

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente
con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral.**

Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil.

Autor

Rosales Lecca, Joan Gerardo

Asesor

Urrutia Vargas, Segundo Milquisider

CHIMBOTE – PERU

2019

Palabras claves:

Tema	Resistencia a la deformación de mezclas asfálticas en caliente
Especialidad	Pavimentos

Keywords

Topic	Resistance to deformation of hot mix asphalt
Especialidad	Pavements

Líneas de investigación

Programa	Ingeniería Civil.
Línea de investigación	Transporte.
OCDE	Ingeniería y tecnología Ingeniería civil. Ingeniería del transporte.
Campo de investigación	Pavimentos.

**RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE UNA
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICIÓN
DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBÓN MINERAL.**

RESUMEN

El propósito de la investigación fue determinar la resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral con respecto al peso de la mezcla, utilizando agregados de la cantera Rubén, carbón mineral de la mina Santa Cristina. Ubicado en el Centro Poblado de Ancos distrito de Santa Rosa - Ancash, y un tipo de cemento asfáltico PEN 60/70.

Se obtuvo la pérdida de masa y calorimetría mediante el Análisis Térmico lográndose determinar la temperatura de calcinación del polvo de carbón mineral a 700°C. También se realizó el análisis de Fluorescencia de Rayos X dispersiva en energía, teniendo resultados en óxidos como Al_2O_3 , SiO_2 , SO_3 , los más abundantes y CaO , V_2O_5 , Fe_2O_3 , Ni_2O_3 , SrO , TiO_2 , P_2O_5 , ClO_2 en menor concentración. Se realizó ensayos para conocer sus propiedades químicas, físicas y mecánicas de los agregados, con el fin de evaluar la resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente, se usó el método Marshall con un total de 24 briquetas de concreto asfáltico, considerando cuatro porcentajes de asfalto de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% obteniendo un diseño óptimo de asfalto de 5.01% en el diseño convencional y 5.10% con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral, logrando obtener una mayor resistencia a la carga de tránsito y una menor deformación en la carpeta asfáltica del pavimento, demostrando que la adición puede ser usada en la construcción de carreteras, brindando a la población pavimentos con mayor resistencia.

ABSTRACT

The purpose of the investigation was to determine the resistance to deformation of a hot asphalt mixture with the addition of 10% by ash of mineral coal with respect to the weight of the mixture, using aggregates from the Rubén quarry, coal from the mine Santa Cristina Located in the Town Center of Ancos District of Santa Rosa - Ancash, and a type of asphalt cement PEN 60/70.

The loss of mass and calorimetric was obtained by means of the Thermal Analysis, being able to determine the calcination temperature of the mineral coal dust at 700C °. The energy dispersive X-ray fluorescence analysis was also carried out, having results in oxides such as Al₂O₃, SiO₂, SO₃, the most abundant and CaO, V₂O₅, Fe₂O₃, Ni₂O₃, SrO, TiO₂, P₂O₅, ClO₂ in lower concentration. Tests were carried out to know their chemical, physical and mechanical properties of the aggregates, in order to evaluate the resistance to deformation of a hot asphalt mixture, the Marshall method was used with a total of 24 asphalt concrete briquettes, considering four asphalt percentages of 4%, 4.5%, 5%, 5.5% obtaining an optimum asphalt design of 5.01% in the conventional design and 5.10% with the addition of 10% by coal mineral ash, achieving greater resistance to the traffic load and less deformation in the asphalt pavement, demonstrating that the addition can be used in road construction,

Índice general

Contenido

Palabras claves	i
Título	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice	v
I). Introducción	1
II). Metodología	27
III). Resultados	34
IV). Análisis y discusión	61
V). Conclusiones y Recomendaciones	65
VI). Agradecimientos	67
VII). Referencias bibliográficas	68
VIII). Anexos y apéndices	71

Lista de tablas

Tabla 01. Composición química del asfalto	7
Tabla 02. Requisitos para los agregados gruesos	10
Tabla 03. Requisitos para los agregados finos	11
Tabla 04. Requisitos para relleno mineral	11
Tabla 05. Selección del tipo de cemento asfáltico	12
Tabla 06. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento	13
Tabla 07. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso	14
Tabla 08. Vacíos mínimos en el agregado mineral (V.M.A)	15
Tabla 09. Comparación carbón -petróleo	19
Tabla 10. Clasificación del carbón mineral según ASTM D388-12	20
Tabla 11. Composición química según microscopía electrónica de barrido	21
Tabla 12. Clasificación de las cenizas de carbón mineral	22
Tabla 13. Producción mineral no metálica, según región-2017(toneladas métricas)	23
Tabla 14. Operacionalización de variables	25
Tabla 15. Análisis de fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (FRXDE)	35
Tabla 16. Granulometría piedra chancada	36
Tabla 17. Peso unitario suelto	37
Tabla 18. Peso unitario compactado	37
Tabla 19. Contenido de humedad	37
Tabla 20. Índice de aplanamiento	38
Tabla 21. Índice de alargamiento	38
Tabla 22. Análisis químico	39
Tabla 23. Durabilidad al sulfato de sodio o sulfato de magnesio	39
Tabla 24. Cubrimiento de los agregados con material asfáltico (Stripping)	39

Tabla 25. Granulometría arena gruesa	39
Tabla 26. Peso unitario suelto	40
Tabla 27. Peso unitario compactado	40
Tabla 28. Contenido de humedad	40
Tabla 29. Equivalente de arena	41
Tabla 30. Sales solubles totales agregado fino.	41
Tabla 31. Adhesividad a los ligantes bituminosos (Riedel Weber)	41
Tabla 32. Limite líquido y limite plástico por la malla N°200	42
Tabla 33. Limite líquido y limite plástico por la malla N°40	43
Tabla 34. Análisis granulométrico por tamizado-ASTM D-422	44
Tabla 35. Dosificación de agregados	45
Tabla 36. Materiales para la mezcla en gramos	45
Tabla 37. Caracterización del ensayo Marshall Patrón	47
Tabla 38. Dosificación de agregados	48
Tabla 39. Materiales para la mezcla en gramos	48
Tabla 40. Caracterización del ensayo Marshall experimental 10%	50
Tabla 41. Peso unitario diseño patrón y experimental 10%	51
Tabla 42. Vacíos en aire diseño patrón y experimental 10%	51
Tabla 43. Estabilidad diseño patrón y experimental 10%	52
Tabla 44. Vacíos en el agregado mineral diseño patrón y experimental 10%	53
Tabla 45. Flujo diseño patrón y experimental 10%	53
Tabla 46. Vacíos llenos de C.A diseño patrón y experimental 10%	54
Tabla 47. Resistencia a la deformación-briquetas patrón 4.00%	55
Tabla 48. Resistencia a la deformación-briquetas patrón 4.50%	55
Tabla 49. Resistencia a la deformación-briquetas patrón 5.00%	55
Tabla 50. Resistencia a la deformación-briquetas patrón 5.50%	55
Tabla 51. Resumen Resistencia a la deformación briquetas patrón	56

Tabla 52. Resistencia a la deformación-briquetas experimental 4.00%	56
Tabla 53. Resistencia a la deformación-briquetas experimental 4.50%	57
Tabla 54. Resistencia a la deformación-briquetas experimental 5.00%	57
Tabla 55. Resistencia a la deformación-briquetas experimental 5.50%	57
Tabla 56. Resumen resistencia a la deformación briquetas experimental 10%	57
Tabla 57. Resistencia a la deformación promedio de briquetas patrón y experimental 10%	58
Tabla 58. Resistencia a la deformación de briquetas con adición de un porcentaje de ceniza de carbón mineral según porcentaje de asfalto	59
Tabla 59. Calculo de la prueba Anova	60

Lista de graficas

Grafico 01. Curva de pérdida de masa-análisis termo gravimétrico	34
Grafico 02. Curva calorimétrica DS	35
Grafico 03. Curva granulométrica agregado grueso	36
Grafico 04. Curva granulométrica arena gruesa	40
Grafico 05. Limite líquido y limite plástico malla N° 200	42
Grafico 06. Limite líquido y limite plástico malla N° 40	43
Grafico 07. Peso unitario ensayo Marshall patrón	45
Grafico 08. % de vacíos ensayo Marshall patrón	46
Grafico 09. Estabilidad ensayo Marshall patrón	46
Grafico 10. Vacios en el agregado mineral	46
Grafico 11. Flujo Marshall	47
Grafico 12. % de vacíos llenos de asfalto	47
Grafico 13. Peso unitario ensayo Marshall experimental.	48
Grafico 14. % de vacíos ensayo Marshall experimental	49
Grafico 15. Estabilidad Marshall experimental	49

Grafico 16. Vacíos en el agregado mineral	49
Grafico 17. Flujo Marshall experimental	50
Grafico 18. %de vacíos llenos de asfalto	50
Grafico 19. Peso unitario patrón Vs experimental	51
Grafico 20. % vacíos Patrón Vs experimental	52
Grafico 21. Estabilidad Marshall patrón Vs experimental	52
Grafico 22. Vacíos en el agregado mineral patrón Vs experimental	53
Grafico 23. Flujo Marshall patrón Vs experimental	54
Grafico 24. Vacíos llenos con asfalto patrón Vs experimental	54
Grafico 25. Resistencia a la deformación Vs C.A diseño patrón	56
Grafico 26. Resistencia a la deformación Vs C.A diseño experimental	58
Grafico 27. Resistencia a la deformación Patrón Vs experimental 10%	58
Grafico 28. Resistencia a la deformación patrón Vs experimental (curva)	59

Lista de figuras

Figura 01. Produccion del asfalto de petróleo	6
Figura 02. Microscopia electrónica de barrido (SEM)	21
Figura 03. Cantidad de briquetas para la investigación	27

I: INTRODUCCION

De los antecedentes encontrados se ha abordado algunos trabajos relevantes a esta investigación, como el de Albarrán y Henríquez (2014) estudiaron el comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con la incorporación de coque calcinado como materia prima para su uso en capas distintas a la de rodamiento en pavimentos flexibles. Esta investigación se llevó a cabo mediante un estudio de tipo experimental debido que realizo un ensayo de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de coque calcinado en un 15% respecto al peso de la mezcla, la cual utilizo dosificaciones entre 4.00% y 6.00% de porcentaje de asfalto realizando tres briquetas por cada porcentaje de asfalto tanto en diseño convencional como en la incorporación de coque calcinado, se realizaron ensayos para caracterizar las propiedades de los materiales utilizados de acuerdo a procedimientos y especificaciones indicados con su norma respectiva.

Mediante el ensayo Marshall se obtuvo el porcentaje óptimo de asfalto de 4.98% para el diseño convencional y 5.39% para el diseño modificado, se puede concluir:

Que solo la estabilidad Marshall hubo un cambio y el resto no hubo cambios favorables:

El agregado coque calcinado cumple con los parámetros establecidos por las normas para su utilización como agregado pétreo en mezclas asfálticas en caliente.

Por otro punto en la investigación de Peña (2011), en un estudio a nivel de laboratorio midió la pérdida de peso de un gramo de cenizas de carbón mineral calcinado a una temperatura de 750°C durante 2 horas, de acuerdo con las normas ASTM D-5142-09 en equipo automático y ASTM D3174-04 en mufla. Para llevar a cabo se realizó la reducción del tamaño de partículas, tamizado en la malla 200 y cuarteado hasta obtener una pequeña cantidad de muestra haciendo homogénea las partículas.

Obteniendo la composición química de las cenizas de carbón mineral, compuestas principalmente por óxidos mayores que se clasifican en óxidos básicos (Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O y K_2O), óxidos ácidos (SiO_2 , Al_2O_3 y TiO) y otros óxidos (SO_3 y P_2O), y los más típicos son el potasio, magnesio, sodio y el titanio y algunas veces fósforo, bario, estroncio, boro y otros, dependiendo de la zona geológica.

Así mismo se revisó la investigación de Martínez, Andreoni y Poncini. (2001), evaluaron las posibilidades de reutilización de un residuo industrial, producto de la calcinación incompleta de carbón mineral en usinas de generación eléctrica, denominado ceniza volante, como relleno en mezclas asfálticas y agente estabilizante de suelos. La metodología del estudio comprendió la evaluación de la ceniza volante como agente modificador de la resistencia al envejecimiento del asfalto durante la elaboración de la mezcla en planta, colocación in situ y la valoración de la aptitud de este producto para actuar como agente estabilizante de suelos cuantificada a partir de distintos ensayos de resistencia, de caracterización elástica, de su comportamiento a la fatiga y de su deformación permanente, con el fin de determinar contenidos recomendados y campo de aplicación. Concluyendo que:

Se debe tener en cuenta que, deben cumplir los criterios de diseño de acuerdo con las especificaciones y técnicas de construcción de carreteras, además de evaluar la resistencia a la deformación en la mezcla asfáltica, ya que depende de la estabilidad y el flujo.

También se revisó la investigación de Reyes, Troncoso y Camacho (2006), El propósito de la investigación consistió en determinar la incidencia de reemplazar el llenante mineral por cenizas volantes de carbón mineral en la deformación permanente y las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica con granulometría 0/10 y asfalto CAP 60/70. Inicialmente se realizó la caracterización del material granular, cenizas volantes y asfalto. Se determinó el porcentaje óptimo de asfalto mediante el procedimiento Marshall, valor con el cual se construyeron las muestras para los ensayos mecánicos y de ahuellamiento con reemplazo de llenante mineral por ceniza volante. Se utilizaron diferentes porcentajes de reemplazo de llenante mineral por ceniza volante entre el 15% y el 100%. Entre los resultados obtenidos se

determinó un incremento de la resistencia del 19% para un reemplazo del 20%. La deformación permanente disminuyó 10% y 38% para el reemplazo de 20% y 45%, respectivamente. Adicionalmente, se evaluó la rigidez Marshall y la velocidad de deformación y se obtuvo un porcentaje de adición favorable de ceniza volante de 25% con respecto al peso del llenante mineral concluyendo que.

En cuanto a la evaluación de la estabilidad al reemplazar el llenante mineral por ceniza de carbón en los porcentajes de 0%,15%, 20%, 25%, 30%, 45%, 60%, 75%, 90% y 100%. Se observa el mejor comportamiento de la ceniza volante en los porcentajes de reemplazo por llenante mineral de 20% y 25%.Existe de igual forma un descenso relativo de la estabilidad a partir de un porcentaje del 45%, presentándose cambios aleatorios poco confiables en el momento del reemplazo del material.

En la investigación de Pérez (2012), estudia el efecto que produce la adición de cenizas de carbón mineral en un suelo arcilloso, con el fin de evaluar en sus obras de pavimentación. La ceniza volante es un residuo que proviene de la planta Termoeléctrica ubicada en Ilo, Moquegua. Se comprueba que la mezcla de ceniza volante de carbón mineral con el suelo arcilloso en estudio, como también la adición de cemento, presenta un mejor comportamiento que el suelo puro para su empleo como capa de sub-base y sub-rasante mejorada de pavimentos. Se examinó factores como; tiempo de curado, tiempo de compactación, contenido de agua y otros factores que influyen en el comportamiento de la mezcla final. La investigación concluye que existe viabilidad técnica y económica para la construcción de pavimentos empleando cenizas volantes de carbón mineral como material estabilizador de suelos.

Así mismo se revisó la investigación de Damián y Moreno (2015), estudiaron el efecto de la ceniza de escama de pescado en la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente, se realizaron ensayos para obtener las características de los agregados, como para la mezcla convencional y experimental utilizaron el método Marshall, con porcentajes de ceniza de escama de pescado las cuales fueron de 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% con cemento asfáltico PEN 60/70, con porcentajes de asfalto de 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%.

Realizaron ensayos de acuerdo al manual de carreteras – especificaciones técnicas Generales para la construcción (EG-2013), Utilizo dos especies marinas, el coco y la anchoveta se obtuvieron las escamas de pescado del mercado la sirena Chimbote llegando a las siguientes conclusiones.

Se obtuvo la temperatura de calcinación de 800°C por 2 horas.

Determino que la mezcla asfáltica con 6.0% de adición de cenizas de escama de pescado y 5.5% de cemento asfáltico, es la más óptima por obtener resultados favorables en la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica mediante el ensayo Marshall.

De acuerdo a lo revisado en los antecedentes se justifica la presente investigación en los aspectos social y del conocimiento.

El asfalto es un material obtenido por residuos de petróleo crudo, este producto trae graves consecuencias al medio ambiente y a los seres vivos y es también un material de elevado costo ya que son extraídos por procesos costosos.

Debido a ello una alternativa es usar un material con más producción en el Perú y más económico que a la vez tiene menor impacto al ambiente cuya alternativa es el carbón mineral y que además es abundante en la región Ancash.

El mantenimiento de un pavimento tiene un costo elevado, por lo cual se debería mejorar su vida útil, ya que el desarrollo de un país tiene relación directa con la capacidad vial que posee. Existen muchas zonas en nuestra provincia que aún faltan pavimentar, por esta razón el objetivo de esta investigación es mejorar la carpeta asfáltica, mejorando sus propiedades del pavimento para ello una alternativa es adicionado cenizas de carbón mineral para así poder mejorar la resistencia a la deformación capaz de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas de tránsito y el clima.

La problemática de la presente investigación se pone de manifiesto en las siguientes líneas:

Chile es un país donde comúnmente es usado asfaltos de petróleo que proviene de la destilación de petróleo crudo, este producto trae graves consecuencias al medio

ambiente ya que para su extracción hay derramamientos de petróleo porque son extraídos a través de tuberías y al hacer contactado con el suelo los componentes como el tetracluro de carbono hace que las plantas se sequen y no exista producción y debido a la temperatura del clima al evaporarse emiten gran cantidad de CO₂ a la atmosfera.

En el Perú tampoco somos ajenos a la utilización de la destilación de petróleo crudo para obtener asfaltos, por ello las plantas que producen asfalto son muy costosas debido a esto tenemos pocas refinerías de cemento asfáltico en el Perú, y que durante su producción emiten compuestos al medio ambiente que pueden ser las causas principales de muchas enfermedades que hay en la población.

El mantenimiento del pavimento demanda presupuestos costosos debido a ello se deben mejorar sus propiedades, como una alternativa es adicionar cenizas de carbón mineral que produce la mina Santa Cristina ubicada en el centro poblado de Ancos-Ancash que produce 4 ton/día y que es menos contaminante al ambiente así poder mejorar la resistencia a la deformación capaz de resistir cargas de tránsito y el clima y tener una mayor vida útil en la construcción de carreteras.

Por lo mencionado se formula el problema ¿Cuál será la resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente cuando se adiciona un 10% por cenizas de carbón mineral?

De la bibliografía consultada se pudo revisar diversas definiciones que serán útiles para el desarrollo de la investigación, tales como:

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

Casi todo el asfalto es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se

prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación.

El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico. (Asphalt Institute. ,1982).

Clasificación del Asfalto-Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse bajo tres tipos generales:

- Cemento asfáltico;
- Asfalto diluido.
- Asfalto emulsificado.

En la siguiente figura se presenta el Diagrama de Flujo de la Producción del Asfalto de Petróleo. (Alvares ,2009).

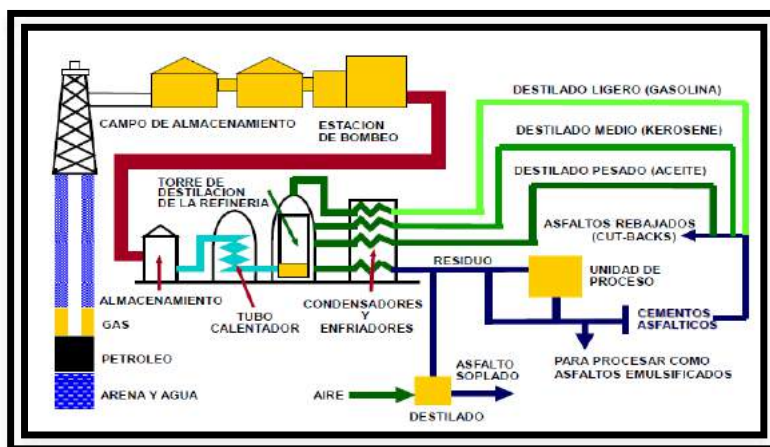


Figura N° 01. Producción del asfalto de Petróleo
Fuente: Alvares (2009)

Composición química del asfalto

Los betunes asfálticos están constituidos principalmente por una mezcla de moléculas de alto peso molecular, de naturaleza principalmente hidrocarbonada, con pequeñas proporciones de heteroátomos S, O, N y pequeñas cantidades de átomos metálicos (V, Ni, Fe, Ca, Mg, Sr). [3] AI – (Asphalt Institute. ,1982).

Tabla N° 01: composición química del asfalto

Elemento	Promedio
Carbono	82-88 %
Hidrógeno	8-11 %
Azufre	0-6 %
Oxígeno	0-1.5 %
Nitrógeno	0-1 %

Fuente: Asphalt Institute. ,1982

Propiedades del asfalto

Propiedades Químicas

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, nitrógeno y otros elementos. El asfalto cuando es disuelto en un solvente como el heptano puede separarse en dos partes principales asfáltenos y máltenos. (Asphalt Institute. ,1982).

Propiedades Físicas

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: Durabilidad, estabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento. (Asphalt Institute. ,1982).

Cemento asfáltico

Son preparados especialmente por presentar cualidades y consistencias propias para su uso directo en la construcción de pavimentos asfálticos. Es un material ideal para aplicaciones en trabajos de pavimentación por sus propiedades aglutinantes, impermeabilizantes, flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a los ácidos y álcalis en general. Se clasifican de acuerdo a su consistencia medida por la viscosidad dinámica o absoluta y por su penetración (PEN).

Los asfaltos se producen por la refinación del petróleo en unidades de destilación primaria y de vacío. El producto obtenido del fondo de la destilación primaria (crudo reducido) es destilado a 26 mm Hg. de presión de vacío y alta temperatura (del orden

de 700° F). El producto obtenido por los fondos de la torre de vacío se llama “Residual Asfáltico” o Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP), semisólido a temperatura ambiente. Dicho CAP es obtenido a diferentes viscosidades las que miden su consistencia.

Tipos de cementos:

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

Cemento asfáltico pen 60/70

Llamado también asfalto de petróleo, asfalto para carreteras, es el material por excelencia para la pavimentación, en virtud de sus propiedades y características. Es un material altamente cementante, termoplástico, repelente al agua y es resistente al ataque de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales.

Utilizado principalmente en aplicaciones viales, son sólidos en temperatura ambiente y se clasifican por su consistencia de acuerdo al grado de penetración o por su viscosidad. En el Perú se utiliza la clasificación por penetración a 25°C. Usados en la construcción de carreteras, autopistas, caminos y demás vías y forma parte de la capa de estructura de una vía. Brindando propiedades de impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad aun en presencia de los diferentes agentes al externo tales como el clima, la altura, la temperatura ambiental y condiciones severas de tráfico.

