, si el desplazamiento se produce con el M/1 la adhesividad es número 10, Adaptado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

### **2.3.9. Peso específico y absorción de los agregados (MTC E 205)**

Tiene como finalidad determinar los volúmenes de los materiales que ocupan ya sea en concreto de cemento, mezclas asfálticas, no obstante, la absorción es usado para determinar los cambios de pesos debido al agua absorbidos por los poros para satisfacer el mayor potencial.

Se inicia sumergiendo el agregado fino de 300 a 500 gr a saturación hasta obtener un material superficialmente saturado, determinándolo mediante la formación de cono metálico dando 25 golpes obteniendo un desmoronamiento parcial, luego colocar el material en un picnómetro llenándolo con agua en volumen de 500 cm<sup>3</sup>, seguido agitar el picnómetro manualmente por 10 min o mecánicamente con una bomba de vacíos, llenar el frasco hasta la línea de calibración pesar, finalmente secar la muestra a horno en temperatura de 110 °C y pesar.

Peso específico

$$Pe_m = \frac{W_o}{V-V_a} * 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Peso específico de superficialmente saturada seca

$$Pe_{SSS} = \frac{500}{V-V_a} * 100 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Peso específico aparente

$$Pe_a = \frac{W_o}{(V-V_a)-(500-W_o)} * 100 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Peso específico aparente

$$A_b = \frac{500-W_o}{W_o} * 100 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Dónde:

W<sub>o</sub> = Peso en el aire de la muestra secada en horno, g

V = Volumen del frasco en cm<sup>3</sup>

V<sub>a</sub> = Peso en gramos o volumen de agua añadida al frasco cm<sup>3</sup>

#### 2.4. Agregado Grueso

De la misma manera el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción EG -2013, denominará agregado grueso a la fracción de material

retenido hasta la malla (Nº4). Se considera el desperdicio tritura o piedra, también a la combinación estos materiales más grava, o en materiales que se presenten naturalmente en estado fracturado de características angulosos con textura superficialmente áspera.

## 2.5. Llenante Mineral (Filler)

Según el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción EG -2013, al filler como un material fino como complemento en la granulometría para las mezclas asfálticas, se comprende de caliza, cal, cemento portland u otra sustancia mineral aprobada de características no plástica y cumplan las normas AASHTO M303. Las porciones a usar se determinan en la etapa de diseños según el método Marshall.

**Tabla 4**

*Especificaciones para Filler*

<b>Malla</b>	<b>% Pas (peso seco)</b>
Nº 30	100
Nº 50	95 a 100
Nº 200	80 a 100

*Nota:* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

## 2.6. Cemento Asfáltico

Otro de los componentes importantes en una mezcla asfáltica en caliente es el Cemento Asfáltico, que son colocados a las mezclas en calientes para luego sean aplicados en la construcción de pavimentos flexibles; esto se debe a sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes, dando a destacar las cualidades características como la flexibilidad, durabilidad y alta resistencia más que todo en los ácidos, sales y álcalis. La resistencia de dichos asfaltos es clasifica por ensayos de penetración. (PETROPERU, 2018).

En el Perú se distribuye los siguientes Cementos Asfálticos de acuerdo grado de Penetración:

- Cemento asfáltico PEN 40/50
- Cemento asfáltico PEN 60/70
- Cemento asfáltico PEN 85/100
- Cemento asfáltico PEN 120/150

“El ensayo de Penetración es una de las **propiedades cemento asfáltico**, que permite obtener la resistencia en cuanto a su dureza o consistencia relativa de los cementos asfálticos. También es recomendable obtener el peso específico, aunque no esté como requisito en las especificaciones de estos materiales, sin embargo, se determina porque estos asfaltos se expanden al calentarse, y contraen al enfriarse, debido a sus propiedades, y por otro lado el peso específico de un asfalto es necesario para hallar el porcentaje de vacíos en un pavimento compactado (Albornoz, 2014).

La ductilidad es una propiedad que obtiene la distancia de elongación previa a la ruptura del material como el cemento asfáltico. Por lo tanto, se ha determinado que los materiales asfálticos dúctiles obtienen mejores propiedades aglomerantes que a los que no presentan esta característica. Por otro lado, la viscosidad determina el grado de fluidez del material asfáltico a cierta temperatura (Albornoz, 2014).

Existen varias formas de medirse con diferentes tipos de ensayos, siendo comunes los de Viscosidad Cinemática o Viscosidad Absoluta, finalmente el cemento asfáltico tiene un punto de inflamación que indica la temperatura en la que pueda estar calentado el material sin que se inflame, con llama libre presente. Esta propiedad se puede medir por el ensayo en vaso abierto de Cleveland (Albornoz, 2014).

## **2.7. Variable dependiente: Mezcla Asfáltica en Caliente**

Las **mezclas asfálticas** son la combinación de agregados y ligantes asfálticos se elaboran con el objetivo de dar confort a los usuarios. Estas mezclas se elaboran en plantas mezcladoras efectuando un control estricto de las características de la producción (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

Las mezclas asfálticas están compuestas por 90% de agregados pétreos y 5% de asfalto, la baja calidad de estos materiales afecta al desempeño del pavimento; otro aspecto de las mezclas asfálticas es la protección de vías en climas inhóspitos como la lluvia, vientos, heladas y cambios de temperatura. Se coloca en calles, carreteras, industrias, así como en aeropuertos soportando cargas de tráfico pesado. De acuerdo a las propiedades de estos materiales, se determinará el

desempeño físico - mecánico de la mezcla de acuerdo al estudio de tráfico requerido (Kraemer et al., 2004).

### 2.7.1. Funcionalidad de las Mezclas Asfálticas

- ✓ Tiene como función principal resistir las cargas de los vehículos directamente de los neumáticos y transferir las cargas a las capas inferiores, también presta condiciones adecuadas al usuario y de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales y como material con resistencia estructural - mecánica en las demás capas de las vías.
- ✓ El desempeño de la mezcla depende de condiciones externas, tales como factores climáticos, lluvia y la aplicación de carga.
- ✓ A razón de estos factores la caracterización, diseño y propiedades tienen que estar referidas a tales por lo que implica la necesidad del conocimiento del cambio reológico del material.

### 2.7.2. Tipos de Mezclas Asfálticas

La de mayor uso y frecuencia es la **mezcla densa o cerradas** utilizando una caracterización de su granulometría continua desde partículas grandes (grava) hasta finos (filler), de modo que se conoce su composición y tener un control de vacíos, con el objetivo de elevar su estabilidad.

En las **mezclas drenante o abiertas** su uso en la granulometría es con áridos gruesos con más de 50% y utilizando poco contenido de fino, obteniéndose una mezcla con un alto porcentaje de huecos mayores al 20% y finalmente las **mezclas SMA** (Stone Mastic Asplath), donde se utilizan áridos de granulometría discontinua con un bajo contenido de las fracciones intermedias y alto en fracciones gruesas, obteniéndose una mezcla con un adecuado porcentaje de huecos entre 6% al 10% (Padilla Rodríguez, 2004).

A continuación, se detalla los métodos más utilizados en los últimos años para el diseño de mezclas asfálticas:

**Metodología Marshall:** Creada por un grupo de ingenieros, radicados en los Estado a principios de 1943, decidiendo adoptarlo para el control de calidad y diseño de mezcla con asfalto en caliente con el fin de aplicarlo en el uso de carreteras de dicho país. El método utiliza los parámetros de estabilidad, fluencia, densidad y contenidos óptimos de vacíos, se usan cementos asfálticos con

clasificados en viscosidad y penetración, son únicamente para agregados con TMN de 1" (25.0 mm) (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

**Método Superpave:** Establecido por el congreso de EE. UU con ciento cincuenta millones de dólares americanos exclusivamente en repertorios con el fin de investigar las mejoras de calidad en pavimentos, tiempo y desempeño volviéndolo confortables para los usuarios de vías, este sistema especifica los materiales asfálticos como el cemento asfáltico y agregado mineral así como diseños de mezcla asfáltica; instaura predicciones en el desempeño determinado el desempeño a la deformaciones plásticas de los pavimentos con mezclas de asfalto en caliente (Garnica et al., 2004).

**Método Hveem:** Desarrollado por el ingeniero Francis N. Hveem, este método determina como otros ensayos el porcentaje de contenido óptimo en asfalto exclusivamente para la incorporación de diferentes orígenes naturales de agregados, así mismo, con el ensayo de Equivalente Centrifugo de Kerosene se halla información de las características finales de la mezcla (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

**The Hubbard – Field:** Uno de los métodos más antiguos que ya fue retirado en la ASTM, se utiliza para medir la deformación plástica empleando un aparato con el mismo nombre de mezclas bituminosas con áridos fino mediante la estabilidad, sin embargo, no para mezclas con granulometrías de agregados gruesos (Padilla Rodríguez, 2004, pág. 47).

En nuestro país unos de los métodos más utilizados durante mucho tiempo para el diseño de mezclas asfálticas en caliente es la **Metodología Marshall**, dicho método fue formulado por Bruce Marshall, quien fue ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas en el estado del Misisipi. El método fue mejorado y extendido por parte del cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, mediante una amplia investigación y estudios de correlación, además se desarrollarse un criterio de diseño de mezclas.

El método Marshall consiste en un procedimiento específico en donde se usa especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Para llegar a calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Además, se tiene dos aspectos muy importantes, los cuales son necesarios para el método de diseño, **la densidad-análisis de vacíos** y la prueba



de **estabilidad y flujo** de los especímenes compactados. (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

Además, Cervantes Calvo V. & Sequeira Rojas W. (2014), detallan que el propósito de la metodología Marshall es hallar la combinación entre agregados y cemento asfáltico que cumplan ciertos requisitos de calidad y resistencia soportando la mezcla asfáltica a cambios volumétricos por efecto del tipo de tráfico y cambios climáticos, teniendo un mejor desempeño. El diseño seleccionado por el contratista debe cumplir una serie de aspectos importantes que definen la vida útil del pavimento siendo las siguientes:

- Durabilidad: Contar con un buen asfalto de manera que cubra con una película al agregado y la mantenga unida, impidiendo la accesibilidad del agua.
- Resistente a la deformación permanente: Ante la carga de tránsito.
- Porcentaje de Vacíos: Adecuado, permitiendo el buen acomodo del agregado ante las cargas del tránsito, evita la exudación y permeabilidad.
- Trabajabilidad: Permite una adecuada colocación y compactación de la mezcla.



*Figura 3. Máquina de Estabilidad con Anillo de Carga.  
(The Asphalt Institute MS-22, 1982).*

### **2.7.3. Propiedades de Mezcla Asfáltica**

Para un buen desempeño las mezclas asfálticas en caliente primero deben ser diseñadas, construidas y colocadas de maneras adecuadas, logrando conseguir que sus **propiedades** sean mayores a lo esperado; las que definen la calidad en la

mezcla; a continuación, se detallan las siguientes propiedades de una mezcla de acuerdo al (The Asphalt Institute MS-22, 1982):

### **Estabilidad**

Es la capacidad de resistencia al desplazamiento y deformación del pavimento bajo cargas de tránsito, mantiene su forma de lo contrario desarrolla problemas de ahullamiento y ondulaciones. Unas de las especificaciones de la estabilidad es cumplir con el tránsito esperado y deben ser lo suficientemente altas, aunque valores altos de estabilidad denotan pavimentos muy rígidos por lo tanto menos duraderos. En ese mismo contexto una mejor fricción de agregados y cohesión depende de la característica y textura de las partículas, así como la calidad del cemento asfáltico, es decir entre masa alta sea la rugosidad y angularidad mejor será la estabilidad (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

### **Tabla 5**

*Causas y Efectos de un Pavimento Inestabilidad*

<b>BAJA ESTABILIDAD</b>	
<b>CAUSAS</b>	<b>EFEECTO</b>
Demasía del cemento asfáltico en la mezcla	Ahuellamientos, Ondulaciones y exudación.
Demasía de arena de tamaño medio en la mezcla	Problemas en la compactación y baja Resistencia en periodo corto
Agregado redondeado sin superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

*Nota.* Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en Caliente, p. 61, Asphalt Institute MS-22.

### **Durabilidad**

Es la capacidad de resistir a la desunión de agregados y cambios reológicos en el asfalto (oxidación y a la pérdida de la geo polimerización), debido a diversos factores como cambios climáticos, efecto del tránsito. La durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres maneras: una gradación densa, más asfalto, diseño y una buena compactación (The Asphalt Institute MS-22, 1982)

**Tabla 6***Causas y Efectos de la poca durabilidad.*

<b>BAJA DURABILIDAD</b>	
<b>CAUSAS</b>	<b>EFEECTO</b>
Bajo contenido de asfaltos.	Disgregación por pérdida agregado y endurecimiento de asfalto
Alto % de vacíos por un mal diseño o falta de compactación.	Endurecimiento rápido del asfalto y agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua.	Desprendimiento de película de asfalto y el desgaste y desintegración del pavimento.

*Nota.* Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en Caliente, p. 62, Asphalt Institute MS-22.

**Impermeabilidad**

Es la resistencia del paso al aire y agua a través de la mezcla y está relacionada a los vacíos de una mezcla compactada; así mismo la impermeabilidad es importante para la durabilidad de la mezcla compactada (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

**Tabla 7***Causas y Efectos de la permeabilidad.*

<b>MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE</b>	
<b>CAUSAS</b>	<b>EFEECTO</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.

*Nota.* Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en Caliente, p. 63, Asphalt Institute MS-22.

## Trabajabilidad

Es la facilidad de una mezcla con la que puede ser colocada y compactada; así mismo puede ser mejorada con la modificación de la granulometría, el tipo de agregado y parámetros (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

**Tabla 8**

*Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad*

MALA TRABAJABILIDAD	
CAUSAS	EFEECTO
TM de agregado: Grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Exceso de agregado grueso	Difícil de compactar
Tº baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable.
Exceso arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de filler	Mezcla altamente permeable
Alto contenido de filler	Mezcla muy viscosa, poco trabajable y durable.

*Nota.* Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en Caliente, p. 64, Asphalt Institute MS-22.

## Flexibilidad

La flexibilidad es una característica deseable de todo pavimento, ya que es la capacidad de acomodarse sin que se agriete a movimientos y expansión de la subrasante; por otro lado, las mezclas abiertas son más flexibles ya que utilizan mayor asfalto a comparación de las mezclas densas (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

## Resistencia a la fatiga

Es la resistencia a la flexión en repetidas ocasiones bajo cargas de tránsito; se ha demostrado en investigaciones que los vacíos relacionados al porcentaje de asfalto y la viscosidad repercuten en la resistencia a la fatiga, a mayor cantidad de vacíos ya sea por una mala comparación o diseño a la resistencia de fatiga disminuye, es por ello la importancia de la calidad de un asfalto ante el envejecimiento (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

**Tabla 9***Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga*

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

*Nota.* Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en Caliente, p. 65, Asphalt Institute MS-22.

**Resistencia al deslizamiento**

Es la capacidad de resistencia al resbalamiento y deslizamiento de las ruedas de vehículos en superficies mojadas, cuanto mayor sea rugoso el pavimento tendrá mayor resistencia al desliz que una lisa, también una mezcla abierta, tamaños máximos de 1" a 1/2" con agregados ásperos tiene mejor resultado; una mezcla inestable con problemas y exudación presenta baja resistencia al deslizamiento (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

**Tabla 10***Causas y Efectos de una Mala Resistencia al deslizamiento*

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

*Nota.* Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en Caliente, p. 65, Asphalt Institute MS-22.

#### 2.7.4. Ventajas de Mezcla asfáltica en Caliente

Unas de las principales ventajas que presenta las mezclas asfálticas según (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015):

- El pavimento flexible es fácil de construir y mantener, reutilizable al 100%.
- Ayudan a reducir el grado de accidentalidad e las vías debido a que disminuyen en fenómeno de hidropelano al permitir el ingreso del agua a la mezcla durante la lluvia.
- Buena textura superficial, mejorando la fricción de los neumáticos – pavimento.
- Disminuyen el ruido de rodadura
- Resulta más económica por el uso de materiales locales disponibles. (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

#### 2.7.5. Desventajas de Mezcla asfáltica en Caliente

- Consumo de mucha energía a temperaturas elevadas superior a la del ambiente
- Causa gases nocivos para el ambiente produciendo gases de efecto invernadero.

Por otra parte, para determinar las **dimensiones** de la mezcla asfáltica convencional y modificada se utilizó en la presente investigación el método Marshall, basándose en el (Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción , 2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 504 y AASHTO T 245.

#### 2.8. Dimensión 2: Parámetros Volumétricos

Existen factores importantes a ser tomados en cuenta en el comportamiento de la mezcla asfáltica compactada, denominadas como **propiedades volumétricas** y de ellas depende el buen funcionamiento de los pavimentos siendo: los **vacíos de aire (Va)**; **vacíos llenados con asfalto (VFA)**; **vacíos en el agregado mineral (VMA)**, estas propiedades proporcionan indicios de un posible comportamiento en la mezcla. Todo ello entre definiciones y procedimientos analíticos se necesita comprender para tomar una óptima decisión con respecto al diseño de mezclas;

tanto para muestras de mezclas elaboradas en laboratorio, como en las probetas obtenidas en campo (Garnica et al., 2004). Por otro lado, la **densidad de la mezcla** se define como el **peso unitario** del volumen específico de una mezcla; también se le considera como una característica importante en el análisis y se expresa en (kg/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>), y para determinarlo se necesita multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup> o 62.416 lb/ft<sup>3</sup>) que es determinado en laboratorio y con ello se puede tener referencias para hallar la densidad de un pavimento terminado (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

### 2.8.1. Vacíos de aire (Va)

De forma similar los **vacíos en una mezcla** son espacios pequeños, que se encuentran entre el agregado revestidos de la mezcla compactada y es normal que contengan espacios vacíos que permitan la acomodación adicional que sufra la mezcla al momento de recibir una carga externa (tránsito) para el reacomodo del asfalto. El porcentaje de vacíos de muestra en laboratorio están comprendidas entre 3 a 5 por ciento; un dato importante en la durabilidad de la mezcla es el contenido de vacíos donde indica a menor porcentaje de vacíos menor será la permeabilidad del ingreso del agua y aire que producen el deterioro; por lo contrario, sucede al contener un bajo porcentaje de vacíos en la mezcla causando la exudación del asfalto; una condición donde el asfalto es expulsado hacia la superficie. El contenido de vacíos y la densidad están inversamente relacionados, mientras la densidad sea más alta, menor será el contenido de vacíos. (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

Porcentaje de vacíos de aire en mezcla compactada}

$$Va = 100x \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

Va = vacíos de aire en la mezcla compactada.

Gmm = gravedad específica máx. teórica de mezcla.

Gmb = gravedad específica bulk de mezcla compactada.

### 2.8.2. Vacíos en el agregado mineral (VMA)

No menos importante se define a los **vacíos en el agregado mineral** como espacios de aire presentes entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, también se considera a los espacios que están llenos de asfalto; Por lo tanto, el VMA representa el espacio apto necesario en ordenar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Si el VMA es mayor significa que habrá más espacio disponible para las películas de asfalto. Los valores que obtenemos Cumplen con que al ser más grueso la película de asfalto cubriendo las partículas de agregado, se tendrá una mezcla más durable.

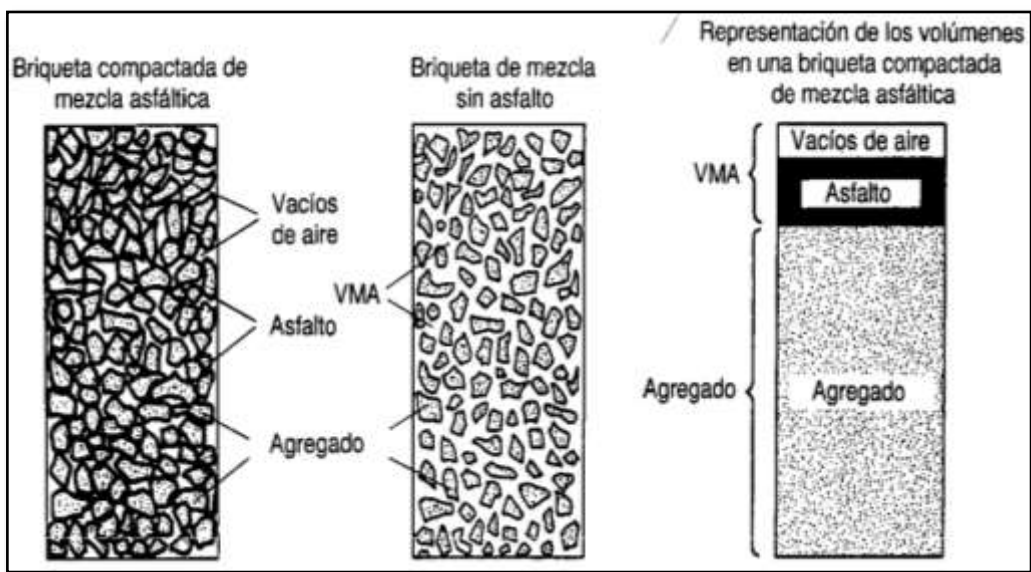


Figura 4. Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada.

*The Asphalt Institute MS-22, 1982.*

Se sabe que, si se incrementa la densidad de la graduación del agregado, llegando a dar valores de VMA menores al mínimo permitido y especificado, esto daría películas delgadas de asfalto y por ello mezcla no durables y secas. Por lo tanto, no es recomendable y hasta llega a ser contraproducente, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto, si se quiere un pavimento de calidad (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

Porcentaje de VMA en mezcla compactada.

$$V.M.A. = 100 - \frac{G_{mb}P_s}{G_{sb}} \quad \text{Ecuación (7)}$$



Donde:

VMA= Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk.

Gsb= Gravedad específica bulk del agregado total.

Gmb= Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

### 2.8.3. Vacíos llenos de asfalto (VFA)

Son la cantidad porcentual de los vacíos entre las partículas de agregado que se encuentran llenos de asfalto y VMA. El VFA se determina restando los vacíos de aire del VMA y dividiendo entre VMA, y así se expresa en porcentaje. Por ende, el criterio del VFA causa limitantes en cuanto a los máximos niveles de VMA y también los del contenido de asfalto (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

Para las mezclas **diseñadas para tránsito pesado** mayormente no pasan el criterio VFA el cual es de un valor menor a 3.5% de lo planteado, aunque tenga vacíos aceptables dentro del rango. A causa de que puede ser crítico en cuanto a las deformaciones permanentes debido al bajo contenido de vacíos. El criterio VFA permite mejorar las mezclas y ser susceptibles a roderas en caso de alto tráfico. (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

Porcentaje VFA en mezclas compactadas.

$$VFA = 100x \frac{VMA - V_a}{VMA} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

VFA =vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA =vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk.

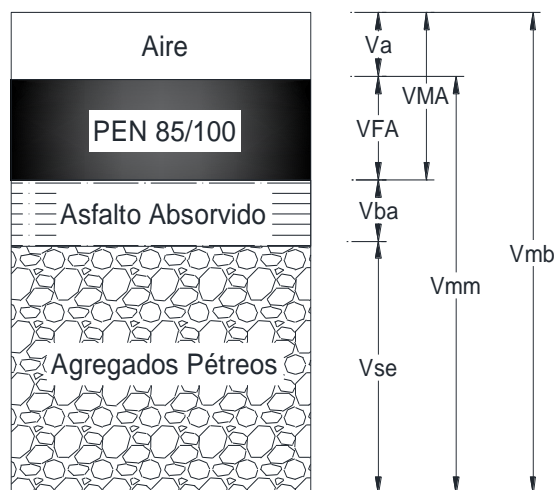
Va =vacíos de aire en mezcla compactada.

En el mismo contexto, el **contenido de asfalto** de una mezcla de se determina mayormente en base a granulometría y capacidad de absorción, las cuales son consideradas las características del asfalto más relevantes. Para la granulometría del agregado vemos que se relaciona de forma directa con el contenido óptimo del asfalto, muestras se encuentren más finos en la gradación, el área superficial total aumenta, así como la cantidad de asfalto necesaria para cubrir de forma uniforme

a toda partícula aumentara. Otro aspecto es  $q$  cuando los agregados de mayor tamaño se requiere menos asfalto, ya que posee menor área superficial total. (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

Luego en la capacidad de absorción de un agregado empleado para la mezcla es importante, y esto se debe a que se requiere de este asfalto en buena cantidad para dar una absorción permisible, además de que con ello se pueda cubrir partículas con una película de asfalto adecuada. (The Asphalt Institute MS-22, 1982).

A continuación, se describe aspectos que debe cumplir una mezcla asfáltica compactada ver Figura 5 y se detalla el análisis volumétrico (ecuaciones), el cual de acuerdo un rol importante para el diseño y determinación de los parámetros volumétricos  $V_a$ ,  $VFA$ ,  $VMA$ . Así mismo, la información es utilizada en mezclas elaboradas en laboratorio y en probetas obtenidas en campo.



*Figura 5 Esquema de mezcla Asfáltica compactada.*

*Elaboración Propia.*

Donde:

- $VMA$  = vol. de vacíos en agregado
- $VFA$  = vol. de vacíos rellenados de asfalto
- $V_a$  = vol. de vacíos de aire
- $Vmb$  = vol. bulk de mezcla compactada
- $Vmm$  = vol. de vacíos de la mezcla
- $Vba$  = vol. de asfalto absorbido
- $Vse$  = vol. de agregado y gravedad específica efectiva

Gravedad Específica Bulk del Agregado.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

- Gsb = Peso específico bulk del total de agregado
- P1, P2, Pn = % de diseño c/ agregado (peso)
- G1, G2, Gn = Gravedad específica bulk c/ agregado.

Se cálculo de la gravedad específica efectiva con la gravedad específica máxima teórica – RICE, ASTM D-2041 (detallada en el siguiente párrafo).

$$G_{sc} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad \text{Ecuación (10)}$$

Dónde:

- Gse =Peso específico efectivo del total de agregado
- Pmm =Porcentaje de muestra total 100% (peso)
- Pb =Porcentaje de asfalto.
- Gmm =Peso específico Rice.
- Gb =Gravedad específica del asfalto.

Porcentaje de Absorción del asfalto.

$$G_{sc} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} G_b \quad \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

- Pba = Asfalto absorbido por el agregado total
- Gse = Peso específico efectivo del agregado total
- Gb = Gravedad específica del asfalto.
- Gsb = Peso específico bulk del agregado total

Contenido de asfalto efectivo de la mezcla.

$$P_{be} = P_b \frac{P_{ba}}{100} P_s \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

Pbe = Contenido de asfalto efectivo

Pb = Contenido de asfalto en peso de la mezcla

Pba = Asfalto absorbido por el agregado total

Ps = Contenido de agregado, porcentaje del peso total de la mezcla.

#### 2.8.4. Gravedad Máxima Teórica de la mezcla Asfáltica Gmm (MTC E 508)

Por otra parte, uno de los datos indispensables para determinar las propiedades volumétricas es la gravedad específica máxima teórica según las normas MTC E 508, ASTM D 2041 y AASHTO T 209, en la que indica tomar cantidades de muestras representativas sueltas de acuerdo al tamaño máximo de agregado, detallado en la Tabla 11 y aplicar la siguiente fórmula:

**Tabla 11**

*Cantidades de muestras Mínimas - Rice*

Tamaño de la partícula de la muestra Mm (")	Muestra mínima (gr)
1/2	1 500
3/8	1 000
Nº 4	500

$$\text{Gravedad Especifica Teórica Max.} = \frac{A}{(A+C-E)} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

A: Peso de la muestra seca en el aire, g.

C: Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25C, g.

E: Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25C, g.

### 2.9. Dimensión 3: Propiedades Mecánicas

#### 2.9.1. Estabilidad Marshall

El (The Asphalt Institute MS-22, 1982) indica que la estabilidad es un valor que mide la resistencia de la mezcla bajo cargas hasta producir falla, es decir, cuan más elevada sea el valor de carga mayor será la resistencia, sin embargo, en mezclas asfálticas en caliente este valor depende de la durabilidad, por otro lado, según Cáceres Morales (2007) indica que la estabilidad es la capacidad de resistir a

deslizamientos y deformaciones por el uso de tránsito manteniendo su consistencia y dureza a reiteradas cargas de lo contrario desarrolla ondulaciones, ahuellamientos. La elección de estabilidad depende de la condición y tipo de vía esperado lo suficientemente alta, de lo contrario pavimentos con alta estabilidad fuera de lo especificado producen pavimentos muy rígidos y con poca durabilidad.

### 2.9.2. Flujo Marshall

Es la deformación del espécimen hasta el valor máxima de carga y mide la deformación de una mezcla bajo carga (disminución de su diámetro), su valor es determinado en mm o pulgadas.

### 2.10. Dimensión 4: Ensayo de Tracción Indirecta – TSR (MTC E 522)

El desempeño y susceptibilidad ante la humedad de una mezcla es determinado por el ensayo Tracción Indirecta de acuerdo a la AASHTO T283 y MTC E 522 es la aplicación de una carga diametral uniforme a lo largo de los ejes uniforme de 50.8mm/min a 25°C, como se observa en la Figura 6, desarrollado al largo de dos lados, este ensayo sirve para evaluar el desprendimiento de una mezcla inducido a faces de saturación, congelamiento y acción al agua como seco, identificando la efectividad de adherencia entre ligante y agregado o algún aditivo.

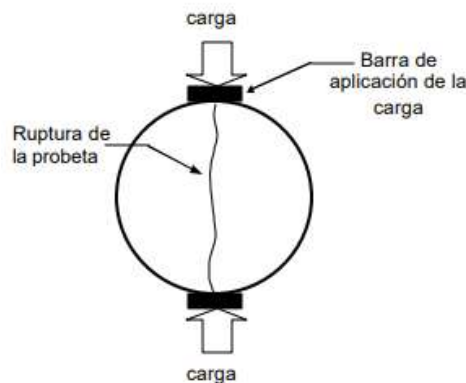


Figura 6 Rotura de la briqueta del ensayo TSR, Garnica et al., 2004, p. 51.

A continuación de detalla la relación de la resistencia a tracción entre probetas húmedas y secas:

$$TSR = \frac{S_s}{S_a} * 100 \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde:

S<sub>s</sub>: Promedio a la tensión de subgrupo seco, KPa

S<sub>a</sub>: Promedio a la tensión de subgrupo saturado, KPa

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

Según Sampieri, Fernández, & Baptista (2014), la investigación es tipo **aplicada**, ya que el propósito principal es la resolución de problemas prácticos y determinación de nuevas metodologías aplicando tecnología conocidas; con la adición de ignimbrita en remplazo parcial del agregado fino, se evaluará la mejora de las propiedades mecánicas a través de ensayos de laboratorio para mezcla con asfalto en caliente.

##### 3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es **cuasiexperimental**, ya que se estimula intencionalmente la variable independiente (porcentajes de residuos de ignimbrita) y posteriormente observar el efecto en la variable dependiente (mezcla asfáltica en caliente) con el objetivo de obtener las mediciones posteriores (propiedades mecánicas - TSR), así mismo, los grupos no se eligen al azar, debido a que ya están conformadas antes del experimento (Normas).

Esquema para la investigación:

$M_i$      $X_i$      $O_i$

Donde:

$M_i$     : Muestra Asfáltica

$X_i$     : Porcentajes de 0.5, 1 y 3% de Ignimbrita

$O_i$     : Análisis de los parámetros

##### 3.1.3. Nivel de investigación

Para la investigación se tomó los siguientes alcances o niveles: **descriptivo**, porque se describe las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica sustituido parcialmente por ignimbrita en los diferentes ensayos, además es **correlacional** porque las características de las propiedades volumétricas y mecánicas varían según el grado de aumento de porcentaje de ignimbrita y finalmente es **explicativo** ya que teniendo en cuenta los pasos anteriores se determinara el comportamiento de la mezcla asfáltica y su posible mejora.

##### 3.1.4. Enfoque de investigación

Con un enfoque **cuantitativo** ya que se planteó la exploración de variables con dimensiones y sus posibles hipótesis, trabajando con aspectos observables y medibles para describirlos, vincularlos y considerar efectos unos a los otros.