Usos

- Preparación de mezcla para pavimentación (Asfalto en caliente).
- Construcción de vías asfaltadas de pistas, autopistas, etc.
- Industria impermeabilizante y pinturas asfálticas.
- Revestimiento de diques y canales.
- Materia prima para las emulsiones asfálticas.
- Fabricación de brea.

Mezcla asfáltica en caliente

Se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos. (Padilla ,2009).

Composición general de las mezclas

Las mezclas bituminosas se compondrán básicamente de agregados minerales gruesos, finos, filler mineral y material asfáltico. Los distintos constituyentes minerales se separarán por tamaño, serán graduados uniformemente y combinados en proporciones tales, que la mezcla resultante llene las exigencias de graduación para el tipo específico contratado. A los agregados mezclados y así compuestos, considerados por peso en un 100% se deberá agregar asfalto, dentro de los límites porcentuales fijados en las especificaciones para el tipo específico de material. (MTC EG 2013).

Materiales

Agregados Minerales Gruesos

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa de material asfáltico, está no se desprenda por la acción del agua y del tránsito, en caso de que esta circunstancia se produzca, será necesario añadir algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una buena adhesividad.

La proporción de los agregados, retenida en la Malla N° 4, se designará agregado grueso y se compondrá de piedra triturada y/o grava triturada. Los agregados gruesos, deben cumplir además con los siguientes requerimientos:

Tabla N° 02: Requisitos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM / AASHTO	
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	ASTM C-88	10% máx.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C-88	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	ASTM C-131	35% máx.
Partículas chatas y alargadas (1)	-	ASTM D-4791	10% máx.
Caras fracturadas dos o mas (≤ 3 millones de Ejes Equivalentes)	MTC E 210	ASTM D-5821	40% min.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D-1888	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	ASTM C-118	Según Diseño
Adherencia	MTC E 519	AASHTO T-182	+95

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

Agregados Minerales Finos

La proporción de los agregados que pasan la Malla N° 4, se designará agregado fino y se compondrá de arena natural y/o material obtenido de la trituración de piedra, grava o escoria o de una combinación de ambos.

Dichos materiales se compondrán de partículas limpias, compactas, de superficies rugosas moderadamente angulares, carentes de grumos de arcilla u otros aglomerados de material fino. Los Agregados finos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

Tabla N°03: Requisitos para los agregados finos.

Ensayos	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM / AASHTO	
Equivalente de Arena	MTC E 209	ASTM D 2419	Mínimo 45 %
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	MTC E 220	6 mín.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	ASTM D 4318	N.P.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	ASTM D 4318	N.P.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205	ASTM C 118	Según Diseño

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

Relleno Mineral -Filler

El material de relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o de ser el caso, como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, se compondrá de materiales tales como polvo calcáreo, polvo de roca y/o cal hidratada no plástica. El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Estos materiales deberán carecer de materias extrañas y objetables; estarán perfectamente secos para poder fluir libremente y no contendrán grumos.

El material cumplirá con los siguientes requerimientos mínimos de granulometría:

Tabla N°04: Requisitos para relleno mineral.

Malla	% que pasa (en peso Seco)
N° 30	100
N° 50	95-100
N° 200	80-100

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

La cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el método Marshall.

Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por grado de penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región.

Tabla N° 05: Selección del tipo de cemento asfáltico.

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

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

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C. El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la inclusión de aditivos de diferente naturaleza tales como: rejuvenecedores, polímeros, o cualquier otro producto garantizado, con los ensayos correspondientes. En tales casos, las especificaciones particulares establecerán el tipo de aditivo y las especificaciones que deberán cumplir tanto el cemento asfáltico modificado como las mezclas asfálticas resultantes, que serán aprobadas por el Supervisor, al igual que la dosificación y dispersión homogénea del aditivo incorporado.

Diseño de mezclas asfálticas en caliente

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una

mezcla. Ellos son el método Marshall y el Método Hveem. En el presente estudio sólo trataremos el método Marshall. (Menéndez.2012).

Propiedades en el diseño de mezclas.

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. (Menéndez, 2012).

Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla Ahuellamiento (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado. (Menéndez, 2012).

Tabla 06: Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento

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

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

Resistencia a la deformación

La medición de la estabilidad y el flujo Marshall tienen la función de evaluar la resistencia a la deformación que presentará la mezcla asfáltica. La resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica se debe, principalmente, a las propiedades del agregado mineral, mientras que el cemento asfáltico tiene la propiedad de conglomerar los agregados. El comportamiento del cemento asfáltico como ligante está relacionado directamente con la temperatura a la que se verá expuesta la mezcla asfáltica aumentando la posibilidad de provocar deformaciones en la carpeta asfáltica. (Hot Mix Asphalt Paving Handbook, 2000).

Criterio para elegir una mezcla satisfactoria

Las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en la Tablas, según corresponda al tipo de mezcla que se produzca de acuerdo al diseño del proyecto con respecto al tráfico.

Tabla 07. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.

Parámetros de diseño		Trafico	Trafico	Tráfico
Marshall	Unidad	liviano	medio	pesado
Numero de golpes en cada lado	N°	35	50	75
Estabilidad	Kg	Min.453	Min.544	Min.815
Flujo	0.01"(0.25mm)	8-20	8-16	8-14
Porcentajes vacíos de aire	%	3-5	3-5	3-5
Vacíos en el agregado mineral	%	Ver Tabla N°08		
Resistencia a la compresión	Mpa	1,4	2.1	2,1
Relación estabilidad/flujo(3)	Kg/cm	1700-4000		
Vacíos llenos de cemento asfáltico	%	70-80	65-78	65-75

Fuente: MTC-EG-2013

Tabla 08. Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA).

TAMIZ	VMA MARSHALL
2.36 mm (N° 8)	21
4.75 mm (N° 4)	18
9.5 mm (3/8")	16
12.5 mm (1/2")	15
19.0 mm (3/4")	14
25.0 mm (1")	13
37.5 mm (1 1/2")	12
50.0 mm(2")	11.5

Fuente: MTC-EG-2013

Los valores de la tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado en la mezcla.

Método Marshall

Descripción del método Marshall

El Método Marshall, como se presenta en esta sección, solo se aplica a mezclas asfálticas en caliente, de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm (1 pulgada) o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente de pavimentación.

El Método Marshall usa muestras normalizadas de prueba (briquetas) de 64 mm (2.5 pulgadas) de espesor por 102 mm (4 pulgadas) de diámetro. Se preparará una serie de briquetas con diferentes contenidos de asfalto (Con incrementos de 0.5% en peso, entre ellos), de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor "Óptimo" definido, con puntos de cada lado de este valor. Como mínimo se prepararan tres briquetas para cada contenido y preferiblemente cinco.

Aplíquense 35, 50 o 75 golpes según se especifique (si no se indica, úsense 50 golpes; para asfalto líquido aplíquense 75 golpes), de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para el martillo de compactación una caída libre de 457 mm (18"). Manténgase el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la

compactación Retírense la placa de base y el collar e inviértase; vuélvase a montar el molde, y aplíquese el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.

Aproximadamente para cada briqueta, se necesitan 1200 gr de agregados, por lo cual la cantidad representativa de los agregados, debe tener un peso mínimo de 23 kg (50 lb). Además se requerirá aproximadamente un galón de asfalto. (MTC-E 504, 2000, pág. 1).

Pruebas de ensayo Marshall

Análisis de peso unitario.

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso Específico total de la mezcla por 1000 kg/m (62.4 lb/ft³).

Análisis de vacíos.

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto .El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos).Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado ;o directamente mediante un ensayo normalizado (AA.SHTOT209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar .El peso específico total de las briquetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y en agua.

Estabilidad Marshall.

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una briqueta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante .Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el Valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

Fluencia Marshall.

La fluencia Marshall medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta, la deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágil es y rígidas para un pavimento en servicio .Aquellas que tiene valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

Análisis de vacíos en el agregado mineral (VMA).

Están definidos por el espacio inter granular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla .El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada .Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada .

Análisis de vacíos llenos de asfalto (VFA).

Son el porcentaje de vacíos inter granulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto .El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje.

Carbogénesis

Se denomina carbogénesis al proceso de transformación por el cual se origina el carbón a partir de sustancias vegetales, fundamentalmente plantas superiores, en menor grado, organismos inferiores como algas, esporas o pólenes. Este proceso consta de dos etapas principales, el estado bioquímico que determina el tipo del

carbón y la fase geoquímica o metamórfica que condiciona el rango del carbón: (Vicente, 2013).

Fase bioquímica

Para que un carbón se forme, las sustancias vegetales de las que procede deben haber sido preservadas de las destrucciones totales oxidativa y microbiana. Es por este hecho por el que se postula que la génesis del carbón debió tener lugar en zonas pantanosas donde el agua cubrió o saturó los depósitos vegetales, limitando el acceso de oxígeno e inhibiendo la acción de los microorganismos que producen la putrefacción. Esta agua tuvo que estar estancada, pues de lo contrario se habría repuesto el contenido de oxígeno, y además debió ser poco profunda, para permitir el crecimiento de una importante cantidad de materia vegetal.

En general, el proceso de descomposición (limitada) de estas sustancias vegetales depende del medio en que se desarrolla, principalmente, en relación a tres factores: contenido en nutrientes para bacterias y hongos, oxígeno y pH. Estas condiciones determinan, por un lado, el modo de descomposición, y por otro, la clase de sustancias vegetales sobre las que se produce, ya que hay otras que son destruidas totalmente y, en consecuencia, no originan carbón. (Vicente, 2013).

Fase geoquímica

Hoy en día se considera que la temperatura ha desempeñado el papel principal en la evolución geoquímica. La temperatura crece con la profundidad de 3 a 5 °C cada 100 m. Si las capas que se explotan en la actualidad a 700 m estuvieron en su día a 3000/4000 m, han podido encontrarse durante millones de años a temperaturas entre 150 y 200 °C. Es posible que estas temperaturas hayan sido suficientes para que reacciones químicas extremadamente lentas transformen profundamente la materia fósil. Se ha comprobado (regla de Hilt) que, en ciertos yacimientos, el rango del carbón se eleva regularmente con la profundidad de la capa, lo que refuerza la anterior suposición. Este proceso de transformación afecta a determinadas propiedades del carbón, pudiendo observarse, entre otros, los siguientes efectos cuando el rango del carbón aumenta:

- Aumento del contenido en carbono.
- Aumento de las estructuras aromáticas.
- Aumento del poder calorífico.
- Disminución del contenido en volátiles.
- Disminución del contenido en oxígeno.

Carbón mineral

El carbón es una roca sedimentaria compuesta principalmente por una fracción orgánica (macérales) y, en menor proporción, por sustancias minerales, que contiene asimismo agua y gases en poros submicroscópicos. Estos compuestos orgánicos mayoritarios resultan de la formación y condensación de anillos polinucleares carbocíclicos, donde el carbono, hidrógeno y oxígeno son los elementos fundamentales, y el azufre y nitrógeno son complementarios. (Vicente, 2013). En la Tabla N°09 se incluye una comparación resumida de las composiciones del carbón y el petróleo.

Tabla N°09. Comparación Carbón- Petróleo

PARÁMETRO	CARBÓN	PETRÓLEO
Estado físico	solido	liquido
Contenido en materia mineral	5-40% peso	metales 0.005 a 0.015% sales 20 a 400 ppm (peso)
Contenido en humedad	1-60% peso	0.1 a 1% peso
Carbono	65 a 95% peso	84 a 87% peso
Hidrogeno	3 a 6% peso	11 a 14% peso
Oxigeno	2 a 30% peso	0.1 a 0.5% peso
Azufre	0.2 a 11% peso	0.04 a 6% peso
Nitrógeno	1 a 1.5% peso	0.1 a 1.5% peso

Fuente: Vicente, 2013.

La composición y estructura de un carbón dependen del proceso particular de carbogénesis que éste ha sufrido. En este sentido, para la caracterización de un carbón se hace referencia a su composición petrográfica, es decir, a la proporción y distribución de sus respectivos macérales y minerales constituyentes.

Clasificación del carbón mineral

Para el presente estudio se utiliza la clasificación más usada en el mundo a escala industrial que corresponde a la American Society for Testing and Materials (ASTM International) de Estados Unidos de América. Este organismo se encuentra entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO y mantiene un liderazgo casi monopolístico en la definición de materiales y métodos de prueba en la mayoría de industrias. En la tabla N° 10 detalla la clasificación internacional del carbón.

Tabla N° 10. Clasificación del carbón mineral según ASTM D388-12

Tipo de carbón	Grupo
Antracita	Meta antracita
	Antracita
	Semiantracita
Bituminoso	Bituminoso de bajo volátil
	bituminoso de volátil intermedio
	bituminoso A de alto volátil
	bituminoso B de alto volátil
	Bituminoso C de alto volátil
Subbituminoso	subbituminoso A
	subbituminoso B
	subbituminoso C
Lignito	Lignito A
	Lignito B

Fuente: Giraldo & Blas, 2008

En la cuenca de Santa, el 80% del carbón es de tipo antracita, un tipo de mineral muy rico en carbono (entre 95% y 98%) que le da un alto grado de poder calorífico.

También se debe considerar el uso que se le da al carbón antracita peruano, destinado principalmente a dos industrias en desarrollo: siderurgia (incluye metalurgia) y cemento.

Carbón mineral activado

Tras calcinar el carbón mineral a una temperatura, se obtuvieron las cenizas del carbón mineral, están constituidas por los residuos resultantes de la descomposición

de silicatos, carbonatos, sulfuros y otros minerales debido a la temperatura. Su composición química suele expresarse en óxidos, empleándose como guía para identificar los tipos de minerales presentes originalmente en el carbón, fundamentalmente, silicoaluminatos: (Peña ,2011).

Tabla N° 11 composición química según microscopia electrónica de barrido

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

Fuente: Peña 2011

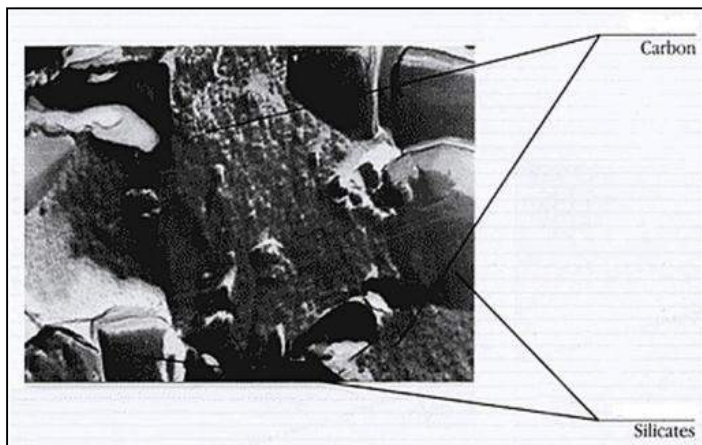


Figura N° 02. Microscopia electrónica de barrido (SEM).

Fuente: Peña (2011)

CLASIFICACION DE CENIZAS CARBON MINERAL

De acuerdo a la composición química de las cenizas depende del tipo de carbón y del método de combustión. Éstas se componen principalmente por Sílice (SiO₂-S), Alúmina (Al-A), óxido férrico (Fe- F), cal (Ca O -C), carbón sin quemar y en menor

proporción (aprox. 5 % en peso): magnesia (Mg O), óxido de azufre (SO₂O₃), alcalinos (Na₂O y K O y otros elementos trazas). (Lucia & Alejandro ,2013).

Tabla N° 12: Clasificación de las cenizas de carbón mineral.

	SiO₂ + Al₂ O₃ + Fe₂O₃	CaO	MgO	Humedad	Perdida a la incineración (LOI)
Clase F Puzolánicas	70% min	< 15%	5% Max	3% Max	6% max
Clase C Puzolánicas y cementicias	50% min	15-30	5% Max	3% Max	6% Max

Fuente: Norma ASTM C618

Según su composición química y teniendo en cuenta el carbón del cual proceden, las cenizas volantes se clasifican en:

Cenizas silicoaluminosas, denominadas también puzolánicas no activas, con contenidos de CaO <15 % (correspondiente a la clase F). Los óxidos más importantes son SiO₂, Al₂O₃ y los óxidos férrico - ferroso (Fe₂O₃, Fe₃O₄). El pH es básico y puede ser superior a 10.

Cenizas sulfocálcicas con altos contenidos de CaO > del 15 % (Correspondiente a clase C de ASTM), se llaman hidráulicas o activas.

Disponibilidad y reservas de carbón mineral en el Perú

El Perú alberga un considerable potencial de carbón cuyo aprovechamiento ofrece interesantes y variadas oportunidades para los inversionistas. Las mejores posibilidades se presentan en la industrialización de la antracita existente en los Andes noroccidentales. La reserva potencial de la antracita en la sierra norte es del orden de cientos de millones de toneladas. Este tipo de carbón tiene un alto poder calorífico y puede utilizarse en la industria y en la producción de derivados para la exportación.

Las principales reservas de carbón en el Perú, según el Ministerio de Energía y Minas (Minem, 2017), se ubican en las regiones de La Libertad, Áncash, Lima y

Cajamarca. Cabe destacar que las reservas de carbón consignadas son en su mayoría de antracita.

Tabla N° 13. Producción mineral no metálica, según Región -2017 (Toneladas Métricas)

Región	Provincia	Distrito	Producto	ACUM. Enero - Diciembre
La libertad	Otuzco	Usquil	Carbón antracita	2,800
Áncash	Huaylas	Pueblo libre	Carbón grafito	270
Cajamarca	Cajamarca	Cospan	Carbón antracita	46,878
lima	Oyon	Oyon	Carbón bituminoso	7,443
Áncash	Santa	Mácate	Carbón antracita	951
La libertad	Otuzco	Usquil	Carbón antracita	7,603
La libertad	Otuzco	Usquil	Carbón antracita	641
La libertad	Otuzco	Usquil	Carbón antracita	533
La libertad	Otuzco	Usquil	Carbón antracita	1,101
Ancash	Bolognesi	Huallanca	Carbón antracita	1,290
La libertad	Otuzco	Usquil	Carbón antracita	6,825
Ancash	Yungay	Ranrahirca	Carbón antracita	4,600
Ancash	Yungay	Ranrahirca	Carbón antracita	26,138
Ancash	Yungay	Mancos	Carbón bituminoso	8,330
Lima	Oyon	Oyon	Carbón antracita	8,705

Fuente: Ministerio de Energía y Minas- Dirección General de Minería-2017.

Acceso

La mina de carbón mineral denominada “Santa Cristina”, se encuentra ubicado en:

- Centro poblado : Ancos
- Distrito : Santa Rosa
- Provincia : Santa
- Departamento : Ancash.

Esta materia prima se encuentra en abundancia ubicada en dicha zona, luego de ser extraídos en bruto de los socavones, son arrojados hacia una planta para luego ser cargadas en volquetes para ser llevados a ser comercializadas.

Para esta investigación se recolecto el carbón mineral de la minería “Santa Cristina” ubicada en el centro poblado de Ancos con Coordenadas UTM 17S 819851 9060482.

Tabla N° 14. Operacionalización de Variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador
<p>Independiente: Adición de un 10% por cenizas de carbón mineral.</p>	<p>Constituidas por los residuos resultantes de la descomposición de silicatos, carbonatos, sulfuros y otros minerales debido a la calcinación a una determinada temperatura.</p>	<p>Cantidad de adición en una mezcla asfáltica en caliente (el autor).</p> <p>Cantidad de Al₂O₃, SO₃ en la composición química de cenizas de carbón mineral.</p>	<p>Porcentaje de adición (%).</p> <p>Gramos</p> <p>Porcentaje de composición (%).</p>
<p>Dependiente: Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente.</p>	<p>La medición de la estabilidad y el flujo Marshall tienen la función de evaluar la resistencia a la deformación que presentará la mezcla asfáltica. (Hot Mix Asphalt Paving Handbook, 2000).</p>	<p>Se requiere mejorar las propiedades como la estabilidad y el flujo comprobando mediante el ensayo Marshall en el laboratorio.</p>	<p>Estabilidad.</p> <p>Kg</p> <p>Flujo.</p> <p>cm.</p>

Fuente: el autor.

En la presente investigación se formuló como hipótesis, La adición del 10% de cenizas de carbón mineral en una mezcla asfáltica en caliente mejoraría su resistencia a la deformación.

El objetivo General del presente estudio es: Determinar si la adición de un 10% de ceniza de carbón mineral disminuye la deformación en una mezcla asfáltica en caliente. Y como objetivos específicos:

Determinar la temperatura de activación del polvo de carbón por análisis térmico diferencial (ADT).

Determinación de la composición química de la ceniza de carbón mineral mediante el ensayo de fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (FRXDE).

Realizar ensayos que permitan evaluar las propiedades de los agregados que serán utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente, utilizando un tipo de cemento asfáltico PEN 60/70, según norma del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).Perú.

Evaluar Mediante el método Marshall la resistencia a la deformación de las briquetas patrón y experimental a un 10% por cenizas de carbón mineral.

Comparar y analizar los resultados obtenidos mediante la valides estadística.

II. METODOLOGÍA

El tipo de la presente investigación, según el proceso es aplicada, porque la investigación está orientada a lograr un nuevo conocimiento destinado a procurar soluciones a fin de conocer la Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral.

En coherencia con el fin de la ciencia es explicativa porque los datos de la investigación serán obtenidos por observación de los fenómenos condicionados por el investigador. Se utiliza la experimentación.

Esquema:









Descripción	% De asfalto	Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral	
		0%	10%
Resistencia a la deformación	4.00%		
	4.50%		
	5.00%		
	5.50%		

Figura N° 03. Cantidad de briquetas para la investigación.

Fuente: El autor.

Para esta investigación se tiene como población de estudio al conjunto de briquetas de diseño de mezclas asfálticas en caliente. Se preparará una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (Con incrementos de 0.5% en peso, entre ellos), de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor "Óptimo" definido. Como mínimo se prepararan tres probetas para cada contenido de asfalto.

La muestra usara cuatro contenidos de asfalto (4.0%,4.5%,5.0% y 5.5%), cada contenido requiere 3 probetas como mínimo, entonces por los 4 contenidos se preparara: $3 \times 4 = 12$ briquetas patrón. Asimismo para las briquetas experimentales, se prepararan otras 12 briquetas, dando un total de 24 briquetas. Utilizando la técnica de observación y el instrumento: Guía de observación resumen, Fichas Técnicas del laboratorio de las pruebas a aplicarse.

Para el presente proyecto de investigación el procesamiento de datos será posterior a los ensayos respectivos apoyados en una hoja de cálculo Excel y el SPSS.

Para realizar el análisis de los datos se tendrá presente:

Recolección del carbón mineral.

Se recolecto carbón mineral, extraído de la mina “Santa Cristina” ubicado en el centro poblado de Ancos distrito de Santa Rosa-Ancash, con coordenadas UTM 17S 819851 9060482 donde el carbón mineral es extraído en bruto, es abundante en la zona. Se extrajo aproximadamente 50 kg en sacos de nilón.