### **3.2. Variables y operacionalización**

#### **3.2.1. Variable Independiente: Residuos de Ignimbrita**

- **Definición conceptual:** La ignimbrita es una roca ígnea producto del depósito volcánico, y que consiste en toba dura compuesta de fragmentos de roca y fenocristales en una matriz de fragmentos de vidrio semejantes a polvo, junto con pedazos de piedra pómez y bloque de lava densa (Lara-Galindo, 1988, p. 7).
- **Definición operacional:** La obtención de los porcentajes de ignimbrita se obtuvo en base a la granulometría respectiva reemplazando parcialmente al agregado fino - Pasante del Tamiz N.º 50 a Fondo, cumpliendo con los usos granulométricos.
- **Dimensiones:** Dosificación, Propiedades de Agregado Fino y Características del material
- **Indicadores:** 0.5%, 1% y 3% de Ignimbrita, Angularidad del agregado fino, Equivalente de Arena, Azul de metil, Durabilidad a los Sulfatos, Índice de Durabilidad, Índice de Plasticidad, Sales Solubles Totales, Adhesividad (Método Redel Weber), Absorción de agregado fino y Granulometría, Densidad y Absorción de la Ignimbrita.
- **Escala de medición:** Razón

#### **3.2.2. Variable Dependiente: Mezcla Asfáltica en Caliente**

- **Definición conceptual:** Para un buen desempeño las mezclas asfálticas en caliente primero deben ser diseñadas, construidas y colocadas de maneras adecuadas y conseguir que sus propiedades sean mayores al esperado; la calidad es definida por: Estabilidad, Durabilidad, Impermeabilidad, Trabajabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la fatiga y Resistencia al deslizamiento (The Asphalt Institute MS-22, 1982)

- **Definición operacional:** La medición de los parámetros volumétricos y mecánicos se realizó mediante la prensa Marshall, respecto a la resistencia a la Tracción Indirecta se utiliza la mordaza de Lottman modificado.
- **Dimensiones:** Parámetros Volumétricos, Parámetros Marshall y Tracción Indirecta (TSR)
- **Indicadores:** Densidad de la mezcla (gr/cc), Vacíos en una mezcla (Va), Vacíos en el agregado mineral (VMA), Vacíos llenos de asfalto (VFA), Estabilidad Marshall (kg), Flujo (mm) y Resistencia al daño inducido por humedad (80% min.)
- **Escala de medición:** Razón

### 3.3. Población, muestra y muestreo.

#### 3.1.5. Población

La presente investigación está constituida por briquetas de mezcla asfáltica en caliente con asfalto 85/100 para vías de alto tránsito convencional y modificadas con residuos de ignimbrita tiene como población el diseño de mezclas asfálticas en caliente convencional y modificada.

#### 3.3.2. Criterios de inclusión

Los materiales componentes de las briquetas, serán previamente seleccionadas de acuerdo con el cumplimiento de las especificaciones técnicas que determina las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

#### 3.3.3. Criterios de exclusión

Materiales y componentes que no cumplan con lo especificado en la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y material grueso de ignimbrita retenidos hasta la malla N<sup>o</sup>4.

#### 3.3.4. Muestra

Está conformada por 68 especímenes cilíndricas de 101 mm de diámetro y 64 mm de altura, para el diseño Marshall se promedian 3 especímenes con diferentes porcentajes de asfalto incrementos en 0,5% en rangos de 4.5 a 6.5%, una vez obtenido el contenido óptimo de asfalto se procede a fabricar 3 especímenes con



diferentes porcentajes de ignimbrita (0.5, 1 y 3%), seguido se elaboró 24 especímenes (tres especímenes secos y tres sumergidos) para mezcla convencional y modificada, ver detalle en la Tabla 12. La toma de muestras es establecida por el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) – MTC E 504 y MTC E 522.

**Tabla 12**

*Población y Muestra*

<b>Ensayos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Probetas</b>
Diseño Marshall (Convencional)	Se realizan 3 especímenes de contenido de asfalto de 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5%	15
Gravedad Especifica Máxima Teórica	4 muestras sueltas con porcentajes de Ignimbrita.	4
Diseño Marshall (Modificada)	Se realizan 3 especímenes con contenido de asfalto e Ignimbrita de 0.5, 1 y 3%	9
Tracción Indirecta TSR	Se realiza 6 especímenes (3 sumergido y 3 secos) para convencional y modificada	24
Determinación del N° de golpes al 7% Vacíos	Se realiza especímenes de 20, 30, 40 y 50% golpes	16
<b>TOTAL</b>	<b>Especímenes</b>	<b>68</b>

*Nota:* Elaboración Propia

### 3.3.5. Muestreo

Según Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2014) es muestreo **no probabilístico**, ya que la selección no depende de las probabilidades sino depende de las características que busca el investigados en base al planteamiento del problema y las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

## 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 3.4.1. Técnicas de Investigación

Se empleó la técnica de la **observación directa** ya que nos permite obtener datos a través de los ensayos, instrumentos de medición y métodos realizados en laboratorio. El primer paso es la caracterización de agregados pétreos, seguido del

diseño Marshall determinando sus parámetros con el objetivo de determinar el porcentaje óptimo mediante tablas y gráficos en el software Excel de modo similar para mezcla asfáltica modificada con residuos de ignimbrita. La obtención de los residuos de ignimbrita se obtuvo de las canteras de sillar – Añashuyco del distrito de Cerro Colorado, la técnica para determinar el porcentaje y la cantidad de ignimbrita en sustitución parcial de agregado fino fue por recolección de información de los antecedentes previas investigaciones, Artículos Científicos e Informes Técnicos ; el segundo paso es la determinación técnica de los datos de los parámetros volumétricos y mecánicos como la Resistencia al daño inducido por humedad para finalmente analizar e interpretar los resultados.

#### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos son formatos y fichas estandarizadas por las normas nacionales e internacionales como la MTC 504, ASSHTO 245 y ASTM D 1559 (Metodología Marshall), MTC E 522 y AASHTO T 283 (Tracción Indirecta) y la caracterización de agregados pétreos del Manual de Ensayo de Materiales (2016), con la validación de las especificaciones del Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

#### **3.4.3. Validez**

Los instrumentos tomados son válidos ya que se rigen de normas internacionales como la AASHTO, ASTM Y MTC E y son emitidos por el laboratorio, así mismo fueron validados por tres especialistas. Los formatos de adjuntan en el Anexo 05.

#### **3.4.4. Confiabilidad**

Los datos registrados son fidedignos, puesto que los ensayos y equipos cuentan con los certificados de calibración, que se adjuntan en el Anexo 07.

### 3.5. Procedimientos

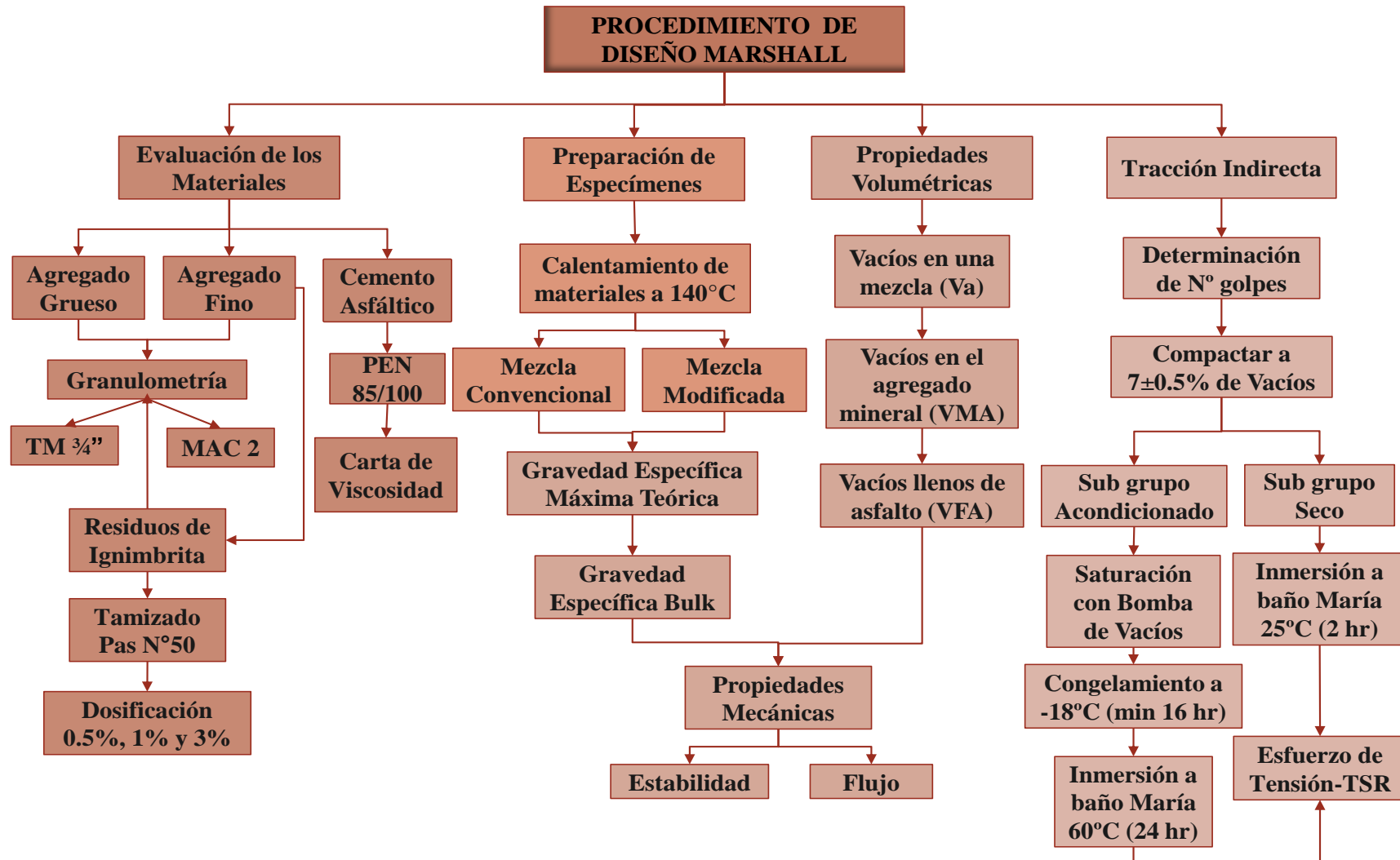


Figura 7. Procedimiento de Diseño, Elaboración Propia

## 1. Caracterización de los materiales

Se inicio con la extracción del agregado fino y gruesos de la Cantera del km 19 de la Gerencia Regional de Transportes y Comunicaciones de Arequipa, se determinó las propiedades físicas acorde a las especificaciones del Manual de Carreteras EG -2013 y el Manual de ensayo de materiales – 2016 del Ministerio de Transportes y Comunicación detallada en la Tabla 13 y Tabla 14, cumpliendo con los usos granulométricos para MAC 2 y TM 3/4” para agregado grueso detallada Tabla 15.

**Tabla 13**

*Requerimientos para Agregados Gruesos*

Ensayos	Requerimiento		
	Norma	Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3000	> 3000
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	95	95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (*)	MTC E 206	1% máx.	1% máx.

(\*) Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores solo si se asegura las propiedades de durabilidad de las mezclas asfálticas.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02.

*Nota:* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

**Tabla 14**

*Requerimientos para Agregados Finos.*

Ensayos	Requerimiento		
	Norma	Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metil	AASTHOTP57	8máx.	8máx.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35mín.	35mín.

Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (**)	MTC E 205	0.50%	Según Diseño
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% mín.	6% mín.

(\*\*) Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores solo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

*Nota:* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

### Tabla 15

*Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC).*

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80 -100	100	-
12,5 mm (1/2")	67- 85	80 - 100	-
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
0.425 mm (N° 40)	14 - 25	17- 28	16 - 29
0.180 mm (N° 80)	8 -17	8 -17	9 -19
0.075 mm (N° 200)	04 - 8	04 - 8	05 - 10

*Nota:* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

Por otro lado, se consideró diferente aspecto para el uso del tipo de cemento asfáltico tales como: temperatura y tipo de tránsito, así mismo, el diseño se realizó para la región de Arequipa con una temperatura promedio anual entre 24° y 7° C y de acuerdo a

Tabla 18, también es aplicado a vías de tránsito pesado con ESAL  $\geq 10^6$  millones de ejes equivalentes de acuerdo a la Tabla 17 y optando por 75 golpes, es por ello que se optó por el cemento asfáltico PEN 85/100. Al mismo tiempo se verificó que el cemento asfáltico cumpla con las propiedades de penetración y viscosidad (ver

Tabla 18 y Tabla 19); se determina la temperatura de mezclado según indica la Carta de Viscosidad ver Figura 8 (mezclado 150°C y compactación de 135°C).

**Tabla 16**

*Selección del tipo de cemento asfáltico.*

Temperatura media anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40 - 50		85 - 100	
60 - 70	60 - 70	120 - 150	Asfalto Modificado
Modificado			

*Nota:* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

**Tabla 17**

*Requisitos para mezcla de diseño Marshall.*

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

*Nota:* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

**Tabla 18***Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración*

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Penetración a 25°C, 100G. 5 s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductibilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro - etileno, %	MTC E 302	99.0		99.0		99.0		99.0		99.0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) (1)	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Solvente Nafta Estándar	- AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta Xileno, %Xileno	-	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	

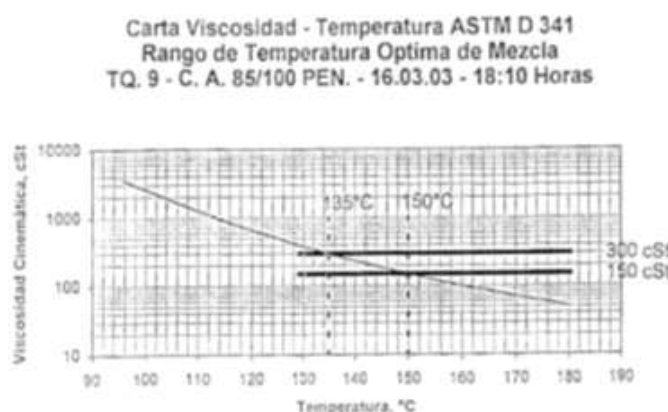
*Nota:* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

**Tabla 19**

*Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad.*

Características	Grado de viscosidad				
	AC 2.5	AC 5	AC 10	AC 20	AC 40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±20 0	2.000±40 0	4.000=80 0
Viscosidad Cinemática, 135°C 5t mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2,500	5.000	10.000	20.000
Ductibilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(1)</sup>					
Solvente Nafta - Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solene Nafta - Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano - XILENO, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.



*Figura 8 Carta de Viscosidad Pen 85/100  
Petroperú S.A.*



Respecto a la metodología Marshall se consideró las siguientes tablas Tabla 20 de acuerdo al Manual de Carreteras EG - 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicación.

**Tabla 20**

*Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA).*

Máximo tamaño de partícula		Porcentaje mínimo VMA		
nominal		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	Nº16	21.5	22.5	23.5
2.36	Nº8	19.0	20.0	21.0
4.75	Nº6	16.0	17.0	18.0
9.5	03-ago	14.0	15.0	16.0
12.5	01-feb	13.0	14.0	15.0
19	03-abr	12.0	13.0	14.0
25	01-ene	11.0	12.0	13.0
37.5	01-ene	10.0	11.0	12.0

*Nota:* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

A continuación, se detalla los siguientes procedimientos con el fin de obtener los objetivos:

1. Granulometría, Caracterización y Dosificación de agregados Pétreos e Ignimbrita.
  2. Preparación de Especímenes.
  3. Diseño por metodología Marshall para mezcla convencional y modificada con ignimbrita.
  4. Ensayo de Tracción Indirecta (TSR) de mezcla convencional y modificada con ignimbrita.
- 2. Granulometría, Caracterización y Dosificación de agregados Pétreos e Ignimbrita.**

Los agregados a utilizar para las mezclas asfálticas en caliente son de GRADACION B que son partículas que forman el agregado grueso y se obtienen por trituración. El agregado fino puede ser arena natural o material

triturado, se puede añadir relleno mineral. El relleno mineral con el que se trabaja es cal para cumplir con las exigencias de dicha gradación.



*Figura 9. Producción de agregado de TM 1/2" y arena chancada (Planta Chancadora de la GRTC- Arequipa).*

### **Agregado Grueso**

Con el fin de obtener material representativo que cumplan las características físicas se procede a elaborar el cuarteo (Figura 10) para determinar el análisis granulométrico promedio de tres muestras.



*Figura 10 Cuarteo de agregado grueso.*



*Figura 11. Agregado Grueso TM 3/4".*

Agregado Fino: De la misma manera se procedió con el material fino, cuarteo (Figura 12) para determinar el análisis granulométrico promedio de tres muestras.



*Figura 12 Cuarteo de agregado Fino.*

Filler: El material complementario que se utiliza como filler para el diseño de mezcla es la cal hidratada; ya que se pudo observar en anteriores diseños una respuesta baja en el parámetro de flujo, tomando para el diseño de 2% (Figura 13).



*Figura 13. Cal hidratada.*

Caracterización de Ignimbrita: El material en remplazo parcial de agregado fino es el sillar con propiedades mediana geo polimerización y alta absorción, la zona de producción del material se sitúa en las Canteras de Añashuayco al sur de Arequipa con coordenadas (16°21'33.459" S - 71°36'30.627"W) como se detalla en la Figura 14.



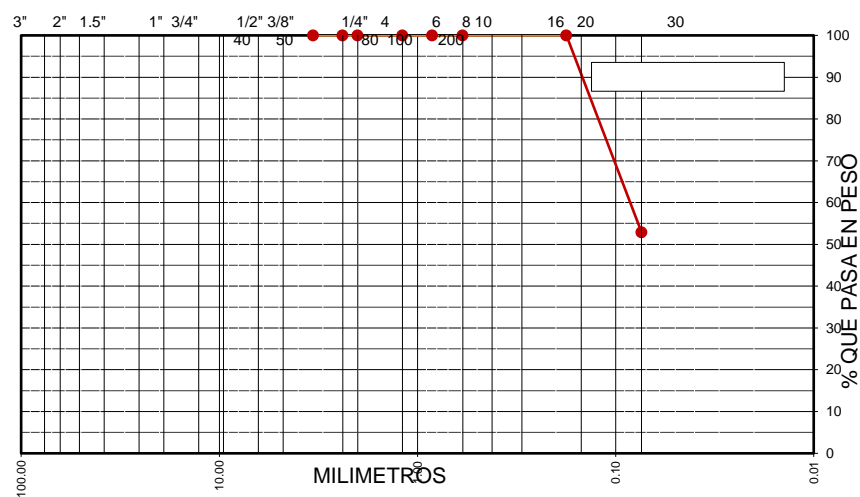
*Figura 14 Recolección de Residuos de Sillar.*

Granulometría de Ignimbrita: Se realizo la respectiva granulometría con el objetivo adicionar a la combinación en remplazando al agregado fino pasante de la malla N° 50, ya que el material cuenta con alto porcentaje de finos como

se observa en la Figura 15 y su curva granulométrica en la Figura 16.



*Figura 15 Ignimbrita Tamizada*



*Figura 16 Curva granulométrica de la Ignimbrita*

Combinación: De acuerdo a los objetivos y la realización del diseño Marshall se realizó la combinación de agregados para mezcla convencional y modificada, adicionando 0.5%, 1% y 3% de residuos de ignimbrita pasante de la malla N° 50, como lo establece los usos granulométricos MAC 2, detallado en las siguientes Figuras Figura 17, Figura 18, Figura 19 y Figura 20.

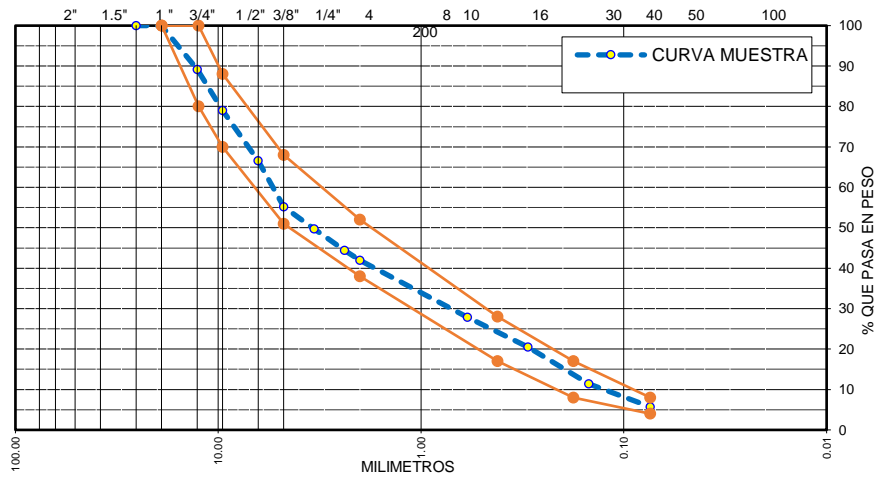


Figura 17 Curva granulométrica mezclas convencional

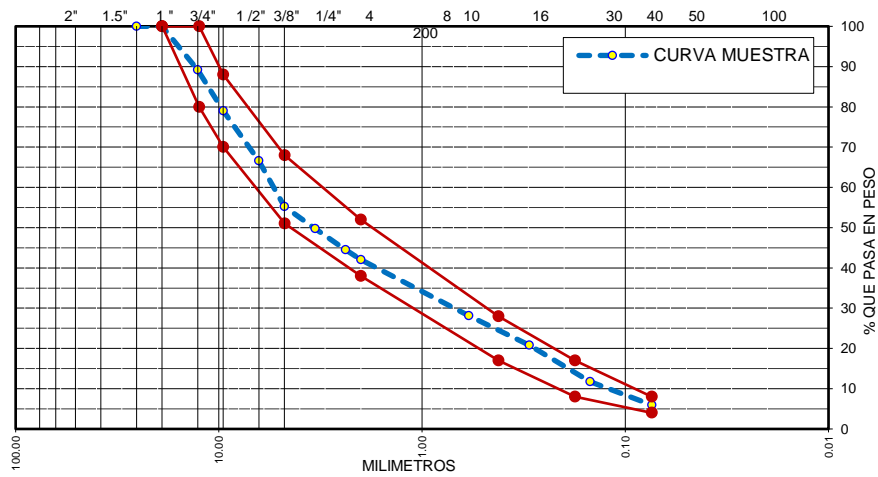


Figura 18 Curva granulométrica mezclas modificado con 0.5% de ignimbrita.

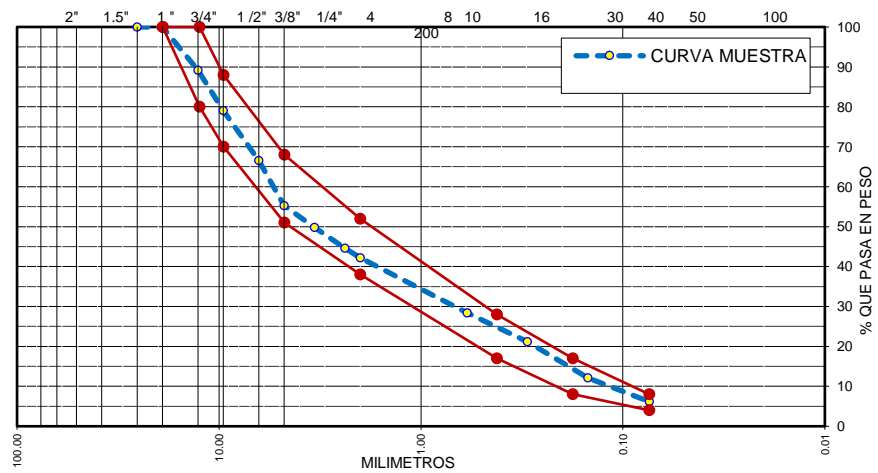


Figura 19 Curva granulométrica mezclas modificado con 1% de ignimbrita.

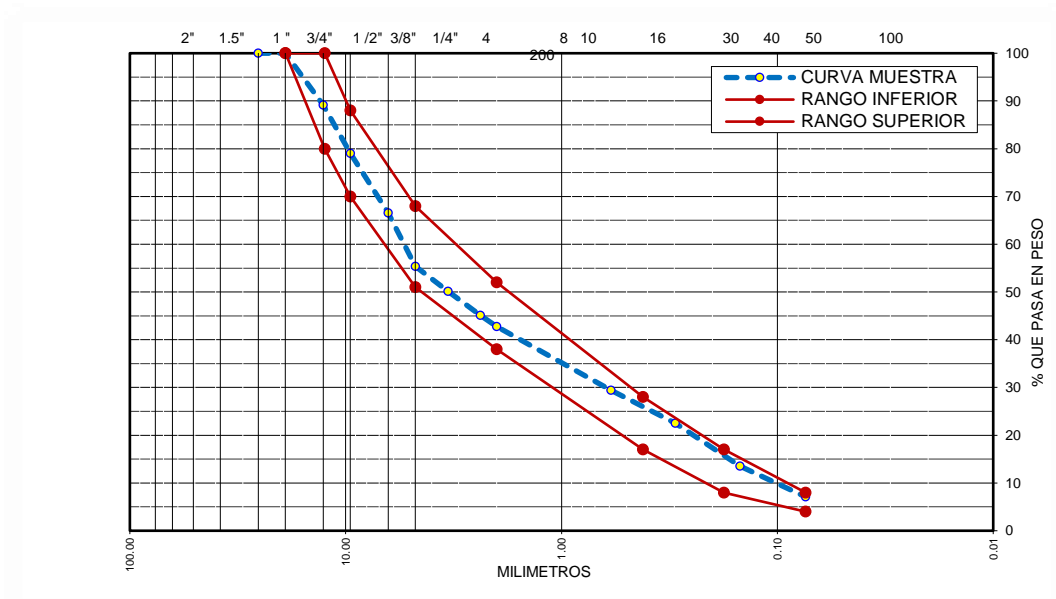


Figura 20 Curva granulométrica mezclas modificado con 3% de ignimbrita.

### 3. Preparación de Especímenes

Se calentó los agregados pétreos hasta obtener un peso contante, junto al ligante a temperatura de 140°C aproximadamente según indica en la carta de Viscosidad, seguido se colocó las cantidades indicadas según la dosificación anterior como detalla en la Figura 21.



Figura 21 Mezcla de agregados e Ignimbrita.

Seguidamente se colocó el agregados y asfalto al horno a temperatura aproximada de 140°C por 60 min, después del mezclado de la muestra a temperatura de 135°C dejamos nuevamente al horno simulando el tiempo fragua aproximadamente por 90 min, se realizó chuseadas de 15 alrededor

y 10 en el interior de la probeta, se compacta con un martillo de acero a 75 golpes ambas caras (tipo de tráfico), con el objetivo de determinar los pesos específicos bulk.



*Figura 22 Compactación manual de mezcla para briquetas.*

Para determinar las resistencias de estabilidad y flujo, así como sus propiedades volumétricas:  $V_a$ , VMA y VFA se determinó la gravedad máxima específica teórica con el ensayo Rice de mezclas convencional y modificada en los diferentes porcentajes de diseño, obteniendo resultados de mezclas convencional para 4.5% es 2.529 gr/cm<sup>3</sup>, 5% es 2.509 gr/cm<sup>3</sup>, 5.5% es 2.488 gr/cm<sup>3</sup>, 6% es 2.470 gr/cm<sup>3</sup>, 6.5% es 2.448 gr/cm<sup>3</sup> y 5.7% es 2.467 gr/cm<sup>3</sup>.



*Figura 23 Gravedad Especifica Máxima Teórica.*

De mezclas modificada con ignimbrita los resultados Rice fueron: de 0.5% es 2.463 gr/cm<sup>3</sup>, 1% es 2.465 gr/cm<sup>3</sup> y 3% es 2.469 gr/cm<sup>3</sup>.



Se realizó un total de 24 especímenes, 15 convencionales de 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%; de contenido de asfalto tres de cada una y 9 modificadas de 0.5%, 1% y 3% tres de cada porcentaje también con peso aproximado de 1200 gr.



Figura 24 Especímenes de mezcla convencional.



Figura 25. Numero de Briquetas por Ensayo

#### 4. Diseño por metodología Marshall para mezcla convencional y modificada con ignimbrita.

Se acondiciona la acondicionamos la muestra a  $60^{\circ}\text{C} \pm 1$  en baño maría por 30 a 40 min, seguido se seca y coloca rápidamente al aparato Marshall para determinar la **Estabilidad** que detalla la carga máxima que soporto la muestra esto en función a la gradación, cemento asfaltico y cantidad de asfalto y el **Flujo** que halla la deformación de la mezcla indicando la disminución del diámetro.



*Figura 26 Rotura de especímenes en Prensa Marshall.*

- Con el objetivo de obtener el contenido óptimo se prosigue con la determinación los parámetros volumétricos del diseño: **V<sub>a</sub>**, **VMA** y **VFA**, una vez obtenido todos los datos se determinó el Contenido Óptimo de Asfalto en el cual se promedia los valores de la máxima Estabilidad, máximo Peso Unitario y Vacíos al 4%, con el fin de verificar que el nuevo diseño cumpla con los parámetros y los especificado en la norma, así mismo, las probetas que no cumplieron con las medidas y volumen se multiplico por un factor de acuerdo a la Tabla 21, para convertir a un valor semejante a la estabilidad de una probeta de 63.5 mm de altura.

**Tabla 21****Factores de Estabilidad de Correlación**

Volumen del espécimen, cm <sup>3B</sup>	Espesor del espécimen <sup>B</sup>		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,69 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

*Nota:* Manual de Ensayo de Materiales - MTC, 2016.

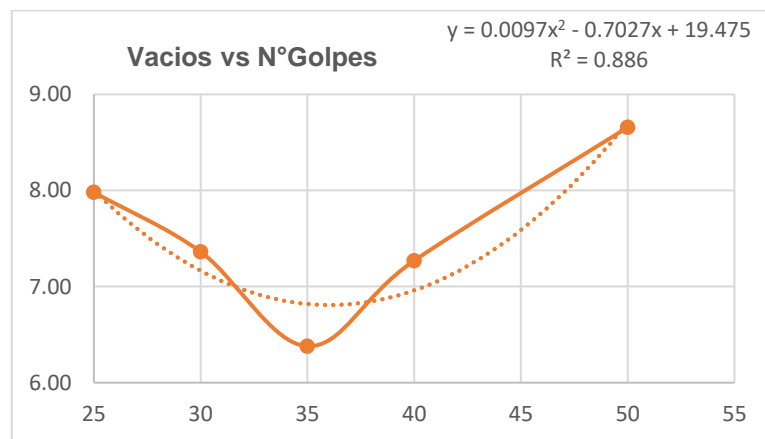
### 5. Ensayo de Tracción Indirecta (TSR) de mezcla convencional y modificada con ignimbrita.

El ensayo de resistencia al daño inducido por humedad es una de las etapas finales donde se determinó la resistencia al desprendimiento de especímenes convencionales y modificadas compactadas con un determinado número de golpes de acuerdo a la Tabla 22 con un porcentaje de 7%.

**Tabla 22**

*Determinación de número de golpes al 7% de vacíos – Convencional.*

1	% C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.7				
	<b>N DE GOLPES</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
2	% A. GRUESO (MAYOR N°4)	39.61				
3	% A. FINO (MENOR N°4)	52.81				
4	% FILLER (PASA N°200)	1.89				
5	PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE	1.017				
6	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK	2.761				
7	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO-BULK	2.659				
8	PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE	2.328				
9	ALTURA PROM. DE ESPECIMEN					
10	PESO DE LA ESPECIMEN AL AIRE gr	1194.7	1190.2	1189.9	1184.2	1190.8
11	PESO DE LA ESPECIMEN SSS	1195.5	1191.4	1190.7	1186.7	1192.7
12	PESO DE LA ESPECIMEN EN EL AGUA gr	659.0	660.5	665.5	659.0	654.0
13	PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.2	2.2	2.3	2.2	2.2
14	PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.1	0.2	0.2	0.5	0.4
15	VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	536.5	530.9	525.2	527.7	538.7
16	PESO ESPECIFICO BULK DEL ESPECIMEN gr/cm3	2.227	2.242	2.266	2.244	2.211
17	PESO ESPECIFICO MAXIMO - ASTM D 2041	2.420				
18	<b>% DE VACIOS</b>	<b>7.98</b>	<b>7.36</b>	<b>6.38</b>	<b>7.27</b>	<b>8.66</b>



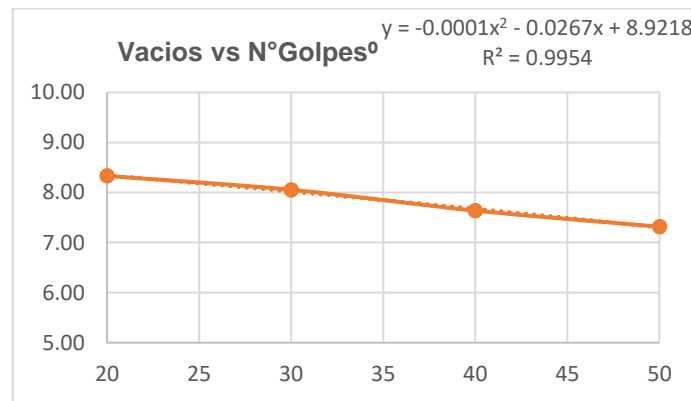
*Figura 27 Curva de Vacíos Vs Nº Golpes – Convencional*

N DE GOLPES AL 7% VACIOS	31
% DE VACIOS	7.0

**Tabla 23**

*Determinación de número de golpes al 7% de vacíos – Modificado 0.5%.*

1	% C.A EN PESO DE LA MEZCLA						5.7
	<b>N DE GOLPES</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
2	% A. GRUESO (MAYOR N°4)						39.61
3	% A. FINO (MENOR N°4)						52.34
4	% IGNIMBRITA (MENOR N°80)						0.47
5	% FILLER (PASA N°200)						1.89
6	PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE						1.017
7	PESO ESPECIFICO DEL AG. GRUESO-BULK						2.761
8	PESO ESPECIFICO DEL AG. FINO-BULK						2.659
9	PESO ESPECIFICO DE IGNIMBRITA						2.221
10	PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE						2.328
11	PESO DE LA ESPECIMEN AL AIRE gr	1188.4	1189.3	1203.1	1189.3	1192.9	1188.5
12	PESO DE LA ESPECIMEN SSS	1189.0	1190.3	1203.6	1190.3	1194.5	1189.2
13	PESO DE LA ESPECIMEN EN EL AGUA gr	662.5	658.0	663.5	658.0	663.0	661.5
14	PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3
15	PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1
16	VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	526.5	532.3	540.1	532.3	531.5	527.7
17	PESO ESPECIFICO BULK DEL ESPECIMEN gr/cm3	2.257	2.234	2.228	2.234	2.244	2.252
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO - ASTM D 2041						2.430
19	<b>% DE VACIOS</b>	<b>7.11</b>	<b>8.05</b>	<b>8.33</b>	<b>8.05</b>	<b>7.64</b>	<b>7.32</b>



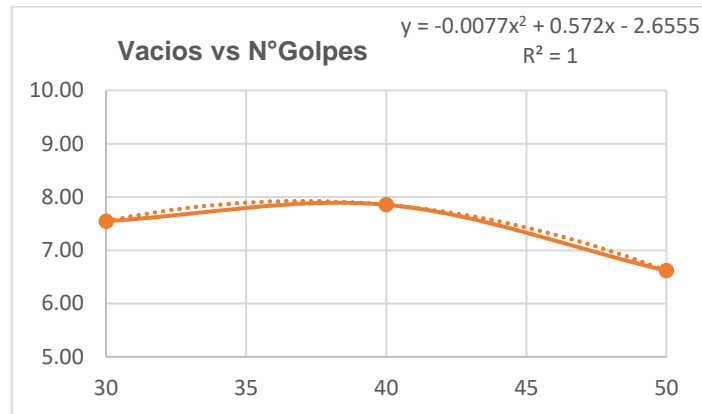
*Figura 28 Curva de Vacíos Vs Nº Golpes - Modificado 0.5%*

N DE GOLPES AL 7% VACIOS	20
% DE VACIOS	7.0

**Tabla 24**

*Determinación de número de golpes al 7% de vacíos – Modificado 1%.*

1	% C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.7		
	<b>N DE GOLPES</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
2	% A. GRUESO (MAYOR N°4)			39.61
3	% A. FINO (MENOR N°4)			51.87
4	% IGNIMBRITA (MENOR N°80)			0.94
5	% FILLER (PASA N°200)			1.89
6	PESO ESPECIFICO DEL C.A. -APARENTE			1.017
7	PESO ESPECIFICO DEL AG. GRUESO-BULK			2.761
8	PESO ESPECIFICO DEL AG. FINO-BULK			2.659
9	PESO ESPECIFICO DE IGNIMBRITA			2.221
10	PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE			2.328
11	PESO DE LA ESPECIMEN AL AIRE gr	1193.8	1188.7	1196.1
12	PESO DE LA ESPECIMEN SSS	1194.2	1189.7	1196.8
13	PESO DE LA ESPECIMEN EN EL AGUA gr	665.0	661.0	672.5
14	PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.2	2.3
15	PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.1	0.2	0.1
16	VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	529.2	528.7	524.3
17	PESO ESPECIFICO BULK DEL ESPECIMEN gr/cm3	2.256	2.248	2.281
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO - ASTM D 2041			2.440
19	<b>% DE VACIOS</b>	<b>7.55</b>	<b>7.85</b>	<b>6.62</b>



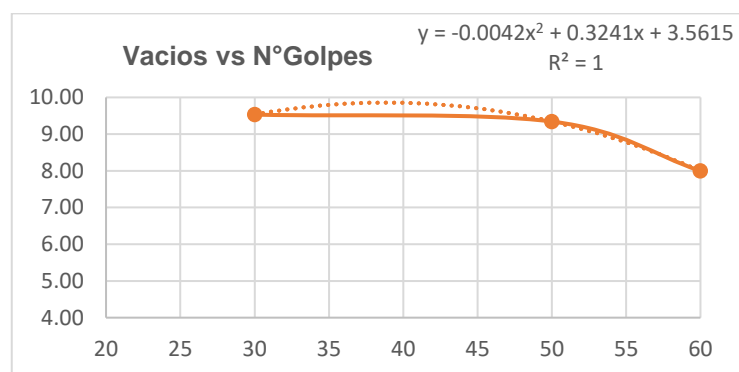
*Figura 29 Curva de Vacíos Vs Nº Golpes - Modificado 1%*

N DE GOLPES AL 7% VACIOS	26
% DE VACIOS	7.0

**Tabla 25**

*Determinación de número de golpes al 7% de vacíos – Modificado 3%.*

1	% C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.7		
	<b>N DE GOLPES</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>60</b>
2	% A. GRUESO (MAYOR N°4)	39.61		
3	% A. FINO (MENOR N°4)	49.98		
4	% IGNIMBRITA (MENOR N°80)	2.83		
5	% FILLER (PASA N°200)	1.89		
6	PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE	1.017		
7	PESO ESPECIFICO DEL AG. GRUESO-BULK	2.761		
8	PESO ESPECIFICO DEL AG. FINO-BULK	2.659		
9	PESO ESPECIFICO DE IGNIMBRITA	2.221		
10	PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE	2.328		
11	PESO DE LA ESPECIMEN AL AIRE gr	1198.6	1190.8	1193.7
12	PESO DE LA ESPECIMEN SSS	1198.7	1191.6	1194.1
13	PESO DE LA ESPECIMEN EN EL AGUA gr	662.0	659.5	668.5
14	PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.2	2.2	2.3
15	PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.0	0.2	0.1
16	VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	536.7	532.1	525.6
17	PESO ESPECIFICO BULK DEL ESPECIMEN gr/cm3	2.233	2.238	2.271
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO - ASTM D 2041	2.469		
19	<b>% DE VACIOS</b>	<b>9.53</b>	<b>9.34</b>	<b>8.00</b>



*Figura 30 Curva de Vacíos Vs Nº Golpes - Modificado 3%*

N DE GOLPES AL 7% VACIOS	64
% DE VACIOS	7.0

Una vez determinado los números de golpes para cada mezcla se procede a realizar los especímenes para ensayo de Tracción Indirecta – MTC E 522, AASHTO T 283, en la cual la norma indica realizar 6 especímenes y se sub divide en dos grupos (3 secos y 3 acondicionados) para mezcla convencional y modificada, el grupo de acondicionadas se satura en agua a temperatura ambiente con la bomba de vacíos aproximadamente 5 a 10 min llegando a saturación entre 70 – 80%, se detalla en las siguientes Figura 31, Figura 32.



*Figura 31 Especímenes para ensayo Tracción Indirecta*



*Figura 32 Sub grupo seco y Acondicionado*

Seguido se coloca en bolsas con una película de agua de 10 ml colocando a ciclos de congelamiento a  $-18^{\circ}\text{C}$  durante 16 horas mínimo, ver Figura 33.



*Figura 33 Congelamiento de muestras a  $-18^{\circ}\text{C}$  de muestras acondicionadas.*



Pasado las 16 horas inmediatamente se colocó a baño maría a 60°C por 24 horas. Finalizando con la inmersión de baño maría a 25°C por 2 horas para así ensayar en la prensa, colocando la mordaza Lottman y determinando la resistencia a la Tensión, este último proceso se dio para ambos sub grupos (secos y acondicionados); a continuación, se detalla en las siguientes Figuras Figura 34 y Figura 35.



*Figura 34 Saturación a 60°C de muestras acondicionadas.*



*Figura 35 Ensayo de Tracción Indirecta.*

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

Los datos de los resultados del diseño Marshall fueron procesados con el Software de hojas de cálculo (Excel) mediante gráficos de dispersión y tablas con ello resulta necesario ser analizados los resultados de acuerdo a los parámetros establecidos por el Asphalt Institute MS-22 y Normas peruanas llegando a conclusión.

### **3.7. Aspectos éticos**

La redacción de la investigación se basó en normas nacionales como: el Manual de Ensayos y Materiales, Manual Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones e internacionales como: las normas ASSTHO y ASTM tomando como referencia la ISO 960 adaptado por la Universidad Cesar Vallejo con el propósito de respetar los derechos de los autores.

#### IV. RESULTADOS

##### Cantera Km 19+000 - Variante Uchumayo

La muestra a utilizar se ubica en el Km. 19+000 de la carretera Vía Panamericana Sur, del distrito de Uchumayo, Provincia, Departamento y Región de Arequipa perteneciente a la Gerencia Regional de Transportes y Comunicaciones – Arequipa.

**Tabla 26**

*Coordenadas de la Cantera Km 19+000 Variante Uchumayo.*

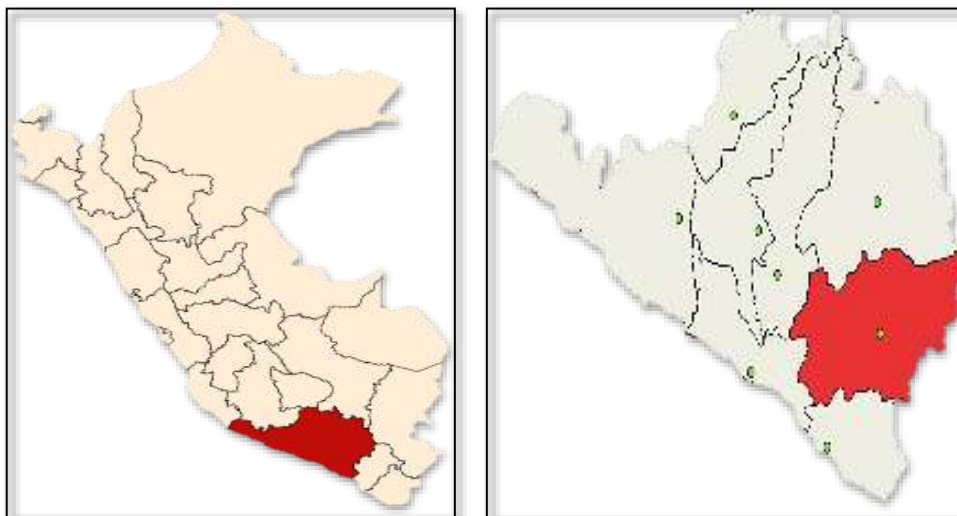
Vértice	Este	Norte
1	212 938.84	8 179 623.42
2	214 814.42	8 179 623.42
3	214 814.42	8 178 623.42
4	212 923.84	8 178 623.42

*Nota:* Google Maps.



*Figura 36. Ubicación de la cantera km19 de la GRTC.*

*Nota:* Google Maps.



*Figura 37. Localización a nivel nacional y regional - Arequipa*

Detalle de Cantera:

- ❖ Potencia: 100,000 m<sup>3</sup>
- ❖ Rendimiento: Material chancado.
- ❖ Usos: Los materiales de la cantera del Km. 19+000 Cumplen con los rangos permisibles para ser utilizados en la preparación de mezcla asfáltico en carreteras de tránsito pesado.

### Resultados de Caracterización de Agregados Pétreos e Ignimbrita

- A continuación de muestra los resultados de los agregados gruesos y finos (ver Tabla 27 y Tabla 28), así como de la ignimbrita adicionado en remplazo parcial al agregado fino, por el cual también se evaluó algunas caracterizaciones del material, detallado en la Tabla 29.

**Tabla 27**

*Resultados de la Características del Agregado Grueso*

Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultados	Criterio
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	18% máx.	10%	De acuerdo
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	23%	De acuerdo
Adherencia	MTC E 517	mayor a 95%	mayor a 95%	De acuerdo
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	70%	De acuerdo
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	8.8%	De acuerdo
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	83/52	De acuerdo
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.3%	De acuerdo
Terrones de arcilla	MTC E 212	1,0% máx.	0.26%	De acuerdo
Absorción (*)	MTC E 206	1% máx.	0.66%	De acuerdo

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 28***Resultados de la Características del Agregado Fino*

<b>Ensayos</b>	<b>Norma</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Resultados</b>	<b>Criterio</b>
Equivalente de Arena	MTC E 114	60% mín.	88%	De acuerdo
Angularidad del ag. fino	MTC E 222	30% mín.	45%	De acuerdo
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	5	De acuerdo
Índice de Plasticidad (N°40)	MTC E 111	NP	NP	De acuerdo
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	4.8%	De acuerdo
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	82.5	De acuerdo
Índice de Plasticidad (N°200)	MTC E 111	4 máx.	NP	De acuerdo
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5%	De acuerdo
Absorción (*)	MTC E 205	0.50%	0.7%	De acuerdo
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% mín.	7%	De acuerdo

*Nota.* Elaboración propia

**Análisis:**

- Los agregados gruesos y finos Cumplen con los parámetros, especificado en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción (2013).
- En la caracterización de agregado grueso del ítem de partículas chatas y alargadas su valor es cercano a lo especificado, sin embargo, De acuerdo con lo requerido, del mismo modo en el ítem de caras fracturadas su valor es cercano a lo especificado de tal sentido no tiene intervención significativa.
- Los ensayos para determinar las características químicas en reacción con los solventes como sales solubles, equivalente de arena, durabilidad y azul de metileno, muestran valores dentro de lo permitido.
- El ensayo de adherencia para agregado fino resulto un valor de 7%, de manera que no fue necesario la adición de aditivos de adherencia.

**Tabla 29**

*Resultados de la Características de la Ignimbrita*

Ensayos	Norma	Req.	Resultados	Aceptación de Criterio
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30% mín.	62.5%	De acuerdo
Índice de Plasticidad (mall. N°40)	MTC E 111	NP	NP	De acuerdo
Absorción (*)	MTC E 205	0.50% max	3.09%	No De acuerdo
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% mín.	3%	No De acuerdo

*Nota.* Elaboración propia



*Figura 38 Ensayo de Adherencia de Ignimbrita*

Análisis:

- Se realizó los siguientes ensayos con el objetivo de determinar las características de la ignimbrita, de tal modo que se observó en el ensayo de angularidad un alto porcentaje de vacíos con aire en la ignimbrita, de modo que indica una baja resistencia al ahuellamiento.
- La ignimbrita no presenta Índice de Plasticidad por lo que tampoco un límite plástico, sin embargo, cuenta con Límite Líquido, este valor corrobora una de las propiedades del sillar, siendo un material con alta conductividad de humedad, los resultados se detallan en el **Anexo 06**.

- En el ensayo de absorción el resultado se encuentra fuera de lo permitido, sin embargo, por ser un material fino, la norma indica que no es requisito ya que los poros no se llenan en su totalidad.
- Se realizó el ensayo de adherencia a un 30% de ignimbrita y 70% de arena como material en remplazo, en el cual dio como resultado un valor por debajo de lo permitido en adherencia, es por esa razón que se optó por bajar el porcentaje de ignimbrita en remplazo parcial y el pasante de mallas

### **Resultados de resistencia de la estabilidad y flujo Marshall de Mezcla Convencional**

- Se detallo los pesos de cada material para diseño de mezcla asfáltica convencional como se observa en la Tabla 30, siendo de 1200gr el peso por espécimen.
  - Agregado Grueso TM 3/4" : 42 %
  - Arena Fina : 56 %
  - Filler : 2.0 %
  - Temperatura de mezclado : 130 - 150°C

**Tabla 30**

*Pesos materiales para mezcla convencional.*

<b>Porcentaje de Asfalto</b>	<b>4.50</b>	<b>5.00</b>	<b>5.50</b>	<b>6.00</b>	<b>6.50</b>	<b>6.50</b>
Grava 42%	481.3	478.8	476.3	473.8	471.2	471.2
Arena 56%	641.8	638.4	635.0	631.7	628.3	628.3
Filler 2%	22.9	22.8	22.7	22.6	22.4	22.4
Asfalto	54.0	60.0	66.0	72.0	78.0	78.0

*Nota.* Elaboración propia

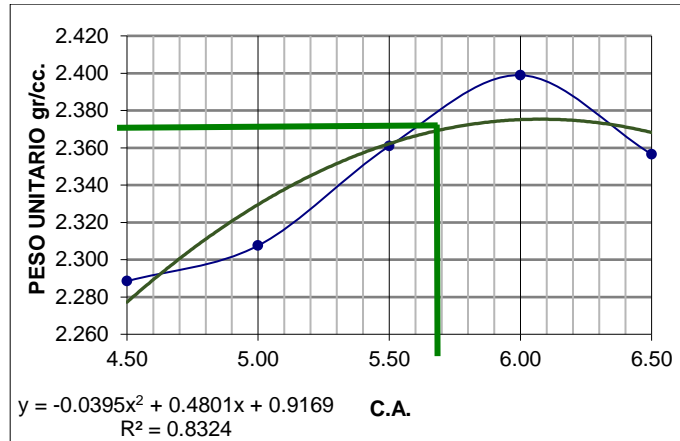


Figura 39. Peso Unitarios en función del Porcentaje de Asfalto.

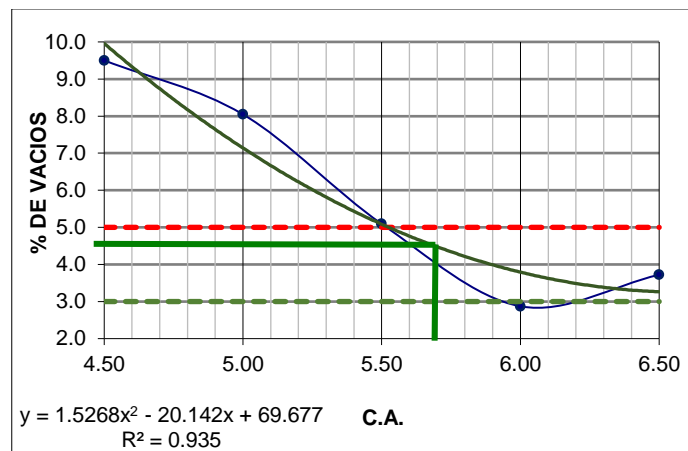


Figura 40. Porcentajes de Vacíos en función del Porcentaje de Asfalto.

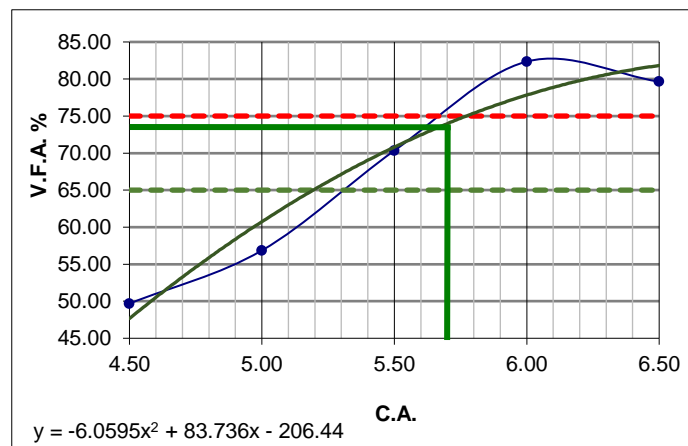


Figura 41. Vacíos llenos de asfalto en función del Porcentaje de Asfalto.



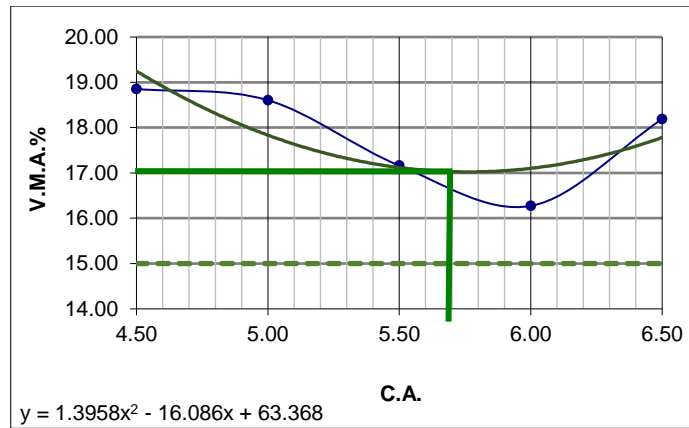


Figura 42. Vacíos del agregado mineral función del Porcentaje de Asfalto.

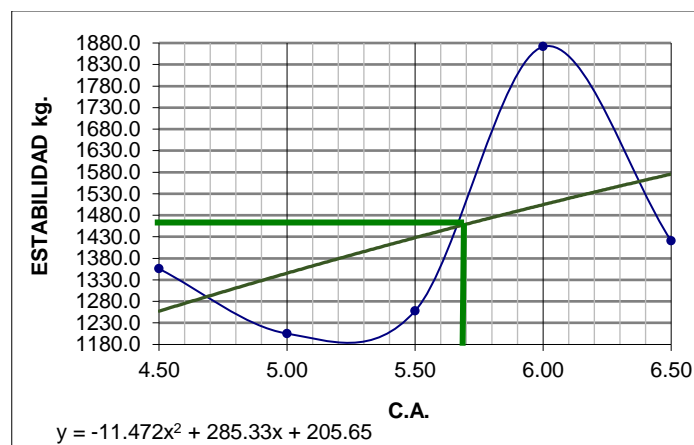


Figura 43. Estabilidad en función del Porcentaje de Asfalto.

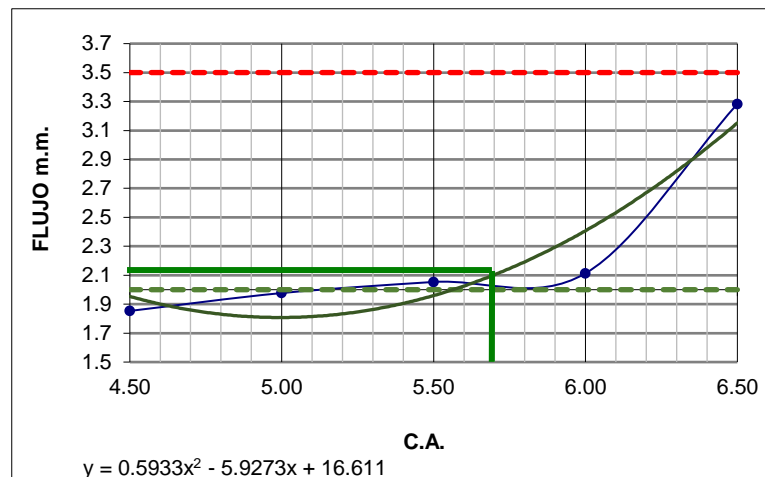


Figura 44. Flujo en función del Porcentaje de Asfalto.

- De acuerdo a resultados de los parámetros volumétricos y mecánicos (estabilidad-flujo) se obtuvo el contenido óptimo de asfalto: **5.7%** de acuerdo a los análisis de gráficos Figura 39. Peso Unitarios en función del Porcentaje

de Asfalto. Figura 40, Figura 41, Figura 42Figura 43Figura 44 con **Anexo 06.** y cumpliendo con la especificación de acuerdo a la norma detallado en la Tabla 31.

**Tabla 31**

*Requerimientos Diseño Marshall para mezcla Convencional.*

Parámetros	Und	Características de Mezcla Asfáltica	Especificaciones	Criterio
Nº GOLPES			75	75
Contenido óptimo de asfalto 85/100	%	5.7	-	-
Peso unitario	gr/cc	2.3	-	-
% de Vacíos	%	5.3	3 - 5	De acuerdo
<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	<b>2.6</b>	<b>2 - 4</b>	<b>De acuerdo</b>
<b>Estabilidad</b>	<b>Kg</b>	<b>1806.6</b>	<b>≥ 815</b>	<b>De acuerdo</b>
VMA	%	18	MIN 14	De acuerdo
VFA	%	71	65 - 75	De acuerdo
Temperatura de mezcla	°c	140	140	De acuerdo

*Nota.* Elaboración propia

Análisis:

- Los resultados de estabilidad de 1806.6 kg y flujo 2.6 mm de una mezcla asfáltica convencional Cumplen con lo especificado según la norma EG-2013, el valor de estabilidad es elevado, por lo que se define con tendencia a ser muy rígida; en el caso del flujo su valor es permisible ya que se encuentra dentro los rangos, ver Tabla 31.

#### **Resultados de la Combinación con Ignimbrita para el Diseño Marshall**

Respecto a la combinación, la adición de ignimbrita en porcentajes de 0.5%, 1% y 3% pasante de la Malla Nº 80 De acuerdo con las especificaciones para MAC 2 como se detalla en la Tabla 32, con respecto a la toma de los porcentajes de la investigación se debió a que porcentajes mayores a 3% no De acuerdo con las especificaciones y tienden a fracciones de finos.

**Tabla 32***Resultados del pasante en N°80 - MAC 2*

<b>% Adición de Ignimbrita</b>	<b>% Pasante Malla N.º 80</b>	<b>Especificación Mac 2</b>	<b>Criterio</b>
0.0%	5.7	4 - 8	De acuerdo
0.5%	5.9	4 - 8	De acuerdo
1.0%	6.2	4 - 8	De acuerdo
3.0%	7.1	4 - 8	De acuerdo

*Nota.* Elaboración propia

Así mismo, los pesos de cada material en función al diseño de mezcla asfáltica modificada con ignimbrita, se observa en la Tabla 33, para briquetas de 1200gr.

- Agregado Grueso TM 3/4" : 42%
- Arena Fina : 56% (varía en función a ignimbrita)
- Filler : 2.0%
- Cemento Asfáltico 85/100 : 5.7%
- Temperatura de mezclado : 130 - 150°C
- Residuos de Ignimbrita : 0.5%, 1% y 3% respecto al peso de arena

**Tabla 33***Pesos para espécimen de mezcla modificada con ignimbrita*

	<b>Porcentaje de Asfalto</b>		
	<b>5.7%</b>		
<b>% de Ignimbrita</b>	0.5	1	3
Grava 42%	475.3	475.272	475.78
<b>Arena</b>	<b>628</b>	<b>622.4</b>	<b>599.7</b>
<b>Ignimbrita</b>	<b>5.658</b>	<b>11.316</b>	<b>33.948</b>
Filler 2%	22.63	22.632	22.656
Asfalto	68.4	68.4	68.4

*Nota.* Elaboración propia

A continuación, se detalla un resumen de los valores volumétricos y mecánicos (estabilidad y flujo) en la Tabla 34, de mezcla convencional y modificada con ignimbrita de 0.5%, 1% y 3% de contenido óptimo de asfalto de 5.7% de acuerdo al diseño.

**Tabla 34**

*Resultados de Parámetros Volumétricos y Mecánicos de mezcla convencional y modificada.*

Parámetros	Und	Convencional	Modificado		
Óptimo de Asfalto			5.7%		
Ignimbrita	%	<b>0.0</b>	<b>0.5</b>	<b>1.0</b>	<b>3.0</b>
Peso Unitario	gr/cc	2.34	2.34	2.33	2.33
Vacío	%	5.3	5.0	5.4	5.7
VMA	%	18.2	17.8	18.1	18.2
VFA	%	71	72	70	69
<b>Flujo</b>	<b>mm</b>	<b>2.57</b>	<b>2.98</b>	<b>3.01</b>	<b>2.84</b>
<b>Estabilidad</b>	<b>Kg</b>	<b>1806.57</b>	<b>1778.16</b>	<b>1727.06</b>	<b>1838.16</b>

Nota. Elaboración propia

Análisis:

- Para el contenido de vacíos de la mezcla convencional y modificada de acuerdo a la norma EG-2013 no De acuerdo, con lo especificado, donde el valor de vacíos para mezcla convencional se encuentra más 0.3% por encima, sin embargo, por ser un valor mínimo no incide en el comportamiento, cabe señalar a mayores valores de vacíos mayor posibilidad del ingreso del agua u aire afectando a la durabilidad. A continuación de detalla un análisis comparativo entre mezcla convencional y modificada con ignimbrita de los parámetros volumétricos y mecánicos.

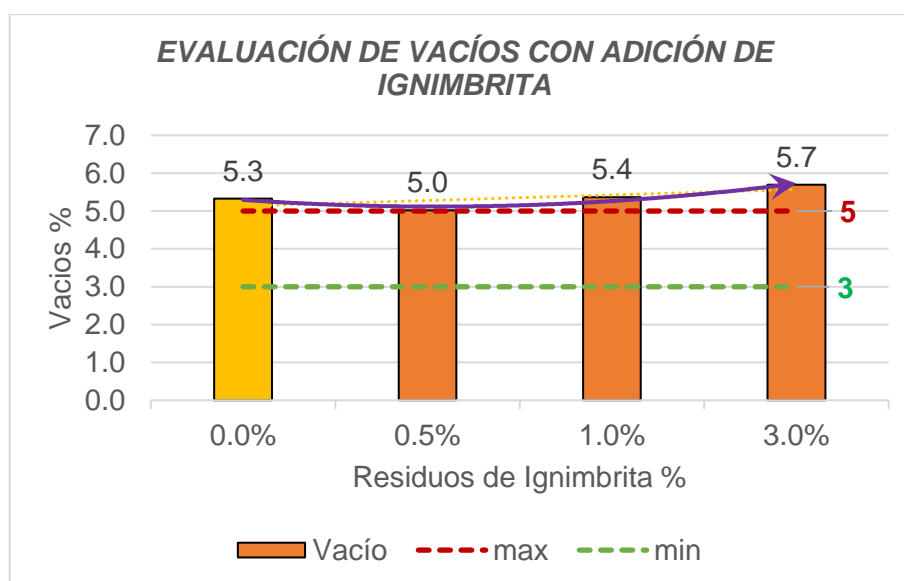


Figura 45 Evaluación de Vacíos con adición de Ignimbrita.

Análisis:

- Se identifica el crecimiento de la línea de tendencia de Vacíos en la Figura 45 con la adición de ignimbrita, el resultado corrobora el alto porcentaje de angularidad y poca adherencia que existe entre asfalto – sillar comprobado en anteriores ensayos. Por otro lado, la adición de ignimbrita de 0.5% da como resultado 5%, siendo el único valor que se encuentra dentro del rango, especificado por la norma EG- 2013 de 3 – 5%.

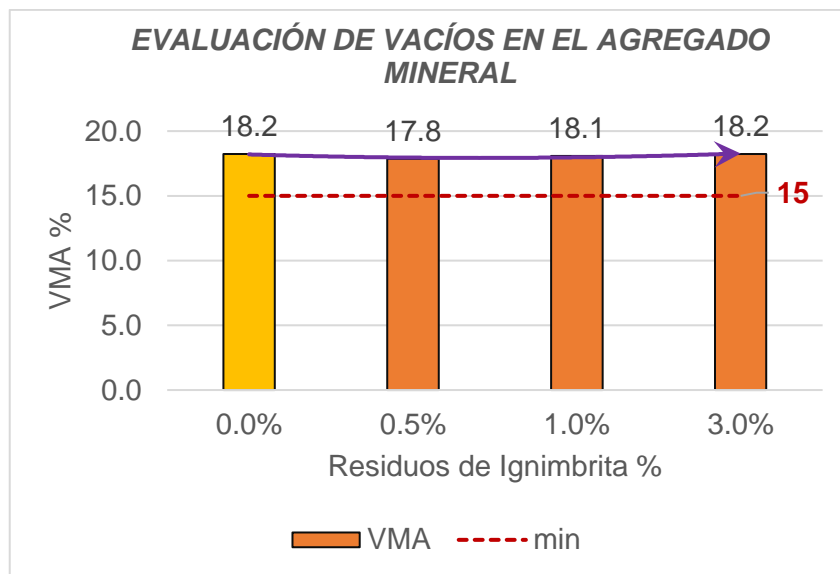


Figura 46 Evaluación de Vacíos en el Agregado Mineral con adición de Ignimbrita.

Análisis:

- Los Vacíos en el Agregado Mineral tienden a ser elevadas muy por encima del rango de 15 como se observa Figura 46, tanto para mezcla convencional y modificada, dando como resultado de ser una mezcla con mayor duración y menos propenso a la exudación ya que cuentan con mayor espacio de acomodo entre las partículas en el asfalto.

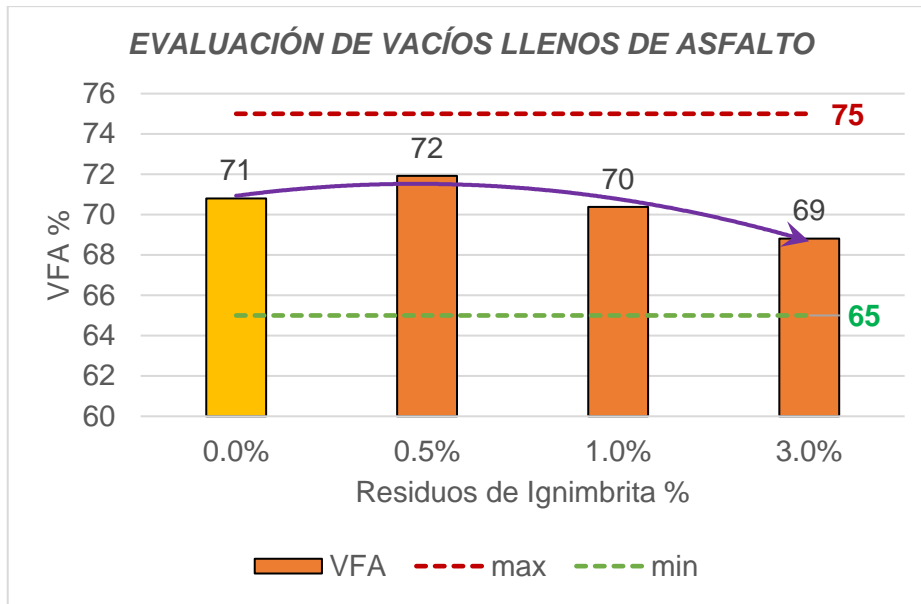


Figura 47 Evaluación de Vacíos llenos de asfalto con adición de Ignimbrita.

Análisis:

- La tendencia de la curva decrece como se detalla en la Figura 47, esto implica a mayor adición de ignimbrita en la mezcla, menor volumen para el contenido efectivo de asfalto causando limitaciones en contenido de asfalto.