Recolección de agregados.

Se recolectó el agregado fino (Arena) y el agregado grueso (piedra) de la Cantera “Rubén”, ubicada en la zona Nor-Oeste de la ciudad de Chimbote, colindante con el cerro de la juventud, perteneciente al Distrito de Chimbote, en la Carretera Panamericana Norte Km. 436 Zona Industrial los Pinos (Antes del Túnel de Coishco).

Trituración del carbón mineral

Para poder utilizar el carbón mineral fue necesario someterle a un proceso de reducción de tamaño, esto se llevó a cabo mediante el uso de un batan dos piedras lisas de río, La razón de utilizar las piedras lisas de río es para no contaminar el material inorgánico.

Además, se procedió a separar lo obtenido mediante el uso de una tela organza con el fin de facilitar el empleo de las partículas más pequeñas del carbón mineral que se obtuvo durante el proceso de trituración.

Para obtener el carbón mineral en partículas con un diámetro menor a 75 micras, es decir, que resulte del pasante de la malla No. 200, se empleó mortero acrílico

Ensayo de Análisis térmico diferencial del carbón mineral.

El material triturado se extrajo 10 gr para realizar dicho ensayo fue colocado en un recipiente, y sometido a la temperatura por un periodo determinado, luego se dejó enfriar por espacio de 48 horas.

Cabe mencionar que la pérdida de masa se torna lento hasta alcanzar la temperatura indicada donde se pueden obtener los óxidos del carbón mineral, la incineración se realizó en el Laboratorio de polímeros de la Facultad de Ingeniería de materiales de la Universidad Nacional de Trujillo.

Calcinación.

Las cenizas obtenidas, fueron calcinadas en un horno de temperatura controlada del Laboratorio de la USP a 700°C durante dos horas. Este calcinado a temperaturas controladas permitirá una conversión uniforme de los componentes de las cenizas de carbón mineral en lo altos porcentaje de óxido de silicio, óxido de calcio y óxido de aluminio a los cuales hacen referencia Sing et al. (2007) y Fias et al. (2012). El relativo corto tiempo de quemado es permitir que el material conserve su carácter amorfo que le permitirá mezclarse con mayor facilidad en el proceso de adición del asfalto.

Ensayo de fluorescencia de rayos X dispersiva en energía del carbón mineral.

El ensayo de Fluorescencia de Rayos X dispersiva en energía, sirvió para determinar la composición química del material (Ceniza de carbón mineral), este ensayo se realizó en la facultad de ciencias físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima. El material triturado se extrajo 30 gr para realizar dicho ensayo fue colocado en un recipiente, y sometido a la temperatura de 700°C por 2 hora, luego se dejó enfriar por espacio de 48 horas, de este modo se obtuvo su composición química de la cenizas de carbón mineral.

Caracterización del agregado grueso

Se denomina agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz 4.75 mm (N°4). Los agregados utilizados provienen de la cantera Rubén, los cuales se conforman por materiales de ½", 3/8, 4.75 mm. A estos materiales se les realizó los siguientes ensayos de caracterización, de acuerdo a las normas ASTM Y MTC Perú.

Ensayo Granulométrico Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM C-33, MTC E-204.

Ensayo Peso Unitario Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma, MTC E-203.

Ensayo Contenido Humedad Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM D-2216 MTC E-108.

Ensayo Gravedad Específica Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM C-128, MTC E-205.

Ensayo caras fracturadas. Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM D-5821 MTC E-210.

Ensayo resistencia a la abrasión. Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM D-5821 MTC E-207.

Ensayo índice de aplanamiento y alargamiento. Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma MTC E-221.

Ensayo de sales solubles totales. Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM D-1888 MTC E-219.

Ensayo de adherencia. Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma MTC E-219.

Ensayo de durabilidad de los agregados gruesos por medio de sulfato de sodio o magnesio. Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma NTP – 400.016 (99) MTC E 209.

Caracterización del agregado fino.

Se denomina agregado fino aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las

rocas. A estos materiales se les realizó los siguientes ensayos, de acuerdo a las normas ASTM Y MTC Perú.

Ensayo Granulométrico Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM C-33, MTC E-204.

Ensayo Peso Unitario Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma, MTC E-203.

Ensayo Contenido Humedad Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM D-2216 MTC E-108.

Ensayo Gravedad Específica Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM C-128 MTC E-205.

Ensayo equivalente de arena. Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM D-2419 MTC E-114.

Ensayo adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (Riedel-weber). Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma MTC E-220.

Ensayo índice de plasticidad (malla N°40). Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM D 4318 MTC E-111.

Ensayo índice de plasticidad (malla N°200). Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM D 4318 MTC E-111.

Ensayo sales solubles totales. Se realizó según las especificaciones indicadas en la norma ASTM D 1888 MTC E-219.

Elaboración de briquetas patrón.

1). Se dejó en el horno los materiales como agregado grueso, fino, filler o cal hidratada durante 24 horas.

2). Luego de ello se calentó en la cocina los materiales utilizados durante el proceso, se pesó el líquido asfáltico en porcentajes de 4%, 4,5%, 5%, 5.5% se hizo tres briquetas por cada porcentaje de asfalto.

3). Se combinaron los materiales obteniendo una mezcla homogénea la cual se realizó a una temperatura de 120°C se colocó en el molde la mezcla, se compactó con 75 golpes con el martillo Marshall en ambas caras de la briqueta.

4). Después de completar la compactación las briquetas fueron enfriadas y extraídas de los moldes.

5). Se pesó cada briqueta anotando cada peso y se midió las alturas de las briquetas.

6). Se colocó en un balde con agua durante 10 minutos cada briqueta se pesó nuevamente y se anotó los pesos respectivos.

Elaboración de briquetas experimental 10%.

1). Se dejó en el horno los materiales como agregado grueso, fino, filler o cal hidratada durante 24 horas.

2). Luego de ello se calentó en la cocina los materiales utilizados durante el proceso, se pesó el líquido asfáltico en porcentajes de 4%, 4,5%, 5%, 5.5% se hizo tres briquetas por cada porcentaje de asfalto.

3). Luego de pesar el líquido asfáltico se adicionó el carbón mineral un 10% con respecto al peso de la mezcla (120gr) calcinada a una temperatura de 700°C, se combinaron ambos materiales logrando una adherencia satisfactoria el carbón mineral y el asfalto PEN 60/70, se hizo el agregado grueso, la arena gruesa que esta combinada con material Filler o cal hidratada.

4). Se combinaron los materiales obteniendo una mezcla homogénea la cual se realizó a una temperatura de 120°C se colocó en el molde la mezcla, se compactó con 75 golpes con el martillo Marshall en ambas caras de la briqueta.

5). Después de completar la compactación las briquetas fueron enfriadas y extraídas de los moldes.

6). Se pesaron cada una de las briquetas y se anotaron sus pesos respectivos y se midieron las alturas de las briquetas. Se colocaron en agua durante 10 minutos para pesarlas nuevamente y se anotaron los pesos respectivos.

Prueba del laboratorio: Ensayo Marshall

1). El rompimiento de las briquetas se realizó al siguiente día, debido a la gran influencia que posee dentro de las diferentes propiedades de la mezcla asfáltica y la gran importancia para la caracterización de una mezcla asfáltica.

2). Pesamos en la máquina de peso específico o peso bulk, cada briketa y se anotaron los pesos respectivos así obtuvimos el peso específico de cada briketa la cual es una característica del ensayo Marshall.

3). Se calentaron cada briketa en un baño de agua a 60°C (140 ° F) .Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.

4). La briketa fue removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall, .El aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la briketa, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).

5). La carga del ensayo aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51mm (2pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briketa puede resistir.

6). La carga de falla registrada como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registró como la fluencia.

Los resultados de este ensayo se expresaron en unidades de estabilidad (kg) y el flujo (centésima de pulgada).

Algunos ensayos sobre la caracterización de los agregados se realizaron en el laboratorio de la dirección de estudios especiales-MTC Lima Perú.

Se utilizaron los datos para poder representarlos en tablas, gráficos, porcentajes, promedios, varianzas y prueba de hipótesis ANOVA.

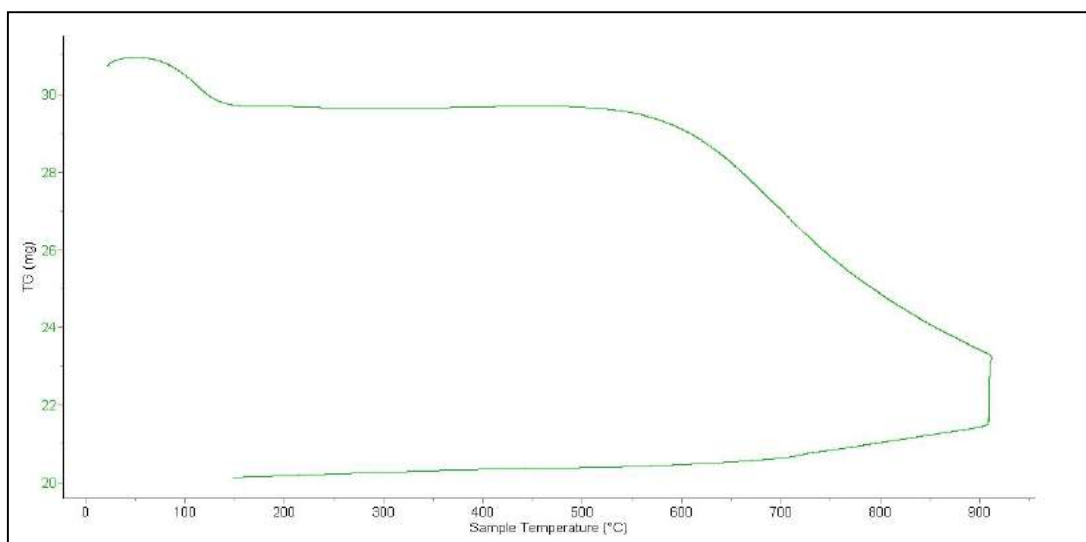
III: RESULTADOS

Los resultados obtenidos en diversos laboratorios, se muestran a continuación:

Resultado de análisis térmico diferencial (ATD).

Según el análisis Termo gravimétrico se percibe dos importantes pérdidas de masa, la primera cerca 90 °C y la segunda entre 560°C, luego del cual la pérdida de masa es constante hasta alcanzar los 600°C que empieza a ver un descenso hasta llegar a los 800°C.

Grafico 01. Curva de pérdida de masa- análisis termo gravimétrico

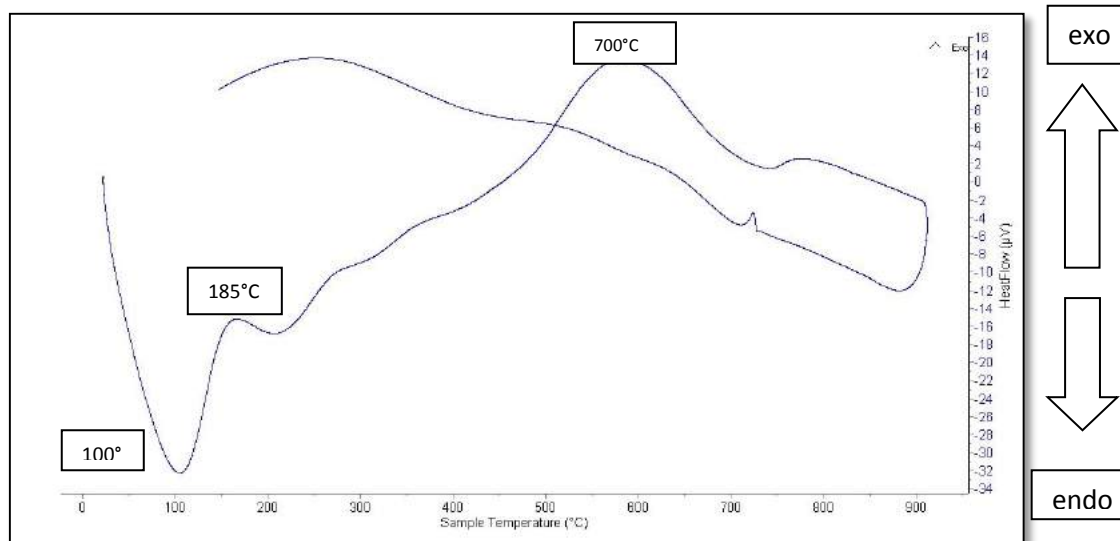


Material: carbón Mineral

Fuente: Laboratorio de Polímeros- UNT (2016)

De acuerdo al análisis calorimétrico, la curva muestra un (1) pico endotérmico a aproximadamente 100°C y una (1) pequeña región endotérmica entre 190 y 250°C. Y una región exotérmica entre 550 y 630°C.

Grafico 02. Curva calorimétrica DS



Material: carbón Mineral

Fuente: Laboratorio de Polímeros- UNT (2016)

Análisis de fluorescencia de rayos x dispersiva en energía (FRXDE).

Tabla N° 15. Composición elemental de cenizas de carbón mineral en % de masa.

Óxido	%
Al ₂ O ₃	40.609
SiO ₂	34.585
P ₂ O ₅	1.826
SO ₃	10.121
ClO ₂	1.075
K ₂ O	4.381
CaO	2.946
TiO ₂	2.095
V ₂ O ₅	0.182
Fe ₂ O ₃	1.128
Ni ₂ O ₃	0.571
CuO	0.295
As ₂ O ₃	0.102
SrO	0.084
Totales	100.00

Fuente: Laboratorio de Arqueometria-facultad de ciencias físicas-UNMS (2018)

Caracterización de agregado grueso.

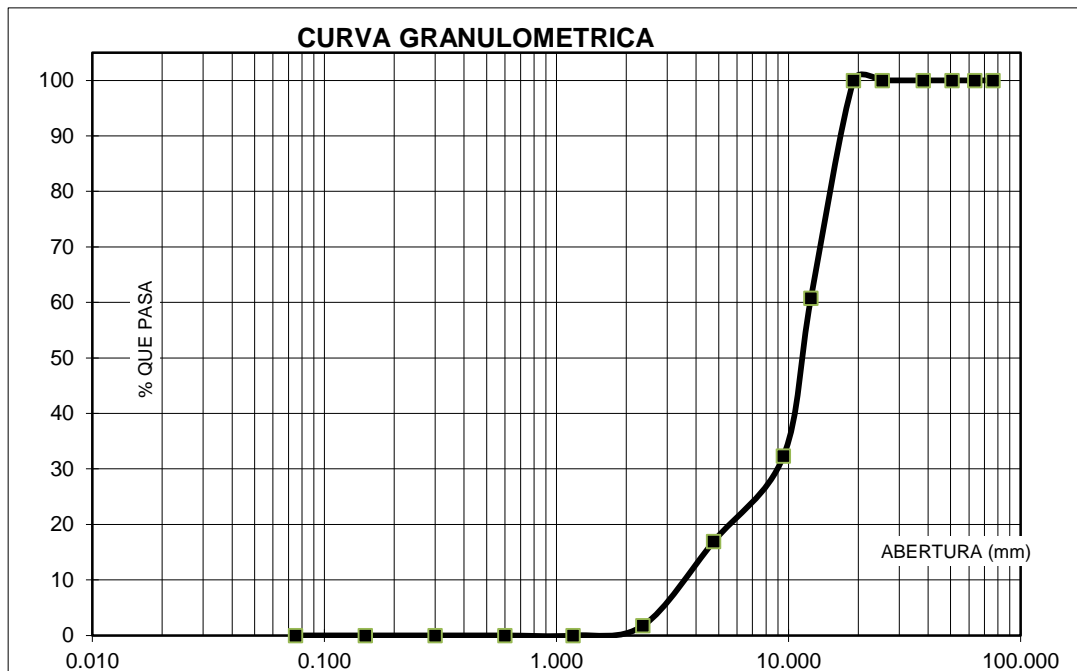
Tabla N°16. Granulometría piedra chancada.

N°	TAMIZ Abert.(mm)	Peso retenido (gr.)	% ret. Parcial (%)	% ret. Acumu. (%)	% Que pasa (gr.)
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2 ½"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1 ½"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.100	0.0	0.0	0.0	100.0
½"	12.500	345.7	39.2	39.2	60.8
⅜"	9.520	250.5	28.4	67.7	32.3
N° 4	4.760	135.8	15.4	83.1	16.9
N°8	2.360	133.5	15.2	98.2	1.8
N° 16	1.180	15.6	1.8	100.0	0.0
N° 30	0.600	0.0	0.0	100.0	0.0
N°50	0.300	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 100	0.150	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 200	0.075	0.0	0.0	100.0	0.0
PLATO	ASTM C-117-04	0	0.0	100.0	0.0
TOTAL		881.1	100.0		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

De acuerdo a la tabla se obtiene el tamaño máximo nominal de ½"

Grafico 03. Curva granulométrica agregado grueso.



Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018

Tabla N° 17. Peso unitario suelto.

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	18150	18270	18300
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	13030	13150	13180
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (Kg/m3)	1393	1406	1409
Peso unitario prom. (Kg/m3)	1403		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Tabla N° 18. Peso unitario compactado.

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	20280	20090	20310
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	15160	14970	15190
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (Kg/m3)	1621	1600	1624
Peso unitario prom. (Kg/m3)	1615		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Tabla N° 19. Contenido de humedad.

Prueba N°	01	02	03
Tara + suelo húmedo (gr)	940	995	
Tara + suelo seco (gr)	936	988.8	
Peso del agua (gr)	4	6.2	
Peso de la tara (gr)	200	166.5	
Peso del suelo seco (gr)	736	822.3	
Contenido de humedad (%)	0.54	0.75	
Prom. Contenido humedad (%)			0.65

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Gravedad específica y absorción.

P.E. Bulk (Base seca)	: 2.855 gr/cm ³
P.E Bulk (Base saturada)	:2.869 gr/cm ³
P.E.Aparente (Base seca)	:2.896 gr/cm ³
Absorción (%)	: 0.50

Caras fracturadas.

Criterio de fractura	: Natural
Partículas con una cara fractura (%)	: 93.66
Partículas con dos o más caras fracturadas (%)	: 78.34
Determinación de porcentaje	: En peso

Resistencia a la Abrasión (máquina de los ángeles).

Peso de la muestra (gr)	: 5000
Método	: B
Numero de esferas	: 11
Numero de revoluciones	: 500
Desgaste (%)	: 12.60

Tabla N° 20. Índice de aplanamiento (%): 6

Tamiz		Total Partículas		Partículas Planas		Índice Aplanamiento Fracción (%)	Granulometría (%) retenido	Índice Aplanamiento corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0
3/4"	1/2"	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0
1/2"	3/8"	1204.6	100	78.9	16	7	61.9	4
3/8"	1/4"	740.0	100	45.3	19	6	38.1	2
TOTALES							100.0	6

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Tabla N° 21. Índice de alargamiento (%): 8

Tamiz		Total Partículas		Partículas Alargadas		Índice Alargamiento Fracción (%)	Gradación original (%)	Índice Alargamiento corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0
3/4"	1/2"	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0
1/2"	3/8"	1204.6	200	93.6	37	8	61.91	5
3/8"	1/4"	740.0	200	52.7	48	7	38.09	3
TOTALES							100.0	8

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Tabla N°22. Análisis químico

Muestra	Sales solubles totales (PPM)	(%)
Grava Chancada 1/2"	671	0.0671

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Tabla N°23. Durabilidad al sulfato de sodio o sulfato de Magnesio.

Determinación de la inalterabilidad de los agregados finos y gruesos por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio		
Identificación	Descripción	Resultado (%)
cantera Rubén (Chimbote) agregado grueso 1/2"	Perdida o desgaste del agregado grueso	2.02

Fuente: laboratorio de la dirección de estudios especiales –MTC-2018

Tabla N°24. Cubrimiento de los agregados con material asfáltico (Stripping).

Identificación	Revestimiento (%)	Cubrimiento (%)
Cantera "Rubén" (agregado grueso)	100	+95

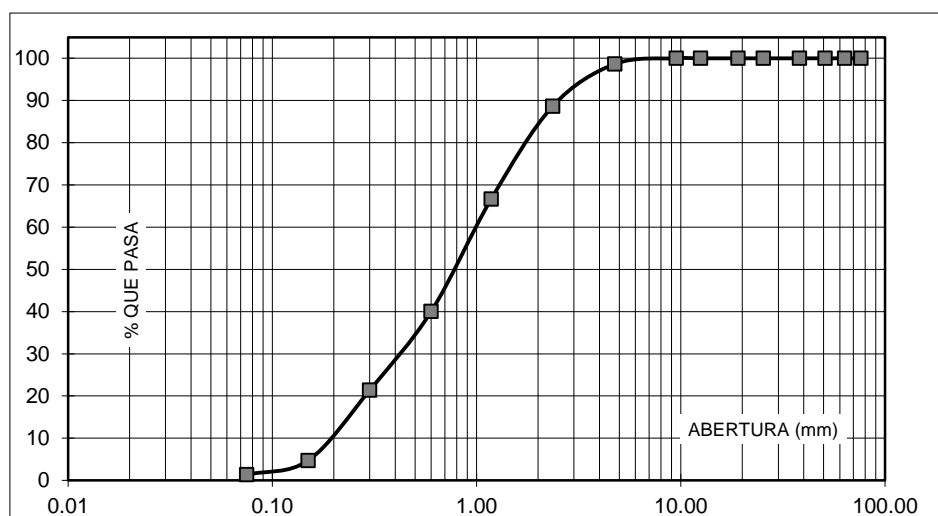
Fuente: laboratorio de la dirección de estudios especiales –MTC-2018.

Caracterización del agregado fino.

Tabla N° 25. Granulometría arena gruesa.

N°	TAMIZ Abert.(mm)	Peso	% ret.	% ret. Acumu. (%)	% Que pasa (gr.)
		retenido (gr.)	Parcial (%)		
3"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0
2 ½"	63.50	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0
1 ½"	38.10	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.10	0.0	0.0	0.0	100.0
½"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0
⅜"	9.52	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.76	0.0	0.0	0.0	100.0
N°8	2.36	85.0	11.2	11.2	88.8
N° 16	1.18	165.0	21.7	32.9	67.1
N° 30	0.60	210.5	27.7	60.6	39.4
N°50	0.30	140.2	18.5	79.1	20.9
N° 100	0.15	125.5	16.5	95.6	4.4
N° 200	0.08	25.4	3.3	98.9	1.1
PLATO	ASTM C-117-04	8.2	1.1	100.0	0.0
TOTAL					

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.
Grafico 04. Curva granulométrica.



Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018

Tabla N° 26. Peso unitario suelto.

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7700	7720	7740
Peso de molde	3325	3325	3325
Peso de muestra	4375	4395	4415
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (Kg/m3)	1569	1576	1584
Peso unitario prom. (Kg/m3)	1576		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Tabla N°27. Peso unitario compactado.