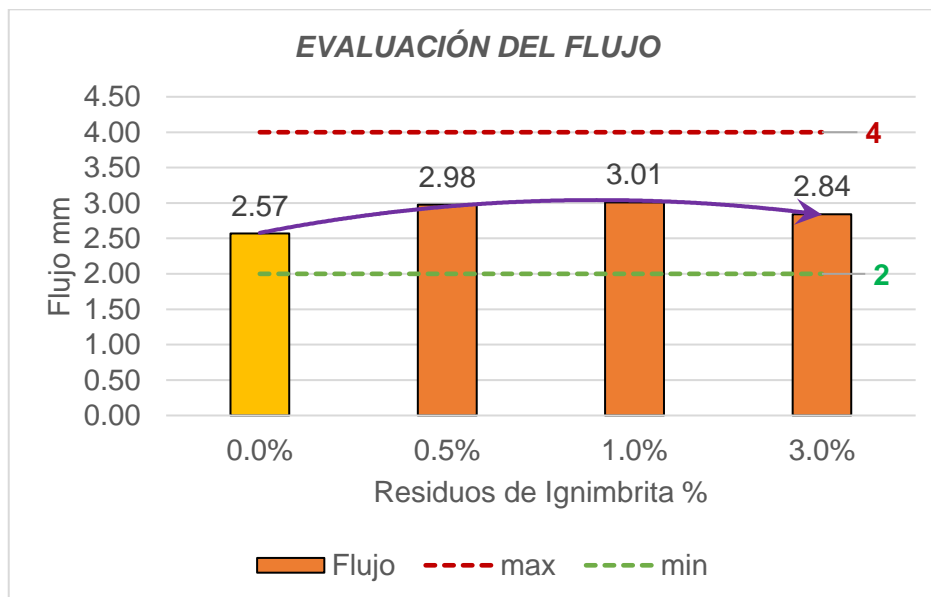


Figura 48. Evaluación del Flujo con adición de Ignimbrita.

Análisis:

- Se observa en la Figura 48 un ligero incremento y caída del flujo con adición de ignimbrita cumpliendo, cumple con lo especificado de 2-4 mm de acuerdo a la EG – 2013, sin embargo, el valor más alto se dio con la adición de **1.0%** de ignimbrita mejorando su deformación.

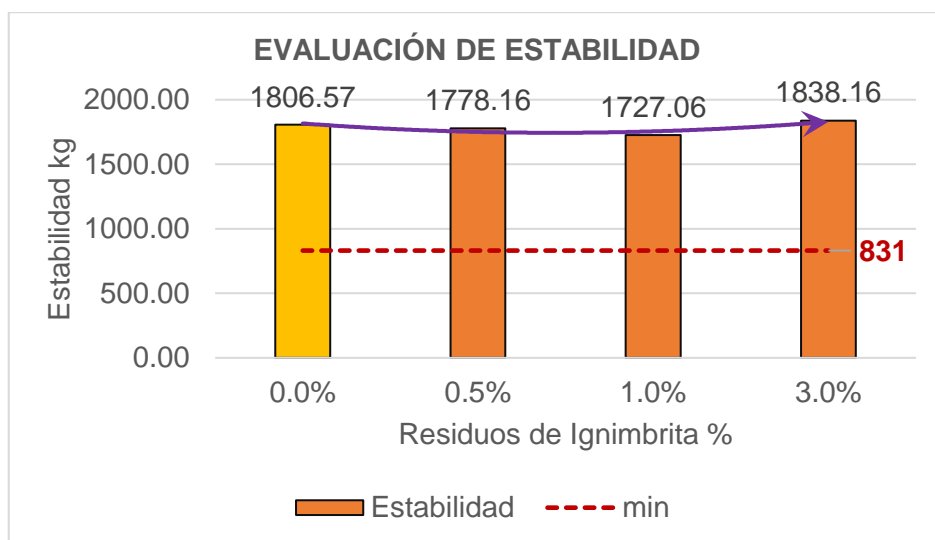


Figura 49 Evaluación de Estabilidad con adición de Ignimbrita.

#### Análisis:

- Los resultados de estabilidad Cumplen con lo especificado en la EG - 2013, como se observa en la Figura 49 línea tiende a decrecer, siendo el valor mínimo con adición de ignimbrita de 1% y al mismo tiempo se identificó el aumento de estabilidad con 3%, resultando ser una mezcla muy rígida, causando problemas de fatiga en el pavimento.

#### Resultados de resistencia al Daño inducido por Humedad de una mezcla asfáltica

Se muestra los resultados de la resistencia del ensayo de Tracción Indirecta o TSR, determinados en la prensa por la mordaza Lottman Modificado según la norma MTC E 522 y AASHTO T 283, se detalló en la siguiente Tabla 35.

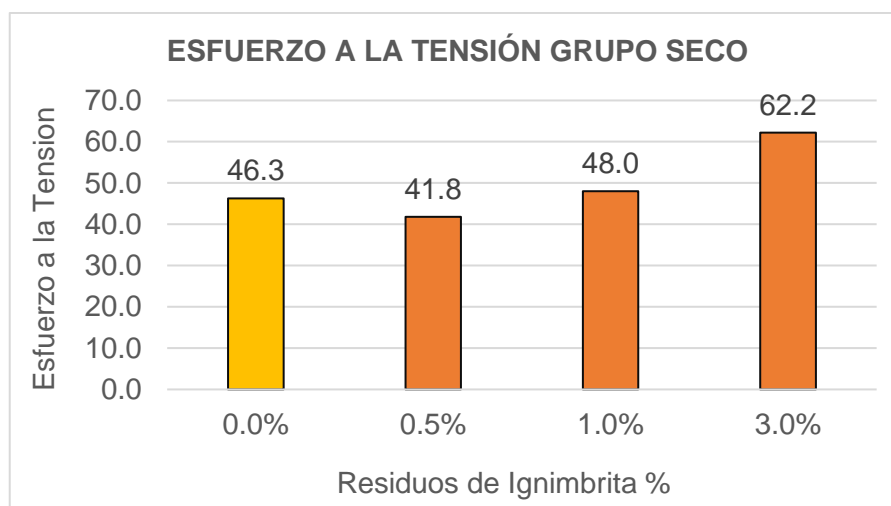
**Tabla 35**

*Ensayo de Tracción Indirecta de mezclas convencional y modificada.*

Parámetros	Convencional	Modificado			Criterio
Residuos de Ignimbrita %	0.0	0.5	1.0	3.0	
Esfuerzo a la tensión G. Seco Kpa	46.3	41.8	48.0	62.2	
Esfuerzo a la tensión G. Saturado KPa	57.2	47.7	56.4	74.8	
Tracción Indirecta %	80.9	87.5	85.2	83.1	De acuerdo

*Nota.* Elaboración propia

En relación con los resultados del ensayo de Tracción Indirecta para mezcla convencional y modificada con ignimbrita, se evalúa previamente los valores de esfuerzo a Tensión para sub grupos secos y saturados.



*Figura 50. Esfuerzos a la Tensión de Sub grupos Secos*

- La Figura 50 muestra los valores de esfuerzo a la tensión de sub grupos secos de mezcla convencional y modificada, donde la mezcla adicionada con 3% de ignimbrita presenta un valor elevado de 62.2 KPa en comparación del convencional de 46.3KPa, siendo favorable.



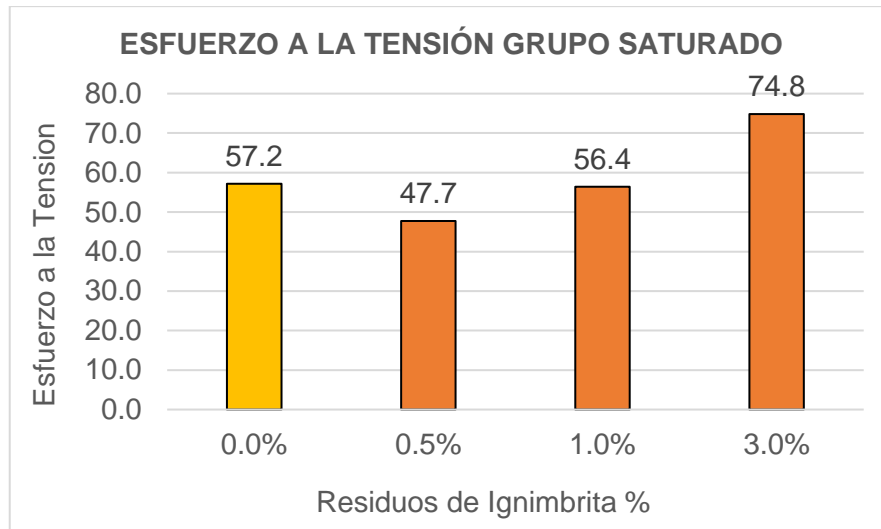


Figura 51. Esfuerzos a la Tensión de Sub grupos Saturados

- La Figura 51 muestra los valores de esfuerzo a la tensión de sub grupos saturados (acondicionados a ciclos de hielo y deshielo) de mezcla convencional y modificada, donde la mezcla con adición de ignimbrita de 3%, también presenta el valor elevado de 74.8 KPa en comparación del convencional de 57.2KPa.

Por otro lado, en la Figura 52 se detalla los resultados de la resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla convencional y modificada con ignimbrita de 0.5%, 1% y 3%.

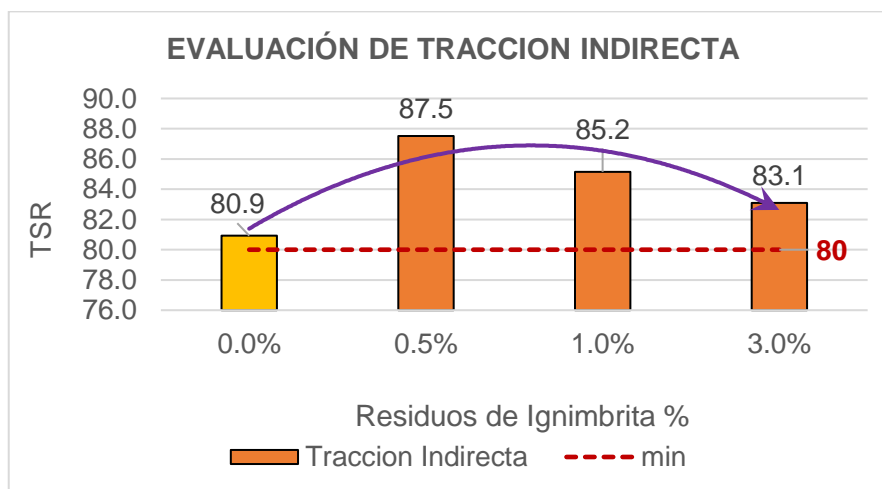


Figura 52 Evaluación de Tracción Indirecta de mezcla convencional y modificada.

Análisis:

- En la Figura 52 se observa que los resultados de Tracción Indirecta de mezcla convencional y modificada Cumplen con los especificado en la norma EG-2013, así mismo, se observa la línea de tendencia, creciente en mezcla con adición de 0.5% con resultados de 87.5% y decreciente con la mezcla de adición de 1% y 3% con valores de 85.2% y 83.1% respectivamente, por lo que se interpreta que la adición de ignimbrita en mezcla asfáltica en caliente mejora la resistencia al daño inducido por humedad, presentando mejor resultado la mezcla con ignimbrita de 0.5%, evidenciando una mejor adherencia entre agregado asfalto por el cual y un menor desprendimiento.



*Figura 53 Espécimen después de ensayo - sub saturado*



*Figura 54. Espécimen después de ensayo - sub grupo seco*

- En las Figura 53 y Figura 54 de observa el desprendimiento y fracturas de algunos agregados, dando como resultado de una observación visual del daño por humedad de 4 para subgrupo seco y 5 para subgrupo acondicionado.

## V. DISCUSIÓN

En el presente capítulo se contrastará los resultados obtenidos de los ensayos realizados como diseño Marshall y Tracción Indirecta para mezclas asfálticas en caliente convencionales y modificadas con ignimbrita, con los antecedentes que argumentaron la presente investigación experimental. A continuación:

**Objetivo General:** Determinar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente sustituido parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.

**Adauto Orellana (2019)**, en su trabajo de investigación se evaluó el comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con cenizas de caña de maíz en porcentajes de 0.2%, 0.5%, 1%, 2%, 3% y 4% en remplazo de agregado fino pasante de la Malla N° 50 y de acuerdo a sus resultados la edición de caña de maíz de 0.5% mejora el comportamiento mecánico en la mezcla, ya que posee propiedades puzolánicas con contenido óptimo de asfalto de 6%.

En la presente investigación acorde a los antecedentes se adicionó residuos de ignimbrita a la mezcla asfáltica porcentajes de 0.5%, 1% y 3%, dando mejores resultados la adición de 1% con un contenido óptimo de asfalto de 5.7% en las propiedades volumétricas y mecánicas contrastando la hipótesis general: de que influye de manera positiva en las propiedades mecánicas la adición de ignimbrita.

Respecto a los resultados de la investigación de **Adauto Orellana (2019)**, y la presente investigación muy indistintamente del tipo material adicionado a la mezcla asfáltica, se demuestra que ambas investigaciones coinciden en la mejora de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente con adición de 0.5% y 1%.

**Objetivo específico 1:** Determinar la resistencia de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.

**Carreño, Martínez-Arguelles, & Fuentes (2019)**, en su trabajo de investigación se planteó adicionar carbón mineral en porcentajes de 5,10 y 20% en relación al peso del material, obteniendo como resultado en los parámetros de estabilidad y flujo 1691.8 kgf y 3.30 mm para mezcla convencional con contenido óptimo de asfalto de 5.5% cumpliendo con los parámetros de la norma mexicana.

En la presente investigación se obtuvo resultados de estabilidad y flujo de 1806.6 kg y 2.6 mm para mezclas asfáltica convencional con un contenido óptimo de asfalto de 5.7% cumpliendo los con lo especificado en la EG-2013.

En cuanto a los resultados de la investigación de **Carreño, Martínez-Arguelles, & Fuentes (2019)** y contrastando con los resultados se demuestra que la presente investigación tiende un aumento ligero de 1.1% en relación a la estabilidad y una disminución de 1.3% en relación al flujo, demostrando que ambas investigaciones son aptas para vías de alto tránsito.

**Objetivo específico 2:** Determinar la resistencia de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente sustituidos parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.

**Adauto Orellana (2019)**, en su investigación el que llevo a cabo la determinación de los parámetros de estabilidad y flujo para mezclas adicionando cenizas de caña de azúcar, dio mejor resultado la mezcla adicionada con 0.5 % de ceniza de caña de maíz con 1241kg y 3.6 mm respectivamente.

Así mismo, en la presente investigación previo a la determinación de la estabilidad y flujo se analizó los parámetros volumétricos obteniendo como mejor resultado y cumpliendo en su mayoría a las especificaciones la mezcla adicionando con 1% de

ignimbrita dando de estabilidad y flujo 1727.06kg y 3.01mm respectivamente, demostrando un ligero incremento en la estabilidad y disminución respecto al flujo. Por lo tanto, en contrastando con los resultados de la investigación de **Adauto Orellana (2019)**, se demuestra que ambas investigaciones coinciden demostrando que la adición de ignimbrita mejora la resistencia de estabilidad y disminuyendo el flujo haciendo una mezcla propensa a ser más rígida y con menos deformación.

**Objetivo específico 3:** Determinar la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.

**Carreño, Martínez-Arguelles, & Fuentes (2019)**, en su trabajo de investigación para mezcla asfáltica en caliente con contenido óptimo de asfalto de 5.5%, da como resultado 86% al daño inducido por humedad, del mismo modo para la investigación de **Adauto Orellana (2019)**, da como resultados a la resistencia al daño inducido por humedad de 81.4%.

En tal sentido, la presente investigación obtuvo resultados de resistencia al daño inducido por humedad 80.9%, cumpliendo por lo especificado en la norma EG-2013.

Por lo tanto, contrastando los resultados de **Carreño, Martínez-Arguelles, & Fuentes (2019)**, se demuestra que ambas investigaciones Cumplen con resistencia al daño inducido a la humedad, sin embargo, el valor del antecedente de Carreño excede en 4.6% a la presente investigación y el valor de Adauto excede en 0.5% del resultado de la presente investigación.

**Objetivo específico 4** Determinar la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente sustituidos parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.

**Adauto Orellana (2019)**, en su investigación evalúa la resistencia al daño inducido por humedad en mezcla adicionado cenizas de caña de azúcar de 0.2, 0.5, 1, 2 ,3 y 4% a la mezcla asfáltica, obteniendo como resultado 84.10%, 86.20%, 80.70%, 80.80%,8 4.50% respectivamente, para adición de 4% el valor de resistencia al daño inducido por humedad no se obtuvo ya que sufrió desmoronamiento en el ciclo de introducción a baño maría de 60°C por 24 horas, descartando dicha adición, en tal sentido la adición de 0.5% de cenizas de caña de azúcar presenta mejor resultado.

En la presente investigación los resultados de la resistencia al daño inducido por humedad de mezclas modificadas con 0.5, 1 y 3% de ignimbrita presentan resultados de 87.5%, 85.2% y 83.1% respectivamente, por lo que se determina la Cumplen con lo específico por la norma EG -2013, demostrando mejores resultados de resistencia inducido al daño inducido por humedad es con la adición de 0.5% de ignimbrita.

Contrastando los resultados de **Adauto Orellana (2019)** con la presente investigación, demuestran que ambas investigaciones coinciden en el porcentaje de 0.5% de adición de cenizas e ignimbrita.

## VI. CONCLUSIONES

1. La adherencia de asfalto-ignimbrita (sillar), ensayado mediante el método de Riedel Weber da como resultado 3 de índice de adhesividad, concluyendo que el material tiene poca adhesividad por ser un material suelto y presentar alta porosidad.
2. En el análisis de las propiedades volumétricas, los valores de vacíos en el agregado mineral (VMA) de la mezcla asfáltica modificada con 0.5% de ignimbrita, es menor en 0.4% respecto a la convencional, esto indica que la mezcla modificada con ignimbrita presenta menor espacio de vacíos entre partículas impidiendo la permeabilidad del agua y agentes externos como el aire, por consiguiente, evitando la exudación. De modo similar los valores de porcentaje de vacíos lleno de asfalto (VFA) de la mezcla modificada con 0.5% de ignimbrita es mayor en 1% respecto a la convencional, demostrando que la mezcla asfáltica modificada con ignimbrita contiene mayor volumen para el contenido efectivo de asfalto y un mejor acomodo de partículas cubiertas por una película de asfalto.
3. Los resultados de estabilidad y flujo en la mezcla asfáltica convencional son de 1806.57 kg y 2.57 mm, mientras que la mezcla asfáltica modificada con ignimbrita de 0.5% son 1778.16 kg y 2.98 mm, de 1.0% son 1727.06 kg y 3.01 mm y de 3.0% son 1838.16 kg y 2.84 mm respectivamente, indicando que la mezcla asfáltica modificada con ignimbrita que presenta mayor resistencia al deslizamiento y deformaciones permanentes (ahuellamiento) es la 0.5% por presentar parámetros con intervalos permisibles.
4. El valor de Tracción Indirecta (TSR) para mezcla asfáltica convencional es 80.9%, y para la mezcla asfáltica con mayor resistencia al daño inducido por humedad es la modificada de 0.5% con valores de 87.4%, ambos resultados cumplen con lo especificado en la norma EG-2013 (TSR  $\geq$ 80%), esto indica que la mezcla modificada con ignimbrita es mayor en 6.5% respecto a la convencional, teniendo un mayor resultado ante la resistencia al daño inducido por humedad con ciclos de hielo y deshielo que el convencional.
5. Finalmente se concluye que la mezcla asfáltica modificada con ignimbrita modificada de 0.5%, presenta mejores resultados en las características volumétricas, de estabilidad – flujo y Resistencia al daño por humedad.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda en la granulometría el uso de las gradaciones de la norma ASTM D para futuras investigaciones, por ser más preciso en la caracterización del material.
2. Promover la re utilización de los materiales desechos por las canteras de sillar en la ciudad de Arequipa, ya sea en componentes finos como gruesos con fines de estudios ingenieril.
3. El sillar por ser un material fino y de baja densidad, se sugiere la utilización como componentes de llenado mineral (filler) en mezclas asfálticas.
4. Se recomienda la adición de aditivos de adherencia en el uso de la ignimbrita para futuras investigaciones.
5. Las instituciones relacionadas a la construcción civil, deberían promover el estudio e investigaciones relacionadas a las mezclas asfálticas aplicados a diversas temperaturas, ya que el Perú posee un territorio con diversos cambios climáticos. Además, para garantizar el buen comportamiento de las mezclas asfálticas se sugiere la implementación y renovación de equipos de desempeño.



## REFERENCIAS

- Andrzejuk, W., Barnat-Hunek, D., Siddique, R., Zegardło, B., & Łagód, G. (2018). Application of recycled ceramic aggregates for the production of mineral-asphalt mixtures. *Materials*, 11, 658. doi:10.3390 / ma11050658
- Adauto Orellana, R. (2019). Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maíz. *Posgrado*. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA, Lima.
- Aire Untiveros, A. (2015). *Características físicas de las canteras de sillar*. Arequipa.
- Albornoz, Y. (2014). Cemento Asfáltico. *Manual de Prácticas de Laboratorio de Pavimentos* . Universidad de los Andes, Mérida.
- AlKheder, S., Alkhedher, M., & Alshraiedeh, K. (1 de febrero de 2021). The effect of using activated dates seed on Hot Mix Asphalt performance. *Construction and Building Materials*, 269, ISSN 0950-0618. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121239>.
- Asociación Mexicana del Asfalto. (2019). *Memorias del XX Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto - Retos y Oportunidades en el Mundo del Asfalto*. Mexico: International Standard Book Number (ISBN).
- Ayala Cabrera, K., & Heredia Miranada , J. (2019). *Mezclas Asfálticas mejoradas con Caucho de llanta añadido por vía Seca* . Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Byung-Soo Yoo, Dae-Wook Park, & Hai Viet Vo. (2016). Evaluation of Asphalt Mixture Containing Coal Ash. *Transportation Research Procedia*, 14, 797-803. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.027>.
- Cáceres Morales, C. (2007). Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas Asfálticas en México. (*Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil*). Universidad de las Américas Puebla, Puebla.
- Çağdaş , K., & Karacasu, M. (15 de junio de 2017). Investigation of waste ceramic tile additive in hot mix asphalt using fuzzy logic approach. *Construction and*

*Building Materials*, 141, 598-607.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.025>.

Carreño, K., Martínez-Arguelles, G., & Fuentes, L. (2019). Influencia de la incorporación de residuos de carbón como reemplazo parcial de agregados finos en mezclas asfálticas en caliente. *Memorias del XX Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto - Retos y Oportunidades en el Mundo del Asfalto*, 1208-1218.

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2007). *Manual de Empleo de Caucho de NFU en Mezclas Bituminosas*. España: Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento CEDEX.

Cervantes Calvo, V., & Sequeira Rojas, W. (2014). *Consistencia de los diseños de mezcla según la metodología Marshall*. Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.

Chávez More, F. (2019). Valoración de residuo de concha de abanico para uso como agregado en mezclas asfálticas. *Tesis para optar el Título Profesional*. Universidad de Piura, Piura, Perú.

Committed to Improving the State of the World. (Octubre de 2019). *World Economic Forum*. Obtenido de The Global Competitiveness Report: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf)

Dhieyatul Husna, I., Ratnasamy, M., & Salihudin, H. (2018). Performance of recycled ceramic waste as aggregates in hot mix asphalt (HMA). *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 844–849.  
doi:<https://doi.org/10.1007/s10163-017-0645-x>

Gallego Medina, J., & Saiz Rodríguez, L. (2017). Guía para la fabricación y Puesta en Obra de Mezclas Bituminosas con polvo de neumático. *SIGNUS*, 44. Obtenido de [https://www.signus.es/wp-content/uploads/2017/10/Guia\\_de\\_mezclas\\_2017\\_WEB.pdf](https://www.signus.es/wp-content/uploads/2017/10/Guia_de_mezclas_2017_WEB.pdf)

Garnica et al., P. (2004). *ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Mexico: Instituto Mexicano del Transporte.

- Kraemer et al. (2004). *INGENIERÍA DE CARRETERAS. Volumen II*. España: McGRAW-HILL/INTERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.
- Lara Galindo, J. (1988). Ensayos de Albañilería en Sillar. *Trabajo de Grado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Arequipa. Obtenido de [http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/617/2013/04/tesis\\_lara.pdf](http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/617/2013/04/tesis_lara.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción*. Lima: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (29 de mayo de 2020). *Estadísticas MTC - Transportes*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>
- Padilla Rodríguez, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>
- PETROPERU. (10 de Enero de 2018). *ASFALTOS SÓLIDOS*. Obtenido de ASFALTOS: <https://www.petroperu.com.pe/asfaltos/descripcion-tipos-solidos.php>
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. (2015). *PAVIMENTOS: Material, Construcción y Diseño*. Bogotá: ECOE Ediciones Ltda., Bogotá.
- Salamanca Vera , D. (2018). *Estudio comparativo del comportamiento de mezcla asfáltica con incorporación de polvo de caucho nacional, mediante vía seca, versus mezcla con asfalto modificado con polímeros y asfalto multigrado. tramo de prueba: catapilco – la laguna*. universidad técnica federico santa maria, valparaiso – chile.
- Santamaría Chipana, S. (2020). Durabilidad de las mezclas asfálticas en caliente con valvas de concha de abanico. *Tesis para optar el Título Profesional*. Universidad de Piura, Piura.

- Soto Cruz, P. (2019). Estabilización de Suelos mediante activación Alcalina de residuos de Ignimbrita, Arcilla calcinada y mortero reciclado para su uso como Subrazante mejorada. *Para optar por el título profesional de ingeniero civil*. universidad nacional de san agustín de arequipa, arequipa.
- SUNARP, Superintendencia Nacional de Públicos. (16 de Junio de 2019). Parque automotor local es de 312 mil vehículos. *Sin Fronteras*. Obtenido de Mercados y Regiones: <http://www.diariosinfronteras.pe/2019/06/16/parque-automotor-local-es-de-312-mil-vehiculos/>
- The Asphalt Institute MS-22. (1982). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Estados Unidos: ALPHALT INTITUTE, Research Park Drive. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/66112307/MS-22-Principios-de-Construccion-de-Pavimentos-de-Mezcla-Asfalticas>
- Triana Nigrinis , S., & Grandas Castillo, D. (2019). *Análisis comparativo de mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica convencional y una modificada con residuos de cerámicos reemplazando agregado fino y grueso y utilizando agregado de la región del Pescadero en una Msc-25*. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.
- Zambrano Cince, A. (2020). ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICA-DINÁMICAS DE ASFALTO PARA REPARACIÓN EN CARABAYLLO 2019. *Tesis para optar el título profesional*. Universidad Privada del Norte, Lima.
- Zúñiga C., R. (Junio de 2015). LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD. *LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD*. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, España. Obtenido de Mezcla Asfáltica en caliente.: <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Mezclas%20Asf%C3%A1lticas.pdf>

# **ANEXOS**

## ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO:	"Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021."					
AUTOR:	Br. Murillo Luza, Thatiana del Pilar					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	INSTRUMENTO
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Independiente			
¿De qué manera influye la sustitución parcial de ignimbrita en agregado fino en las propiedades mecánicas para vías de alto tránsito en una mezcla asfáltica en caliente, Arequipa 2021?	Determinar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente sustituido parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021	La sustitución parcial de ignimbrita en agregado fino de una mezcla asfáltica en caliente influye de manera positiva en las propiedades mecánicas para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.	Residuos de Ignimbrita	Dosificación	0.5%, 1% y 3%	Tamizado
				Propiedades de ignimbrita	Angularidad del agregado fino	MTC E 222
					Límites de Consistencia	ASTM 4318
					Adhesividad (Método Redel Weber).	MTC E 220
				Características del material	Absorción	MTC E 205
					Granulometría (mm)	Manual de ensayos de material del MTC 2016
Densidad (g/cm3)						
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Dependiente			
¿Cuál es la resistencia de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito, Arequipa 2021?	Determinar la resistencia de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito, Arequipa 2021	La resistencia de estabilidad y flujo en una mezcla asfáltica en caliente convencional es mayor a la modificada para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.	Mezcla Asfáltica en Caliente	Parámetros Volumétricos	Densidad de la mezcla (gr/cc)	MTC E 506
					Vacíos en una mezcla (Va)	MTC E 505
					Vacíos en el agregado mineral (VMA)	Manual EG-2013
Vacíos llenos de asfalto (VFA)						
¿Cómo influye en la resistencia de estabilidad y flujo la sustitución parcial de ignimbrita en el agregado fino de una mezcla asfáltica en caliente para vías de alto tránsito, Arequipa 2021?	Determinar la resistencia de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente sustituidos parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.	La sustitución parcial de ignimbrita en agregado fino de una mezcla asfáltica en caliente influye de manera positiva en los parámetros de estabilidad y flujo para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.		Parámetros Marshall	Estabilidad Marshall (kg)	Manual EG-2013 MTC E 504
					Flujo (mm)	
¿Cuál es el análisis de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito, Arequipa 2021?	Determinar la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente convencional para vías de alto tránsito, Arequipa 2021	La resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente convencional es mayor a la mezcla modificada para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.	Tracción Indirecta (TSR)	Resistencia al daño inducido por humedad (80% min.)	AASHTO T 283 - MTC E 522	
¿Cuál es el análisis de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente sustituidos parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021?	Determinar la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente sustituidos parcialmente por ignimbrita en el agregado fino para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.	La sustitución parcial de ignimbrita en el agregado fino de una mezcla asfáltica en caliente influye de manera positiva en la resistencia al daño inducido por humedad para vías de alto tránsito, Arequipa 2021.				

## ANEXO 02. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ES CALA	METODOLOGIA	
<b>Variable Independiente</b>						Por Razón	<b>Método:</b> Científico <b>Tipo:</b> Aplicada <b>Enfoque:</b> Cuantitativo <b>Diseño:</b> Cuasiexperimental  <b>Nivel:</b> Descriptivo, Correlacional y Explicativo  <b>Población:</b> Especímenes de mezcla asfáltica en caliente convencional y modificada con ignimbrita.  <b>Muestra:</b> 68 especímenes  <b>Muestreo:</b> No probabilístico.  <b>Técnica:</b> La observación.  <b>Instrumento:</b> Fichas estandarizadas
Residuos de Ignimbrita	La ignimbrita es una roca ígnea producto del depósito volcánico, y que consiste en toba dura compuesta de fragmentos de roca y fenocristales en una matriz de fragmentos de vidrio semejantes a polvo, junto con pedazos de piedra pómez y bloque de lava densa (Lara-Galindo, 1988, p. 7).	La obtención de los porcentajes de ignimbrita se obtuvo en base a la granulometría respectiva reemplazando parcialmente al agregado fino - Pasante del Tamiz N.º 50 a Fondo, cumpliendo con los usos granulométricos.	Dosificación	0.5%, 1% y 3%			
			Propiedades de ignimbrita	Angularidad del agregado fino			
				Adhesividad (Método Redel)			
				Límites de Consistencia			
			Características del material	Granulometría (mm)			
				Densidad (g/cm <sup>3</sup> )			
Absorción (%)							
<b>Variable Dependiente</b>							
Mezcla Asfáltica en Caliente	Para un buen desempeño las mezclas asfálticas en caliente primero deben ser diseñadas, construidas y colocadas de maneras adecuadas y conseguir que sus propiedades sean mayores al esperado; la calidad es definida por: Estabilidad, Durabilidad, Impermeabilidad, Trabajabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la fatiga y Resistencia al deslizamiento (The Asphalt Institute MS-22, 1982).	La medición de los parámetros volumétricos y mecánicos se realizó mediante la prensa Marshall, respecto a la resistencia a la Tracción Indirecta se utiliza la mordaza de Lottman modificado.	Parámetros Volumétricos	Densidad de la mezcla (gr/cc)			
				Vacíos en una mezcla (Va)			
				Vacíos en el agregado mineral (VMA)			
				Vacíos llenos de asfalto (VFA)			
			Propiedades Mecánicas	Estabilidad Marshall (kg)			
				Flujo (mm)			
Tracción Indirecta (TSR)	Resistencia al daño inducido por humedad (80% min.)						

## ANEXO 03. VALIDACION DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

### INFORME DE OPINION SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION CIENTIFICA

#### I. DATOS GENERALES

**Apellidos y nombres del experto Mg/Ing:** Trujillo Ticona Erika Rosío

**Institución donde labora:** Conslabertt EIRE

**Instrumento de evaluación:** Contenido de humedad, Análisis granulométrico por tamizado, Límites de Atterberg, Abrasión los Ángeles, Equivalente de arena, Horno, Baño María y Prensa Marshall.