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	8220	8255	8290
Peso de molde	3325	3325	3326
Peso de muestra	4895	4930	4964
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (Kg/m3)	1756	1768	1780
Peso unitario prom. (Kg/m3)	1768		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Tabla N° 28. Contenido de humedad.

PRUEBA N°	01	02	03
Tara + suelo húmedo (gr)	655	995	
Tara + suelo seco (gr)	651	989.5	
Peso del agua (gr)	4	5.5	
Peso de la tara (gr)	162.9	162.8	
Peso del suelo seco (gr)	488.1	826.7	
Contenido de humedad (%)	0.82	0.67	
Pro. Contenido humedad (%)	0.74		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Gravedad específica y absorción.

P.E. Bulk (Base seca)	: 2.625
P.E Bulk (Base saturada)	:2.648
P.E.Aparente (Base seca)	:2.687
Absorción (%)	: 0.87

Tabla N° 29. Equivalente de arena.

TAMAÑO MAXIMO mm	4.76	4.76
Muestra n°	1	2
Hora de entrada	11: 15' 12"	11: 17' 18"
Hora de salida	11: 25' 12"	11: 27' 18"
Hora de entrada	11: 28' 26"	11: 29' 45"
Hora de salida	11: 48' 26"	11: 49' 45"
Alt. Max del mat. fino	4.7	4.45
Alt. max del mat. arena	3.40	3.40
Equivalente de arena	72.34	76.4
Equivalente de arena promedio (%)		74.37

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Muestra	Sales solubles totales (PPM)	(%)	Tabla N° 30. Sales solubles totales agregado fino.
Arena Gruesa	787	0.0787	

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Tabla N° 31. Adhesividad a los ligantes bituminosos (Riedel Weber).

Identificación	Resultado (grado) desprendimiento parcial- desprendimiento total
Cantera "Rubén" (agregado fino)	0-8

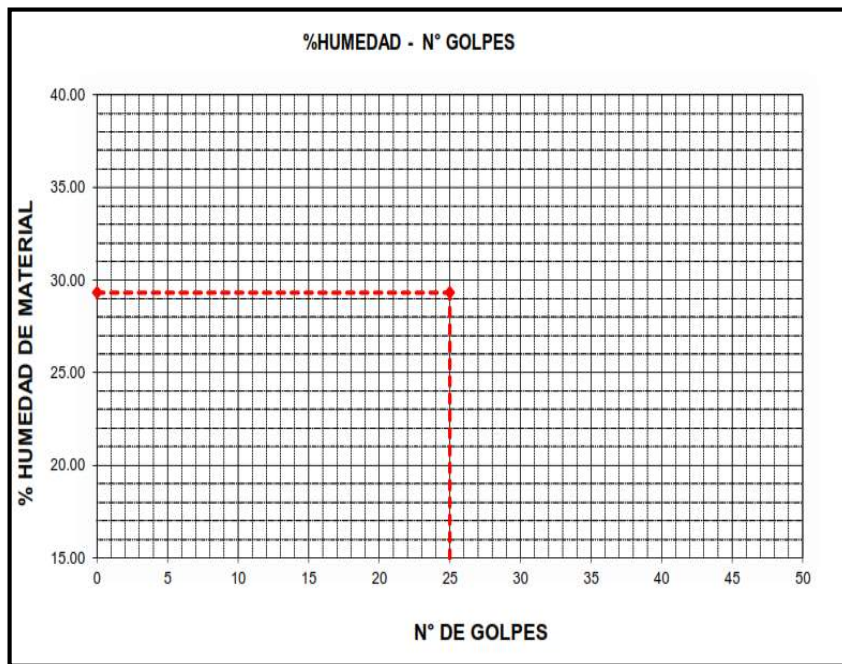
Fuente: laboratorio de la dirección de estudios especiales –MTC-2018

Tabla N° 32. Limite líquido y limite plástico por la malla N° 200.

	Limite liquido			Limite plástico		
	1	2	3	1	2	3
Nro. de ensayo						
Peso tara + suelo húmedo (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso tara + suelo seco (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de la tara (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del agua (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso suelo seco (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contenido de humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nro. de golpes	0	0	0	0	0	0

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Grafico N°05 limite líquido y limite plástico malla N°200



Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Limite líquido (MTC-E 110, ASTM D4318 Y AASHTO T89)

LL: % 0.00

Limite plástico (MTC-E 111, ASTM D4318 Y AASHTO T90)

LP: % 0.00

Índice de plasticidad (ASTM D438)

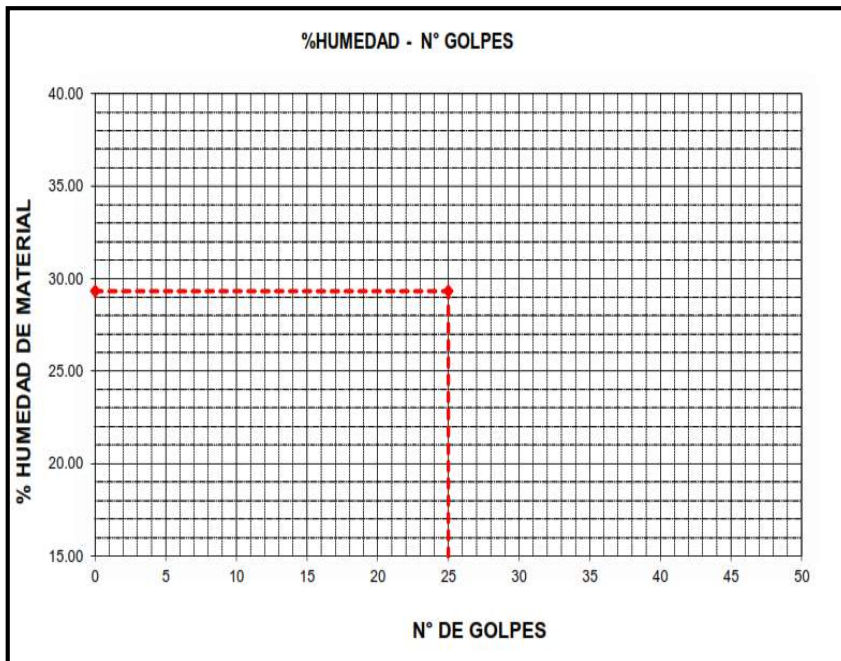
IP: % N/P

Tabla N° 33. Limite líquido y limite plástico por la malla N° 40.

Nro. de ensayo	Limite liquido			Limite plástico		
	1	2	3	1	2	3
Peso tara + suelo húmedo (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso tara + suelo seco (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de la tara (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del agua (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso suelo seco (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contenido de humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nro. de golpes	0	0	0	0	0	0

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Grafico N°06 limite líquido y limite plástico malla N°40



Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Limite líquido (MTC-E 110, ASTM D4318 Y AASHTO T89)

LL: % 0.00

Limite plástico (MTC-E 111, ASTM D4318 Y AASHTO T90)

Tabla N° 34. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

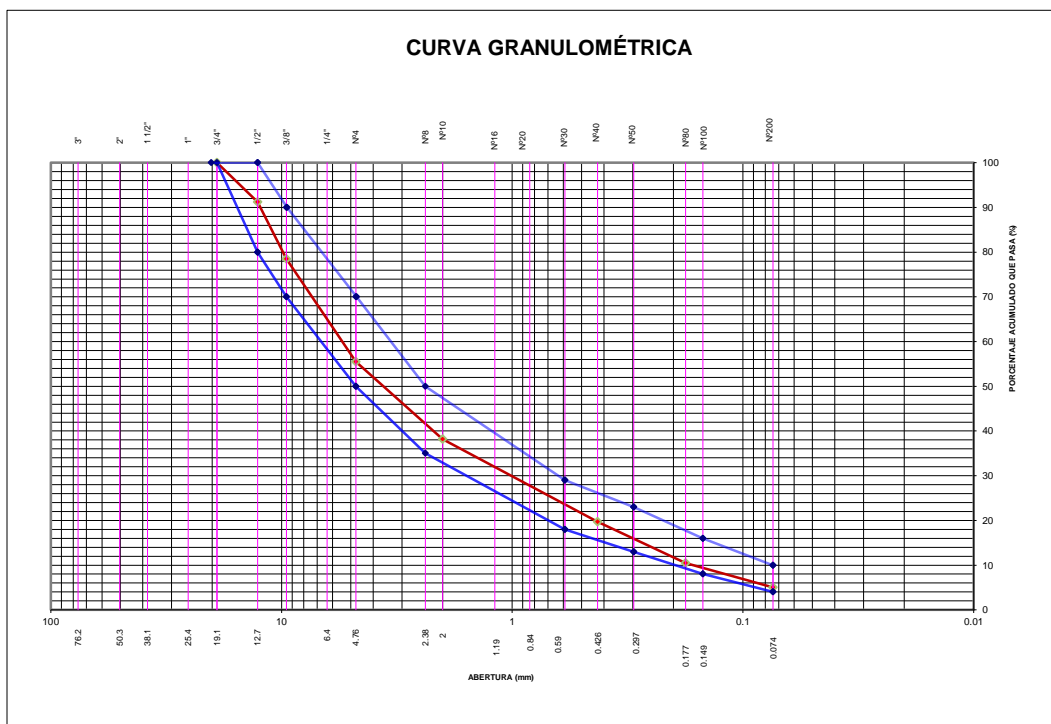
Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa	ESPECIFICACION MAC - II
3"	76.200	-	-		
2"	50.300	-	-		
1 1/2"	38.100	-	-		
1"	25.400	-	-		
3/4"	19.050	-	-	100.0	100.0
1/2"	12.700	8.8	8.8	91.2	80 - 100
3/8"	9.525	12.7	21.5	78.5	70 - 88
N°4	4.760	23.0	44.5	55.5	51 - 68
N°10	2.000	17.3	61.8	38.2	38 - 52
N°40	0.426	18.5	80.3	19.7	17 - 28
N°80	0.177	9.2	89.5	10.5	8 - 17
N°200	0.074	5.5	95.0	5.0	4 - 8
N°200		4.8	100.0		

LP: % 0.00

Índice de plasticidad (ASTM D438)

IP: % N/P

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018



Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018

De acuerdo a la granulometría de los agregados se escogió el tipo de diseño con el fin de adaptar a este tipo de diseño las granulometrías establecidas de acuerdo al MTC en las Especificaciones Mac-2 Generales para la Construcción de Carreteras (EG – 2013). Lo cual se obtuvo la siguiente proporción.

Tabla N° 35. Dosificación de agregados

Proporciones de mezcla de agregados	
Agregado grueso – Cantera Rubén	46%
Agregado fino – Cantera Rubén	52%
Filler –Cal Hidratada	2%

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

% De cemento asfáltico	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	De acuerdo a la dosificación se obtuvo la mezcla asfáltica en
Asfalto (gr)	48.00	54.00	60.00	66.00	De acuerdo a la dosificación se obtuvo la mezcla asfáltica en
Grava (gr)	529.92	527.16	524.40	521.64	
Arena (gr)	599.04	595.92	592.80	589.68	
Filler-cal(gr)	23.04	22.92	22.80	22.68	
Total (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	

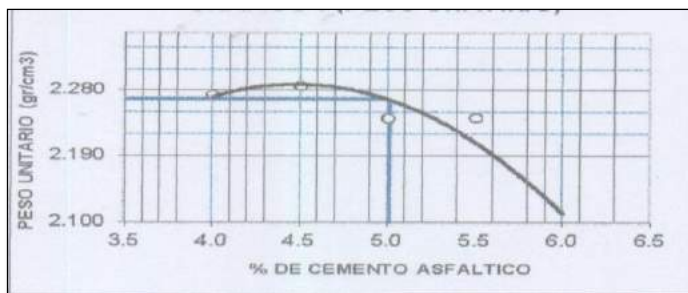
caliente, con el siguiente peso

Tabla N° 36. Materiales para la mezcla en gramos.

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

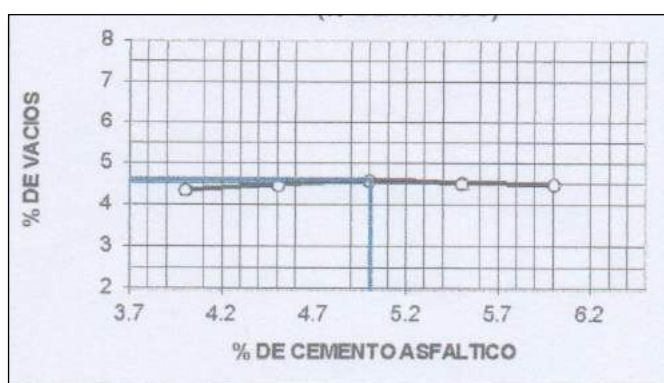
De acuerdo a la dosificación y de realizar el método Marshall se obtuvo los siguientes gráficos.

Grafico N°07. Peso unitario.



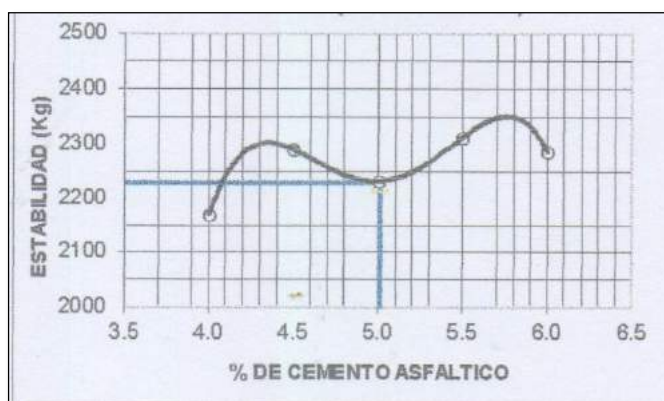
Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Grafico N°08. % de vacíos.



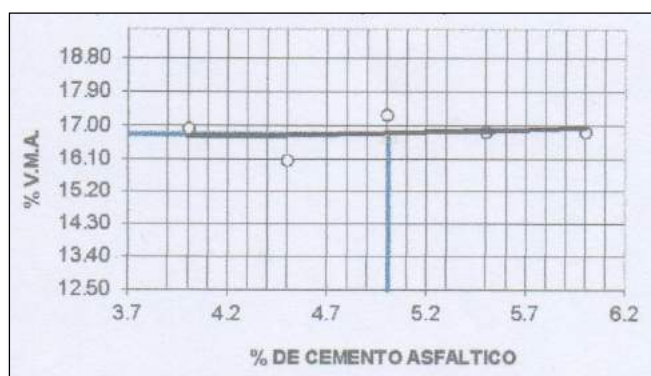
Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Grafico N°09. Estabilidad



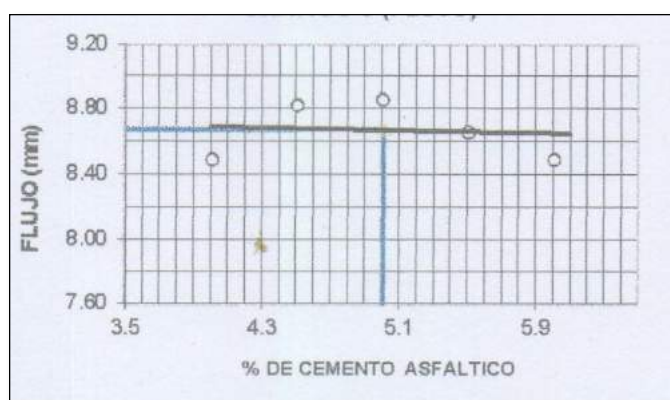
Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Grafico N°10. Vacíos en el Agregado Mineral.



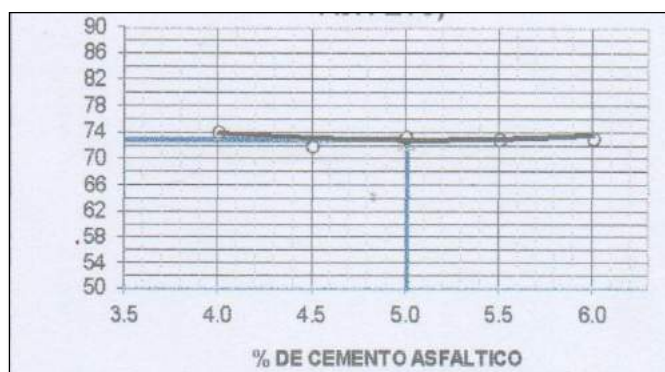
Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Grafico N°11. Flujo Marshall.



Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Grafico N°12. % de vacíos llenos de asfalto.



Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Tabla N°37. Características del ensayo Marshall Patrón

N° de golpes de capa	75	75	75	75
Cemento asfáltico (%)	4.00	4.50	5.00	5.50
Peso específico (Kg/cc)	2.275	2.287	2.242	2.243
Estabilidad (Kg)	2171	2291	2233	2314

Flujo (0.01 pul)	8.50	8.83	8.87	8.67
Vacíos de aire (%)	4.37	4.49	4.59	4.53
Vacíos de agregado mineral (%)	17.00	16.10	17.30	16.90
Vacíos llenos de C.A. (%)	74.00	72.00	73.00	73.00

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

Podemos observar que los resultados del ensayo Marshall patrón, cumplen con los parámetros establecidos en la norma del ministerio de transporte y comunicaciones

					(MTC)
% De cemento asfáltico	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	Perú.
Asfalto (gr)	48.00	54.00	60.00	66.00	EXPE
Cenizas de carbón (gr)	120.00	120.00	120.00	120.00	
Grava (gr)	474.72	471.96	469.20	466.44	RIMENT
PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS					
Arena (gr)	536.64	533.52	530.40	527.28	AL 10%.
Agregado grueso – Cantera Rubén			46%		
Agregado fino – Cantera Rubén			52%		Tabla N°
Filler –Cal Hidratada			2%		

Dosificación de agregados.

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

De acuerdo a la dosificación se obtuvo la mezcla asfáltica en caliente, con el siguiente peso adicionando un 10% por cenizas de carbón mineral.

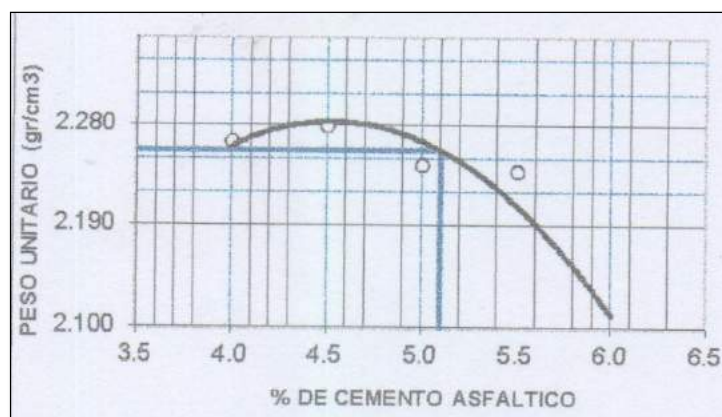
Tabla N° 39: Materiales para la mezcla en gramos.

Filler-cal(gr)	20.64	20.52	20.40	20.28
Total (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018.

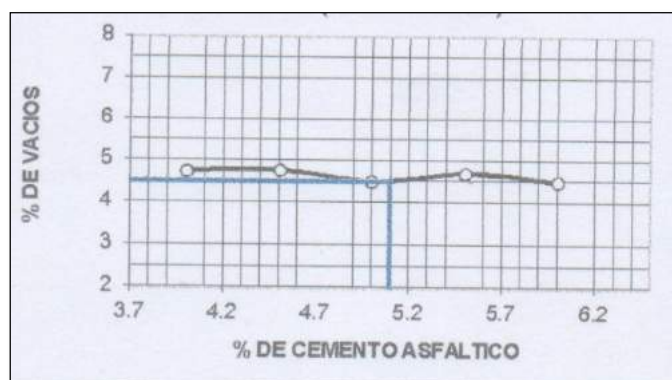
De acuerdo a la dosificación y de realizar el método Marshall se obtuvo los siguientes gráficos.

Gráfico N°13. Peso Unitario.



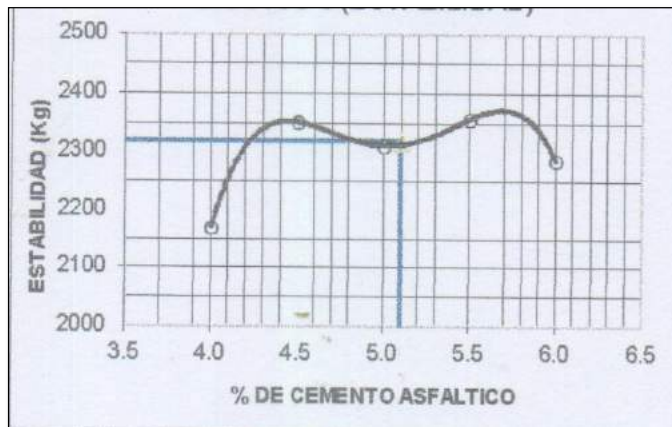
Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Gráfico N°14. % de Vacíos.



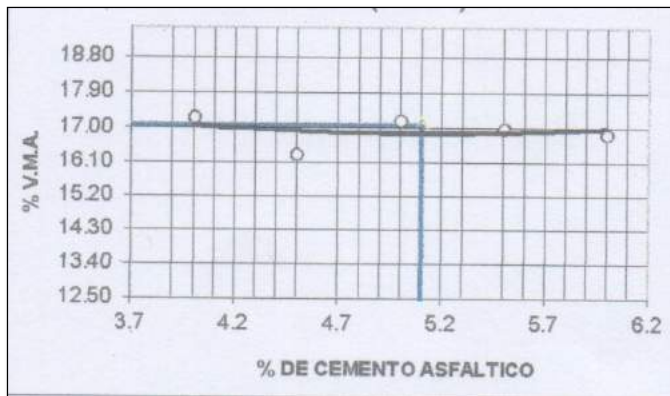
Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Gráfico N°15. Estabilidad Marshall.



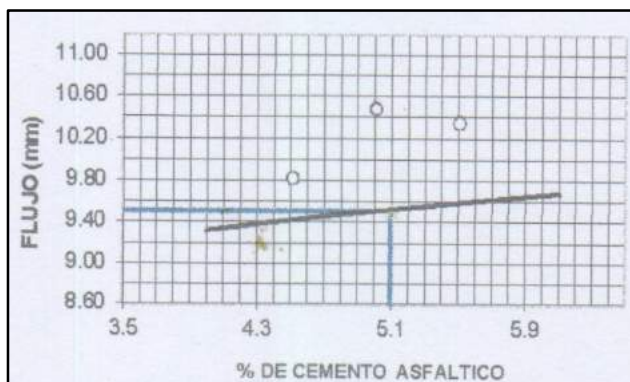
Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Gráfico N°16. Vacíos en el Agregado Mineral.