**Autor del instrumento (s):** Br. Murillo Luza Thatiana del Pilar

**Tesis:** "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

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: <b>MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b> en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: <b>MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b> .					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y 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: <b>MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b> .					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos 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>						

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

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

**PROMEDIO DE VALORACIÓN:** 50

..... 02 de Julio de 2021


**CONSLABERTT E.I.R.L.**  
*Erika Rosío*  
**Ing. Erika R. Trujillo Ticona**  
 C.I.P. 222310



**INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**

**I. DATOS GENERALES**

Apellidos y nombres del experto Mg/Ing: Carlos Enrique Chávez Rodríguez  
 Institución donde labora: Experto Independiente  
 Instrumento de evaluación: Contenido de humedad, Análisis granulométrico por tamizado, Límites de Atterberg, Abrasión los Ángeles, Equivalente de arena, Horno, Baño María y Prensa Marshall.  
 Autor del instrumento (s): Br. Murillo Luza Thatiana de L. Pilar  
 Tesis: "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

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: <b>MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b> en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: <b>MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b> .					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y 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: <b>MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b>					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos 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>						

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

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 50

..... 01 de Julio de 2021

  
 .....  
 Ing. Carlos Enrique Chávez Rodríguez  
 Esp. Geotecnia  
 CIP. 20474

**INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**

**I. DATOS GENERALES**

**Apellidos y nombres del experto Mg/Ing:** Roberto B. Cáceres Flores  
**Institución donde labora:** Universidad Nacional de San Agustín  
**Instrumento de evaluación:** Contenido de humedad, Análisis granulométrico por tamizado, Límites de Atterberg, Abrasión los Ángeles, Equivalente de arena, Horno, Baño María y Prensa Marshall.  
**Autor del instrumento (s):** Br. Murillo Luza Thatiana deL Pilar  
**Tesis:** "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

**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: <b>MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b> en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: <b>MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b> .					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y 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: <b>MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b>					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos 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 tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

**PROMEDIO DE VALORACIÓN:** 50

..... 06 de Julio de 2021

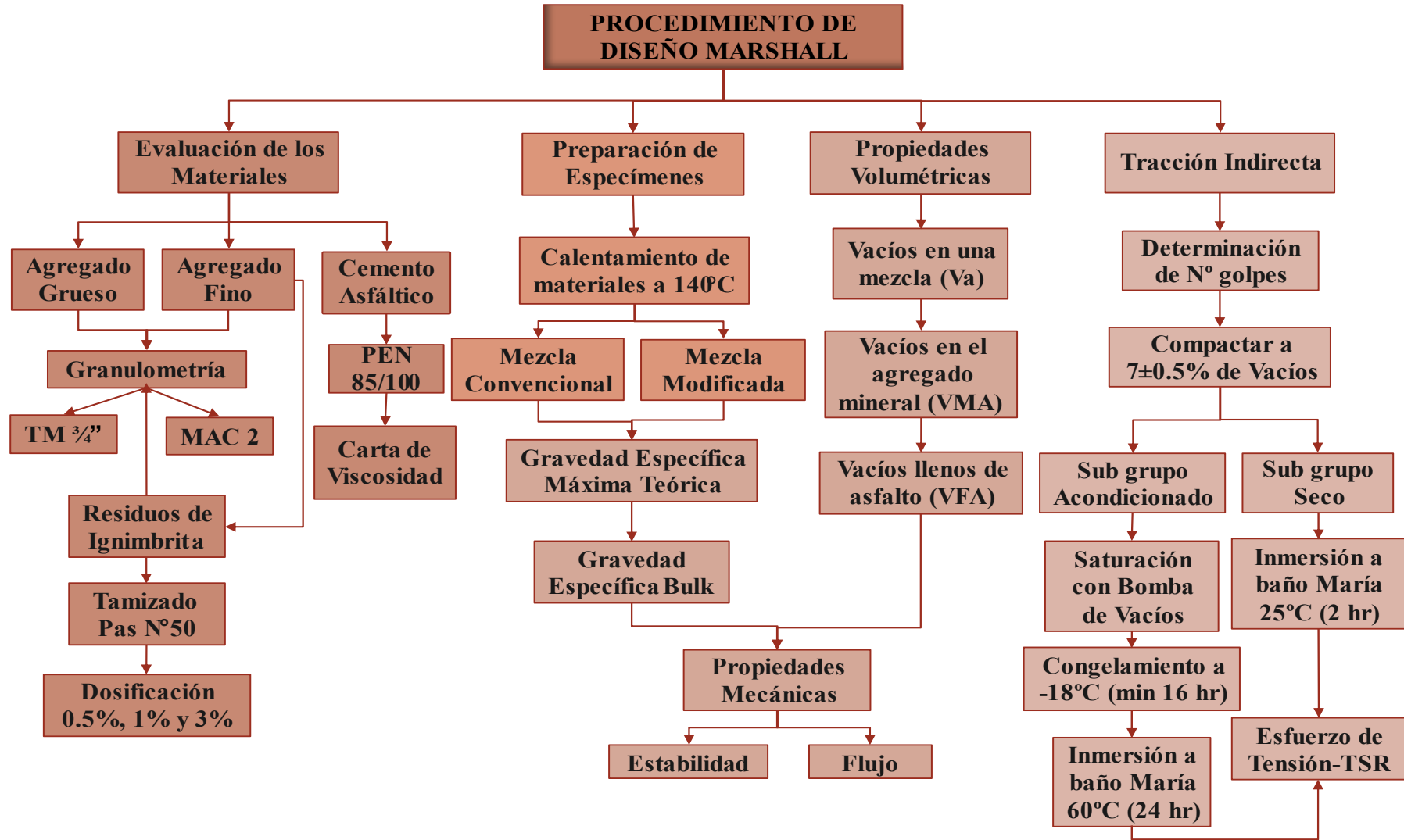


**Mg. ING. ROBERTO B. CÁCERES FLORES**  
 DOCENTE ASOCIADO FIC UNSA  
 C/P 59876

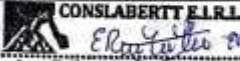
## ANEXO 04. CUADRO DE DOSIFICACION

Autor	Tesis	Año	Porcentajes reemplazo parcial /total (%)	Optimo	Estabilidad (>=815 kgf)	Flujo(2-4 mm)	Traccion Indirecta (TSR= > 80%)
Triana Nigrinis Silvia Juliana , Grandas Castillo David Alonso (Colombia)	Análisis comparativo de mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica convencional y una modificada con residuos de cerámicos reemplazando agregado fino y grueso y utilizando agregado de la región del Pescadero en una Msc-25.	2019	0%	5.6%	14.593 kn	5.8 mm	80.75
			<b>30%</b>	5.8%	17.275 kn	5.6 mm	80.89
Carreño Katerine; Martinez-Arguelles Gilberto y Fuentes Luis (Mexico)	Influencia de la incorporación de residuos de carbón como reemplazo parcial de agregados finos en mezclas asfálticas en caliente.	2019	0%	5.50%	1691.8	3.30	86.00
			<b>5%</b>		1726.7	3.8	83.00
			10%		1961.7	4.10	82.00
			20%		2062.7	4.01	81.00
Byung-Soo Yoo, Dae-Wook Park y Hai Viet Vo (Korea)	Evaluación de la mezcla de asfalto que contiene cenizas de carbón.	2016	0%	5.20%	1230.00	35	72.00
			<b>10%</b>		1700.00	35.00	74.00
			20%	5.70%	1200.00	36.00	71.00
			30%	6.00%	1100.00	37.00	73.00
Adauto Orellana, Rosario Evelyn	Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maíz	2019	0%	6.00%	1444	3.73	81.40
			0.2%		1294.00	3.4	84.10
			<b>0.5%</b>		1241.00	3.6	86.20
			1%		1077.00	3.4	80.70
			2%		939.00	4.1	80.80
			3%		757.00	4.4	74.50
			4%		670.00	4.7	-
T1: Chávez More, Francisco Benjamín	T1: Valoración de residuo de concha de abanico para uso como agregado en mezclas asfálticas.	2018 y 2020	0%	5.25%	12.00	3.05	14.47
			#8 -50	5.75%	11.10	7.60	52.43
T2: Zambrano Cince, Alejandro Ayrton	T2: Durabilidad de las mezclas asfálticas en caliente con valvas de concha de abanico.		<b>#50-100</b>	5.50%	10.60	4.13	34.83
#100 -200			5.68%	19.70	4.0	17.68	
Zambrano Cince, Alejandro Ayrton	Adición de ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánica-dinámicas de asfalto para reparación en Carabaylo 2019	2020	0%	5.75%	1205 kg	2.99	-
			<b>5%</b>	4.37%	1260	3.19	-

## ANEXO 05. PROCEDIMIENTO



## ANEXO 06. ENSAYOS

DIA	MES	AÑO	RECIBO	BOLES <input checked="" type="checkbox"/>	7162.00
09	06	21		DOLARES <input type="checkbox"/>	
INGRESO <input checked="" type="checkbox"/>			EGRESO <input type="checkbox"/>		
Nº 00201					
RECIBI DE: Thatiana del Pilar Murillo Luza					
LA CANTIDAD DE: Ciento sesenta y dos soles					
POR CONCEPTO DE: Ensayos de Marshall a testigos de asfalto					
EFECTIVO: <input checked="" type="checkbox"/>					
CHEQUE N°: _____					
BANCO: BCP					
				 Ing. Erika R. Trujillo Ticona GERENTE GENERAL	
FIRMA Y SELLO					

 Escaneado con CamScanner

 <b>RUBERTO CACERES FLORES S.R.L.</b> RUC: 20456260595 INGENIERO CIVIL - C.I.P. 18876 - PROYECTOS, INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO - ASESORIA Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES	<b>RECIBO DE CAJA</b> 001- Nº 002930																																			
Calle Palmar 107 Lote 9-08 - Arequipa Tel.: 2141033 Gerencia RRM* 414886 / RFC: 986791874 / rcf@ruberto.com																																				
FECHA: 08/07/2021																																				
Nombre o Razón Social: <u>Thatiana Murillo Luza</u>																																				
Anotamos haber recibido la cantidad de: <u>Setecientos</u>																																				
Que abonamos de la siguiente manera: <u>Sesenta con 00/100 Soles.</u>																																				
Que abonamos de la siguiente manera:																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CANT.</th> <th>UND.</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>F.UNIT.</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td>Por Ensayos de Laboratorio para Tests</td> <td></td> <td style="text-align: right;">760.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Concepcion</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Total</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CANT.	UND.	DESCRIPCION	F.UNIT.	TOTAL	1		Por Ensayos de Laboratorio para Tests		760.00			Concepcion					Total			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CANT.</th> <th>UND.</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>F.UNIT.</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td>Por Ensayos de Laboratorio para tests</td> <td></td> <td style="text-align: right;">760.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Adelanto de 50%</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CANT.	UND.	DESCRIPCION	F.UNIT.	TOTAL	1		Por Ensayos de Laboratorio para tests		760.00			Adelanto de 50%		
CANT.	UND.	DESCRIPCION	F.UNIT.	TOTAL																																
1		Por Ensayos de Laboratorio para Tests		760.00																																
		Concepcion																																		
		Total																																		
CANT.	UND.	DESCRIPCION	F.UNIT.	TOTAL																																
1		Por Ensayos de Laboratorio para tests		760.00																																
		Adelanto de 50%																																		
Total: Si: <u>760.00</u>	Ref: <u>-</u>																																			
Cheque N° <u>-</u>	<u>-</u>																																			
Importe del Cheque <u>-</u>	<u>-</u>																																			
Aprobado por _____	Firma del Recibidor y sello 																																			

 <b>ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.</b> RUC: 20456260595 INGENIERO CIVIL - C.I.P. 18876 - PROYECTOS, INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO - ASESORIA Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES	<b>RECIBO DE CAJA</b> 001- Nº 002905																														
Calle Palmar 107 Lote 9-08 - Arequipa Tel.: 2141033 Gerencia RRM* 414886 / RFC: 986791874 / rcf@ruberto.com																															
FECHA: 02/06/2021																															
Nombre o Razón Social: <u>Thatiana Murillo Luza</u>																															
Anotamos haber recibido la cantidad de: <u>Setecientos</u>																															
Que abonamos de la siguiente manera: <u>Seventy con 00/100 Soles</u>																															
Que abonamos de la siguiente manera:																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CANT.</th> <th>UND.</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>F.UNIT.</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td>Por Ensayos de Laboratorio para tests</td> <td></td> <td style="text-align: right;">760.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Adelanto de 50%</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CANT.	UND.	DESCRIPCION	F.UNIT.	TOTAL	1		Por Ensayos de Laboratorio para tests		760.00			Adelanto de 50%			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CANT.</th> <th>UND.</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>F.UNIT.</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td>Por Ensayos de Laboratorio para tests</td> <td></td> <td style="text-align: right;">760.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Adelanto de 50%</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CANT.	UND.	DESCRIPCION	F.UNIT.	TOTAL	1		Por Ensayos de Laboratorio para tests		760.00			Adelanto de 50%		
CANT.	UND.	DESCRIPCION	F.UNIT.	TOTAL																											
1		Por Ensayos de Laboratorio para tests		760.00																											
		Adelanto de 50%																													
CANT.	UND.	DESCRIPCION	F.UNIT.	TOTAL																											
1		Por Ensayos de Laboratorio para tests		760.00																											
		Adelanto de 50%																													
Total: Si: <u>760.00</u>	Ref: <u>-</u>																														
Cheque N° <u>-</u>	<u>-</u>																														
Importe del Cheque <u>-</u>	<u>-</u>																														
Aprobado por _____	Firma del Recibidor y sello 																														

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS**

**PROYECTO** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA** Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**FECHA** May-21  
**MUESTRA** Agregado Grueso y Fino

MUESTRA		GRAVA 1	GRAVA 2	GRAVA 3	PROMEDIO
A	Peso Mat.Sat.Sup. Seca (En Aire ) (gr. )	999.0	3770.0	3575.0	
B	Peso Frasco + H2O (gr )	1924.0	1918.0	1924.0	
C	Peso Frasco + H2O (gr ) + A	2923.0	5688.0	5499.0	
D	Peso del Material + H2O en el frasco ( gr )	2566.0	4339.0	4196.0	
E	Volumen de Masa + Volumen De Vacío = C-D ( gr )	357.0	1349.0	1303.0	
F	Peso de Material Seco en estufa ( 105°C ) (gr)	993.0	3741.0	3554.0	
G	Volumen de Masa = E-(A-F) (gr )	351.0	1320.0	1282.0	
Peso Seco Material Bulk (Base seca ) = F/E		2.782	2.773	2.728	<b>2.761</b>
Peso Seco Material Bulk (Base saturada ) = A/E		2.798	2.795	2.744	<b>2.779</b>
Peso Seco Material Bulk Aparente (Base seca ) = F/G		2.829	2.834	2.772	<b>2.812</b>
% de Absorción = (( A-F)/F) x 100		0.60%	0.78%	0.59%	<b>0.657</b>

		ARENA 1	ARENA 2	ARENA 3	PROMEDIO
A	Peso Mat.Sat.Sup. Seca (En Aire ) (gr. )	500.0	300.0	300.0	
B	Peso Frasco + H2O (gr )	677.0	658.0	667.0	
C	Peso Frasco + H2O (gr ) + A	1177.0	958.0	967.0	
D	Peso del Material + H2O en el frasco ( gr )	987.0	848.0	855.0	
E	Volumen de Masa + Volumen De Vacío = C-D ( gr )	190.0	110.0	112.0	
F	Peso de Material Seco en estufa ( 105°C ) (gr)	499.0	297.0	297.0	
G	Volumen de Masa = E-(A-F) (gr )	189.0	107.0	109.0	
Peso Seco Material Bulk (Base seca ) = F/E		2.626	2.700	2.652	<b>2.659</b>
Peso Seco Material Bulk (Base saturada ) = A/E		2.632	2.727	2.679	<b>2.679</b>
Peso Seco Material Bulk Aparente (Base seca ) = F/G		2.640	2.776	2.725	<b>2.714</b>
% de Absorción = (( A-F)/F) x 100		0.20%	1.01%	1.01%	<b>0.740</b>

		CAL 1	CAL 2	CAL 3	PROMEDIO
A	Peso Mat.Sat.Sup. Seca (En Aire ) (gr. )	300.0	300.0	300.0	
B	Peso Frasco + H2O (gr )	477.0	658.0	667.0	
C	Peso Frasco + H2O (gr ) + A	777.0	958.0	967.0	
D	Peso del Material + H2O en el frasco ( gr )	655.0	828.0	835.0	
E	Volumen de Masa + Volumen De Vacío = C-D ( gr )	122.0	130.0	132.0	
F	Peso de Material Seco en estufa ( 105°C ) (gr)	299.0	297.0	297.0	
G	Volumen de Masa = E-(A-F) (gr )	121.0	127.0	129.0	
Peso Seco Material Bulk (Base seca ) = F/E		2.451	2.285	2.250	<b>2.328</b>
Peso Seco Material Bulk (Base saturada ) = A/E		2.459	2.308	2.273	<b>2.346</b>
Peso Seco Material Bulk Aparente (Base seca ) = F/G		2.471	2.339	2.302	<b>2.371</b>
% de Absorción = (( A-F)/F) x 100		0.33%	1.01%	1.01%	<b>0.785</b>

		IGN	IGN	IGN	PROMEDIO
A	Peso Mat.Sat.Sup. Seca (En Aire ) (gr. )	300.0	300.0	300.0	
B	Peso Frasco + H2O (gr )	681.0	677.0	658.0	
C	Peso Frasco + H2O (gr ) + A	981.0	977.0	958.0	
D	Peso del Material + H2O en el frasco ( gr )	850.0	845.0	828.0	
E	Volumen de Masa + Volumen De Vacío = C-D ( gr )	131.0	132.0	130.0	
F	Peso de Material Seco en estufa ( 105°C ) (gr)	292.0	290.0	291.0	
G	Volumen de Masa = E-(A-F) (gr )	123.0	122.0	121.0	
Peso Seco Material Bulk (Base seca ) = F/E		2.229	2.197	2.238	<b>2.221</b>
Peso Seco Material Bulk (Base saturada ) = A/E		2.290	2.273	2.308	<b>2.290</b>
Peso Seco Material Bulk Aparente (Base seca ) = F/G		2.374	2.377	2.405	<b>2.385</b>
% de Absorción = (( A-F)/F) x 100		2.74%	3.45%	3.09%	<b>3.094</b>

*[Handwritten Signature]*  
 Ing. Gen. V. Gallo Fernández  
 Director de Gestión y Operación

**SALES SOLUBLES**  
 MTC E 219

**PROYECTO** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de-ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

**SOLICITA** : Thaisana del Pilar Murillo Luza

**FECHA** : May-21

**CANTERA** : KM. 19+000 Uchumayo - Arequipa

**PESO DE MATERIAL** : 500GR.

**MATERIAL** : ARENA PARA MEZCLA ASFALTICA

C= Constituyentes Solubles en partes por Millón

D= Disolución de la Mezcla tierra-agua - en gr.=10

P= Porcentaje de Constituyentes Solubles por Peso en Seco  
 proporción de tierra - Agua- 1:10

**ENSAYO N° 1**

N DE MUESTRA	UBICACIÓN DE MUESTRA	N° CAPSULA	VOLUMEN DE FILTRADO EN C.C. Y Cm.	PESO CAPSULA + RESIDUO gr.	PESO CAPSULA gr.	PESO RESIDUO W gr.	C = (w)(1'0000000)		PROMEDIO DE SALES SOLUBLES %
							V P.P.M.	P - C* D / 10000 %	
1	M-1	20	100	24.125	24.071	0.054	540	0.540	0.5
2	M-2	16	100	21.895	21.842	0.053	530	0.530	

Classificación: MTC E 219

*[Handwritten Signature]*

Ing. Juan Carlos Portales  
 SUBGERENTE DE CONTROL DE CALIDAD

**SALES SOLUBLES TOTALES**

NORMA MTC E 218, ASTM D 1888

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de lignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"
<b>SOLICITA :</b>	Thalana del Pilar Murillo Luza
<b>CANTERA :</b>	KM. 19+000 Uchumayo - Arequipa
<b>MATERIAL :</b>	AGREGADO GRUESO
<b>FECHA :</b>	May-21

DESCRIPCIÓN	SALES	SALES
PESO DE MATERIAL gr.	1000.0	1000.0
VOLUMEN DE FILTRADO ml.	100.0	100.0
PESO DE RECIPIENTE + RESIDUO gr.	24.70	21.94
PESO DE RECIPIENTE gr.	24.66	21.91
PESO DE RESIDUO gr.	0.04	0.027
CONTITUENTES SOLUBLES POR MILLON P.P.M.	390.00	270.01
<b>PORCENTAJE DE SALES %</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>
<b>PROMEDIO DE SALES SOLUBLES %</b>		<b>0.3</b>

Ing. Juan D. González Fernández  
 SUBGERENTE DE OPERACIONES



**ENSAYO DE ABRASION  
 (MAQUINA DE LOS ANGELES)  
 NORMA MTC E 207, ASTM C 131 AASHTO T 96**

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"
<b>SOLICITA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa
<b>MUESTRA :</b>	PIEDRA CHANCADA M-1
<b>FECHA:</b>	May-21

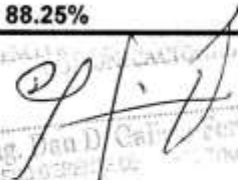
MALLA		GRADACION "B"	
PASA	RETIENE	11 Esf.	
1.5"	1"		
1"	3/4"		
3/4"	1/2"	2,500	
1/2"	3/8"	2,500	
<b>PESO TOTAL (grs.)</b>		5,000	
<b>PESO RETENIDO (en Tamiz N° 12)</b>		3,834	
<b>% DESGASTE</b>		<b>23.32%</b>	

  
 GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - AREQUIPA  
 Ing. Don D. José Fernández  
 SUPERVISOR DE OBRAS DE CONSTRUCCION

**EQUIVALENTE DE ARENA**  
**NORMA MTC E 209, ASTM D 2419 AASHTO T 176**

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"
<b>SOLICITA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa
<b>MUESTRA :</b>	ARENA PARA MEZCLA ASFALTICA
<b>FECHA:</b>	May-21

		1	2	3
A	HORA DE ENTRADA A SATURACION	9:20	9:25	9:30
2	SALIDA DE SATURACION (A+10')	9:30	9:35	9:40
B	HORA DE ENTRADA A DECANTACION	9:32	9:37	9:41
4	SALIDA DE CANTACION (B+20)	9:52	9:57	10:01
5	ALTURA MATERIAL FINO PULG.	4.30	4.70	4.60
6	ALTURA ARENA (PULG.)	3.80	4.10	4.10
7	EQUIV. ARENA 6/5X100%	88.37%	87.23%	89.13%
	<b>PROMEDIO</b>	<b>88.25%</b>		

  
 Ing. Dan D. Gallo  
 52029297-02

**PRUEBA DE DURABILIDAD**  
**NORMA MTC E 209**

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza

**CANtera :** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa

**MUESTRA :** AGREGADO PARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

**FECHA:** May-21


**AGREGADO GRUESO**

MALLA		ESCALONADO ORIGINAL	PESO DE LAS FRACCIONES	PERDIDAS DESPUES DEL ENSAYO		
PASA	RETIENE			EN PESO	% SIN CORREGIR	% CORREGIDO
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	43.50	1,200	947	21.1	9.17
1/2"	3/8"	28.70	500	492	1.6	0.46
3/8"	Nº 4	27.50	300	294	2.0	0.55
<b>TOTAL</b>						<b>10.18</b>

**AGREGADO FINO**

MALLA		ESCALONADO ORIGINAL	PESO DE LAS FRACCIONES	PERDIDAS DESPUES DEL ENSAYO		
PASA	RETIENE			EN PESO	% SIN CORREGIR	% CORREGIDO
3/8 "	Nº 4	2.70	100	96	4.0	0.11
Nº 4	Nº 8	15.40	100	98	2.0	0.31
Nº 8	Nº 16	22.9	100	97	3.0	0.69
Nº 16	Nº 30	14.9	100	95	5.0	0.75
Nº 30	Nº 50	15.5	100	81	19.0	2.95
<b>TOTAL</b>						<b>4.79</b>

**OBSERVACIONES:** Perdida con Sulfato de Magnesio, Densidad 1.30

  
 Ing. Juan D. Gallegos Fernández  
 INGENIERO EN INGENIERIA DE INGENIERIA

**DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS**

ASTM D 5821

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza

**CANTERA :** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa

**MUESTRA :** PIEDRA CHANCADA

**FECHA:** May-21

**a. Con una cara fracturada**


Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	(B/A)*100	(%)	C x D
1 1/2	1					3175.91 2765.33 5941.24
1	3/4					
3/4	1/2	1100	822	74.73	42.5	
1/2	3/8	726	695	95.69	28.9	
<b>TOTAL</b>					<b>71.4</b>	<b>5941.24</b>
<b>Porcentaje con una Cara Fracturada</b>					<b>83.21</b>	

**b. Con dos o más caras fracturadas** 1658

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	(B/A)*100	(%)	C x D
1 1/2	1					2363.15 1384.65 3747.81
1	3/4					
3/4	1/2	1504	836	55.60	42.5	
1/2	3/8	1090	522	47.91	28.9	
<b>TOTAL</b>					<b>71.4</b>	<b>3747.81</b>
<b>Porcentaje con dos Cara Fracturada</b>					<b>52.49</b>	

- A PESO MUESTRA
- B PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS
- C PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS
- D PORCENTAJE RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL
- E PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS

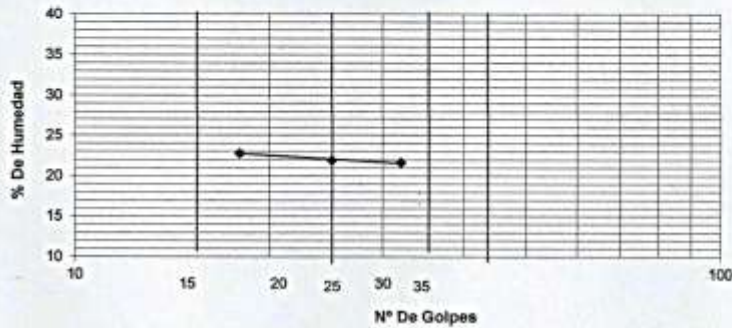
OBSERVACIONES:

  
 Ing. Juan D. Gallego Fernández  
 Gerente Regional de Transportes y Construcción



**LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA LA MALLA N°40**  
 ASTM 4318 AASHTO T 89

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021" -  
**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA :** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**MUESTRA :** Arena  
**FECHA :** May-21  
**TAMAÑO MAX. N°40**



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	21.88	21.95	22.37	
N° de Capsula	90	7	3	
P. Tarro+S. Humedo	24.49	23.68	22.32	
P. Tarro+S. Seco	20.39	19.84	18.78	
Agua	4.10	3.82	3.54	
Peso Tarro	2.41	2.42	2.42	
Suelo Seco	17.98	17.42	16.36	
% de Humedad	22.80	21.95	21.64	
No. De Golpes	18	25	32	
<b>LIMITE PLASTICO</b>				
No. De Tarro				
P. Tarro+S. Humedo				
P. Tarro+S. Seco				
Agua				
Peso Tarro				
Suelo Seco				
% de Humedad				
<b>LIMITE LIQUIDO</b>	22.1			
<b>LIMITE PLASTICO</b>	NP			
<b>INDICE PLASTICO</b>	NP			

Ing. Dan D. Galicia Fernández  
 SUB GERENTE DE INFRAESTRUCTURA

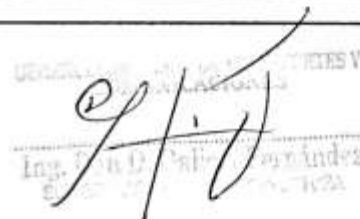
**DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS**  
(NORMA MTC E 221, ASTM D-4791)

**PROYECTO** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA** : Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA** : KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**MUESTRA** : GRAVA  
**FECHA**: May-21

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS			NI CHATA, NI ALARGADA		
TAMIZ	apertura	PESO RET.	% RET.	PASA	PESO	(%)	Corregido	PESO	(%)	Corregido	PESO	(%)	Corregido
(pulg)	(mm)												
3"	76.200												
2"	50.800												
1 1/2"	38.100												
1"	25.400												
3/4"	19.050			100.0									
1/2"	12.700	<b>3007.0</b>	58.0	42.0	138.0	4.6	2.7	52.0	1.7	1.0	2817.0	93.7	54.3
3/8"	8.750	<b>2179.0</b>	42.0	0.0	197.0	9.0	3.8	69.0	3.2	1.3	1913.0	87.8	36.9
	<b>TOTAL</b>	<b>5186.0</b>	<b>100.0</b>		<b>335.0</b>		<b>6.5</b>	<b>121.0</b>		<b>2.3</b>	<b>4730.0</b>		<b>91.2</b>

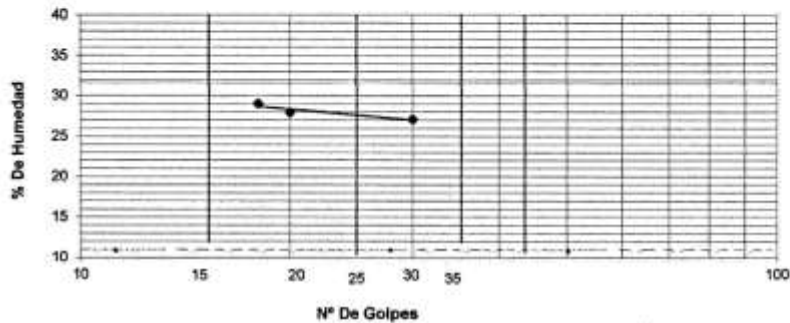
PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	5186.0
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	(%)	8.8

**OBSERVACIONES:**

  
 Ing. Juan D. Salazar  
 Arequipa

**LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA LA MALLA N°200**  
 ASTM 4318 AASHTO T 89

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA :** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**MUESTRA :** Arena  
**FECHA:** May-21  
**TAMAÑO MAX.** N°200



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	27.85	27.12	27.76	
N° de Capsula	20	11	41	
P. Tarro+S. Humedo	20.50	20.44	19.31	
P. Tarro+S. Seco	16.43	16.49	15.71	
Agua	4.07	3.95	3.60	
Peso Tarro	2.41	2.33	2.42	
Suelo Seco	14.02	14.18	13.29	
% de Humedad	29.03	27.90	27.09	
No. De Golpes	18	20	30	
<b>LIMITE PLASTICO</b>	18.65	20.44	17.43	
No. De Tarro	1	2	3	
P. Tarro+S. Humedo	4.02	3.63	3.68	
P. Tarro+S. Seco	3.78	3.39	3.45	
Agua	0.25	0.23	0.23	
Peso Tarro	2.46	2.26	2.14	
Suelo Seco	1.31	1.14	1.31	
% de Humedad	18.65	20.44	17.43	
<b>LIMITE LIQUIDO</b>	27.6			
<b>LIMITE PLASTICO</b>	18.8			
<b>INDICE PLASTICO</b>	8.7			

Ing. Juan D. Gasi Fernandez  
 INGENIERO EN INGENIERIA DE ESTRUCTURAS

**ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO**  
NORMA (MTC E 222)

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA :** KM. 19+000 Uchumayo - Arequipa  
**MUESTRA :** Arena  
**FECHA:** May-21

AGREGADO FINO						
A	Volumen Molde (Proctor Standart 4")	cc	937.4	937.4	937.4	
B	Peso Agregado empleado < 2.36 mm + Molde	gr	5593.0	5595.0	5597.0	
C	Peso Molde	gr	4248.0	4248.0	4248.0	
D	Peso Material Neto	gr	1345.0	1347.0	1349.0	
E	Peso Especifico Bulk material Pasa (N°4)	gr/cc	2.634	2.634	2.634	
F	Volumen empleado para colmar molde	cc	510.6	511.3	512.1	
G	% Vacios : Angularidad Agregado	%	45.5	45.5	45.4	
H	<b>Promedio</b>			<b>45</b>		
				<b>Especificación</b>	<b>65</b>	<b>Cumple</b>

GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y  
COMUNICACIONES  
Ing. Don D. Galicia Fernández  
SUB GERENTE DE INGENIERIA DE ESTRUCTURA



**DETERMINACIÓN DE % TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS FRIABLES**  
**ASTM C-142**

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA :** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**MUESTRA :** Arena  
**FECHA :** May-21

PESO INICIAL DE LA MUESTRA	GRUESO 2000.0	FINO 50.002	
	<b>N°4</b>	<b>N°20</b>	PASANTE
PESO SECO RETENIDO DESPUES DE ENSAYO	1994.0	49.9	
DIFERENCIA DE PESO	6.000	0.114	
% DE TERRONES DE ARCILLA Y PART. FRIABLES	0.3	0.2	
PROMEDIO	<b>0.3</b>		

  
 Ing. Don D. [illegible] Fernández  
 Gerencia Regional de Equipamiento

**AZUL DE METILENO**  
**AASHTO TP 57**

<b>PROYECTO</b>	: Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"
<b>SOLICITA</b>	: Thatiana del Pilar Murillo Luza
<b>CANTERA</b>	: KM.19+000 Uchumayo - Arequipa
<b>MUESTRA</b>	: Arena
<b>FECHA</b>	: May-21

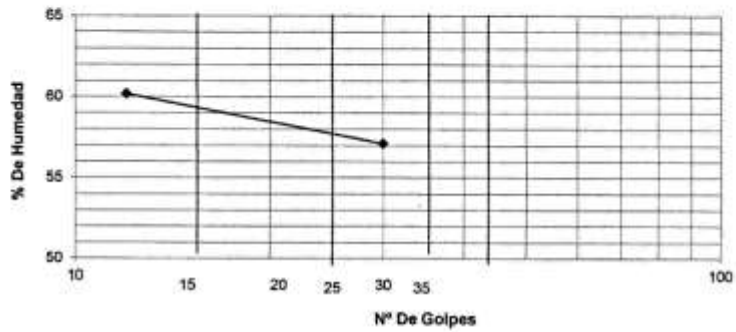
CONDICIONES DE ENSAYO	
Titulación	Azul de Metileno
Agua	Destilada
Temperatura	19.8°C ± 2°C
PROCEDIMIENTOS - AGREGADO FINO	
Peso de muestra seca (g)	10
Tiempo total de ensayo (min)	30
Volumen de la Solución (ml)	8
VA (mg/g)	4

VALOR DE AZUL DE METILENO	
	5
Observaciones:	Se identifica por el solicitante en el laboratorio.