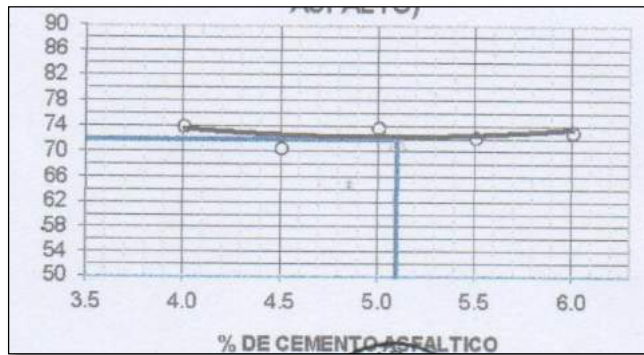
Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Gráfico N°17. Flujo Marshall.



Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Gráfico N°18. % de vacíos llenos de asfalto.



Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales USP-2018

Tabla N°40. Características del ensayo Marshall experimental 10%

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP-2018

Podemos observar que los resultados del ensayo Marshall adicionando 10% por

N° DE GOLPES DE CAPA	75	75	75	75	cenizas de carbón mineral, cumplen con los parámetr os
Cemento asfáltico (%)	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	
Peso específico (Kg/cc)	2.266	2.281	2.244	2.239	
Estabilidad (Kg)	2284	2352	2365	2358	
Flujo (0.01 pulg)	9.37	9.83	10.50	10.37	
Vacíos de aire (%)	4.74	4.78	4.50	4.70	
Vacíos de agregado mineral (%)	17.30	16.30	17.20	17.00	
Vacíos llenos de C.A. (%)	73.00	71.00	74.00	72.00	

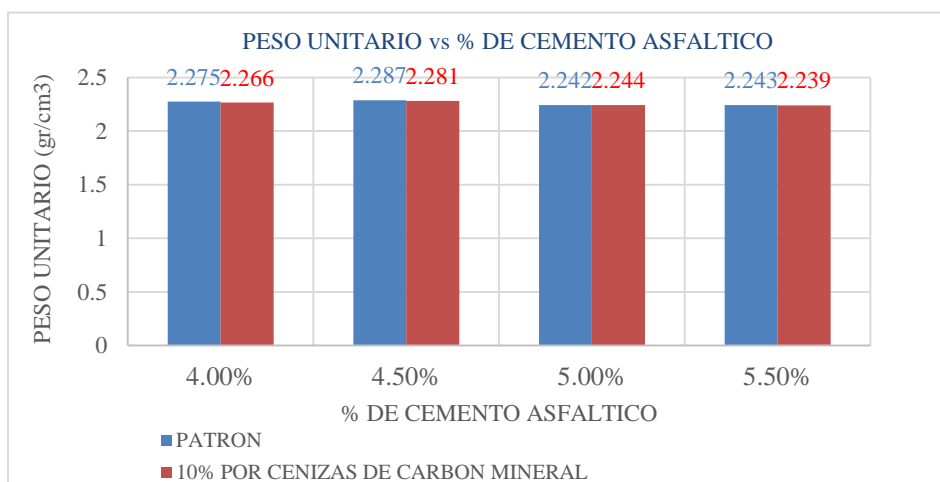
establecidos en la norma del ministerio de transporte y comunicaciones (MTC) Perú.

Tabla N°41. Peso unitario diseño patrón y experimental 10%

% De asfalto	Patrón Peso Unitario (Kg/cc)	Experimental 10% Peso Unitario (Kg/cc)
4.00%	2.275	2.266
4.50%	2.287	2.281

5.00%	2.242	2.244
5.50%	2.243	2.239

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP



Grafica 19. Peso unitario patrón VS experimental.

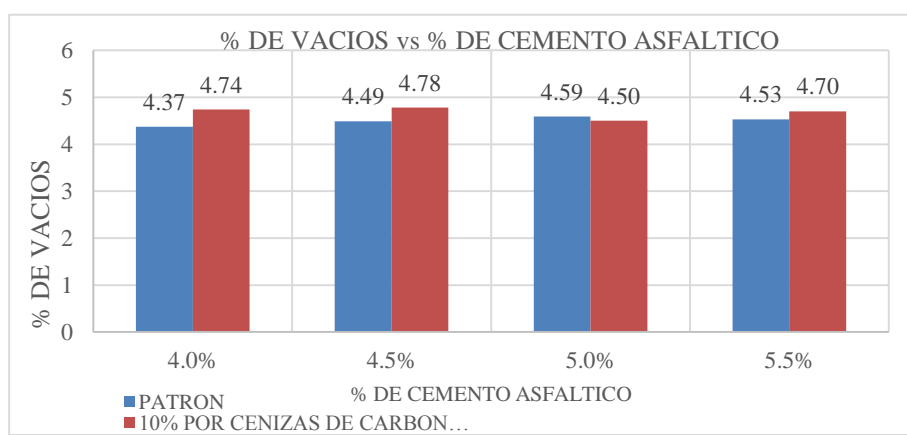
Fuente: El autor

En el grafico se observa que en el diseño patrón de mezclas asfáltica en caliente hay una mayor cantidad de absorción de asfalto que en el diseño experimental adicionando un 10% por cenizas de carbón mineral.

Tabla N° 42. Vacíos en aire diseño patrón y experimental 10%.

% de asfalto	Patrón Vacíos en Aire(%)	Experimental 10% Vacíos en Aire(%)
4.00%	4.37	4.74
4.50%	4.49	4.78
5.00%	4.59	4.50
5.50%	4.53	4.70

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP.



Grafica 20. % vacíos patrón VS experimental.

Fuente: El autor.

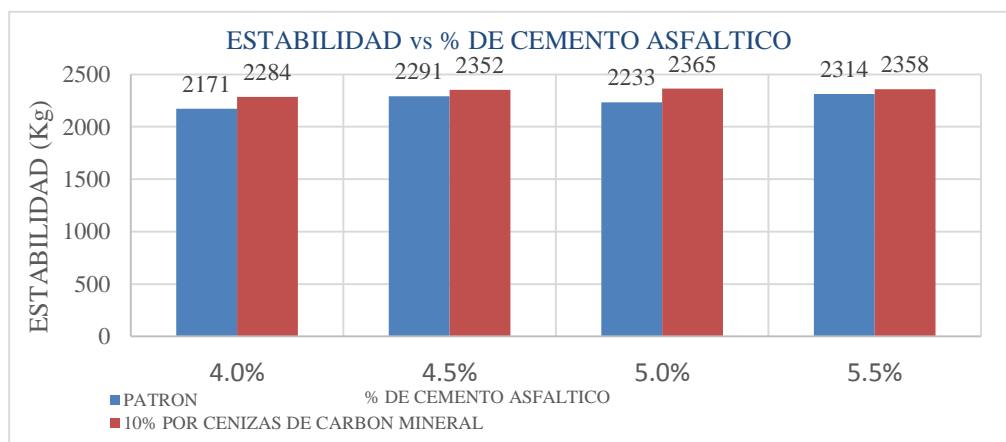
En el grafico se observa tanto en el diseño patrón como experimental, los porcentajes de vacíos aumentan conforme aumenta el porcentaje de asfalto., en el grafico se observa que el porcentaje está entre 3-5 % por lo cual cumplen con las normas de MTC Perú.

Tabla N°43.Estabilidad diseño patrón y experimental 10%.

% De asfalto	Patrón Estabilidad (Kg)	Experimental Estabilidad (Kg)	10%
4.00%	2171	2284	
4.50%	2291	2352	
5.00%	2233	2365	
5.50%	2314	2358	

Fuente: Resultados de

los ensayos del laboratorio de la USP.



Grafica 21. Estabilidad Marshall patrón VS Experimental.

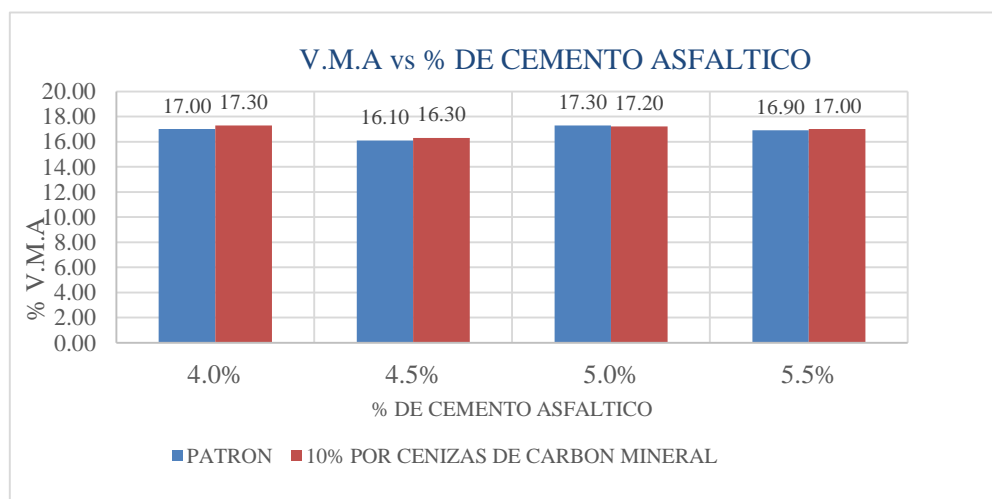
Fuente: El autor.

En la gráfica, se observa que adicionado un 10% por cenizas de carbón mineral, soporta mayor cantidad de carga en comparación al diseño convencional, cumplen con la norma establecida del MTC Perú.

Tabla N° 44. Vacíos en el agregado mineral diseño Patrón y experimental 10%

% De asfalto	Patrón V.M.A (%)	Experimental 10% V.M.A (%)
4.00%	17.00	17.30
4.50%	16.10	16.30
5.00%	17.30	17.20
5.50%	16.90	17.00

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP.



Grafica 22. Vacíos en el agregado mineral patrón VS experimental.

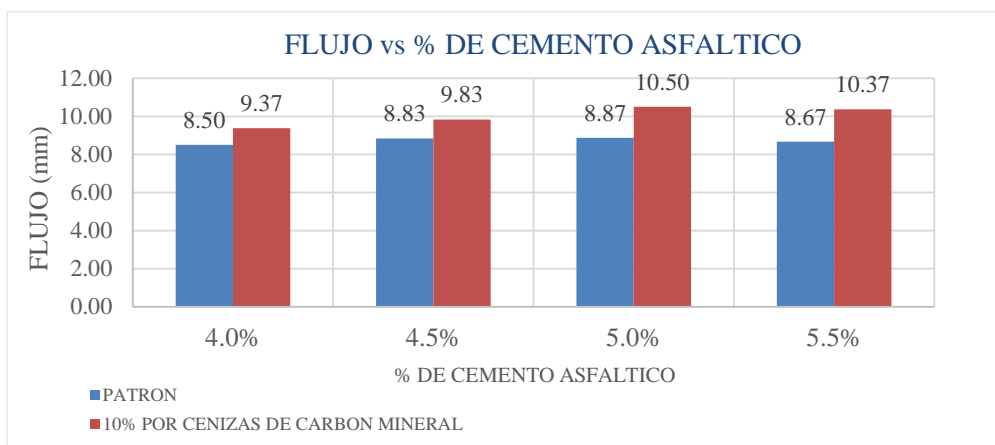
Fuente: el autor.

En la gráfica, se observa que cumplen con la norma establecida por la MTC Perú ya que indican que por contener un tamaño nominal de 1/2" deben tener un mínimo V.M.A de 15.

Tabla N°45. Flujo diseño patrón y experimental 10%.

% De asfalto	Patrón Flujo (0.01 plg)	Experimental 10% Flujo (0.01plg)
4.00%	8.50	9.37
4.50%	8.83	9.83
5.00%	8.87	10.50
5.50%	8.67	10.37

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP.



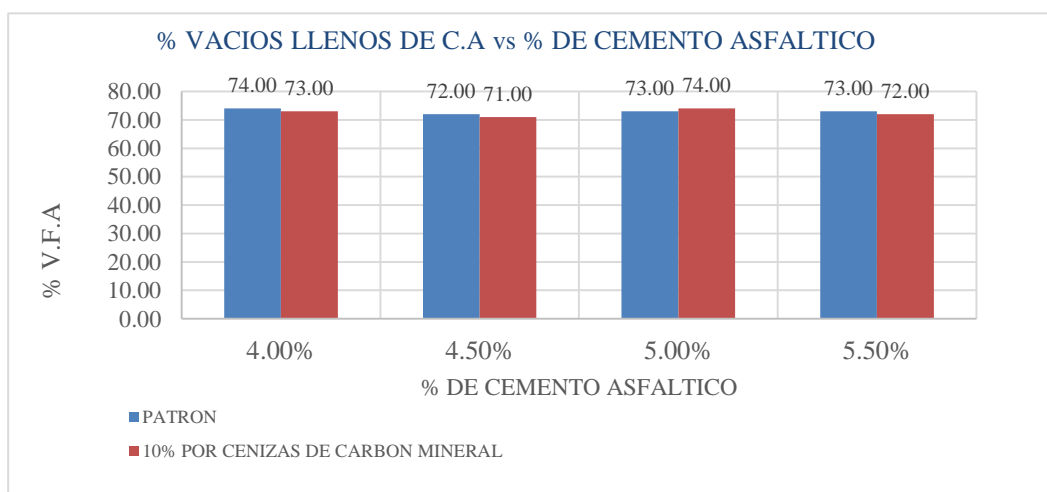
Grafica 23. Flujo Marshall patrón VS experimental.
Fuente: El autor.

En el gráfico, se observa que el diseño experimental el flujo es mayor que el convencional cumpliendo con los parámetros de la norma MTC Perú debido a que aumento la carga el flujo aumenta sino sería un pavimento muy rígido que produciría rajaduras.

Tabla N°46. Vacíos llenos de C.A diseño patrón y experimental 10%

% De asfalto	Patrón Vacíos llenos C.A (%)	Experimental 10% Vacíos llenos C.A (%)
4.00%	74.00	73.00
4.50%	72.00	71.00
5.00%	73.00	74.00
5.50%	73.00	72.00

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP.



Grafica 24. Vacíos llenos con asfalto patrón VS experimental 10%.
Fuente: El autor.

RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN- DISEÑO PATRÓN.

Tabla N°47. Resistencia a la deformación-briquetas patrón 4.00%

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3
% de Asfalto	4.00%	4.00%	4.00%
Estabilidad (Kg)	2230	2105	2177
Flujo (cm)	0.66	0.60	0.6525
Resist. Def (Kg/cm)	3378.788	3508.333	3336.398
Resist. Prom. (Kg/cm)	3407.840		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP

Tabla N°48. Resistencia a la deformación-briquetas patrón 4.50%

	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6
% de Asfalto	4.50%	4.50%	4.50%
Estabilidad (Kg)	2355	2195	2323
Flujo (cm)	0.675	0.65	0.6675
Resist. Def (Kg/cm)	3488.889	3403.101	3480.150
Resist. Prom. (Kg/cm)	3457.380		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP

Tabla N°49. Resistencia a la deformación-briquetas patrón 5.00%

	Briqueta 7	Briqueta 8	Briqueta 9
% de Asfalto	5.00%	5.00%	5.00%
Estabilidad (Kg)	2236	2219	2243
Flujo (cm)	0.66	0.6525	0.6825
Resist. Def (Kg/cm)	3387.879	3400.766	3286.447
Resist. Prom. (Kg/cm)	3358.364		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP

Tabla N°50. Resistencia a la deformación-briquetas patrón 5.50%

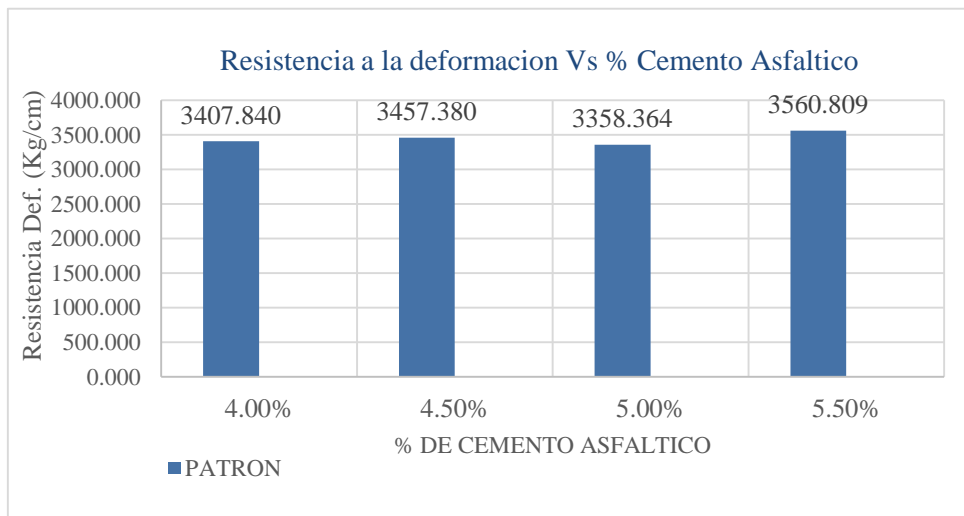
	Briqueta 10	Briqueta 11	Briqueta 12
% de Asfalto	5.50%	5.50%	5.50%
Estabilidad (Kg)	2351	2261	2330
Flujo (cm)	0.6675	0.6450	0.6375
Resist. Def (Kg/cm)	3522.097	3505.426	3654.902
Resist. Prom. (Kg/cm)	3560.809		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP

Tabla N°51. Resumen resistencia a la deformación briquetas patrón.

Resumen	
Resit. Def (Kg/cm)	% de asfalto
3407.840	4.00%
3457.380	4.50%
3358.364	5.00%
3560.809	5.50%

Fuente: El autor



Grafica 25. Resistencia a la deformación Vs % C.A. Diseño Patrón.

Fuente: El autor.

Interpretación: En el grafico podemos observar, que al aumentar el asfalto aumenta la resistencia a la deformación pero en 5% de asfalto disminuye donde se puede apreciar que es el óptimo diseño de asfalto en dicho porcentaje.

RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN- DISEÑO EXPERIMENTAL 10%.

Tabla N°52. Resistencia a la deformación-briquetas experimental 4.00%

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3
% de Asfalto	4.00%	4.00%	4.00%
Estabilidad (Kg)	2254	2278	2320
Flujo (cm)	0.705	0.690	0.7125
Resist. Def (Kg/cm)	3197.163	3301.449	3256.140
Resist. Prom. (Kg/cm)	3251.584		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP

Tabla N°53.Resistencia a la deformación-briquetas experimental 4.50%

	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6
% de Asfalto	4.50%	4.50%	4.50%
Estabilidad (Kg)	2330	2344	2382
Flujo (cm)	0.75	0.7875	0.675
Resist. Def (Kg/cm)	3106.667	2976.508	3528.889
Resist. Prom. (Kg/cm)	3204.021		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP**Tabla N°54.Resistencia a la deformación-briquetas experimental 5.00%**

	Briqueta 7	Briqueta 8	Briqueta 9
% de Asfalto	5.00%	5.00%	5.00%
Estabilidad (Kg)	2368	2330	2396
Flujo (cm)	0.7725	0.7875	0.8025
Resist. Def (Kg/cm)	3065.372	2958.730	2985.670
Resist. Prom. (Kg/cm)	3003.257		

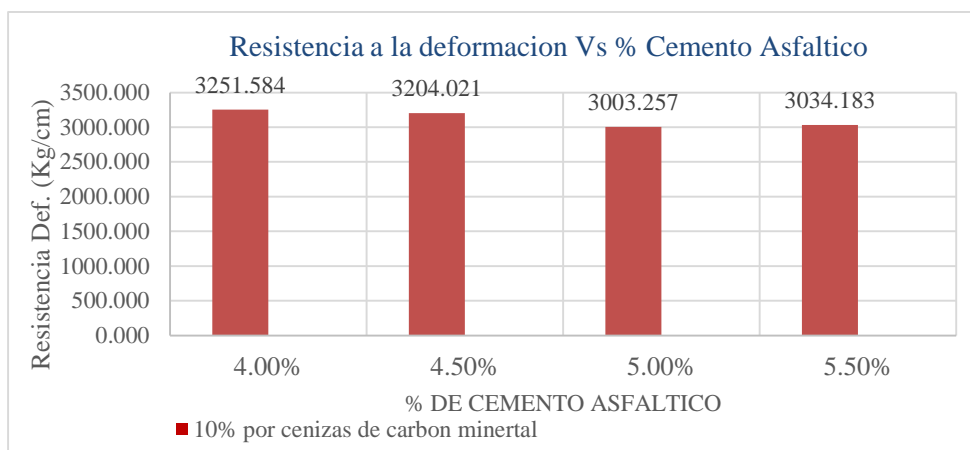
Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP**Tabla N°55.Resistencia a la deformación-briquetas experimental 5.50%**

	Briqueta 10	Briqueta 11	Briqueta 12
% de Asfalto	5.50%	5.50%	5.50%
Estabilidad (Kg)	2334	2361	2379
Flujo (cm)	0.75	0.7875	0.795
Resist. Def (Kg/cm)	3112.000	2998.095	2992.453
Resist. Prom. (Kg/cm)	3034.183		

Fuente: laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales-USP**Tabla N°56.Resumen resistencia a la deformación briquetas experimentales 10%.**

Resumen	
Resit. Def (Kg/cm)	% de asfalto
3251.584	4.00%
3204.021	4.50%
3003.257	5.00%
3034.183	5.50%

Fuente: Él autor



Grafica 26. Resistencia a la deformación Vs % C.A. Diseño experimental 10%.

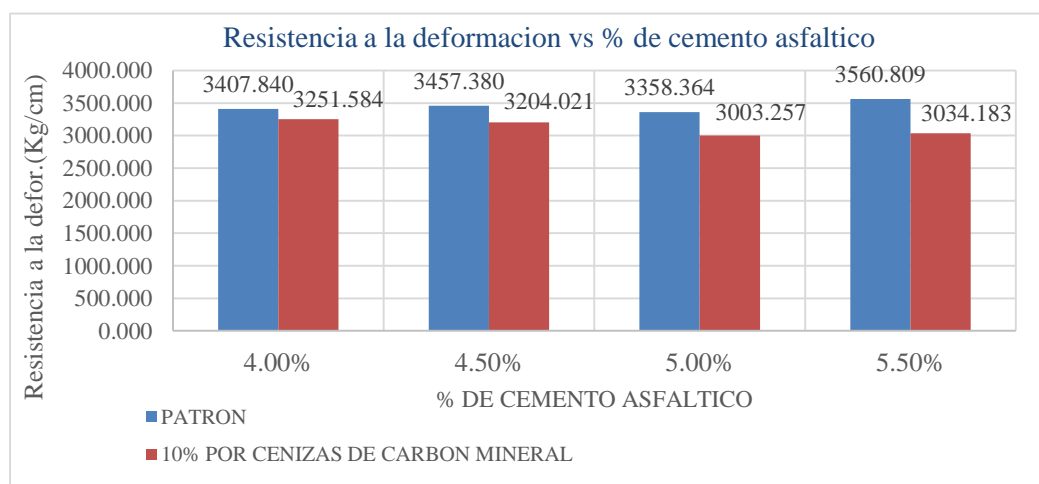
Fuente: El autor

Interpretación: En el grafico podemos observar, que al adicionar cenizas de carbón mineral, en cada porcentaje de asfalto la resistencia a la deformación disminuye pero en el 5% de asfalto es el más bajo por lo que se puede apreciar que está en el óptimo diseño con respecto a dicho porcentaje.