  
 Ing. Don D. Gallo Hernández  
Gerencia Regional de Transportes y Comunicaciones

**LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA LA MALLA N°40**  
 ASTM 4318 AASHTO T 89

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de Ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA :** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**MUESTRA :** Ignimbrita - Sillar  
**FECHA :** May-21  
**TAMAÑO MAX. N°200**

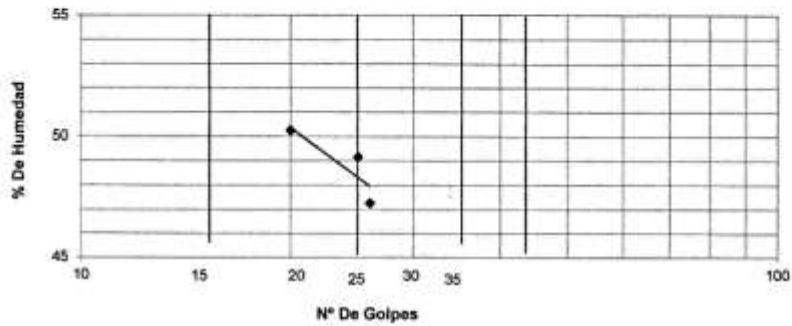


<b>LIMITE LIQUIDO</b>	54.95	58.53		
N ° de Capsula	19	16		
P. Tarro+S. Humedo	20.95	19.88		
P. Tarro+S. Seco	14.02	13.51		
Agua	6.93	6.38		
Peso Tarro	2.51	2.34		
Suelo Seco	11.51	11.16		
% de Humedad	60.18	57.12		
No. De Golpes	12	30		
<b>LIMITE PLASTICO</b>				
No. De Tarro				
P. Tarro+S. Humedo				
P. Tarro+S. Seco				
Agua				
Peso Tarro				
Suelo Seco				
% de Humedad				
<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>56.7</b>			
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>NP</b>			
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>NP</b>			

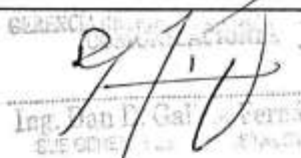
Ing. Juan Diego Cerúndez  
 Consultor de Ingeniería

**LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA LA MALLA N°200**  
 ASTM 4318 AASHTO T 89

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de Ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA :** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**MUESTRA :** Ignimbrita - Sillar  
**FECHA:** May-21  
**TAMAÑO MAX.** N°40



LIMITE LIQUIDO	48.84	49.17	47.51
N° de Capsula	30	35	33
P. Tarro+S. Humedo	15.70	17.54	16.04
P. Tarro+S. Seco	11.28	12.56	11.66
Agua	4.43	4.97	4.38
Peso Tarro	2.47	2.44	2.40
Suelo Seco	8.81	10.12	9.26
% de Humedad	50.24	49.16	47.25
No. De Golpes	20	25	28
LIMITE PLASTICO	49.42	54.18	17.43
No. De Tarro	34	31	
P. Tarro+S. Humedo	3.14	2.89	3.68
P. Tarro+S. Seco	2.89	2.68	3.45
Agua	0.25	0.20	0.23
Peso Tarro	2.37	2.31	2.14
Suelo Seco	0.51	0.37	1.31
% de Humedad	49.42	54.18	17.43
LIMITE LIQUIDO	48.5		
LIMITE PLASTICO	40.3		
INIDICE PLASTICO	8.2		

  
 Ing. Van D. Gallo  
 SUS OBRAS SON SU PASADO

**ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO**  
**NORMA (MTC E 222)**

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA :** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**MUESTRA :** Ignimbrita - Sillar  
**FECHA:** May-21

AGREGADO FINO			
A	Volumen Molde (Proctor Standart 4")	cc	937.4
B	Peso Agregado empleado < 2.36 mm + Molde	gr	5030.0
C	Peso Molde	gr	4247.0
D	Peso Material Neto	gr	783.0
E	Peso Especifico Bulk material Pasa (Nº4)	gr/cc	2.221
F	Volumen empleado para colmar molde	cc	352.5
G	% Vacios : Angularidad Agregado	%	<b>62.4</b>
H	<b>Promedio</b>		
	<b>Especificación</b>	<b>65</b>	<b>Cumple</b>

  
 GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 Ing. Don D. Velasco Fernández  
 SUB GERENTE DE INGENIERIA DE ESTRUCTURAS

## PRUEBAS DE ADHERENCIA MTC E 220

**PROYECTO** : Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

**SOLICITA** : Thaiana del Pilar Murillo Luza

**CANTERA** : KM.19+000 Uchumayo - Arequipa

**MUESTRA** : Agregado Fino **FECHA:** May-21

**AGREGADO GRUESO** : Revestimiento y Desprendimiento de mezcla de agregado - Bitumen  
 ASTM D - 1664

**Superior a 95%**

Grado de adhesividad - Riedel Weber		
<b>AGREGADO FINO</b>		
CONCENTRACION gr./lt Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Indice de Adhesividad	Observación
Agua Destilada	0	-
M/256=0.414	1	NO HAY DESPRENDIMIENTO
M/128=0.828	2	NO HAY DESPRENDIMIENTO
M/64=1.656	3	DESPRENDIMIENTO PARCIAL
M/32=3.312	4	DESPRENDIMIENTO PARCIAL
M/16=6.625	5	DESPRENDIMIENTO PARCIAL
M/8=13.26	6	DESPRENDIMIENTO TOTAL
M/4=26.5	7	DESPRENDIMIENTO TOTAL
M/2=53	8	DESPRENDIMIENTO TOTAL
M/1=106	9	DESPRENDIMIENTO TOTAL
<b>Adhesividad = 6 - 7</b>		
<b>IGNIMBRITA</b>		
CONCENTRACION gr./lt Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Indice de Adhesividad	Observación
Agua Destilada	0	-
M/256=0.414	1	DESPRENDIMIENTO PARCIAL
M/128=0.828	2	DESPRENDIMIENTO PARCIAL
M/64=1.656	3	DESPRENDIMIENTO TOTAL
M/32=3.312	4	DESPRENDIMIENTO TOTAL
M/16=6.625	5	DESPRENDIMIENTO TOTAL
M/8=13.26	6	DESPRENDIMIENTO TOTAL
M/4=26.5	7	DESPRENDIMIENTO TOTAL
M/2=53	8	DESPRENDIMIENTO TOTAL
M/1=106	9	DESPRENDIMIENTO TOTAL
<b>Adhesividad = 3</b>		

  
 Ing. D. Thaiana Murillo Luza  
 GERENCIA DE INGENIERIA DE CONSTRUCCIONES

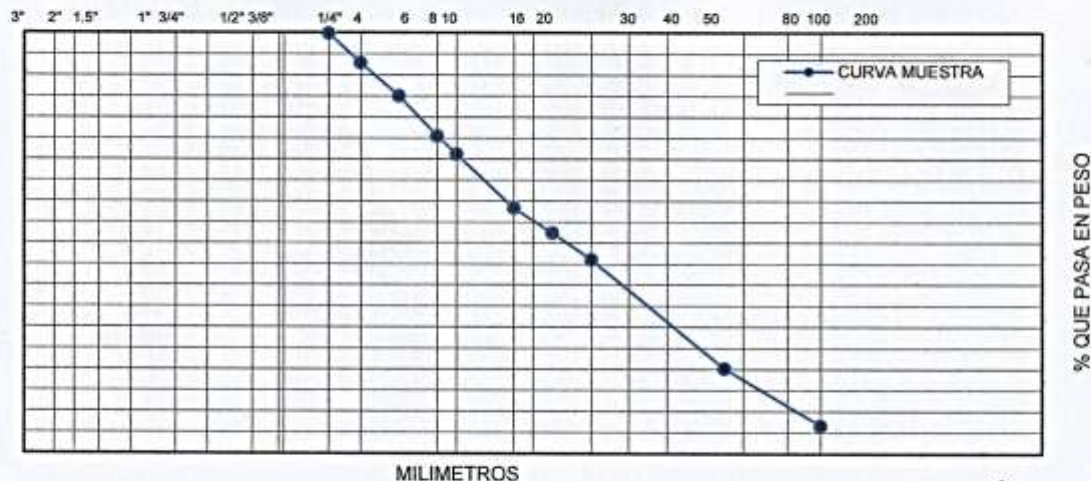
**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
METODO AASHTO T-88 Y ASTM D-422

**PROYECTO** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA** : Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**FECHA** : May-21  
**MUESTRA** : Promedio - Arena

TAMIZ	ABERT. mm.	A-1	A-2	A-3	PROM %RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
2"	50.800							CANTERA : KM.19+000 UCHUMAYO
1 1/2"	38.100							MUESTRA : PROMEDIO
1"	25.400							MATERIAL : ARENA PARA ASFALTO
3/4"	19.050							INDICE PLASTICO MALLA N°40 = NP
1/2"	12.700						100.0	INDICE PLASTICO MALLA N°200 = NP
3/8"	9.525	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
# 4	4.760	6.5	8.1	6.7	7.1	7.1	92.9	
# 6	3.360	7.4	8.4	7.5	7.8	14.8	85.2	
# 8	2.380	8.8	9.8	9.8	9.5	24.3	75.7	:
# 10	2.000	4.4	4.4	4.2	4.4	28.7	71.3	:
# 16	1.190	13.0	12.9	12.6	12.8	41.5	58.5	:
# 20	0.840	5.9	6.0	5.8	5.9	47.4	52.6	
# 30	0.590	6.6	6.4	6.4	6.4	53.9	46.1	<b>OBSERVACIONES:</b>
# 40	0.420	5.7	5.9	5.9	5.8	59.7	40.3	
# 50	0.297	7.5	6.9	7.4	7.3	67.0	33.0	
# 80	0.177	13.0	12.1	13.1	12.8	79.7	20.3	
# 100	0.149	3.8	3.2	3.6	3.5	83.3	16.7	
# 200	0.074	10.4	9.6	10.1	10.0	93.3	6.7	
< # 200	0	7.0	6.3	6.8	6.7	100.0	0.0	

100.0      100.0      100.0

**CURVA GRANULOMETRICA**



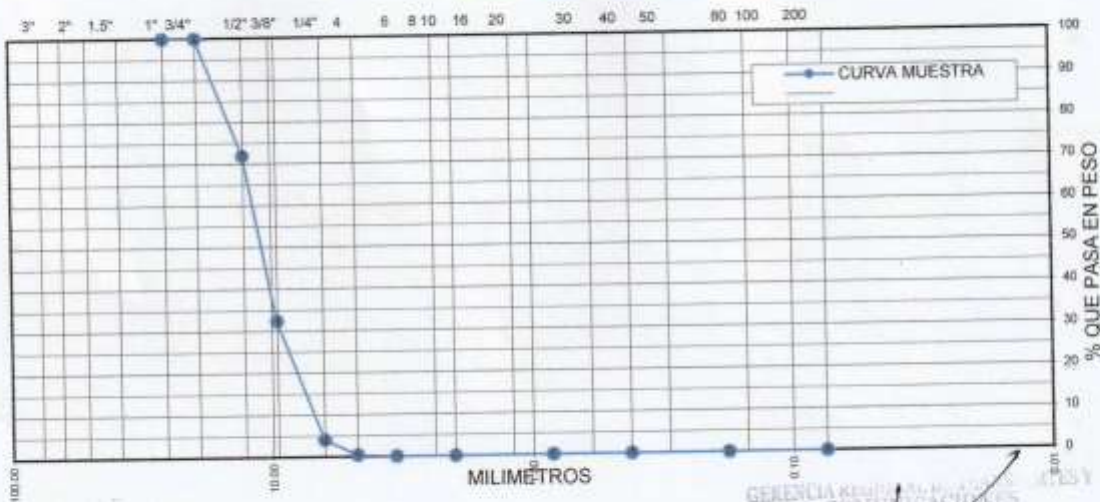
GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y  
COMUNICACIONES  
Ing. Jan H. Galván Fernández  
SUB GERENTE DE INFRAESTRUCTURA

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
METODO AASHTO T-88 Y ASTM D-422

**PROYECTO** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vias de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA** : Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA** KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**FECHA** : May-21  
**MUESTRA** : Promedio - Grava

TAMIZ	ABERT. mm.	G-1	G-2	G-3	PROM %RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600							CANTERA : KM.19+000 UCHUMAYO
3"	76.200							MUESTRA : PROMEDIO
2 1/2"	63.500							MATERIAL : GRAVA PARA ASFALTO
2"	50.800							TAMAÑO MAX. : 3/4"
1 1/2"	38.100							
1"	25.400						100.0	
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	25.80	26.6	25.0	25.8	25.8	74.2	:
3/8"	9.525	23.96	24.5	23.9	24.1	49.9	50.1	
1/4"	6.350	30.43	28.2	30.3	29.6	79.6	20.4	
# 4	4.760	17.73	18.0	17.6	17.8	97.3	2.7	
# 6	3.360	2.09	2.7	3.2	2.7	100.0	0.0	
# 8	2.380	0.00	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	:
# 10	2.000	0.00	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	:
# 16	1.190	0.00	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	:
# 20	0.840	0.00	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
# 30	0.590	0.00	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	<b>OBSERVACIONES:</b>
# 40	0.420	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
# 50	0.297	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
# 80	0.177	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
# 100	0.149	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
# 200	0.074	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
< # 200		0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	

**CURVA GRANULOMETRICA**



  
 Ing. Dan J. Galva Fernández  
 SUB GERENTE DE INFRAESTRUCTURA



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
METODO AASHTO T-88 Y ASTM D-422

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA :** Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**MATERIAL :** Cal  
**FECHA :** May-21

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
1"	25.400					FILLER : Cal
3/4"	19.050					MUESTRA : M-1
1/2"	12.700					MATERIAL : FILLER PARA ASFALTO
3/8"	9.525					PESO TOTAL : 200.00 gr.
1/4"	6.350					INDICE PLASTICO : NP
# 4	4.750					
# 6	3.360					
# 8	2.380					
# 10	2.000					
# 16	1.190					
# 20	0.840				100.0	
# 30	0.590	0.00	0.00	0.0	100.0	<b>OBSERVACIONES:</b>
# 40	0.420	0.00	0.00	0.0	100.0	
# 50	0.297	0.00	0.00	0.0	100.0	
# 80	0.177	0.00	0.00	0.0	100.0	
# 100	0.149	0.28	0.14	0.1	99.9	
# 200	0.074	3.56	1.78	1.9	98.1	
< # 200		196.2	98.08	100.0	0.0	

200 100.0

**CURVA GRANULOMETRICA**



GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 Ing. Don D. Gallo Fernández  
 SU GERENTE DE INFRAESTRUCTURA

## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

METODO AASHTO T-88 Y ASTM D-422

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"
<b>SOLICITA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza
<b>CANTERA :</b>	Añashuayco - Arequipa
<b>FECHA :</b>	May-21
<b>MUESTRA :</b>	Ignimbrita

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					MUESTRA : M-1
3/8"	9.525					MATERIAL : SILLAR (Ignimbrita)
1/4"	6.350					
# 4	4.760					PESO TOTAL : 410 gr.
# 6	3.360	0	0.0	0.0	100.0	INDICE PLASTICO MALLA N°40 = NP
# 8	2.380	0	0.0	0.0	100.0	INDICE PLASTICO MALLA N°200 = NP
# 10	2.000	0	0.0	0.0	100.0	
# 16	1.190	0	0.0	0.0	100.0	
# 20	0.840	0	0.0	0.0	100.0	
# 30	0.590	0	0.0	0.0	100.0	
# 40	0.420	0	0.0	0.0	100.0	
# 50	0.297	0	0.0	0.0	100.0	
# 80	0.177	0	0.0	0.0	100.0	
# 100	0.149	42	10.2	10.2	89.8	
# 200	0.074	151	36.8	47.1	52.9	
< # 200		217	52.9	100.0	0.0	

410.0      100.0      157.3      1042.7

### CURVA GRANULOMETRICA



GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y  
COMUNICACIONES  
*[Signature]*  
Ing. Dan D. Galicia Fernández  
SU GERENTE DE INFRAESTRUCTURA

**COMBINACIONES - MEZCLA ASFALTICA CALIENTE**

**PROYECTO** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

**SOLICITA** : Thatiana del Pilar Murillo Luza

**CANTERA** : KM.19+000 Uchumayo - Arequipa

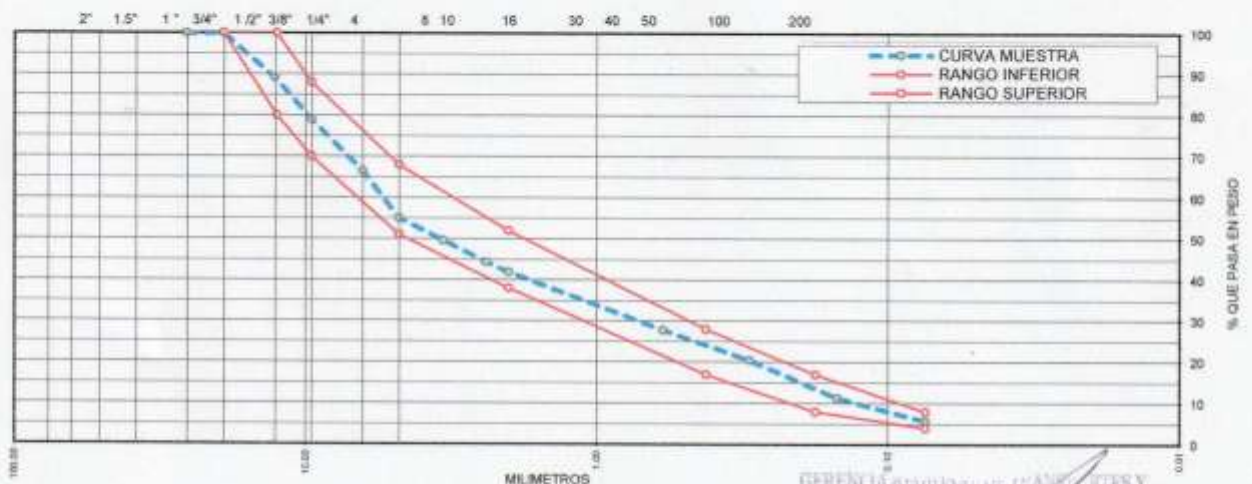
**FECHA** : May-21

**MUESTRA** : Diseño de Mezcla Asfáltica

TAMIZ	ABERT. mm.	%RET.				% Q' PASA	ESPEC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
		Filler	Arena	Grava	Total			
Combinacion		2.00%	56.00%	42.00%	100.00%			
1"	25.400					100.0	MAC-2	CANTERA : KM.20+000 UCHUMAYO
3/4"	19.050			0.0	0.0	100.0	100	MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA
1/2"	12.700			25.8	10.8	89.2	80-100	INDICE PLAST. : NP
3/8"	9.525		0.0	24.1	10.1	79.0	70-88	KM.19+000 GRAVA = 42.0%
1/4"	6.350		0.0	29.6	12.5	66.6		KM.19+000 ARENA = 56.0%
# 4	4.760		7.1	17.8	11.4	55.2	51-68	CAL FILLER = 2.0%
# 6	3.360		7.8	2.7	5.5	49.7		
# 8	2.380		9.5	0.0	5.3	44.4		
# 10	2.000		4.4	0.0	2.4	41.9	38-52	
# 16	1.190		12.8	0.0	7.2	34.8		
# 20	0.840		5.9	0.0	3.3	31.5		
# 30	0.590		6.4	0.0	3.6	27.8		OBSERVACIONES:
# 40	0.420		5.8	0.0	3.3	24.6	17-28	
# 50	0.297	0.000	7.3	0.0	4.1	20.5		
# 80	0.177	0.000	12.8	0.0	7.1	13.4	8-17	
# 100	0.149	0.139	3.5	0.0	2.0	11.4		
# 200	0.074	1.779	10.0	0.0	5.7	5.7	4-8	
< # 200		98.082	6.7	0.0	5.7	0.0		

100.0 100.0 100.0 100.0

**CURVA GRANULOMETRICA**



GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
Ing. Dan D. Galicia Fernández  
SUB GERENTE DE INFRAESTRUCTURA

**MAXIMA GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLAS ASFALTICAS (RICE)**

(NORMA MTC E 508, ASTM D2041, AASTHO T209)

**PROYECTO :** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

**SOLICITA :** Thátiana del Pilar Murillo Luza

**CANTERA :** KM. 19+000 Uchumayo - Arequipa

**FECHA :** Jun-21

**MUESTRA :** Mezcla Asfáltica en Caliente Convencional

		Briquetas Convencional							Optimo
		4.5	5	5.5	6	6.5			
	% DE CEMENTO ASFALTICO								
1	PESO DEL FRASCO + PESO DEL AGUA A 25 °c	9508.0	9508.0	9508.0	9508.0	9508.0	9508.0	9508.0	
2	PESO DE MEZCLA ASFALTICA , gr	1497.0	1192.0	1500.0	1188.0	1192.0	1189.0	1189.0	
3	PESO DEL FRASCO + PESO DEL AGUA A 25°C + MEZCLA ASF.	10413.0	10225.0	10405.0	10215.0	10213.0	10215.0	10215.0	
4	VOLUMEN DE MEZCLA ASFALTICA gr	592.0	475.0	603.0	481.0	487.0	482.0	482.0	
5	MAXIMA GRAVEDAD ESPECIFICA (4 / 6 ) , gr / cc	2.529	2.509	2.488	2.470	2.448	2.467	2.467	

GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y  
 INFRAESTRUCTURA  
 Ing. Juan J. Gallo Fernández  
 SOE GERENTE DE INFRAESTRUCTURA

**ENSAYOS DE MARSHALL**  
**(NORMA MTC E504, AASHTO T 245 y ASTM D 1559)**

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>SOLICITA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Convencional	<b>CA :</b>	4.5%

% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	56.00
% DEL FILLER	2.00
PESO ESPECIFICO BULK A, GRUESO	2.761
PESO ESPECIFICO BULK A, FINO	2.659
PESO ESPECIFICO DEL FILLER	2.328

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	
1 % C.A EN PESO DE LA MEZCLA		4.5		4.5
2 % A.GRUESO(MAYOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		40.11		
3 % A.FINO (MENOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		53.48		
4 % FILLER (PASA N°200) EN PESO DE MEZCLA		1.91		
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE		1.017		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK(MENOR 1")		2.761		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO-BULK		2.659		
8 PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE		2.328		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA				
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1193.0	1192.0	1180.0	
11 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1194.0	1193.0	1181.0	
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	672.0	667.0	671.0	
13 PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.3	2.3	
14 PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.2	0.2	0.2	
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	522.0	526.0	510.0	
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.285	2.266	2.314	2.268
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041		2.529		
18 % DE VACIOS (100*(16-17)/16)	9.62	10.38	8.50	9.50
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(26+37+4/8)		2.693		
20 V.M.A (%) 100-(2+3+4)*17/20	16.96	16.64	17.96	16.85
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A, 100*(21-19)/21	49.26	47.14	52.66	49.69
22 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(100/16-1/5)		2.719		
23 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (23-20)/(23*20)*100		0.35		
24 % ASFALTO EFECTIVO 1-24*(2+3+4)/100		4.16		
25 FLUJO mm	1.85	1.83	1.88	1.85
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1356	1358	1354	
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.00	1.00	
28 ESTABILIDAD CORREGIDA kg	1356.8	1357.6	1353.9	1356.8
29 NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	75	75	75	

OBSERVACIONES:

Ing. [Nombre]




**ENSAYOS DE MARSHALL**  
(NORMA MTC E504, AASHTO T 245 y ASTM D 1559)

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>SOLICITA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Convencional	<b>CA :</b>	5.5%

% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	58.00
% DEL FILLER	2.00
PESO ESPECIFICO BULK A. GRUESO	2.761
PESO ESPECIFICO BULK A. FINO	2.659
PESO ESPECIFICO DEL FILLER	2.328

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	
1 % C.A EN PESO DE LA MEZCLA		5.5		5.5
2 % A.GRUESO(MAYOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		39.69		
3 % A.FINO (MENOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		62.92		
4 % FILLER (PASA N°200) EN PESO DE MEZCLA		1.89		
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE		1.017		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK(MENOR 1")		2.761		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO-BULK		2.659		
8 PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE		2.328		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA				
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1189.0	1193.0	1190.0	
11 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1190.0	1194.0	1191.0	
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	687.0	689.0	686.0	
13 PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.4	2.4	2.4	
14 PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.2	0.2	0.2	
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	503.0	505.0	505.0	
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.364	2.362	2.356	2.361
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041		2.488		
18 % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	4.97	5.03	5.27	5.09
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)		2.693		
20 V.M.A (%) $100 - (2+3+4) * 17/20$	17.06	17.11	17.32	17.16
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A. $100 * (21-19) / 21$	70.84	70.59	69.56	70.33
22 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(100/18-1/5)		2.716		
23 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (23-20)/(23*20)*100		0.31		
24 % ASFALTO EFECTIVO $1 - 24 * (2+3+4) / 100$		5.20		
25 FLUJO mm	2.05	2.08	2.03	2.05
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1210	1291	1128	
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.04	1.04	1.04	
28 ESTABILIDAD CORREGIDA kg	1258.0	1342.9	1173.0	1258.0
29 NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	75	75	75	

OBSERVACIONES:

  
 Ing. Juan D. Gallo  
 Gerente General

**ENSAYOS DE MARSHALL**  
**(NORMA MTC E504, AASHTO T 245 y ASTM D 1559)**

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>SOLICITA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Convencional	<b>CA :</b>	6.0%

% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	56.00
% DEL FILLER	2.00
PESO ESPECIFICO BULK A. GRUESO	2.761
PESO ESPECIFICO BULK A. FINO	2.659
PESO ESPECIFICO DEL FILLER	2.328

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	
1 % C.A EN PESO DE LA MEZCLA		6.0		6.0
2 % A.GRUESO(MAYOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		39.48		
3 % A.FINO (MENOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		52.64		
4 % FILLER (PASA N°200) EN PESO DE MEZCLA		1.88		
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE		1.017		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK(MENOR 1")		2.761		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO-BULK		2.659		
8 PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE		2.328		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA				
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1182.0	1181.0	1185.0	
11 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1182.0	1182.0	1186.0	
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	688.0	690.0	692.0	
13 PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.4	2.4	2.4	
14 PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.0	0.2	0.2	
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	493.0	492.0	494.0	
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.398	2.400	2.399	2.399
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041		2.470		
18 % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	2.93	2.81	2.88	2.87
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)		2.693		
20 V.M.A (%) 100-(2+3+4)*17/20	16.32	16.22	16.28	16.27
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A. 100*(21-19)/21	82.07	82.67	82.32	82.35
22 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(100/18-1/5)		2.718		
23 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (23-20)/(23*20)*100		0.33		
24 % ASFALTO EFECTIVO 1-24*(2+3+4)/100		5.69		
25 FLUJO mm	2.11	2.15	2.08	2.11
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1717	1743	1691	
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.09	1.09	1.09	
28 ESTABILIDAD CORREGIDA kg	1871.5	1899.6	1843.3	1871.5
29 NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	75	75	75	

OBSERVACIONES:

  
 Ing. Juan D. Golz  
 Gerente de Laboratorio





**ENSAYOS DE MARSHALL**  
(NORMA MTC E504, AASHTO T 245 y ASTM D 1559)

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>SOLICITA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Convencional	<b>CA :</b>	5.7%

% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	58.00
% DEL FILLER	2.00
PESO ESPECIFICO BULK A. GRUESO	2.761
PESO ESPECIFICO BULK A. FINO	2.659
PESO ESPECIFICO DEL FILLER	2.328

N° DE BRIQUETAS	1	2	
1 % C.A EN PESO DE LA MEZCLA		5.7	5.7
2 % A.GRUESO(MAYOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		39.61	
3 % A.FINO (MENOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		52.81	
4 % FILLER (PASA N°200) EN PESO DE MEZCLA		1.89	
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE		1.017	
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK(MENOR 1")		2.761	
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO-BULK		2.659	
8 PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE		2.328	
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA			
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1193.0	1189.0	
11 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1194.0	1190.0	
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	691.0	683.0	
13 PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.3	
14 PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.2	0.2	
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	513.0	507.0	
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.326	2.345	2.34
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041		2.467	
18 % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	5.73	4.93	5.33
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)		2.693	
20 V.M.A (%) 100-(2+3+4)*17/20	18.57	17.89	18.23
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A. 100*(21-19)/21	69.17	72.43	70.80
22 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(100/18-1/5)		2.699	
23 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (23-20)/(23*20)*100		0.08	
24 % ASFALTO EFECTIVO 1-24*(2+3+4)/100		5.62	
25 FLUJO mm	2.25	2.89	2.57
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1835	1902	
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.04	
28 ESTABILIDAD CORREGIDA kg	379.0	458.6	418.82
29 NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	75	75	

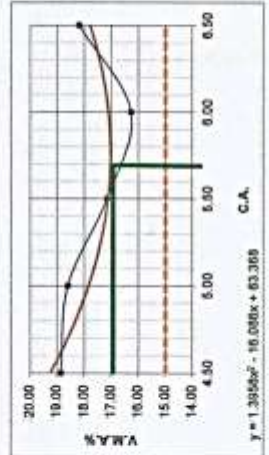
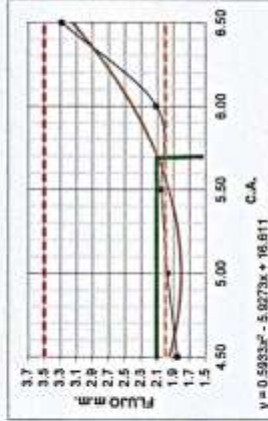
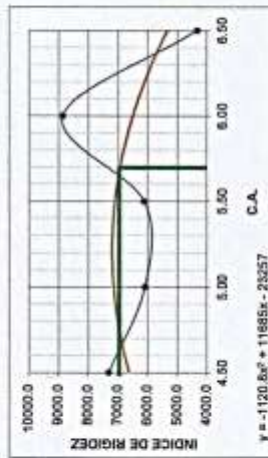
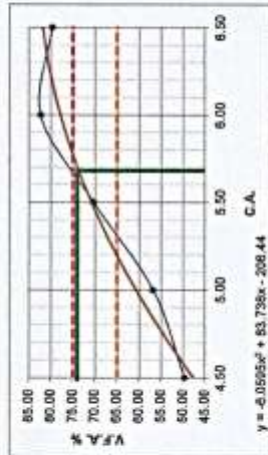
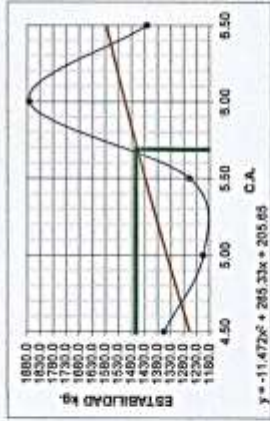
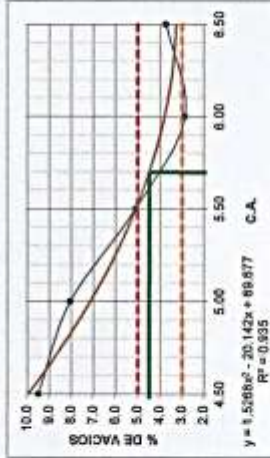
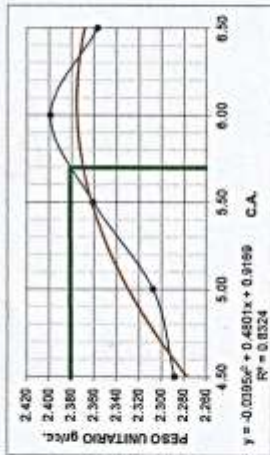
OBSERVACIONES:

Ing. Don D. Gallego Fernández  
 85000001

**DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MAC II  
(NORMA MTC E504, AASHTO T 245 ASTM D 1559)**

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de lignitrinita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>SOLICITA :</b>	Thaliana del Pilar Murillo Laza		
<b>CANTERA :</b>	KM. 19+000 Lichumayo - Arequipa		
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Convencional		
<b>GRAVA</b>	42%		
<b>ARENA</b>	56%		
<b>FILLER (CAL)</b>	2%		
<b>FECHA :</b>	Jun-21		
<b>PEN</b>	85/100		
<b>CONTENIDO DE OPTIMO DE ASFALTO :</b>	5.7%		
<b>ENSAYADO:</b>	TEC. PRIV.		