Tabla N°57. Resistencia a la deformación promedio de briquetas patrón y experimental 10%.

% de asfalto	Patrón	Experimental 10%
	Resistencia Pro.(Kg/cm)	Resistencia Pro.(Kg/cm)
4.00%	3407.84	3251.584
4.50%	3457.38	3204.021
5.00%	3358.364	3003.257
5.50%	3560.809	3034.183

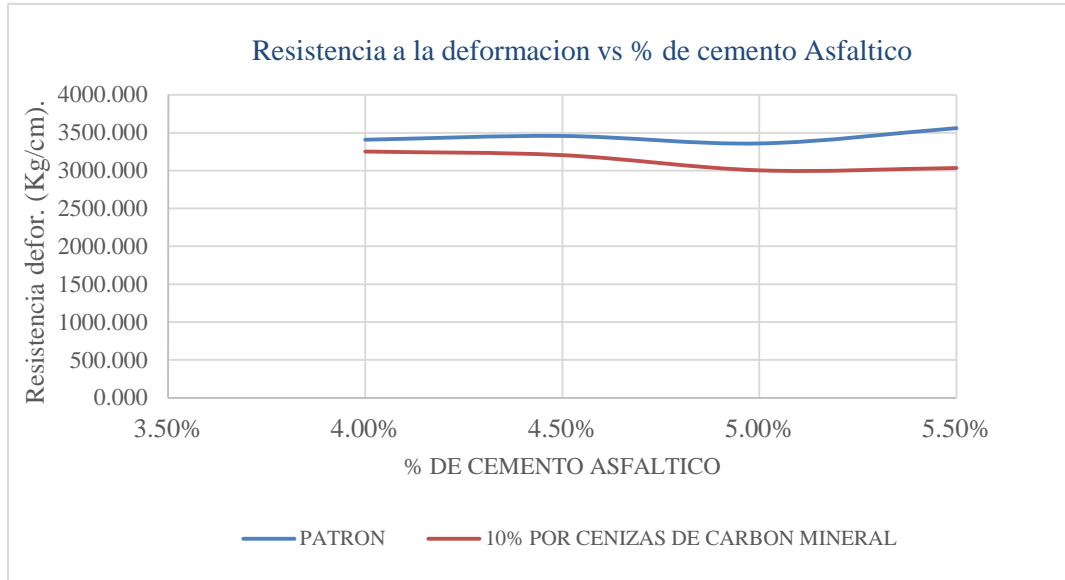
Fuente: El autor



Grafica 27. Resistencia a la deformación patrón VS experimental 10%.

Fuente: El autor.

GRAFICA PATRÓN VS EXPERIMENTAL (CURVA).



**Grafica 28. Resistencia a la deformación patrón VS experimental 10%.
Fuente: El autor**

ANÁLISIS DE VARIANZA-ANOVA

Tabla N°58: Resistencias a la deformación de briquetas con adición de un porcentaje de ceniza de carbón mineral según porcentaje de asfalto.

Porcentaje asfalto	Resistencia a la deformación las briquetas con un porcentaje de ceniza de carbón mineral	
	0%	10%
4.0%	3407,84	3251,58
4.5%	3457,38	3204,02
5.0%	3358,36	3003,26
5.5%	3560,81	3034,18

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

En la tabla N°58 se puede apreciar que las resistencias a la deformación de las briquetas se muestran ligeramente menor cuando se adiciona 10% de ceniza de carbón de mineral.

Después de verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad con Shapiro-Wilk (con $p > 0.05$ para las dos muestras) y homogeneidad de varianzas con la prueba F ($F=2.531$, $p=0.163$, $p > 0.05$) de las resistencias medias obtenidas en las briquetas para cada tratamiento (adición de un porcentaje de ceniza de carbón de mineral) se procedió a realizar la prueba ANOVA.

Tabla N°59: Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la deformación de las briquetas.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Adición de ceniza Carbón mineral	208447,457	1	208447,457	16,643	,027
Porcentaje asfalto	30197,781	3	10065,927	,804	,569
Error	37573,866	3	12524,622		
Total	276219,104	7			

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP.

En la tabla N°59 se puede visualizar que para la adición de ceniza de carbón mineral, el $p\text{-value} < \alpha$ ($p=0.027$, $p < 0.05$) entonces podemos decir que los datos muestran suficientes evidencias para rechazar la hipótesis nula (las resistencias a la deformación medias son iguales). Por lo que podemos concluir que con nivel de 5% de significancia las resistencias medias en kg/cm logradas en las briquetas, con adición de ceniza de carbón mineral en 0%, 10% son diferentes. Es decir existe una diferencia significativa entre las resistencias a la deformación medias de las briquetas.

También se tienen que para los porcentajes de asfalto $p\text{-value} > \alpha$ ($p=0.569$, $p > 0.05$) entonces podemos decir que no existe evidencias suficientes para indicar que las resistencias a la deformación medias de las briquetas sean diferentes a consecuencia del porcentaje de asfalto.

IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En la relación con antecedentes, lo siguiente:

Peña (2011) analizó el material a 750°C con un tiempo de 2 horas, directamente tomando como antecedente este dato logrando un porcentaje de 73.35% entre los óxidos necesarios (silicio, aluminio, hierro, y azufre) que dependen de la zona geológica que se extrae el material la cual son elementos presentes en la adición de mezclas asfálticas en caliente, cabe mencionar que el material utilizado por este autor es de procedencia de minas de carbón en Colombia. Al calcinar a una temperatura de 700°C a 2 horas, se logró obtener un porcentaje de 86.44% entre los óxidos requeridos, se puede observar que lo obtenido por Peña es inferior en un 13.09% en contenido porcentual de óxidos, sin embargo, la temperatura utilizada es mucho menor con lo que se está claramente teniendo un ahorro energético y contribuyendo con la conservación del medio ambiente. Pero se logró incrementar la resistencia al compararlo con un patrón. Se puede considerar también otras temperaturas para optimizar los resultados, puesto que la reacción del material se muestra a partir de 560°C y en otros intervalos de tiempos.

Si comparamos lo realizado por Albarrán y Henríquez(2014) con respecto al estudio realizado se puede observar que en porcentajes de adición de 15% logra obtener un cambio favorable solo en la estabilidad Marshall y que el resto no hubo cambios, y en el caso de 10% de adición se logró mejorar la resistencia a la deformación obteniendo cambios en todos los parámetros del ensayo Marshall cumpliendo con lo establecido en la norma de transportes y comunicaciones MTC Perú, en el gráfico N°09, se puede observar una disminución en la deformación de la carpeta asfáltica comparando el diseño convencional y experimental 10%.

De los ensayos realizados, se puede mencionar:

De la gráfica 1 en el análisis térmico gravimétrico se observa la curva a una temperatura de 100°C se registra un efecto endotérmico correspondiente a la eliminación de agua absorbida. Alrededor de 200 y 600 °C se observa una curva

constante debido a que aumenta la temperatura la masa disminuye y ocurre un proceso eliminación térmica de componentes orgánicos minerales (hemicelulosas) Alrededor de 600 - 800 °C corresponde a la descomposición de minerales. La pérdida masa total de la muestra que contiene sílice asciende al igual que los aluminatos. Por lo tanto se activan los propulsores puzolanicos y se pasan a formar cadenas de óxidos.

En la figura 2, El primer pico exotérmico ocurre a los 185 °C y el segundo alrededor de los 700; estos picos corresponden a reacciones de oxidación de la parte orgánica del carbón mineral y a la conformación del SiO₂ que se obtiene al analizar el tratamiento térmico. La temperatura a la que ocurre el segundo pico exotérmico coincide, aproximadamente, con el inicio de la zona de peso constante de la muestra como lo indica el análisis de pérdida. Alrededor de los 100°C el punto endotérmico se observa por pérdida de peso inicial y elimina energía.

En la tabla 15, se puede apreciar que las cenizas de carbón mineral tiene dentro de sus componentes químicos más abundantes a los óxidos de silicio en 34.585%, aluminio en 40.614 % , hierro en 1.128% y calcio(CaO) en 2.946 % , estos valores permiten estimar la actividad puzolánica de este material bajo el estándar de la ASTM C 618 , el cual menciona que la suma de los óxidos de silicio , aluminio y hierro deben superar el 70 % para que un material pueda considerarse como un material puzolánico , en este caso la suma porcentuales de los óxidos es de 79.27%, es decir el proceso realizado para la activación del material ha permitido obtener un material de gran reactividad puzolánica, y en menor concentración los óxidos de vanadio en 0.182%, níquel en 0.571% y estroncio en 0.084% que son componentes del hidrocarburo presentes en el asfalto, originarían un material similar al asfalto PEN 60/70 que es usado en esta investigación. Que al reaccionar con algunos compuestos presentes en el agregado, se adhieren satisfactoriamente a la mezcla asfáltica en caliente dando como resultado una mejor resistencia a la deformación de la carpeta asfáltica disminuyendo la deformación debido a la carga de tránsito y el clima de un pavimento en servicio.

En la tabla 02, se muestra los requisitos para los agregados gruesos según la norma del Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC Perú, de acuerdo a los ensayos realizados sobre la caracterización de los agregados gruesos la durabilidad al sulfato de sodio o magnesio es de 2.02% cumpliendo con lo especificado de la norma que es de 10% máx., abrasión los ángeles con 12.60% siendo un material resistente para la construcción de pavimentos cumpliendo con la norma que es 35% máx., partículas chatas y alargadas con 8% ya que con altos contenidos partículas chatas y alargadas son más susceptibles a fallar al momento que se aplique una carga por eso es importante tener la cantidad de ellas presentes en el agregado ya que la norma especifica un 10% máx., caras fracturadas con 78.34% siendo la norma de 40% min., sales solubles totales con 0.0671% con un límite en la norma de 0.5% máx., adherencia con +95 cumpliendo con la norma que es de +95 esto ensayo permite que el asfalto PEN 60/70 con los agregados y la cenizas de carbón se adhieren satisfactoriamente

En la tabla 03, se muestra los requisitos para los agregados finos según la norma del Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC Perú, de acuerdo a los ensayos realizados sobre la caracterización de los agregados finos equivalente de arena es de 74.37% cumpliendo con lo especificado de la norma que es de 45% min., Adhesividad Riedel Weber con 8, que nos permite la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado fino que conforman una mezcla asfáltica cumpliendo con la norma que es 6 min., índice de plasticidad de malla N°40 y 200 no presenta ya que la norma especifica que no debe haber índice de plasticidad., sales solubles totales con 0.078% con un límite en la norma de 0.5% máx.

En el gráfico N°27 se observa que en el diseño patrón la resistencia a la deformación es de 3358.364 kg/cm en un 5% de contenido de asfalto, es mayor que en la experimental al 10% por cenizas de carbón mineral con 3003.257 kg/cm, podría decirse que es mejor pero no es así porque valores muy altos de resistencia la carpeta asfáltica se vuelve rígida provocando rajaduras al pavimento pero ambos ensayos cumplen con lo especificado con la norma que indica que debe estar entre 1700-4000 kg/cm esta disminución a la deformación se debe a que los componentes

químicos que contiene las cenizas de carbón mineral tales como el trióxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de calcio (CaO), dióxido de Titanio (TiO_2), Pentóxido de vanadio (V_2O_5), trióxido de azufre (SO_3) se han adherido satisfactoriamente a la mezcla asfáltica en caliente, dando origen a una mezcla asfáltica modificada con mayor resistencia a las cargas de tránsito y las inesperadas temperaturas, ayudando a obtener una disminución a la deformación en la carpeta asfáltica utilizando un cemento asfáltico PEN 60/70, logrando un pavimento más estable que en lo convencional, obteniendo mejores resultados para tener una mezcla asfáltica con materias primas que existe en nuestra región a menores costos que se da en los pavimentos convencionales.

En el gráfico N°28 se observa que la curva de diseño patrón es mayor que la curva en el diseño experimental al 10% por cenizas de carbón mineral, viendo una curva parabólica invertida en 5% de porcentaje de asfalto tanto en el diseño convencional como en el modificado nos señala que este contenido el porcentaje óptimo de asfalto teniendo como resultado un 5.01% en el diseño patrón y 5.10% en el experimental 10% es el punto donde la deformación es mínima, según los resultados obtenidos en el laboratorio se verificó que la estabilidad en el diseño experimental es mayor que en lo convencional esto significa que soportó mayor carga debido al tránsito con respecto al diseño patrón y se obtuvo una menor deformación, por lo que también nos verifica los resultados estadísticos que existe significancia con respecto a la resistencia a la deformación dando así que la materia prima de carbón mineral es un buen material para mezclas asfálticas en caliente, que nos ayudaran a mejorar a los pavimentos en nuestra región y país. Ya que han sido ensayados de acuerdo a la norma del ministerio de transporte y comunicaciones MTC Perú.

V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1.-Los procesos mecánicos de trituración y térmicos de calcinación han permitido activar los componentes químicos del carbón mineral, a una temperatura de calcinación controlada de 700°C durante 2 horas.

2.-La composición química de las cenizas de carbón mineral, indica la presencia de compuestos químicos del asfalto como, trióxido de azufre (SO_3) con 10.121%, en menor porcentaje como oxido de Calcio (CaO) con 2.946%, dióxido de Titanio (TiO_2) con 2.095%, oxido de Níquel (Ni_2O_3) con 0.571%, trióxido de Arsénico (As_2O_3) con 0.102% de acuerdo (Asphalt Institute. ,1982) , la cual se obtuvo una buena adherencia con la cenizas de carbón mineral, el asfalto PEN 60/70 y los agregados en la mezcla asfáltica en caliente.

3.-Los ensayos realizados sobre los agregados cumplen con la norma del ministerio de transporte y comunicaciones por lo que pueden ser usados para la construcción de carreteras ayudando a mejorar las propiedades del pavimento.

4.-De acuerdo al ensayo Marshall las briquetas hechas en porcentajes de asfalto de 4%,4.5%, 5% y 5.5% se obtuvo cambios favorables con respecto a los parámetros de la mezcla asfáltica en caliente obteniendo mayor estabilidad y flujo dando como resultado una mejor resistencia a la deformación de 3003.257kg/cm diseño experimental y 3358.364kg/cm en un diseño convencional la cual se obtuvo una disminución a la deformación.

5.-Por material y nivel de adición los resultados para disminuir la deformación de mezclas asfálticas en caliente, se hizo en un 10% por cenizas de carbón mineral, de acuerdo al proyecto de investigación se logró verificar realizando pruebas de valides estadística que las cenizas de carbón mineral se pueden incorporar a la mezcla asfáltica en caliente permitiendo mejorar la resistencia a la deformación del pavimento.

RECOMENDACIONES

Calcinar a una temperatura mayor o menor de 700°C ya que el rango es de 600°C a 800°C para verificar si sus componentes químicos sufren variación debido a la temperatura.

Se recomienda utilizar en la construcción de carreteras respecto a mezclas asfálticas en caliente adicionar un 10% de cenizas de carbón mineral porque ayuda a mejorar la resistencia a la deformación, teniendo mayor estabilidad de carga y una menor deformación respecto a las cargas de tránsito de la carpeta asfáltica, ya que cumplen con las especificaciones técnicas del manual de carreteras (MTC) Perú, para un diseño de tránsito pesado con un tipo de cemento asfáltico PEN60/70.

Se recomienda realizar ensayos con porcentajes de cenizas de carbón mineral mayores al 10% y así poder analizar los resultados obtenidos y determinar si las propiedades mejoran significativamente o no.

Tener precaución al momento de pesar el asfalto ya que el exceso de asfalto genera a la briqueta ser muy plástica y resisten menor carga y menos asfalto de lo especificado los agregados no se unen satisfactoriamente en la mezcla,

Se recomienda hacer ensayos de los agregados gruesos y finos para tener un mejor diseño de mezclas asfálticas y así evitar el exceso de absorción de asfalto y tener un mejor diseño óptimo en mezclas asfálticas en caliente.

El proyecto de investigación está basado solo en la carpeta asfáltica de un pavimento, por lo que se recomienda hacer ensayos sobre la estructura del pavimento que conforman como la rasante, sub rasante, base y subbase, porque también depende del tipo de suelo que se va a construir una carretera.

VI: AGRADECIMIENTO

A Dios por ser nuestro creador, amparo y fortaleza, cuando más lo necesitamos, y por hacer palpable su amor a través de cada uno de los que nos rodea.

Con mucho cariño a mis padres, hermanos por su incomparable ayuda y apoyo para ser de mí una persona de éxito.

Muestro mi inmensa gratitud a todo el conjunto de profesores que contribuyeron eficazmente en mi educación, que con su excelente nivel académico-humanístico, trazan el camino a seguir de futuros profesionales de calidad; asimismo, hago extensivo mi agradecimiento a todas aquellas personas que supieron apoyarme en toda circunstancia vivida durante mi formación profesional, a quienes sé que comparten conmigo la satisfacción de culminar el presente trabajo.

VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Albarrán, M & Henríquez .J (2014), Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con la incorporación de coque como materia prima para su uso en pavimentos flexibles (tesis para optar el título de ingeniero civil) Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela.
- Alvares (2009), El proceso de fabricación de las mezclas asfálticas (Investigación). Universidad Católica de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/154266025/el-proceso-de-fabricacion-de-las-mezclas-asfalticas>.
- American Association of State Highway and Transportation Officials Hot Mix Asphalt Paving Handbook. USA (2000).
- Asphalt Institute (1982), Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Serie de manuales N°22 (MS-22) .Kentucky, USA.
- ASTM C618. (2005). Especificación normalizada para Ceniza de Carbón y Puzolana Natural en Crudo o Calcinada para Uso en Concreto. Recuperado de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C618-12-SP.htm>
- ASTM D388-12. (2004). Clasificación del carbón por rango. Recuperado de [https://www.ckic.net/news/special-topic/classification-of-coal-by-rank-\(astm-d388-12\).html](https://www.ckic.net/news/special-topic/classification-of-coal-by-rank-(astm-d388-12).html)
- ASTM D-5142-09. (2004). Métodos de prueba para análisis próximo de la muestra de análisis de carbón y coque por procedimientos instrumentales. Recuperado de <https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/astm-d5142-04> 150208_SAIG_ASTM_ASTM_351102.
- ASTM D-3174-04. (2011). Método de prueba para la ceniza en el análisis muestra de carbón y coque de carbón. Recuperado de <https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/astm-d5142-04> 150208_SAIG_ASTM_ASTM_351102/

- Damián, R & Moreno, J. (2015), Efecto de la adición de ceniza de escama de pescado en la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente. (Tesis para optar título de ingeniero civil) Universidad San Pedro, Chimbote, Perú.
- Manual de ensayos de Materiales. Edición mayo de 2016. Ministerio de Transporte y comunicaciones (MTC).Perú.
- Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción (EG-2013).
- Martínez, F, Andreoni, R & Poncino, H. (1997), Utilización de cenizas volantes, como Filler de mezclas asfálticas, XII Congreso Argentino de Vialidad y Transito, Volumen III. Argentina: Asociación Argentina de la carretera. Recuperado de <https://trid.trb.org/results?q=&serial=%22xii%20congreso%20argentino%20de%20vialidad%20y%20transito%22>.
- Menéndez, J.R. (2012).Ingeniería de Pavimentos Materiales, Diseño y conservación. Perú: Instituto de la construcción y gerencia.
- Minen, (2017), Producción mineral no metálica, según Región -2017-ministerio de energía y minas-dirección general de minería. Perú.
- MTC E 108. (2016). Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. MTC. Perú.
- MTC E 111. (2016). Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.). MTC. Perú.
- MTC E 114. (2016). Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino. MTC. Perú.
- MTC E 203. (2016). Peso unitario y vacíos de los agregados. MTC. Perú.
- MTC E 204. (2000). Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. MTC. Perú.
- MTC E 205. (2016). Gravedad específica y absorción de agregados finos. MTC. Perú.
- MTC E 207. (2016). Abrasión los ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½"). MTC. Perú.

- MTC E 209. (2016). Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio. MTC. Perú.
- MTC E 210. (2016). Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso. MTC. Perú.
- MTC E 219. (2016). Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles. MTC. Perú.
- MTC E 220. (2016). Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (procedimiento Riedel-Weber). MTC. Perú.
- MTC E 221. (2016). Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras. MTC. Perú.
- MTC E 504, Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato Marshall. MTC. Perú.
- Padilla, A. (2009). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>.
- Peña, M. (2011), Caracterización de cenizas de algunos carbones colombianos in situ por retro dispersión gamma-gamma, (tesis para optar el título de maestría en Ciencias Química). Universidad nacional de Colombia, Bogotá Colombia, Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/5298/1/maryluzpenauruea>. 2011.pdf.
- Pérez, R. (2012), Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como sub rasante mejorada y/o sub base de pavimentos. (Tesis Maestría) Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1313>
- Reyes, O, Troncoso, J & Camacho. (2006). Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de cenizas volantes, *Javeriana*, 10(1) ,19-30. Recuperado de <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/ingenieria/revista/DefRev1001Cenizas.pdf>.
- Vicente, J (2013). Composición y estructura del carbón mineral. Recuperado de <http://www.factoria3.com/documentos/carbon.pdf>.

VIII: APÉNDICES Y ANEXOS

Ensayo de ATD



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Polímeros

Trujillo, 14 de Setiembre del 2016

INFORME N° 03 - SET-16

Solicitante: Joan Rosales – Universidad San Pedro - Chimbote

RUC/DNI:

Supervisor:

1. MUESTRA: Carbón Mineral (1 gr)

N° de Muestras	Código de Muestra	Cantidad de muestra ensayada	Procedencia
1	CM-03S	31.6 mg

2. ENSAYOS A APLICAR

- Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido DSC/ Análisis térmico Diferencial DTA.
- Análisis Termogravimétrico TGA.

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- Analizador Térmico simultáneo TG_DTA_DSC Cap. Máx.: 1600°C SetSys_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- Tasa de calentamiento: 20 °C/min
- Gas de Trabajo - Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 – 900 °C.
- Masa de muestra analizada: 31.6 mg.