CA	PESO UNIT.	% VACIOS	ESTABILIDAD	FLUJO	V.F.A.	VMA	INDICE RIG.
4.50	2.268	9.5	1355.8	1.9	49.69	18.85	7315.2
5.00	2.308	8.0	1205.3	2.0	56.85	18.60	6097.6
5.50	2.361	5.1	1258.0	2.1	70.33	17.16	6126.5
6.00	2.399	2.9	1871.5	2.1	82.35	16.27	8955.5
6.50	2.357	3.7	1420.5	3.3	79.54	18.19	4328.5



CARACTERÍSTICAS			UNIDAD	75	CANTIDAD	ESPECIF.
Nº GOLPES			%	75	5.7	75
CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO PEN 85/100			gr/cm <sup>3</sup>		2.37	-
PESO UNITARIO			%		4.5	3-5
% DE VACIOS			mm		2.1	2-4
FLUJO			Kg		1459	≥ 815
ESTABILIDAD			%		17.03	MIN 14
VMA			%		74.0	65-75
TEMPERATURA DE LA MEZCLA			°C		140	140
RESISTENCIA CONSERVADA EN LA PRUEBA DE TRACCION INDIRECTA			%		80.9	≥ 80

Ing. Dr. D. Walter Ramírez  
UNIDAD DE OPERACIONES  
Subgerente de Operaciones

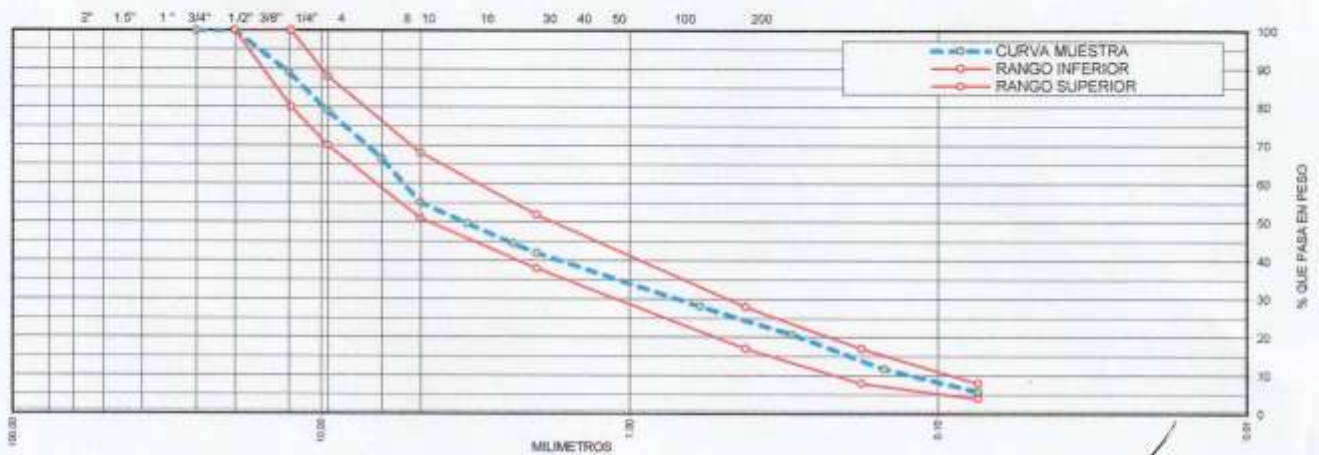
**COMBINACIONES - MEZCLA ASFALTICA CALIENTE**

**PROYECTO** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA** : Thatiana del Pilar Murillo Luza  
**CANTERA** : KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**FECHA** : May-21  
**MUESTRA** : Diseño de Mezcla Asfáltica

TAMIZ	ABERT. mm.	%RET.					% Q' PASA	ESPEC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
		Filler	Arena	Grava	Ignimbrita	Total			
Combinación		2.00%	55.50%	42.00%	0.50%	100.00%			
1"	25.400						100.0	<b>MAC-2</b>	CANTERA : KM 20+000 UCHUMAYO
3/4"	19.050			0.0		0.0	100.0	<b>100</b>	MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA
1/2"	12.700			25.8		10.8	89.2	<b>80-100</b>	INDICE PLAST. : NP
3/8"	9.525		0.0	24.1		10.1	79.0	<b>70-88</b>	KM.19+000 GRAVA = 42.0%
1/4"	6.350		0.0	29.6		12.5	66.6		CAL ARENA = 55.5%
# 4	4.760		7.1	17.8		11.4	55.2	<b>51-68</b>	SILLAR PART. ARENA 0.5%
# 6	3.360		7.8	2.7		5.4	49.8		
# 8	2.380		9.5	0.0		5.3	44.5		
# 10	2.000		4.4	0.0		2.4	42.1	<b>38-52</b>	
# 16	1.190		12.8	0.0		7.1	35.0		
# 20	0.840		5.9	0.0		3.3	31.7		
# 30	0.590		6.4	0.0	0.0	3.6	28.1		OBSERVACIONES:
# 40	0.420		5.8	0.0	0.0	3.2	24.9	<b>17-28</b>	
# 50	0.297	0.000	7.3	0.0	0.0	4.0	20.8		
# 80	0.177	0.000	12.8	0.0	0.0	7.1	13.8	<b>8-17</b>	
# 100	0.149	0.139	3.5	0.0	10.2	2.0	11.7		
# 200	0.074	1.779	10.0	0.0	38.8	5.8	5.9	<b>4-8</b>	
< # 200		98.082	6.7	0.0	52.9	5.9	0.0		

100.0 100.0 100.0 100.0 100.0

**CURVA GRANULOMETRICA**



GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y  
COMUNICACIONES  
Ing. Yan D. Gallo Fernández  
SE GERENTE DE INFRAESTRUCTURA

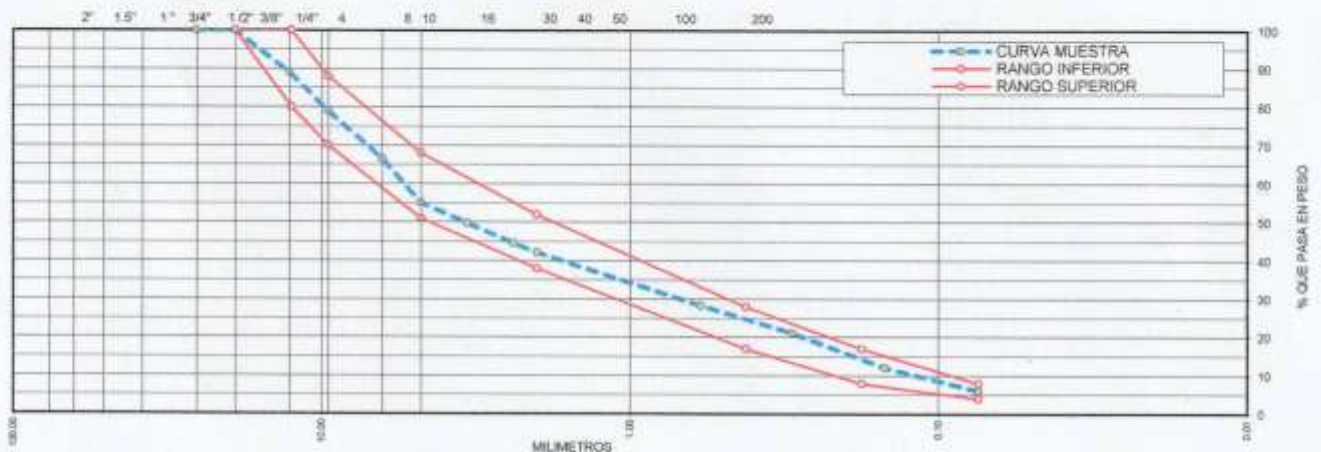
**COMBINACIONES - MEZCLA ASFALTICA CALIENTE**

**PROYECTO** Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
**SOLICITA** : Thatiana del Pilar Munillo Luza  
**CANTERA** : KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
**FECHA** : May-21  
**MUESTRA** : Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada

TAMIZ	ABERT. mm.	%RET.					% Q' PASA	ESPEC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
		Filler	Arena	Grava	Ignimbrita	Total				
Combinacion		2.00%	55.00%	42.00%	1.00%	100.00%				
1"	25.400						100.0	<b>MAC-2</b>	CANTERA	: KM.20+000 UCHUMAYO
3/4"	19.050			0.0		0.0	100.0		MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA
1/2"	12.700			25.8		10.8	89.2	<b>80-100</b>	INDICE PLAST	: NP
3/8"	9.525		0.0	24.1		10.1	79.0	<b>70-85</b>	KM.19+000	GRAVA = 42.0%
1/4"	6.350		0.0	29.6		12.5	66.6		KM.19+000	ARENA = 55.0%
# 4	4.760		7.1	17.8		11.3	55.2	<b>51-68</b>	CAL	FILLER = 2.0%
# 6	3.360		7.8	2.7		5.4	49.8		SILLAR	PART. ARENA 1.0%
# 8	2.380		9.5	0.0		5.2	44.8			
# 10	2.000		4.4	0.0		2.4	42.2	<b>38-52</b>		
# 16	1.190		12.8	0.0		7.0	35.2			
# 20	0.840		5.9	0.0		3.2	31.9			
# 30	0.590		6.4	0.0	0.0	3.5	28.4			
# 40	0.420		5.8	0.0	0.0	3.2	25.2	<b>17-28</b>	OBSERVACIONES:	
# 50	0.297	0.000	7.3	0.0	0.0	4.0	21.2			
# 80	0.177	0.000	12.8	0.0	0.0	7.0	14.2	<b>8-17</b>		
# 100	0.149	0.139	3.5	0.0	10.2	2.1	12.1			
# 200	0.074	1.779	10.0	0.0	36.8	5.9	6.2	<b>4-8</b>		
< # 200		98.082	6.7	0.0	52.9	6.2	0.0			

100.0 100.0 100.0 100.0 100.0

**CURVA GRANULOMETRICA**



GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 Ing. Juan D. Gallo Fernández  
 SERVICIO DE INGENIERIA DE INFRAESTRUCTURA

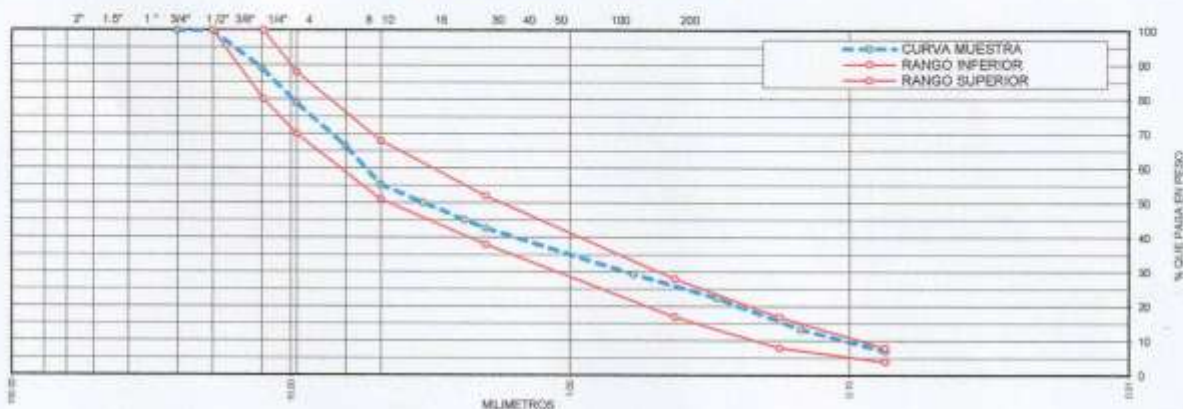
**COMBINACIONES - MEZCLA ASFALTICA CALIENTE**

PROYECTO : Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"  
SOLICITA : Thatiana del Pilar Murillo Luza  
CANTERA : KM.19+000 Uchumayo - Arequipa  
FECHA : May-21  
MUESTRA : Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada

TAMIZ	ABERT. mm.	%RET.				% Q' PASA	ESPEC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
		Filler	Arena	Grava	Ignimbrita			
Combinación		2.00%	53.00%	42.00%	3.00%	100.00%		
1"	25.400					100.0	MAC-2	CANTERA : KM 20+000 UCHUMAYO
3/4"	19.050			0.0		100.0	100	MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA
1/2"	12.700			25.8		89.2	80-100	INDICE PLAST. : NP
3/8"	9.525		0.0	24.1		10.1	70-88	KM 19+000 GRAVA = 42.0%
1/4"	6.350		0.0	29.6		12.5		KM 19+000 ARENA = 53.0%
# 4	4.750		7.1	17.8		11.2	51-68	CAL FILLER = 2.0%
# 6	3.350		7.8	2.7		5.2		SILLAR PART. ARENA 3.0%
# 8	2.380		9.5	0.0		5.0		
# 10	2.000		4.4	0.0		2.3	38-52	
# 16	1.190		12.8	0.0		6.8		
# 20	0.840		5.9	0.0		3.1		
# 30	0.590		6.4	0.0	0.0	3.4		OBSERVACIONES:
# 40	0.420		5.8	0.0	0.0	3.1	17-28	
# 50	0.297	0.000	7.3	0.0	0.0	3.9		
# 80	0.177	0.000	12.8	0.0	0.0	6.8	8-17	
# 100	0.149	0.139	3.5	0.0	10.2	2.2		
# 200	0.074	1.779	10.0	0.0	36.8	6.5	4-8	
< # 200		98.082	6.7	0.0	52.9	7.1		

100.0 100.0 100.0 100.0 100.0

**CURVA GRANULOMETRICA**



GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
Ing. Van D. Gallo Fernández  
SU GERENTE DE INFRAESTRUCTURA

**MAXIMA GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLAS ASFALTICAS (RICE)**

(NORMA MTC E 508, ASTM D2041, AASTHO T209)

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"
<b>SOLICITA :</b>	Thaliana del Pilar Murillo Luza
<b>CANTERA :</b>	KM. 19+000 Uchumayo - Arequipa
<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>MUESTRA :</b>	Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada

Briquetas Modificada con Ignimbrita							
% DE CEMENTO ASFALTICO							
% IGNIMBRITA							
5.7							
		0.5		1		3	
1	PESO DEL FRASCO + PESO DEL AGUA A 25 °c	5655.0	5655.0	5655.0	5655.0	5655.0	5655.0
2	PESO DE MEZCLA ASFALTICA , gr	1504.0	1499.0	1500.0	1507.0	1495.0	1487.0
3	PESO DEL FRASCO + PESO DEL AGUA A 25°C + MEZCLA ASF.	6551.0	6542.5	6549.0	6548.0	6543.0	6541.0
4	VOLUMEN DE MEZCLA ASFALTICA gr	608.0	611.5	606.0	614.0	607.0	601.0
5	MAXIMA GRAVEDAD ESPECIFICA (4 / 6 ) , gr / cc	2.474	2.451	2.475	2.454	2.463	2.474
6	PROMEDIO gr / cc	2.463		2.465		2.469	

*[Handwritten Signature]*  
 CLAYTON M. VILLALBA  
 INGENIERO CIVIL  
 INGENIERO DE VIAL  
 INGENIERO DE VIAL

**ENSAYOS DE MARSHALL**  
(NORMA MTC E504, AASHTO T 245 y ASTM D 1559)

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>SOLICITA :</b>	Thalana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Modificada	<b>CA :</b>	5.7%

% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	55.50
% IGNIMBRITA (MENOR N°80)	<b>0.50</b>
% DEL FILLER	2.00
PESO ESPECIFICO BULK A, GRUESO	2.761
PESO ESPECIFICO BULK A, FINO	2.659
PESO ESPECIFICO DE IGNIMBRITA	2.221
PESO ESPECIFICO DEL FILLER	2.328

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	
1 % C.A EN PESO DE LA MEZCLA		5.7		5.7
2 % A.GRUESO(MAYOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		39.61		
3 % A.FINO (MENOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		52.34		
4 % IGNIMBRITA (MENOR N°80) EN PESO DE LA MEZCLA		0.47		
5 % FILLER (PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA		1.89		
6 PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE		1.017		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")		2.761		
8 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO-BULK		2.659		
9 PESO ESPECIFICO DE IGNIMBRITA		1.650		
10 PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE		2.328		
11 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA				
12 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1195.0	1191.0	1202.0	
13 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1195.0	1193.0	1203.0	
14 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	683.0	685.0	690.0	
15 PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.3	2.3	
16 PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.2	0.4	0.2	
17 VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	513.0	508.0	513.0	
18 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.329	2.344	2.343	2.339
19 PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041		2.463		
20 % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	5.40	4.79	4.85	5.02
21 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(26+3/7+4/8)		2.685		
22 V.M.A (%) $100 \cdot (2+3+4) / 17 \cdot 20$	18.19	17.66	17.71	17.85
23 % VACIOS LLENADOS CON C.A. $100 \cdot (21-19) / 21$	70.28	72.86	72.61	71.92
24 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(100/18-1/5)		2.694		
25 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL $(23-20)/(23 \cdot 20) \cdot 100$		0.12		
26 % ASFALTO EFECTIVO $1 \cdot 24 \cdot (2+3+4) / 100$		5.58		
27 FLUJO mm	2.96	3.04	2.93	2.98
28 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1989	1742	1603	
29 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.00	1.00	
30 ESTABILIDAD CORREGIDA kg	1989.5	1742.4	1602.7	1778.2
31 NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	75	75	75	
OBSERVACIONES:				

  
 Ing. Don D. Gallegos  
 SUPERINTENTE DE CONTROL DE CALIDAD



**ENSAYOS DE MARSHALL**  
 (NORMA MTC E504, AASHTO T 245 y ASTM D 1559)

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>SOLICITA :</b>	Thalana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Modificada	<b>CA :</b>	5.7%

% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	55.00
% IGNIMBRITA (MENOR N°80)	1.00
% DEL FILLER	2.00
PESO ESPECIFICO BULK A. GRUESO	2.751
PESO ESPECIFICO BULK A. FINO	2.659
PESO ESPECIFICO DE IGNIMBRITA	2.221
PESO ESPECIFICO DEL FILLER	2.328

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	
1 % C.A EN PESO DE LA MEZCLA		5.7		5.7
2 % A. GRUESO (MAYOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		39.51		
3 % A. FINO (MENOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		51.57		
4 % IGNIMBRITA (MENOR N°80) EN PESO DE LA MEZCLA		0.94		
4 % FILLER (PASA N°200) EN PESO DE MEZCLA		1.89		
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE		1.017		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")		2.751		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO-BULK		2.659		
8 PESO ESPECIFICO DE IGNIMBRITA		2.221		
8 PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE		2.328		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA				
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1193.0	1197.0	1195.0	
11 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1194.0	1197.0	1196.0	
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	682.0	688.0	680.0	
13 PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.4	2.3	
14 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN % (menor a 2%)	0.2	0.0	0.2	
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	512.0	509.0	516.0	
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.330	2.352	2.316	2.333
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041		2.485		
18 % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	5.47	4.59	6.04	5.37
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(28+3/7+4/8)		2.688		
20 V.M.A. (%) $100 - (2+3+4) / 17 / 20$	18.16	17.40	18.66	18.08
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A. $100 * (21 - 19) / 21$	69.90	73.62	67.62	70.38
22 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/18 - 1/5)		2.697		
23 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (23-20)/(23*20)*100		0.12		
24 % ASFALTO EFECTIVO $1 - 24 * (2+3+4) / 100$		5.56		
25 FLUJO mm	2.92	2.98	3.13	3.01
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1555	1697	1929	
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.00	1.00	
28 ESTABILIDAD CORREGIDA kg	1554.7	1697.5	1929.0	1727.1
29 NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	75	75	75	

OBSERVACIONES:

Gerencia Regional de Transportes y Comunicaciones

Ing. Dn D. Gabriel Coronado  
 Supervisor de Laboratorio

**ENSAYOS DE MARSHALL**  
 (NORMA MTC E504, AASHTO T 245 y ASTM D 1559)

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>SOLICITA :</b>	Thalana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Modificada	<b>CA :</b>	5.7%

% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	53.00
% IGNIMBRITA (MENOR N°80)	3.00
% DEL FILLER	2.00
PESO ESPECIFICO BULK A. GRUESO	2.761
PESO ESPECIFICO BULK A. FINO	2.659
PESO ESPECIFICO DE IGNIMBRITA	2.221
PESO ESPECIFICO DEL FILLER	2.328

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	
1 % C.A EN PESO DE LA MEZCLA		5.7		5.7
2 % A.GRUESO(MAYOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		39.61		
3 % A.FINO (MENOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		49.66		
% IGNIMBRITA (MENOR N°80) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83		
4 % FILLER (PASA N°200) EN PESO DE MEZCLA		1.86		
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A.-APARENTE		1.017		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK(MENOR 1")		2.761		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO-BULK		2.659		
PESO ESPECIFICO DE IGNIMBRITA		2.221		
8 PESO ESPECIFICO DEL FILLER-APARENTE		2.328		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA				
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1194.0	1193.0	1191.0	
11 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1195.0	1194.0	1192.0	
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	680.0	685.0	679.0	
13 PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.3	2.3	
14 PORCENTAJE DE ABSORCION % (menor a 2%)	0.2	0.2	0.2	
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	515.0	509.0	513.0	
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/15)	2.318	2.344	2.322	2.326
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041		2.489		
18 % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	6.08	5.05	5.95	5.70
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(26+3/7+48)		2.677		
20 V.M.A (%) $100-(2+3+4)/17/20$	18.57	17.68	18.46	18.24
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A. $100*(21-19)/21$	67.25	71.42	67.76	68.81
22 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL(2+3+4)/(100/18-1/5)		2.702		
23 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL $(23-20)/(23*20)*100$		0.34		
24 % ASFALTO EFECTIVO $1-24*(2+3+4)/100$		5.38		
25 FLUJO mm	2.93	2.78	2.82	2.64
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1833	1869	1812	
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.00	1.00	
28 ESTABILIDAD CORREGIDA kg	1833.3	1869.5	1811.7	1838.2
29 NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	75	75	75	

OBSERVACIONES:

Ing. D. O. Gallo Fernández  
 SUPERVISOR



**UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE LAS MEZCLAS ASFALTICAS - LOTTMAN MODIFICADO**  
**(NORMA MTC E 522, ASTM D 4867 y AASHTO T-283)**

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"	
<b>TESISTA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza	
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b> Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Convencional	<b>CA :</b> 85 / 100

PORCENTAJES DE DISEÑO	
% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	56.00
% DEL FILLER	2.00

N° DE BRIQUETAS	GRUPO SATURADO			GRUPO SECO		
	1	2	3	4	5	6
- % C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.7					
- N DE GOLPES	31	31	31	31	31	31
D DIAMETRO mm	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	98.0
t ESPESOR mm	64.3	63.5	63.9	64.2	64.4	64.8
A PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1192.6	1197.3	1194.5	1195.7	1192.5	1196.0
B PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1193.1	1198.5	1197.9	1196.0	1195.9	1197.3
C PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	662.5	667.0	667.5	664.5	666.3	665.5
D PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.2	2.3	2.3	2.2	2.3	2.2
E VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	530.6	531.5	530.4	531.5	529.6	531.8
F PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.248	2.253	2.252	2.250	2.252	2.249
G PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041	2.420	2.420	2.420	2.420	2.420	2.420
H % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	7.12	6.91	6.94	7.04	6.95	7.07
I VOLUMEN DE VACIOS DE AIRE cm3	37.8	36.7	36.8	37.4	36.8	37.6

MUESTRA ACONDICIONADAS A VACIOS (5 - 10 MIN)						
N° DE BRIQUETAS	2	3	5	1	4	6
B' PESO DE LA BRIQUETA SSS AL AIRE gr	1222.1	1224.6	1223.3	NO SE EJECUTA		
J' VOLUMEN DE AGUA ABSORBIDA cm3	29.5	27.3	28.8			
s' GRADO DE SATURACION 70-80 %	78.1	74.3	78.3			

MUESTRA ACONDICIONADAS A CONGELAMIENTO Y SATURACION POR 16 Y 24 Hrs						
N° DE BRIQUETAS	2	3	5	1	4	6
t' ESPESOR cm	63.5	63.9	64.4	64.3	64.2	64.8
P CARGA TRACCION kgf	611.9	559.3	567.4	416.4	475.9	521.1
P CARGA TRACCION N	6000.7	5484.9	5564.3	4083.5	4667.0	5110.3
DAÑO POR HUMEDAD 0-5	2	1	1			
DIAMETRO mm	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	98.0
St ESFUERZO A LA TENSION Kpa	60.8	55.2	55.6	40.8	46.7	51.2
TSR ESFUERZO A LA TENSION PROMEDIO Kpa	57.2			46.3		
TSR RATIO DE RESISTENCIA A LA TRACCION %	80.9					

NOMBRE		
Thatiana del Pilar Murillo Luza		
EJECUTADO POR		V. B. CACERES FLORES LABORATORIO



**UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE LAS MEZCLAS ASFALTICAS - LOTTMAN MODIFICADO**  
**(NORMA MTC E 522, ASTM D 4867 y AASHTO T-283)**

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>TESISTA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Modificado	<b>CA :</b>	85 / 100

PORCENTAJES DE DISEÑO	
% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	55.50
% IGNIMBRITA (MENOR N°80)	<b>0.50</b>
% DEL FILLER	2.00

N° DE BRIQUETAS	GRUPO SATURADO			GRUPO SECO		
	1	2	3	4	5	6
- % C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.7					
- N DE GOLPES	20	20	20	20	20	20
D DIAMETRO mm	98.5	98.5	98.5	99.0	99.0	98.5
t ESPESOR mm	66.8	65.0	66.0	65.5	65.0	66.2
A PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1197.0	1195.7	1194.9	1193.4	1192.4	1195.5
B PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1197.5	1196.8	1191.6	1194.3	1193.0	1195.7
C PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	667.5	668.5	662.3	666.5	664.6	666.9
D PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
E VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	530.0	528.3	529.3	527.8	528.4	528.8
F PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.258	2.263	2.258	2.261	2.257	2.261
G PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041	2.430	2.430	2.430	2.430	2.430	2.430
H % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	7.06	6.86	7.10	6.95	7.13	6.96
I VOLUMEN DE VACIOS DE AIRE cm3	37.4	36.2	37.6	36.7	37.7	36.8

MUESTRA ACONDICIONADAS A VACIOS (5 - 10 MIN)						
N° DE BRIQUETAS	2	4	6	1	3	5
B' PESO DE LA BRIQUETA SSS AL AIRE gr	1226.9	1224.1	1222.5	<b>NO SE EJECUTA</b>		
J' VOLUMEN DE AGUA ABSORBIDA cm3	29.9	28.4	27.6			
s' GRADO DE SATURACION 70-80 %	79.9	78.4	73.5			

MUESTRA ACONDICIONADAS A CONGELAMIENTO Y SATURACION POR 16 Y 24 Hrs						
N° DE BRIQUETAS	2	4	6	1	3	5
t' ESPESOR cm	65.0	65.5	66.2	66.8	66.0	65.0
P CARGA TRACCION kgf	479.5	506.9	497.3	422.5	448.4	434.5
P CARGA TRACCION N	4702.3	4971.0	4876.8	4143.3	4397.3	4261.0
DAÑO POR HUMEDAD 0-5	1	2	3			
DIAMETRO mm	98.5	99.0	98.5	98.5	98.5	99.0
St ESFUERZO A LA TENSION Kpa	46.8	48.8	47.6	40.1	43.1	42.2
TSR ESFUERZO A LA TENSION PROMEDIO Kpa	47.7			41.8		
TSR RATIO DE RESISTENCIA A LA TRACCION %	87.5					

NOMBRE		
Thatiana del Pilar Murillo Luza		
EJECUTADO POR		V° B° LABORATORIO



**UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE LAS MEZCLAS ASFALTICAS - LOTTMAN MODIFICADO**  
**(NORMA MTC E 522, ASTM D 4867 y AASHTO T-283)**

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>TESISTA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Modificado	<b>CA :</b>	85 / 100

PORCENTAJES DE DISEÑO	
% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	55.00
% IGNIMBRITA (MENOR N°80)	1.00
% DEL FILLER	2.00

N° DE BRIQUETAS	GRUPO SATURADO			GRUPO SECO		
	1	2	3	4	5	6
- % C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.7					
- N DE GOLPES	26	26	26	26	26	26
D DIAMETRO mm	99.0	99.0	99.0	99.0	98.5	98.5
t ESPESOR mm	65.9	64.5	64.5	64.5	64.4	64.0
A PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1194.8	1194.0	1190.0	1195.1	1193.4	1197.3
B PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1196.5	1194.2	1190.2	1195.6	1193.9	1198.3
C PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	669.4	667.9	665.3	669.3	667.2	670.5
D PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
E VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	527.1	526.3	524.9	526.3	526.7	527.8
F PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.267	2.269	2.267	2.271	2.266	2.268
G PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041	2.440	2.440	2.440	2.440	2.440	2.440
H % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	7.10	7.02	7.09	6.94	7.14	7.03
I VOLUMEN DE VACIOS DE AIRE cm3	37.4	37.0	37.2	36.5	37.6	37.1

MUESTRA ACONDICIONADAS A VACIOS (5 - 10 MIN)						
N° DE BRIQUETAS	2	4	6	1	3	5
B' PESO DE LA BRIQUETA SSS AL AIRE gr	1221.5	1220.3	1218.0	<b>NO SE EJECUTA</b>		
J' VOLUMEN DE AGUA ABSORBIDA cm3	26.7	26.3	28.0			
s' GRADO DE SATURACION 70-80 %	71.3	71.2	75.3			

MUESTRA ACONDICIONADAS A CONGELAMIENTO Y SATURACION POR 16 Y 24 Hrs						
N° DE BRIQUETAS	2	4	6	1	3	5
t' ESPESOR cm	64.5	64.5	64.0	65.9	64.5	64.4
P CARGA TRACCION kgf	589.8	564.4	569.7	494.5	474.9	511.9
P CARGA TRACCION N	5784.0	5534.9	5586.8	4849.4	4657.2	5020.0
DAÑO POR HUMEDAD 0-5						
DIAMETRO mm	99.0	99.0	98.5	99.0	99.0	98.5
St ESFUERZO A LA TENSION Kpa	57.7	55.2	56.4	47.3	46.4	50.4
TSR ESFUERZO A LA TENSION PROMEDIO Kpa	56.4			48.0		
TSR RATIO DE RESISTENCIA A LA TRACCION %	85.2					

NOMBRE		
Thatiana del Pilar Murillo Luza		
		V° B° LABORATORIO
EJECUTADO POR		



**UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE LAS MEZCLAS ASFALTICAS - LOTTMAN MODIFICADO**  
**(NORMA MTC E 522, ASTM D 4867 y AASHTO T-283)**

<b>PROYECTO :</b>	Tesis "Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"		
<b>TESISTA :</b>	Thatiana del Pilar Murillo Luza		
<b>CANTERA :</b>	KM.19+000 Uchumayo - Arequipa	<b>FECHA :</b>	Jun-21
<b>ELEMENTO :</b>	Diseño Mezcla Modificado	<b>CA :</b>	85 / 100

PORCENTAJES DE DISEÑO	
% AGREGADO GRUESO	42.00
% AGREGADO FINO	53.00
% IGNIMBRITA (MENOR N°80)	3.00
% DEL FILLER	2.00

N° DE BRIQUETAS	GRUPO SATURADO			GRUPO SECO		
	1	2	3	4	5	6
- % C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.7					
- N DE GOLPES	60	60	60	60	60	60
D DIAMETRO mm	98.5	98.9	98.5	99.2	99.0	98.0
t ESPESOR mm	63.2	62.8	63.0	63.1	63.4	64.8
A PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr	1197.1	1198.5	1197.2	1196.2	1196.5	1197.1
B PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERF SECA AL AIRE gr	1198.1	1199.2	1198.2	1197.0	1196.9	1197.5
C PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA gr	676.5	677.4	676.8	675.7	676.3	675.5
D PESO DE AGUA ABSORBIDA gr	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
E VOLUMEN DE LA BRIQUETA cm3	521.6	521.8	521.4	521.3	520.6	522.0
F PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA gr/cm3 (10/16)	2.295	2.297	2.296	2.295	2.298	2.293
G PESO ESPECIFICO MAXIMO-ASTM D 2041	2.469	2.469	2.469	2.469	2.469	2.469
H % DE VACIOS (100*(18-17)/18)	7.03	6.96	6.99	7.05	6.90	7.10
I VOLUMEN DE VACIOS DE AIRE cm3	36.7	36.3	36.4	36.7	35.9	37.1

MUESTRA ACONDICIONADAS A VACIOS (5 - 10 MIN)						
N° DE BRIQUETAS	2	3	5	1	4	6
B' PESO DE LA BRIQUETA SSS AL AIRE gr	1225.7	1226.9	1227.9	<b>NO SE EJECUTA</b>		
J' VOLUMEN DE AGUA ABSORBIDA cm3	28.8	28.4	30.7			
s' GRADO DE SATURACION 70-80 %	78.0	78.2	84.3			

MUESTRA ACONDICIONADAS A CONGELAMIENTO Y SATURACION POR 16 Y 24 Hrs						
N° DE BRIQUETAS	2	3	6	1	4	5
t' ESPESOR cm	62.8	63.0	64.8	63.2	63.1	63.4
P CARGA TRACCION kgf	725.5	756.8	766.0	602.9	621.3	643.8
P CARGA TRACCION N	7114.7	7421.7	7511.9	5912.4	6092.9	6313.5
DAÑO POR HUMEDAD 0-5						
DIAMETRO mm	98.9	98.5	98.0	98.5	99.2	99.0
St ESFUERZO A LA TENSION Kpa	73.0	76.2	75.3	60.5	62.0	64.0
TSR ESFUERZO A LA TENSION PROMEDIO Kpa	74.8			62.2		
TSR RATIO DE RESISTENCIA A LA TRACCION %	83.1					

NOMBRE Thatiana del Pilar Murillo Luza 		
EJECUTADO POR		V° B° INGENIERO

## ANEXO 07. CERTIFICADOS DE CALIBRACION DE LOS EQUIPOS

**PyS**  
**EQUIPOS**

LABORATORIO DE METROLOGIA  
**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LTI-0144-2021**

Página 1 de 2

Solicitante : CONSLABERTT E.I.R.L.

Dirección : AV. MARISCAL CASTILLA NRO. 1227 URB. SANTA ROSA AREQUIPA - AREQUIPA - MARIANO MELGAR

Instrumento de Medición : BAÑO MARIA

Marca : PYS EQUIPOS

Modelo : STSY-3

Serie : 200305

Procedencia : China

Rango : 18° a 82°C

Tipo de Regulación : Analógico

Lugar de Calibración : Laboratorio de PYS EQUIPOS

Fecha de Calibración : 28-01-2021

Fecha de emisión : 28-01-2021

**Método de calibración empleado**  
La calibración se efectuó con patrones que tiene trazabilidad al SNM – INDECOPI

**OBSERVACIONES**

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO"
- La Medición se efectuó dos horas después que se encendió el equipo para la temperatura de trabajo de 30°C a 80°C bajo las condiciones especificadas en el ensayo. El baño de agua cumple con los límites especificados de temperatura.
- Se programó el controlador del equipo en diferentes temperaturas de trabajo de 30°C a 80°C
- La periodicidad de calibración dependen del uso, mantenimiento y conservación del equipo
- El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

Calle 4, Mz F1, Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31  
© Tell.: 485 3873, Cel.: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989  
E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe  
Web Page: www.pys.pe

**PyS**  
**EQUIPOS**  
VºBº

\*PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.\*

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Código del certificado

TF - 181 - 2020

Pág. 1 de 2

**Fecha de calibración:** 2020-12-22  
**Instrumento de medida:** CENTRÍFUGA  
**Marca:** ORION  
**Modelo:** CL-01  
**Serie N°:** 19030308  
**Intervalo de indicación:** 0,00 Hz a 60,00 Hz  
**Resolución:** 0,01 Hz  
**Tipo:** A S F  
**Código de Identificación:** No indica  
**Solicitante:** CONSLABERTT E.I.R.L.  
**Dirección solicitante:** Av. Mariscal Castilla Nro. 1227  
Urb. Santa Rosa, Mariano Melgar -  
Arequipa - Arequipa.  
**Expediente:** E3031-3945A-2020  
**Lugar de calibración:** Laboratorio de Tiempo y  
Frecuencia de LO JUSTO S.A.C.  
**Número de páginas:** 02 Pág.

Los datos del presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y son válidos solo para el instrumento u objeto calibrado, no pudiendo extender sus resultados a ninguna otra unidad o lote que no haya sido calibrado.

Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad.

Las frecuencias de calibración son determinadas por el usuario del instrumento. Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de LO JUSTO S.A.C.

LO JUSTO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

El certificado de calibración es un documento de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles de la materia. Sin perjuicio de lo señalado dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección del consumidor y las que regula la libre competencia.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del Gerente General o Gerente Técnico o Supervisor de Operaciones de LO JUSTO S.A.C. El documento tiene un sello de agua y holograma de seguridad.

Revisado:

Arequipa, 23 de Diciembre de 2020



  
José Luis Rosales Saavedra  
Supervisor de Control de Operaciones  
LO JUSTO S.A.C.





**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LL - 0***Área de Metrología  
Laboratorio de Longitud*

<b>1. Expediente</b>	210067	Este certificado documenta la trazabilidad de los patrones de medida con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>2. Solicitante</b>	<b>CONSLABERTT E.I.R.L.</b>	
<b>3. Dirección</b>	Av. Mariscal Castilla N° 1227 Urb. Santa Rosa, Mariano Melgar - Arequipa - AREQUIPA	Los resultados de esta calibración no se responsabilizan por el uso, mantenimiento o modificación de los instrumentos de medición o a reglamento.
<b>4. Instrumento de Medición</b>	<b>TRANSDUCTOR DE DESPLAZAMIENTO</b>	
<b>Alcance de Indicación</b>	0 mm a 25 mm	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza por el uso, mantenimiento o modificación de los instrumentos de medición o a reglamento.
<b>División de Escala / Resolución</b>	0,01 mm	
<b>Marca</b>	NOVOTECHNIK	Este certificado podrá ser reproducido sin la aprobación del laboratorio que emitió el mismo.
<b>Modelo</b>	TR-0025	
<b>Número de Serie</b>	183684/0054/A	El certificado de calibración y sello carece de validez si no es emitido por el laboratorio de metrología.
<b>Procedencia</b>	TURQUIA	
<b>Identificación</b>	NO INDICA	
<b>Tipo de Indicación</b>	DIGITAL	
<b>Fecha de Calibración</b>	2021-01-28	

**Fecha de Emisión****Jefe del Laboratorio de Metrología**

2021-02-05

Firmado digitalmente por  
Eleazar Cesar Chavez Rara  
Fecha: 2021.02.05 13:28:4  
-05'00'

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN LO JUSTO S.A.C.  
DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL  
**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

Código del certificado  
**TE-1406-2020**

Laboratorio de Temperatura

Pág. 1 de 6

Fecha de calibración: 2020-09-17

Instrumento de medida: Horno

Marca: A&A Instruments

Modelo: STHX-2A

Serie: 161164

Identificación: No indica

Tipo de Circulación: Ventilación Forzada

Temperaturas de Trabajo: 60 °C ; 100 °C

Intervalo del selector: -100 °C a 300 °C

Resolución del selector: 0,1 °C

Solicitante: ROBERTO CACERES FLORES  
S.R.L.

Dirección solicitante: Cal. El Palomar 107 Lote B-3B -  
Arequipa - Arequipa

Expediente N°: E1492-2340A-2020

Lugar de calibración: Laboratorio de Temperatura de  
LO JUSTO S.A.C.

Los datos del presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y son válidos sólo para el equipo u objeto calibrado, no pudiendo extender sus resultados a ninguna otra unidad o lote que no haya sido calibrado.

Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad. Este certificado de calibración es trazable a los patrones de referencia de INACAL.

Las frecuencias de calibración son determinadas por el usuario del equipo.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de LO JUSTO S.A.C.

LO JUSTO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

El certificado de Calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles de la materia. Sin perjuicio de lo señalado dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección del consumidor y las que regula la libre competencia.


El Certificado de calibración no es válido sin la firma del Gerente General, Gerente de Operaciones, Supervisor de Operaciones de LO JUSTO S.A.C y Responsable de Laboratorio. El documento tiene un sello de agua y holograma de seguridad.

**Procedimiento utilizado**

Se utilizó el método de comparación directa "PC-018 Procedimiento para calibración de medios isotermos con aire como medio termostático (SNM-INDECOPI) Edición 2", Lima - Perú.

Aprobación:

Arequipa, 19 de Setiembre de 2020

  
Pamela Diaz Reinoso  
Responsable Laboratorio de  
Temperatura y Humedad (E)

  
José Luis Rosales Saavedra  
Supervisor de Operaciones  
LO JUSTO S.A.C.



FT01-INRE/CC Ed. 3

Etiqueta de calibración N° 69106 / N° 004466

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN LO JUSTO S.A.C.  
DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL  
**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

Código del certificado  
**TE-1406-2020**

Laboratorio de Temperatura

Pág. 1 de 6

**Fecha de calibración:** 2020-09-17

**Instrumento de medida:** Horno

**Marca:** A&A Instruments

**Modelo:** STHX-2A

**Serie:** 161164

**Identificación:** No indica

**Tipo de Circulación:** Ventilación Forzada

**Temperaturas de Trabajo:** 60 °C ; 100 °C

**Intervalo del selector:** -100 °C a 300 °C

**Resolución del selector:** 0,1 °C

**Solicitante:** ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.

**Dirección solicitante:** Cal. El Palomar 107 Lote B-3B - Arequipa - Arequipa

**Expediente N°:** E1492-2340A-2020

**Lugar de calibración:** Laboratorio de Temperatura de LO JUSTO S.A.C.

Los datos del presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y son válidos solo para el equipo u objeto calibrado, no pudiendo extender sus resultados a ninguna otra unidad o lote que no haya sido calibrado.

Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad. Este certificado de calibración es trazable a los patrones de referencia de INACAL.

Las frecuencias de calibración son determinadas por el usuario del equipo.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de LO JUSTO S.A.C.

LO JUSTO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

El certificado de Calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles de la materia. Sin perjuicio de lo señalado dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección del consumidor y las que regula la libre competencia.

El Certificado de calibración no es válido sin la firma del Gerente General, Gerente de Operaciones, Supervisor de Operaciones de LO JUSTO S.A.C y Responsable de Laboratorio. El documento tiene un sello de agua y holograma de seguridad.

**Procedimiento utilizado**

Se utilizó el método de comparación directa "PC-018 Procedimiento para calibración de medios isotermos con aire como medio termostático (SNM-INDECOPI) Edición 2", Lima - Perú.

**Aprobación:**

Arequipa, 19 de Setiembre de 2020

  
Pamela Díaz Reinoso  
Responsable Laboratorio de Temperatura y Humedad (E)

  
José Luis Rosales Saavedra  
Supervisor de Operaciones  
LO JUSTO S.A.C.



FT01-INRECC Ed. 3

Etiqueta de calibración N° 69106 / N° 004466

Laboratorio de Temperatura

Código del certificado  
**TE-1406-2020**

Pág. 3 de 6

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**  
**60 °C**

Tiempo (min.)	T. ind. °C	Temperatura en las Posiciones de Medición (°C)											T. Prom. °C	Tmax-Tmin °C	
		Plano Superior					Plano Inferior					Plano Central			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12
0	60,0	59,8	60,4	60,2	59,5	59,0	58,4	59,0	58,3	60,5	59,6	--	--	59,6	2,2
2	60,0	59,8	60,3	60,2	59,6	58,9	58,4	59,9	58,3	60,4	59,5	--	--	59,5	2,1
4	60,0	59,9	60,5	60,3	59,4	59,1	58,5	59,9	58,4	60,6	59,7	--	--	59,6	2,2
6	60,0	60,0	60,5	60,4	59,4	59,1	58,5	60,0	58,4	60,6	59,6	--	--	59,6	2,2
8	60,0	60,0	60,6	60,3	59,4	59,1	58,5	60,0	58,4	60,6	59,6	--	--	59,6	2,4
10	60,0	59,9	60,6	60,4	59,6	59,0	58,5	60,0	58,2	60,5	59,6	--	--	59,6	2,3
12	59,9	59,9	60,6	60,3	59,5	59,1	58,4	60,0	58,4	60,6	59,7	--	--	59,5	2,2
14	59,9	59,9	60,5	60,3	59,3	58,9	58,3	59,9	58,5	60,4	59,6	--	--	59,5	2,2
16	59,9	59,9	60,4	60,2	59,4	59,0	58,4	59,9	58,4	60,4	59,6	--	--	59,6	2,0
18	59,9	59,9	60,5	60,3	59,3	59,0	58,4	59,9	58,1	60,4	59,6	--	--	59,5	2,3
20	59,9	59,8	60,4	60,1	59,4	58,8	58,3	59,8	58,4	60,3	59,5	--	--	59,5	2,1
22	59,9	59,8	60,4	60,2	59,4	58,9	58,3	59,8	58,3	60,3	59,5	--	--	59,5	2,2
24	60,0	59,8	60,5	60,2	59,2	59,0	58,4	59,8	58,3	60,4	59,5	--	--	59,5	2,2
26	60,0	59,8	60,5	60,2	59,2	58,9	58,4	59,8	58,3	60,3	59,5	--	--	59,5	2,2
28	60,0	59,8	60,5	60,3	59,4	58,9	58,4	59,8	58,5	60,4	59,5	--	--	59,6	2,2
30	60,0	59,8	60,5	60,2	59,4	59,0	58,4	60,0	58,4	60,5	59,6	--	--	59,6	2,2
32	60,0	59,9	60,6	60,4	59,4	59,0	58,4	60,0	58,4	60,6	59,7	--	--	59,6	2,2
34	60,0	59,9	60,4	60,3	59,6	59,0	58,5	59,9	58,2	60,5	59,6	--	--	59,6	2,2
36	60,0	60,0	60,5	60,4	59,6	59,1	58,4	59,9	58,5	60,5	59,7	--	--	59,7	2,1
38	60,0	59,9	60,6	60,4	59,6	58,9	58,3	59,9	58,3	60,5	59,6	--	--	59,6	2,3
40	60,0	59,8	60,6	60,3	59,4	59,0	58,4	59,9	58,3	60,5	59,6	--	--	59,6	2,3
42	60,1	59,9	60,5	60,4	59,4	59,0	58,4	59,9	58,4	60,5	59,6	--	--	59,6	2,1
44	60,1	59,8	60,5	60,3	59,2	58,9	58,4	59,8	58,2	60,4	59,6	--	--	59,5	2,3
46	60,1	59,8	60,4	60,2	59,4	58,9	58,4	59,9	58,3	60,4	59,6	--	--	59,5	2,1
48	60,0	59,9	60,5	60,3	59,2	59,0	58,4	59,9	58,3	60,5	59,6	--	--	59,5	2,2
50	60,0	59,9	60,6	60,3	59,3	59,0	58,4	59,9	58,4	60,4	59,6	--	--	59,6	2,2
52	60,0	59,8	60,4	60,2	59,2	59,0	58,4	59,9	58,4	60,5	59,6	--	--	59,5	2,0
54	60,0	59,9	60,5	60,2	59,5	58,9	58,4	59,8	58,2	60,5	59,6	--	--	59,6	2,2
56	60,0	59,9	60,6	60,3	59,5	58,9	58,4	59,9	58,4	60,5	59,6	--	--	59,6	2,2
58	60,0	59,8	60,5	60,3	59,4	58,9	58,4	59,9	58,4	60,4	59,6	--	--	59,6	2,1
60	60,0	59,8	60,6	60,2	59,5	58,9	58,4	59,9	58,3	60,5	59,6	--	--	59,6	2,3
T. PROM	60,0	59,9	60,5	60,3	59,4	59,0	58,4	59,9	58,3	60,5	59,6	--	--	59,6	
T. MAX	60,1	60,0	60,6	60,4	59,6	59,1	58,5	60,0	58,5	60,6	59,7	--	--	60,6	
T. MIN	59,9	59,8	60,3	60,1	59,2	58,8	58,3	59,8	58,1	60,3	59,5	--	--	59,5	
DET	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	--	--	0,2	

Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	60,6	0,2
Mínima Temperatura Medida	58,1	0,2
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,4	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	2,2	0,1
Estabilidad Medida (±)	0,2	0,1
Uniformidad Medida	2,4	0,1
Selector del equipo	60,0	

T. PROM Promedio de la temperatura en un solo punto de medición (dentro del tiempo de calibración).  
 T. PROM Promedio de las temperaturas en los diez puntos de medición para un instante dado.  
 T. MAX Temperatura máxima.  
 T. MIN Temperatura mínima.  
 DET Desviación de la temperatura en el tiempo.

Laboratorio de Temperatura

Código del certificado

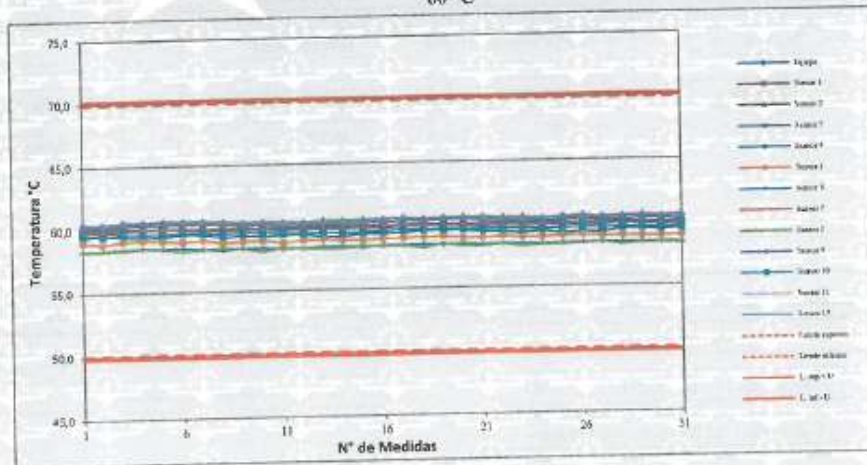
TE-1406-2020

Fig 4 de 6

Foto de distribución de los sensores de temperatura y carga durante la calibración



GRAFICOS DE LA CALIBRACIÓN  
60 °C



LO JUSTO S.A.C  
2020-09-19

Código del certificado

TE-1406-2020

Laboratorio de Temperatura

Pág. 5 de 6

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**  
**100 °C**

Tiempo (min.)	T. Ref. °C	Temperatura en las Posiciones de Medición (°C)												T. Prom. °C	Max-Min °C
		Plano Superior					Plano Inferior					Plano Central			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
0	100,0	100,1	103,9	100,9	100,1	98,4	97,8	100,0	96,2	101,0	101,6	--	--	100,0	7,7
2	100,0	99,9	104,0	100,9	99,8	98,1	97,8	99,8	96,4	100,7	101,4	--	--	99,9	7,6
4	100,0	99,9	103,3	100,9	99,9	98,1	97,8	99,8	96,0	100,9	101,2	--	--	99,8	7,3
6	100,1	99,8	103,3	100,8	99,9	98,2	97,7	99,6	96,2	100,6	101,1	--	--	99,7	7,1
8	100,1	99,9	103,6	100,8	99,5	97,9	97,7	99,7	96,1	100,7	101,1	--	--	99,7	7,6
10	100,1	99,9	103,4	100,8	99,3	98,0	97,7	99,7	96,0	100,8	100,8	--	--	99,6	7,4
12	100,1	99,9	103,7	100,6	99,6	98,0	97,6	99,7	96,3	100,8	101,0	--	--	99,7	7,3
14	100,1	99,9	103,9	100,9	99,7	98,0	97,6	99,9	96,2	100,7	101,6	--	--	99,8	7,7
16	100,1	99,9	103,3	100,9	100,0	98,2	97,8	99,8	96,2	100,9	101,2	--	--	99,8	7,1
18	100,0	100,0	103,6	101,0	99,9	98,4	97,7	99,9	96,0	101,0	101,0	--	--	99,8	7,6
20	100,0	100,1	103,9	100,9	100,1	98,3	98,0	100,1	96,1	101,2	101,4	--	--	100,0	7,8
22	100,0	100,1	103,6	100,9	100,3	98,3	97,7	99,9	96,1	101,1	101,4	--	--	100,0	7,5
24	100,0	100,1	103,6	101,2	99,8	98,4	97,8	100,1	96,4	101,2	101,3	--	--	100,0	7,1
26	100,0	100,1	103,9	100,9	99,9	98,5	97,9	100,1	96,5	101,1	101,6	--	--	100,0	7,4
28	100,0	100,1	103,7	100,8	99,9	98,1	97,7	99,9	96,5	101,0	101,2	--	--	99,9	7,1
30	100,0	99,8	103,2	101,0	100,0	98,1	97,7	99,8	96,1	100,8	101,0	--	--	99,8	7,1
32	100,0	99,8	103,2	100,8	99,8	98,0	97,7	99,7	96,2	100,7	100,8	--	--	99,7	7,0
34	100,0	99,8	103,5	100,6	99,8	98,0	97,5	99,7	96,1	100,8	101,0	--	--	99,7	7,3
36	99,9	99,9	103,5	100,7	99,8	98,2	97,5	99,7	96,1	100,8	100,9	--	--	99,7	7,4
38	99,9	99,9	103,3	100,7	100,0	98,0	97,5	99,8	96,4	100,8	101,1	--	--	99,8	6,9
40	99,9	100,0	103,6	100,6	99,1	98,1	97,7	99,9	96,3	100,8	100,9	--	--	99,7	7,3
42	99,9	99,9	103,3	100,9	100,0	98,3	97,8	99,8	96,2	100,8	101,1	--	--	99,8	7,1
44	99,9	99,9	103,7	100,9	100,1	98,1	97,7	99,8	96,3	100,8	101,0	--	--	99,8	7,4
46	100,0	100,0	103,7	100,9	99,9	98,2	97,9	100,0	96,5	100,8	100,8	--	--	99,9	7,3
48	100,0	100,1	103,5	101,0	100,1	98,1	97,7	100,0	96,2	100,9	101,2	--	--	99,9	7,2
50	100,0	100,2	103,5	101,2	100,1	98,4	97,8	100,1	96,1	101,0	101,4	--	--	100,0	7,4
52	100,0	100,0	103,6	100,9	99,7	98,2	97,8	100,1	96,2	101,0	101,2	--	--	99,9	7,3
54	100,0	100,1	103,6	100,7	99,6	98,4	97,9	100,2	96,6	100,8	101,2	--	--	99,9	7,0
56	100,0	100,1	103,8	100,9	100,0	98,4	97,8	100,1	96,4	100,8	101,5	--	--	100,0	7,4
58	100,0	99,9	103,5	100,7	99,9	98,4	97,7	100,0	96,6	100,7	100,8	--	--	99,8	7,0
60	100,0	99,8	103,3	100,7	99,9	98,3	97,7	99,9	96,6	100,6	101,1	--	--	99,8	6,7
T. PROM	100,0	100,0	103,6	100,9	99,9	98,2	97,7	99,9	96,3	100,9	101,2	--	--	<b>99,8</b>	
T. MAX	100,1	100,2	104,0	101,2	100,3	98,5	98,0	100,2	96,6	101,2	101,6	--	--		
T. MIN	99,9	99,8	103,2	100,6	99,1	97,9	97,5	99,6	96,0	100,6	100,8	--	--		
DTT	0,2	0,4	0,8	0,7	1,7	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	--	--		

Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	104,0	0,3
Mínima Temperatura Medida	96,0	0,2
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1,2	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	7,3	0,1
Estabilidad Medida (±)	0,6	0,1
Uniformidad Medida	7,8	0,1
Selector del equipo	<b>100,0</b>	

T. PROM Promedio de la temperatura en un solo punto de medición durante el tiempo de calibración.  
T. PROM Promedio de las temperaturas en los diez puntos de medición para un instante dado.  
T. MAX Temperatura máxima.  
T. MIN Temperatura mínima.  
DTT Desviación de la temperatura en el tiempo.

Laboratorio de Temperatura

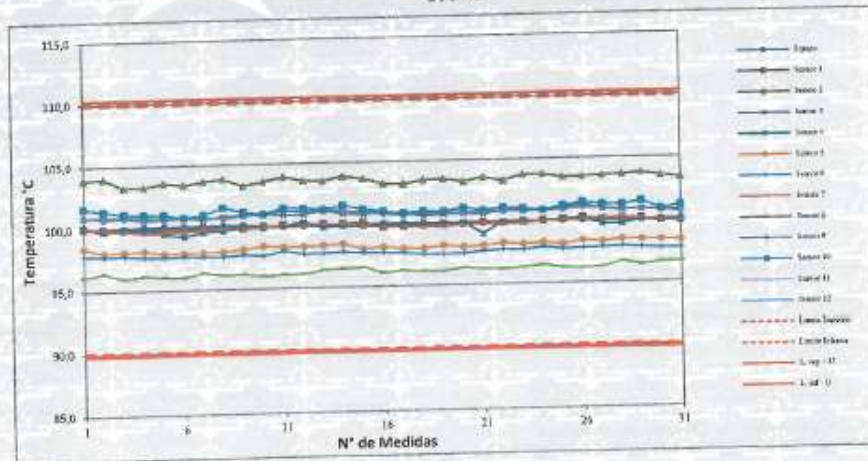
Código del certificado  
**TE-1406-2020**

Pág 5 de 6

Foto de distribución de los sensores de temperatura y carga durante la calibración



GRAFICOS DE LA CALIBRACIÓN  
100 °C



\*\* FIN DEL DOCUMENTO \*\*

LO JUSTO S.A.C.  
2020-09-19

# Certificado de Calibración

CALIBRATION CERTIFICATE

Laboratorio Temperatura Código N° E1448-2250A-2021-1  
 Laboratory Temperature Code N°


ISO / IEC 17025

Estos resultados están relacionados únicamente con el ítem descrito en este certificado. [These results are only related to the item described in this certificate.]

Es responsabilidad del cliente establecer la frecuencia de calibración de su instrumento, de acuerdo a sus propios usos y exigencias. [It is the customer's responsibility to establish the calibration frequency of their instrument, according to their own uses and requirements.]

LO JUSTO SAC, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado del instrumento aquí descrito o de este documento. [LO JUSTO S.A.C. is not responsible for any damage that may be caused by the incorrect or inappropriate use of the instrument described here or of this document.]

Este certificado se emite de manera electrónica. Si existe alguna duda, en la veracidad del presente certificado, por favor escribir a: [consultaCertificados@lojustosac.com](mailto:consultaCertificados@lojustosac.com) (es imprescindible adjuntar una imagen del certificado). [This certificate is issued electronically. If there is any doubt, in the veracity of this certificate, please write to: [consultaCertificados@lojustosac.com](mailto:consultaCertificados@lojustosac.com) (it is essential to attach an image of the certificate).]

- |   |   |
|---|---|
| a. Solicitante:<br><i>Applicant</i>                           | <b>ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.</b>  |
| b. Dirección solicitante:<br><i>Applicant address</i>         | Cal. El Palomar 107 Lote. B-3B Arequipa - Arequipa - Arequipa   |
| c. Instrumento de medida:<br><i>Measuring instrument</i>      | Termómetro Digital  |
| d. Marca:<br><i>Manufacturer / Brand</i>                      | Control Company   |
| e. Modelo:<br><i>Model:</i>                                   | 4353  |
| f. Número de serie:<br><i>Serial Number:</i>                  | 170691603   |
| g. Identificación:<br><i>Internal code</i>                    | Eq.341  |
| h. Lugar de calibración:<br><i>Calibration Place</i>          | Laboratorio de Temperatura<br>LO JUSTO S.A.C.   |
| i. Fecha de calibración:<br><i>Calibration Date</i>           | 2021-07-05  |
| j. Supervisor de Laboratorio:<br><i>Laboratory Supervisor</i> | Díaz Reinoso, Pamela Stefanny<br>Supervisor de Laboratorio<br>Laboratory Supervisor   |
| k. Signatario autorizado:<br><i>Authorized signatory</i>      |  José Luis Rosales Saavedra<br>LO JUSTO S.A.C.<br>Supervisor de Operaciones<br><a href="mailto:controloperaciones@lojusto.com">controloperaciones@lojusto.com</a><br>Fecha: 07/07/2021 08:43<br>Firmado por: <a href="http://www.lojusto.pe">www.lojusto.pe</a> |

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de LO JUSTO S.A.C.  
 Certificados sin firma digital carecen de validez.

FT00-INRE-Edición digital 00



Laboratorio Temperatura Código N° E1448-2250A-2021-1  
 Laboratory Temperature Code N°

**1 Información del instrumento:**

*Instrument Information:*

- 1.1 Intervalo de medición: -50 °C a 300 °C
- 1.2 Resolución: 0,1 °C
- 1.3 Sensor
  - Tipo: Termistor
  - Profundidad de Inmersión: 27 cm aprox.
- 1.4 Etiqueta de Calibración: 79491 y 010496

**2 Trazabilidad :**

*Traceability :*

Trazabilidad	Patrón empleado	Certificado de Calibración
LO JUSTO S.A.C.	Termómetro digital	TE-1400-2020

**3 Instrumentos auxiliares :**

*Instruments auxiliary :*

- Medio de temperatura controlada código LT-I-087; LT-I-088; LT-I-088.
- Registrador de condiciones ambientales código LT-I-100 .

**4 Procedimiento de calibración:**

*Calibration procedure:*

TH-001 Procedimiento para la calibración de termómetros digitales, Edición Digital 2 "CEM España" - (Método de comparación en medios isotermos de temperatura controlada) - 2019.

**5 Condiciones Ambientales:**

*Environmental conditions:*

Temperatura Ambiental:	21,2 °C
Humedad Relativa:	38,5 %HR

**6 Resultados de Calibración**

*Results of Calibration*

Temperatura Conv. Verdadera °C	Indicación del Termómetro °C	Corrección °C	Incertidumbre expandida °C
20,00	19,7	0,30	0,08
30,00	29,6	0,40	0,08
80,00	59,6	0,40	0,08
110,00	109,7	0,30	0,08
140,00	139,7	0,30	0,08

**Diagrama de Resultados:**

*Results Diagram*

\*\*\* Sin Diagrama de Resultados\*\*\*

Laboratorio	Temperatura	Código N°	E1448-2250A-2021-1
Laboratory	Temperature	Code N°	

**7 Notas y aclaraciones:***Notes and clarifications:*

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$  que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95 %.

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:  
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

**8 Observaciones y comentarios:***Observations and comments*

\*\*\* Sin Observaciones \*\*\*

\*\* FIN DEL DOCUMENTO \*\*

## ANEXO 08. TURNITIN

Feedback Studio - Google Chrome  
es.tumdn.com/app/carta/es/?s=1&lang=es&en=1117111343&student\_user=1&oc=1571922188

feedback studio THATIANA DEL PILAR MURILLO LUZA P1-TMURILLO-2021-UCV.V3 turnitin1 .docx

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

"Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021"

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL**

**AUTOR:**  
Murillo Luza, Thátiana del Pilar  
<https://orcid.org/0000-0003-0815-0506>

**ASESOR:**  
Dr. Ing. Vargas Chacallana, Luis Alberto  
<https://orcid.org/0000-0002-4136-7189>

**Resumen de coincidencias**

**24 %**

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

**Coincidencias**

Número	Fuente	Porcentaje
1	repositorio.urp.edu.pe Fuente de internet	4 %
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de internet	2 %
3	Entregado a Universidad... Trabajo del estudiante	1 %
4	Entregado a Universidad... Trabajo del estudiante	1 %
5	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de internet	1 %
6	Entregado a Universidad... Trabajo del estudiante	1 %
7	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de internet	1 %
8	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de internet	1 %
9	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de internet	1 %
10	Entregado a Universidad... Trabajo del estudiante	1 %

Página: 1 de 91    Número de palabras: 17017    Versión solo texto del informe    Alta resolución    Activado

P1-TMURILLO-2021.pdf    Cargado    Mostrar todo

19°C Soleado    ESP 10:34 a. m. LAA 13/07/2021

## ANEXO 09. PANEL DE FOTOGRAFIA

### CARACTERIZACION DE LA IGNIMBRITA

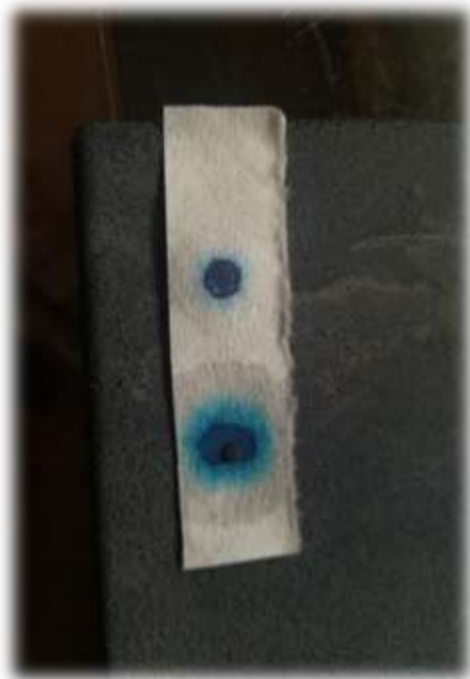




## CARACTERIZACION DE AGREGADOS PETREOS









## DISEÑO MARSHALL PARA MEZCLA ASFALTICA





## ENSAYO TRACCION INDIRECTA



## ANEXO 10. INFORME

01

GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES SUB GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA	
<b>RECIBIDO</b>	
21 MAYO 2021	
Registro:	Firma: 
Hora: 9:30	Folios: 01

**SOLICITO: Autorización de laboratorio  
para realizar Ensayos.**

**SEÑOR:**

**Ing. Dan Galicia Fernandez**

**SUB GERENTE DE INFRAESTRUCTURA DE LA GERENCIA DE  
TRANSPORTES Y COMUNICACIONES**

De mi distinguida consideración:

**MURILLO LUZA THATIANA DEL PILAR** identificado con DNI. N° 73536294 con domicilio legal en Calle Piura N°803 - Mariano Melgar, ante usted con el debido respeto me presento y expongo:

Que, actualmente me encuentro elaborando el proyecto de tesis en la Universidad Cesar Vallejo denominado: "**Propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente modificado con residuos de ignimbrita para vías de alto tránsito, Arequipa 2021**", solicito a Ud. Autorización de laboratorio para realizar ensayos con el fin de optar el grado de Ingeniero Civil.

Sin otro particular, ruego a usted acceder a mi solicitud.


Arequipa, 20 de mayo del 2021



**THATIANA DEL PILAR MURILLO LUZA**

DNI N°73536294

Doc.: 03729217  
Exp.: 02446787

SUB GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA	
PARA: <i>Laboratorio</i>	
<i>Ensayos</i>	
PARA: <i>Autorización</i>	
<i>de laboratorio</i>	
20/05/2021	
FECHA:	