Jefe de Laboratorio: Ing. Danny Chávez Novoa

Analista responsable: Ing. Danny Chávez Novoa

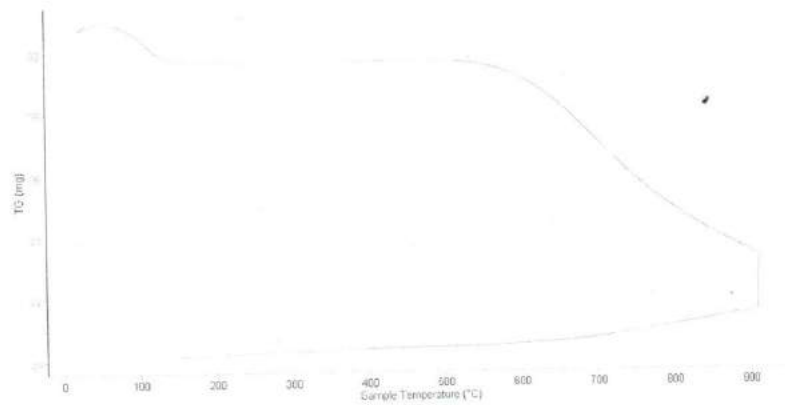


Trujillo, 14 de Setiembre del 2016

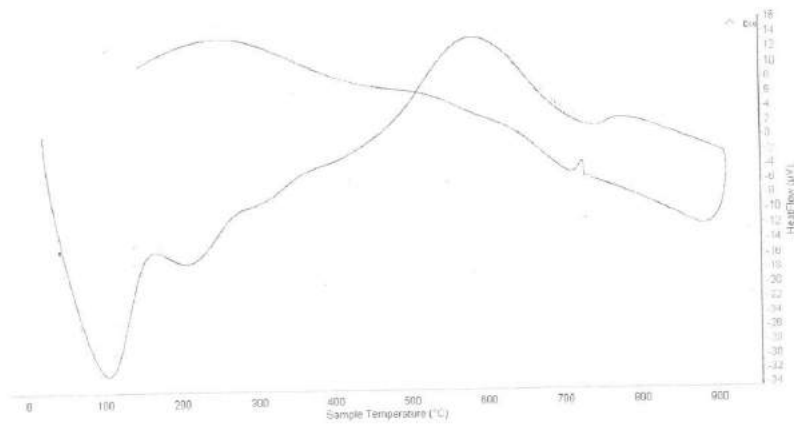
INFORME N° 03 - SET-16

4. Resultados:

I- Curva de pérdida de masa - Análisis Termo gravimétrico.



II- Curva Calorimétrica DSC





Trujillo, 14 de Setiembre del 2016

INFORME N° 03 - SET-16

5. CONCLUSION:

1. Según el análisis Termo gravimétrico se percibe dos (2) importantes pérdidas de masa en la muestra, la primera cerca de 90°C y la segunda en torno a 560°C.
2. De acuerdo al análisis calorimétrico, la curva muestra un (1) importante pico endotérmico a aproximadamente 100°C, una (1) pequeña región endotérmica entre 190 y 250 °C y una región exotérmica entre 550 y 630°C.

Trujillo, 14 de setiembre del 2016



Ing. Danny Mesías Chávez Novoa
Jefe de Laboratorio de Polímeros
Departamento Ingeniería de Materiales - UNT

Ensayo de fluorescencia de Rayos X dispersiva en energía.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arqueometría

Informe N°119-LAQ/2018

Análisis de cenizas de carbón mineral por FRXDE

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) de esta muestra de cenizas de carbón mineral a pedido del Sr. Bach. **Rosales Lecca, Joan Gerardo**, alumno de la Universidad San Pedro, sede Chimbote, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

“Resistencia a la Deformación de una Mezcla Asfáltica en Caliente con Adición de un 10% por Cenizas de Carbón Mineral.”

La muestra está en forma de grano fino de color negro.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 3160cts/s.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene ..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de cenizas de carbón mineral. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico del elemento y la energía del rayo-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos más estables que se pueden formar en el proceso de calcinación y luego se normalizan para dar un total de 100%.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

La suma en términos de contenido de óxidos es menor que 100% indicando que la muestra pueda contener compuestos de Na y/o Mg que esta técnica no pueda detectar y/o diferentes de óxidos y/o hay una deficiencia en la calibración del instrumento. Para mayores detalles sobre la composición estructural de la muestra se sugiere hacer análisis por otras técnicas.

Tabla 1. Composición elemental de cenizas de carbón mineral en % de masa.

Óxido	% masa	Normalizado
Al ₂ O ₃	32.625	40.609
SiO ₂	33.926	34.585
P ₂ O ₅	0.643	1.826
SO ₃	6.450	10.121
ClO ₂	0.082	1.075
K ₂ O	3.048	4.381
CaO	2.312	2.946
TiO ₂	1.144	2.095
V ₂ O ₅	0.127	0.182
Fe ₂ O ₃	0.183	1.128
Ni ₂ O ₃	0.004	0.571
CuO	0.067	0.295
As ₂ O ₃	0.032	0.102
SrO	0.052	0.084
Totales	80.695	100.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

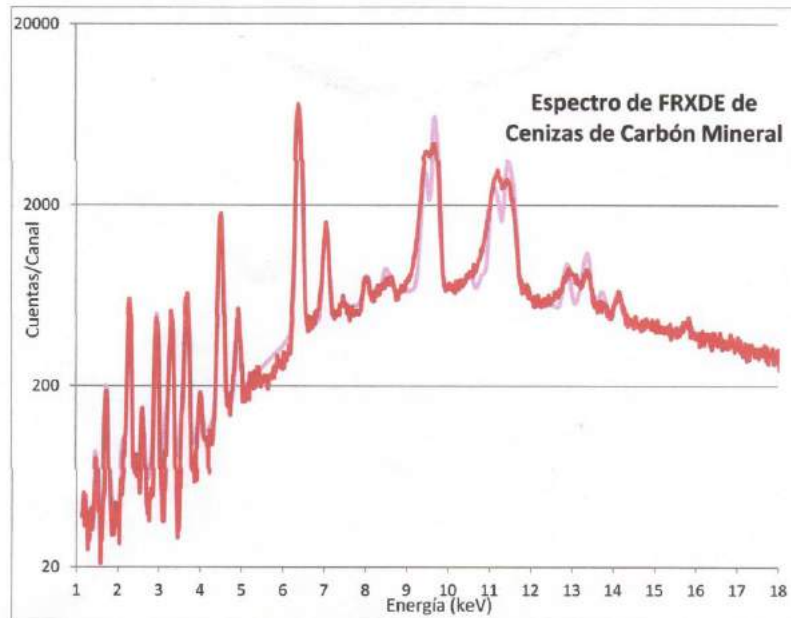


Figura 1. Espectro de FRXDE de cenizas de carbón mineral en escala semi-logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 03 de setiembre del 2018



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

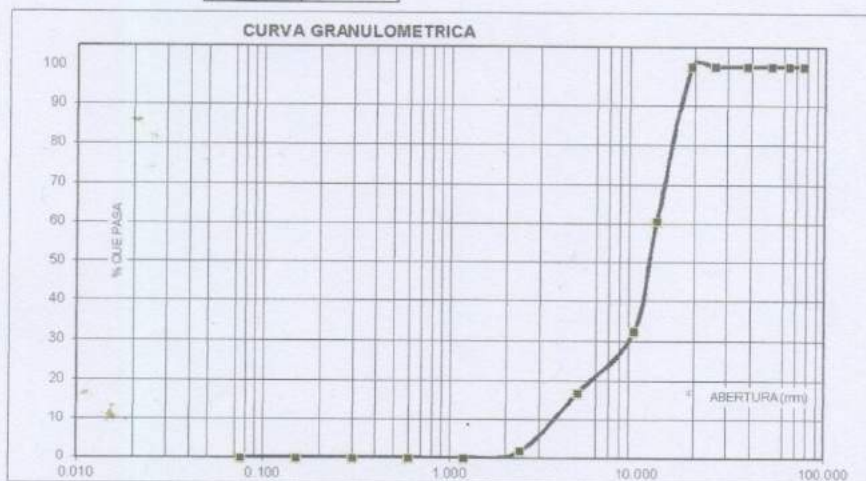
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO (ASTM C 136-06)

SOLICITA : BACH. ROSALES LECCA JOAN GERARDO
 TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICION
 DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBÓN MINERAL
 LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
 CANTERA : RUBEN
 MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
 FECHA : 01-08-2018

TAMIZ	Abert.(mm)	Peso retenido (gr.)	% ret. Parcial (%)	% ret. Acumu. (%)	% Que pasa (gr.)
N° 3	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	345.7	39.2	39.2	60.8
3/8"	9.520	250.5	28.4	67.7	32.3
N° 4	4.750	135.8	15.4	83.1	16.9
N° 8	2.360	133.5	15.2	98.2	1.8
N° 16	1.180	15.6	1.8	100.0	0.0
N° 30	0.600	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 50	0.300	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 100	0.150	0.0	0.0	100.0	0.0
N° 200	0.075	0.0	0.0	100.0	0.0
PLATO	ASTM C-117-04	0	0.0	100.0	0.0
TOTAL		881.1	100.0		

PROPIEDADES FÍSICAS	
Tamaño Máximo Nominal	1/2"
Huso	N° 567 Ref. (ASTM C-33)

OBSERVACIONES
La Muestra tomada identificada por el solicitante.



Finos Limo y Arcilla	Arena			Grava
	Fina	Media	Gruesa	Fina

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
 JEFATURA
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

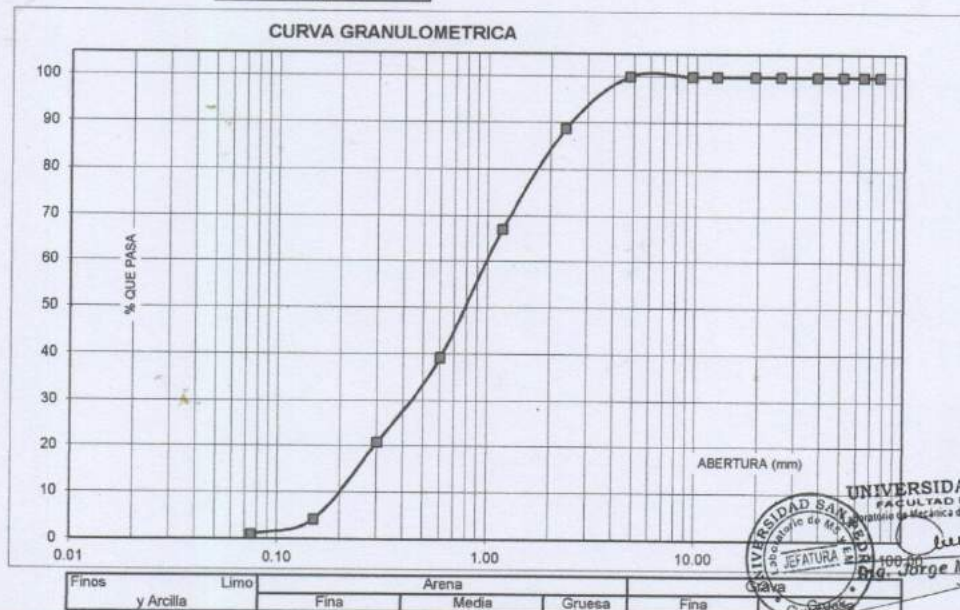
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO (ASTM C 136-06)

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
 TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION
 DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
 LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
 CANTERA : RUBEN
 MATERIAL : ARENA GRUESA
 FECHA : 01-08-2018

TAMIZ	Peso retenido	% ret. Parcial	% ret. Acumu.	% Que pasa
N°	Abert.(mm)	(gr.)	(%)	(%)
3"	76.20	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.50	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	100.0
1"	25.40	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.10	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.50	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.52	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.76	0.0	0.0	100.0
N° 8	2.36	85.0	11.2	88.8
N° 16	1.18	165.0	21.7	67.1
N° 30	0.60	210.5	27.7	39.3
N° 50	0.30	140.2	18.5	20.8
N° 100	0.15	125.5	16.5	4.3
N° 200	0.08	24.4	3.2	1.1
PLATO	ASTM C-117-04	8.2	1.1	0.0
TOTAL		758.8	100.0	

PROPIEDADES FISICAS	
Módulo de Fineza	2.80

OBSERVACIONES
La Muestra tomada identificada por el solicitante.



Finos y Arcilla	Limo	Arena			Fina
		Fina	Media	Gruesa	Fina



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO (ASTM D-2216)

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO
FECHA : 01/08/2018

		02	03
TARA N°			
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	940	995	
TARA + SUELO SECO (gr)	936	989,8	
PESO DEL AGUA (gr)	4	6,2	
PESO DE LA TARA (gr)	200	166,5	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	736	822,3	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0,54	0,75	
PROM. CONTENIDO HUMEDAD (%)		0,65	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



**UNIVERSIDAD
SAN PEDRO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO
(ASTM D-2216)**

SOLICITA : BACH; ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : AGREGADO FINO
FECHA : 01/08/2018

PRUEBA N°	01	02	03
TARA N°			
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	655	995	
TARA + SUELO SECO (gr)	651	989.5	
PESO DEL AGUA (gr)	4	5.5	
PESO DE LA TARA (gr)	162.9	162.8	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	488.1	826.7	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.82	0.67	
PROM. CONTENIDO HUMEDAD (%)		0.74	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



**UNIVERSIDAD
SAN PEDRO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION
AGREGADO GRUESO**

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION
DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO
FECHA : 01/08/2018

P.E. Bulk (Base Seca)	:	2.855
P.E. Bulk (Base Saturada)	:	2.869
P.E. Aparente (Base Seca)	:	2.896
Absorción (%)	:	0.50

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 128

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



**UNIVERSIDAD
SAN PEDRO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION
AGREGADO FINO**

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION
DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : AGREGADO FINO
FECHA : 01/08/2018

P.E. Bulk (Base Seca)	:	2.625
P.E. Bulk (Base Saturada)	:	2.648
P.E. Aparente (Base Seca)	:	2.687
Absorción (%)	:	0.87

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 128



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PESOS UNITARIOS

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO
FECHA : 01/08/2018

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	18150	18270	18300
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	13030	13150	13180
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (Kg/m ³)	1393	1406	1409
Peso unitario prom. (Kg/m ³)	1403		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	20280	20090	20310
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	15160	14970	15190
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (Kg/m ³)	1621	1600	1624
Peso unitario prom. (Kg/m ³)	1615		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PESOS UNITARIOS

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICIC
DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : AGREGADO FINO
FECHA : 01/08/2018

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	7700	7720	7740
Peso de molde	3325	3325	3325
Peso de muestra	4375	4395	4415
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (Kg/m ³)	1569	1576	1584
Peso unitario prom. (Kg/m³)	1576		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	8220	8255	8290
Peso de molde	3325	3325	3326
Peso de muestra	4895	4930	4964
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (Kg/m ³)	1756	1768	1780
Peso unitario prom. (Kg/m³)	1768		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



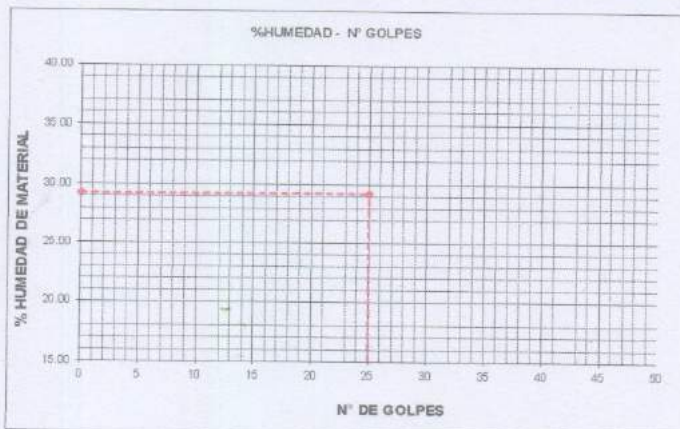
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO (MTC E-110, E-111, ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
 TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
 MUESTRA : ARENA + FILLER PASANTE POR LA MALLA #40
 LUGAR : CHIMBOTE-SANTA- ANCASH
 FECHA : 01/08/2018

Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DEL AGUA (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO SUELO SECO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nro. DE GOLPES	0	0	0	0.00		



LIMITE LIQUIDO (MTC E-110, ASTM D-4318 y AASHTO T89)	
LL : %	0.00
LIMITE PLASTICO (MTC E-111, ASTM D-4318 y AASHTO T90)	
LP : %	0.00
INDICE DE PLASTICIDAD ASTM D-438	
IP : %	N/P

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
 JEFEATURA
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE



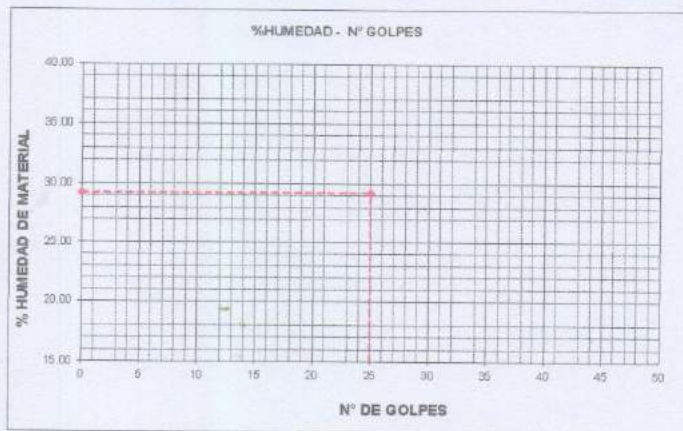
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO (MTC E-110,E-111,ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDÓ
 TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
 MUESTRA : ARENA + FILLER PASANTE POR LA MALLA # 200
 LUGAR : CHIMBOTE-SANTA- ANCASH
 FECHA : 01/09/2018

Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DEL AGUA (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO SUELO SECO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nro. DE GOLPES	0	0	0	0.00		



LIMITE LIQUIDO
(MTC E-110,ASTM D-4318 y AASHTO T89)
LL : % 0.00

LIMITE PLASTICO
(MTC E-111,ASTM D-4318 y AASHTO T90)
LP : % 0.00

INDICE DE PLASTICIDAD
ASTM D-438
IP : % N/P



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

EQUIVALENTE DE ARENA

SOLICITA : BACH:ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : AGREGADO FINO
FECHA : 01/08/2018

TAMAÑO MAXIMO mm	4.76	4.76
MUESTRA N°	1	2
HORA DE ENTRADA	11 : 15' : 12"	11 : 17' : 18"
HORA DE SALIDA	11 : 25' : 12"	11 : 27' : 18"
HORA DE ENTRADA	11 : 28' : 26"	11 : 29' : 45"
HORA DE SALIDA	11 : 48' : 26"	11 : 49' : 45"
Alt. Máx del mat. Fino	4.70	4.45
Alt. Máx de la arena	3.40	3.40
EQUIVALENTE DE ARENA	72.34	76.40
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO (%)	74.37	

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 2419.

NOTA : La muestra fue traída por el interesado a este laboratorio.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez-Reyes
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
 TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
 LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
 CANTERA : RUBEN
 MATERIAL : AGREGADO GRUESO
 FECHA : 01/08/2018

Tamiz		Total Particulas		Particulas Planas		Indice Aplanamiento Fracción (%)	Granulometria (%) retenido	Indice Aplanamiento corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0
3/4"	1/2"	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0
1/2"	3/8"	1204.6	100	78.9	16	7	61.9	4
3/8"	1/4"	740.0	100	45.3	19	6	38.1	2
TOTALES							100.0	6

INDICE DE ALARGAMIENTO (%) : 5

Tamiz		Total Particulas		Particulas Alargadas		Indice Alargamiento Fracción (%)	Gradación original (%)	Indice Alargamiento corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0
3/4"	1/2"	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0
1/2"	3/8"	1204.6	200	93.6	37	8	61.91	5
3/8"	1/4"	740.0	200	52.7	48	7	38.09	3
TOTALES							100.0	5

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño MTC - E221



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE



**UNIVERSIDAD
SAN PEDRO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

CARAS FRACTURADAS

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO
FECHA : 01/08/2018

Criterio de fractura	:	Natural
Partículas con una cara fracturada (%)	:	93.66
Partículas con dos o más caras fracturadas (%)	:	78.34
Determinación de porcentaje	:	en peso

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 5821.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



**UNIVERSIDAD
SAN PEDRO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**RESISTENCIA A LA ABRASION
(MAQUINA DE LOS ANGELES)**

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO
FECHA : 01/08/2018

Peso de la muestra (gr.)	:	5000
Método	:	B
Número de esferas	:	11
Número de revoluciones	:	500
Desgaste (%)	:	12.60

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 131.

NOTA: La muestra fue tomada de cantera por personal técnico de este laboratorio.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Joan Rosales Lecca
Ing. Joan Rosales Lecca
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

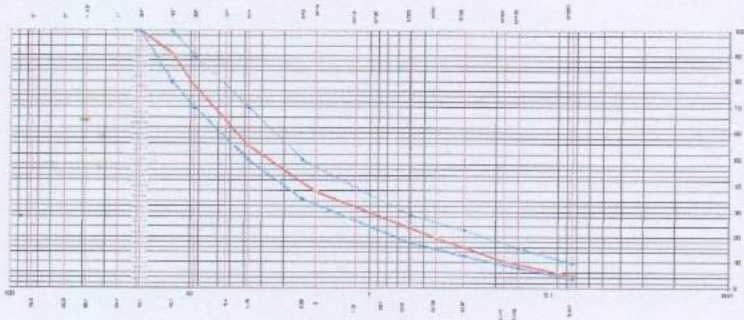
SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

ENSAYO MARSHALL AASHTO T-245 ASTM D-1559

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial Retenido)	(% Acumulado)		ESPECIFICACION MAC - II
			Refo	Pasa	
3"	76.200	-	-	-	
2"	50.300	-	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	-	
1"	25.400	-	-	-	
3/4"	19.050	-	-	100.0	100.0
1/2"	12.700	8.8	8.8	91.2	80 - 100
3/8"	9.525	12.7	21.5	78.5	70 - 88
Nº4	4.750	23.0	44.5	55.5	51 - 68
Nº10	2.000	17.3	61.8	38.2	38 - 52
Nº40	0.425	18.5	80.3	19.7	17 - 28
Nº90	0.177	9.2	89.5	10.5	8 - 17
Nº200	0.075	5.5	95.0	5.0	4 - 8
- Nº200		4.8	100.0		

CURVA GRANULOMÉTRICA



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH. ROSALES LECCA JOAN GERARDO
 TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICIÓN DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBÓN MINERAL
 MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
 FECHA : 1/08/2018

ENSAYO METODO MARSHALL ASTM D-1559 Y AASHTO T-245

ENSAYO		CALCULOS			PROMEDIO
		1	2	3	
1	Nº de Briqueta				
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	4.0	4.0	4.0
3	Grava triturada en peso de la Mezcla (mayor N°4)	%	46.00	46.00	46.00
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (menor N°4)	%	52.00	52.00	52.00
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla N° 200)	%			
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020
7	Peso Específico Bulk de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.855	2.855	2.855
8	Peso Específico Aparente de la Grava > N°4 (ASTM C127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.896	2.896	2.896
9	Peso Específico Bulk de la Arena < N°4 (ASTM C 128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.648	2.648	2.648
10	Peso Específico Aparente de la Arena < N°4 (ASTM C127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.687	2.687	2.687
11	Peso Específico aparente del filler	gr/cc	2.674	2.674	2.674
12	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.40	6.38	6.36
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire (g)	gr	1176.8	1181.2	1207.1
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1177.3	1182.1	1207.8
15	Peso de la Briqueta Sumergida en el Agua	gr	660.8	661.6	677.8
16	Volumen de la Briqueta	cc	516.50	520.5	530.0
17	Peso Unitario de la Briqueta (ASTM D 2726, MTC E 514)	13/16 gr/cm ³	2.278	2.269	2.279
18	Peso Específico Teórico Máximo (RICE) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cm ³	2.379	2.379	2.379
19	Máxima Densidad Teórica de los Agregados $100 / ((2/5) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$		2.597	2.597	2.597
20	% Vacíos con Aire (ASTM D 3203, MTC E 505) $100 * (1 - 17/16)$	%	4.2	4.6	4.3
21	Peso Específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$		2.685	2.685	2.685
22	Peso Específico Aparente del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$		2.762	2.762	2.762
23	Peso Específico Efectivo del Agregado Total $(8 + 4) / ((3^2 / (7 + 8)) + (4^2 / (9 + 10)) + (5/11))$		2.828	2.828	2.828
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total $100 * (8 - 23 - 21) / (23 * 21)$		0.33	0.33	0.33
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$		83.1	82.8	83.1
26	Vol. del Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta $100 - (25 + 20)$		12.62	12.57	12.62
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	16.86	17.18	16.88
28	Asfalto Efectivo / Peso de la Mezcla $2 - (24 / 100) * (3 + 4)$	%	3.7	3.7	3.7
29	Relación Betón Vacíos $(26 / 27) * 100$	%	74.9	73.2	74.7
30	Flujo (0.01 pulg.)	pulg.	8.8	8.0	8.7
31	Estabilidad (lectura dial de carga)		638	602	623
32	Estabilidad sin Corregir (Kg.)	Kg	2144	2024	2094
33	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04
34	Estabilidad Corregida (Kg.)	Kg.	2230	2105	2177





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH. ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

ENSAYO METODO MARSHALL ASTM D-1559 Y AASHTO T-245

ENSAYO		CALCULOS			PROMEDIO
		1	2	3	
1	Nº de Briqueta				
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	4.5	4.5	4.5
3	Grava triturada en peso de la Mezcla (mayor N°4)	%	46.00	46.00	46.00
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (menor N°4)	%	52.00	52.00	52.00
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla N° 200)	%			
6	Peso Especifico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020
7	Peso Especifico Bulk de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.855	2.855	2.855
8	Peso Especifico Aparente de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.896	2.896	2.896
9	Peso Especifico Bulk de la Arena < N°4 (ASTM C. 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.648	2.648	2.648
10	Peso Especifico Aparente de la Arena < N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.687	2.687	2.687
11	Peso Especifico aparente del filler	gr/cc	2.674	2.674	2.674
12	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.40	6.38	6.38
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire (g.)	gr	1193.2	1202.7	1199.0
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1193.5	1203.2	1199.2
15	Peso de la Briqueta Sumergida en el Agua	gr.	674.5	677.5	672.7
16	Volumen de la Briqueta	14-15 cc	519.0	525.7	526.5
17	Peso Unitario de la Briqueta (ASTM D 2726, MTC E 514)	13/16 gr/cm ³	2.299	2.288	2.275
18	Peso Especifico Teórico Máximo (RICE) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cm ³	2.395	2.385	2.395
19	Máxima Densidad Teórica de los Agregados $100[(2/6)+(3^2/2)(7+8)+(4^2/2)(9+10)]$		2.597	2.597	2.597
20	% Vacios con Aire (ASTM D 3203, MTC E 5100*(1-17/18))	%	4.0	4.5	5.0
21	Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(100-2)/[(3/7)+(4/9)+(5/11)]$		2.671	2.671	2.671
22	Peso Especifico Aparente del Agregado Tot $(100-21)/[(3/8)+(4/10)+(5/11)]$		2.762	2.762	2.762
23	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total $(3+4)/[(3^2/2)(7+8)+(4^2/2)(9+10)+(5/11)]$		2.628	2.628	2.628
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total $100^*8(23-21)/(23^*21)$		0.33	0.33	0.33
25	Vol. del Agregado/ Vol. Bruto de la Briqueta $(3+4)^*17/21$		84.3	83.9	83.5
26	Vol. del Asfalto efectivo/ Vol. de Briqueta $100-(25+20)$		11.65	11.60	11.53
27	Vacios del Agregado Mineral $100-25$	%	16.66	16.07	16.53
28	Asfalto Efectivo / Peso de la Mezcla $2-(24/100)^*(3+4)$	%	4.2	4.2	4.2
29	Relacion Betun Vacios $(26/27)^*100$	%	74.4	72.2	69.8
30	Flujo (0.01 pulg)	pulg	9.0	8.6	8.9
31	Estabilidad (lectura dial de carga)		674	628	666
32	Estabilidad sin Corregir (Kg.)	Kg.	2264	2110	2234
33	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04
34	Estabilidad Corregida (Kg.)	Kg.	2355	2195	2323





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
 TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
 MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
 FECHA : 1/08/2018

ENSAYO METODO MARSHALL ASTM D-1559 Y AASHTO T-245

ENSAYO		CALCULOS			PROMEDIO
		1	2	3	
1	Nº de Briqueta				
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.0	5.0	5.0
3	Grava triturada en peso de la Mezcla (mayor N°4)	%	46.00	46.00	46.00
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (menor N°4)	%	52.00	52.00	52.00
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla N° 200)	%			
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020
7	Peso Específico Bulk de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.855	2.855	2.855
8	Peso Específico Aparente de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.996	2.996	2.996
9	Peso Específico Bulk de la Arena < N°4 (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.648	2.648	2.648
10	Peso Específico Aparente de la Arena < N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.697	2.697	2.697
11	Peso Específico aparente del filler	gr/cc	2.674	2.674	2.674
12	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.40	6.39	6.36
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire (g.)	gr	1169.5	1204.0	1197.2
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1169.8	1204.2	1197.8
15	Peso de la Briqueta Sumergida en el Agua	gr	647.4	667.8	664.0
16	Volumen de la Briqueta	14-15 cc	522.4	536.4	533.8
17	Peso Unitario de la Briqueta (ASTM D 2729, MTC E 514)	13/16 gr/cm ³	2.239	2.245	2.243
18	Peso Específico Teórico Máximo (RICE) (ASTM D 2041, AASHTO T. 209, MTC E 508)	gr/cm ³	2.35	2.35	2.35
19	Máxima Densidad Teórica de los Agregados $100[(2/6)+(3^2/2(7+8)+(4^2/2(9+10)))]$		2.597	2.597	2.597
20	% Vacíos con Aire (ASTM D 3203, MTC E 505) $100[(1-17/18)]$	%	4.7	4.6	4.69
21	Peso Específico Bulk del Agregado Total $(100-2)/[(3/7)+(4/8)+(5/11)]$		2.657	2.657	2.657
22	Peso Específico Aparente del Agregado Total $(100-21)/[(3/8)+(4/10)+(5/11)]$		2.763	2.763	2.763
23	Peso Específico Efectivo del Agregado Total $(3+4)/[(3^2/2(7+8))+(4^2/2(9+10)+(5/11))]$		2.626	2.626	2.626
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total $100*(6(23-21)/(23*21))$		0.33	0.33	0.33
25	Vol. del Agregado/ Vol. Bruto de la Briqueta $(3+4)*17/21$		82.6	82.8	82.7
26	Vol. del Asfalto efectivo/ Vol. de Briqueta $100*(25+20)$		12.70	12.74	12.73
27	Vacíos del Agregado Mineral $100-25$	%	17.44	17.22	17.29
28	Asfalto Efectivo / Peso de la Mezcla $2-(24/100)*(3+4)$	%	4.7	4.7	4.7
29	Relación Betón Vacíos $(26/27)*100$	%	72.9	74.0	73.6
30	Flujo (0.01 pulg.)		8.8	8.7	9.1
31	Estabilidad (lectura dial de carga)		640	635	642
32	Estabilidad sin Corregir (Kg.)	Kg	2160	2134	2157
33	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04
34	Estabilidad Corregida (Kg.)	Kg	2236	2219	2243





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

ENSAYO METODO MARSHALL ASTM D-1559 Y AASHTO T-245

ENSAYO		CALCULOS			PROMEDIO	
		1	2	3		
1	Nº de Briqueta					
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	Grava triturado en peso de la Mezcla (mayor N°4)	%	46.00	46.00	46.00	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (menor N°4)	%	52.00	52.00	52.00	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla N° 200)	%				
6	Peso Especifico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Especifico Bulk de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.855	2.855	2.855	
8	Peso Especifico Aparente de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.896	2.896	2.896	
9	Peso Especifico Bulk de la Arena < N°4 (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.648	2.648	2.648	
10	Peso Especifico Aparente de la Arena < N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.687	2.687	2.687	
11	Peso Especifico aparente del filler	gr/cc	2.674	2.674	2.674	
12	Altura Promedio de la Briqueta	cm.	6.40	6.38	6.36	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire (g.)	gr	1126.9	1166.2	1172.0	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1126.6	1166.6	1173.4	
15	Peso de la Briqueta Sumergida en el Agua	gr	626.6	643.7	660.9	
16	Volumen de la Briqueta	14-15 cc	499.9	521.8	522.6	
17	Peso Unitario de la Briqueta (ASTM D 2726, MTC E 514)	13/16 gr/cm ³	2.252	2.233	2.243	
18	Peso Especifico Teórico Máximo (RICE) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cm ³	2.349	2.349	2.349	
19	Máxima Densidad Teórica de los Agregados $100 \times \frac{(2.65 + (3 \times 2(7+8) + (4 \times 2)(6+10)))}{(2.65 + (3 \times 2(7+8) + (4 \times 2)(6+10)))}$		2.597	2.597	2.597	
20	% Vacíos con Aire (ASTM D 3203, MTC E 505)	100*(1-17/18)	%	4.1	4.9	4.5
21	Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) \times ((3/7) + (4/9) + (5/11))$		2.643	2.643	2.643	
22	Peso Especifico Aparente del Agregado Total $(100 - 2) \times ((3/8) + (4/10) + (5/11))$		2.763	2.763	2.763	
23	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total $(3+4) \times ((3 \times 2(7+8)) + (4 \times 2(9+10)) + (5/11))$		2.828	2.828	2.828	
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total $100 \times \frac{(23-21) \times (23+21)}{(23+21)}$		0.33	0.33	0.33	
25	Vol. del Agregado/ Vol. Bruto de la Briqueta $(3+4) \times 17/21$		83.5	82.8	83.1	
26	Vol. del Asfalto efectivo/ Vol. de Briqueta $100 - (25+20)$		12.36	12.26	12.33	
27	Vacíos del Agregado Mineral	100-25	%	16.61	17.21	16.86
28	Asfalto Efectivo / Peso de la Mezcla $2 \times (24/100) \times (3+4)$		%	5.2	5.2	5.2
29	Relación Betún Vacíos $(26/27) \times 100$		%	75.0	71.3	73.1
30	Flujo (0.01 pulg.)	pulg	8.9	8.5	8.5	
31	Estabilidad (lectura dial de carga)		673	647	667	
32	Estabilidad sin Corregir (Kg.)		2261	2174	2241	
33	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04	
34	Estabilidad Corregida (Kg.)		2351	2261	2330	
					2314	





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

CANTERA PIEDRA CHANCADA : RUBEN (PANCHO MEDINA)
CANTERA ARENA CHANCADA : RUBEN (PANCHO MEDINA)
CANTERA ARENA ZARANDIADA : RUBEN

MEZCLA DE AGREGADOS
Grava Chancada : 44 %
Arena Chancada y Zarandeada : 51 %
Especificaciones de Gradación : MAC - 2

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

- ESPECIFICACIONES DE GRADACION : MAC - 2
- TIPO DE ASFALTO : PEN 60/70
- PORCENTAJE DE OPTIMO DE A.C. : 5.01 %

c.- CARACTERISTICAS DEL MARSHALL

- Nº DE GOLPES DE CAZA	75	75	75	75
- CEMENTO ASFALTICO (%)	4.0	4.5	5.0	5.5
- PESO ESPECIFICO (Kg/cc)	2.275	2.287	2.242	2.243
- ESTABILIDAD (Kg)	2171	2291	2233	2314
- FLUJO (0.01 pul.)	8.50	8.83	8.87	8.87
- VACIOS DE AIRE (%)	4.37	4.49	4.59	4.53
- VACIOS DE AGREGADO MINERAL (%)	17.0	16.1	17.3	16.9
- VACIOS LLENOS DE C.A. (%)	74	72	73	73

NOTA : LAS MUESTRAS DE AGREGADO Y ASFALTO FUERON TOMADAS EN PLANTA POR PERSONAL TECNICO DEL LABORATORIO UNISEO E.I.R.L.





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

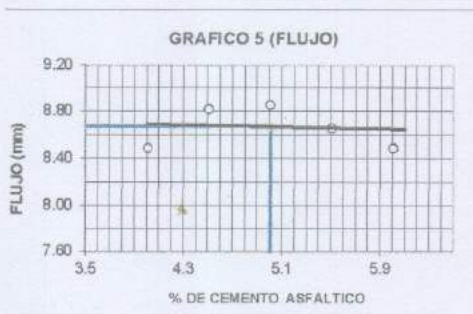
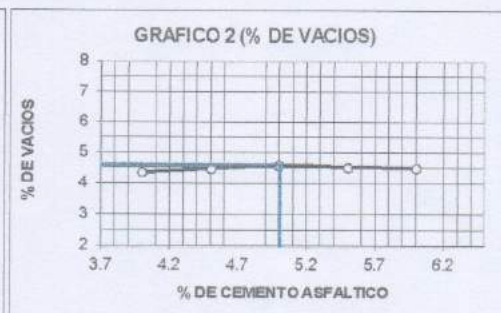
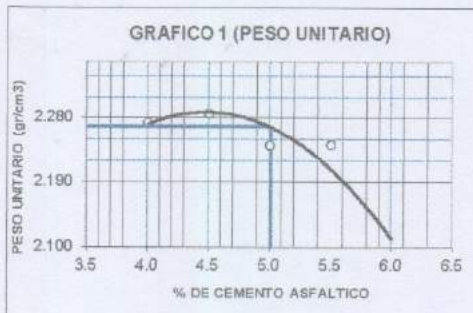
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

INFORME N° 1

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

CAPA DE RODADURA

CURVAS MARSHALL



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

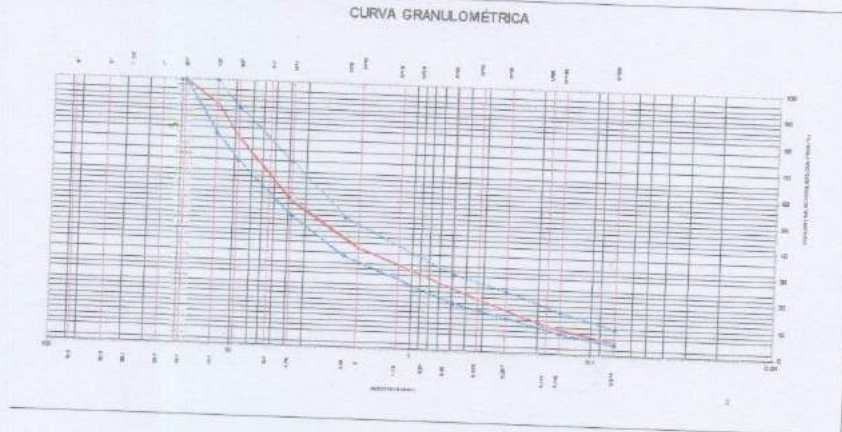
SOLICITA : BACH. ROSALES LECCA JOAN GERARDO
 TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION
 DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
 ADICION : 10% CENIZAS DE CARBON MINERAL
 MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
 FECHA : 1/08/2018

ENSAYO MARSHALL AASHTO T-245 ASTM D-1559

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D-422

Tamiz	Abertura (mm)	(%), Parcial Retenido	(%), Acumulado		ESPECIFICACION MAC - II
			Rete	Pasa	
3"	75.200	-	-	-	
2"	50.300	-	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	-	
1"	25.400	-	-	-	
3/4"	19.050	-	-	100.0	100.0
1/2"	12.700	8.8	8.8	91.2	80 - 100
3/8"	9.525	12.7	21.5	78.5	70 - 88
Nº4	4.760	23.0	44.5	55.5	51 - 68
Nº10	2.000	17.3	61.8	38.2	38 - 52
Nº40	0.426	18.5	80.3	19.7	17 - 28
Nº80	0.177	9.2	89.5	10.5	8 - 17
Nº200	0.074	5.5	95.0	5.0	4 - 8
- Nº200		4.8	100.0		

CURVA GRANULOMÉTRICA



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
 JEFATURA
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH. ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
ADICION : 10% CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

ENSAYO METODO MARSHALL ASTM D-1559 Y AASHTO T-245

ENSAYO		CALCULOS			PROMEDIO	
		1	2	3		
1	N° de Briqueta					
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	Grava triturada en peso de la Mezcla (mayor N°4)	%	46.00	46.00	46.00	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (menor N°4)	%	52.00	52.00	52.00	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 85% pasa la Malla N° 200)	%				
6	Peso Especifico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Especifico Bulk de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.855	2.855	2.855	
8	Peso Especifico Aparente de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.896	2.896	2.896	
9	Peso Especifico Bulk de la Arena < N°4 (ASTM C 128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.648	2.648	2.648	
10	Peso Especifico Aparente de la Arena < N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.687	2.687	2.687	
11	Peso Especifico aparente del filler	gr/cc	2.674	2.674	2.674	
12	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.40	6.38	6.36	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire (g.)	gr.	1177.7	1178.2	1202.3	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr.	1178.3	1179.1	1203.6	
15	Peso de la Briqueta Sumergida en el Agua	gr.	658.7	660.4	671.7	
16	Volumen de la Briqueta	14-15 cc.	519.60	518.7	531.9	
17	Peso Unitario de la Briqueta (ASTM D 2726, MTC E 514)	13/16 gr/cm ³	2.267	2.271	2.260	
18	Peso Especifico Teórico Máximo (RCE) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cm ³	2.379	2.379	2.379	
19	Máxima Densidad Teórica de los Agregados $100((2/6)+(3^2/7+8)+(4^2/9+10))$		2.587	2.587	2.587	
20	% Vacíos con Aire (ASTM D 3208, MTC E 505) $100(1-17/18)$	%	4.7	4.5	5.0	
21	Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(100-2)(3/7)+(4/9)+(5/11)$		2.685	2.685	2.685	
22	Peso Especifico Aparente del Agregado Total $(100-2)(3/8)+(4/10)+(5/11)$		2.762	2.762	2.762	
23	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total $(3+4)((3^2/7+8)+(4^2/9+10)+(5/11))$		2.828	2.828	2.828	
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total $100(6(23-21)(23^2-21))$		0.33	0.33	0.33	
25	Vol. del Agregado/ Vol. Bruto de la Briqueta $(3+4)^2/17/21$		82.7	82.9	82.5	
26	Vol. del Asfalto efectivo/ Vol. de Briqueta $100-(25+20)$		12.56	12.58	12.52	
27	Vacíos del Agregado Mineral	100-25	%	17.28	17.11	17.51
28	Asfalto Efectivo / Peso de la Mezcla $2-(24/100)^2(3+4)$	%	3.7	3.7	3.7	
29	Relación Betún Vacíos $(26/27)^2/100$	%	72.7	73.6	71.5	
30	Flujo (0.01 pulg.)	pulg.	8.8	8.0	8.7	
31	Estabilidad (lectura dial de carga)		638	602	623	
32	Estabilidad sin Corregir (Kg.)	Kg.	2144	2024	2094	
33	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04	
34	Estabilidad Corregida (Kg.)	Kg.	2230	2105	2177	





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH:ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
ADICION : 10% CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

ENSAYO METODO MARSHALL ASTM D-1559 Y AASHTO T-245

ENSAYO		CALCULOS			PROMEDIO
		1	2	3	
1	Nº de Biqueta				
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	4.5	4.5	4.5
3	Grava triturada en peso de la Mezcla (mayor N°4)	%	46.00	46.00	46.00
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (menor N°4)	%	52.00	52.00	52.00
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 85% pasa la Malla N° 200)	%			
6	Peso Especifico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020
7	Peso Especifico Bulk de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.855	2.855	2.855
8	Peso Especifico Aparente de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.896	2.896	2.896
9	Peso Especifico Bulk de la Arena < N°4 (ASTM C 126, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.648	2.648	2.648
10	Peso Especifico Aparente de la Arena < N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-208)	gr/cc	2.687	2.687	2.687
11	Peso Especifico aparente del filler	gr/cc	2.674	2.674	2.674
12	Altura Promedio de la Biqueta	cm	6.40	6.36	6.36
13	Peso de la Biqueta Seca en el Aire (g)	gr	1193.5	1201.6	1196.7
14	Peso de la Biqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1193.7	1202.4	1199.8
15	Peso de la Biqueta Sumergida en el Agua	gr	696.9	674.8	676.4
16	Volumen de la Biqueta	cc	524.8	527.6	523.4
17	Peso Unitario de la Biqueta (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cm ³	2.274	2.277	2.290
18	Peso Especifico Teórico Máximo (RICE) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cm ³	2.395	2.395	2.395
19	Máxima Densidad Teórica de los Agregados: $100[(2/6)+(3^2/2(7+8)+(4^2/2(9+10)))]$		2.587	2.507	2.597
20	% Vacíos con Aire (ASTM D 3203, MTC E 100*(1-17/18))	%	6.0	4.9	4.4
21	Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$		2.671	2.671	2.671
22	Peso Especifico Aparente del Agregado Tc $(100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$		2.762	2.762	2.762
23	Peso Especifico Efectivo del Agregado Tot $(3+4)/((3^2/2(7+8)+(4^2/2(9+10)+(5/11)))]$		2.828	2.828	2.828
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total $100*(23-21)/(23^2*21)$		0.33	0.33	0.33
25	Vol. del Agregado/ Vol. Bruto de la Biqueta $(3+4)^2/17/21$		83.4	83.5	94.0
26	Vol. del Asfalto efectivo/ Vol. de Biqueta $100*(25+20)$		11.53	11.54	11.61
27	Vacíos del Agregado Mineral 100-25	%	16.57	16.45	16.98
28	Asfalto Efectivo / Peso de la Mezcla $2-(24/100)^2(3+4)$	%	4.2	4.2	4.2
29	Relación Bebé Vacíos $(26/27)^2*100$	%	69.6	70.2	72.5
30	Flujo (0.01 pulg.)	pulg.	10.0	10.5	9.0
31	Estabilidad (lectura dial de carga)		667	671	662
32	Estabilidad sin Corregir (Kg.)	Kg.	2241	2254	2291
33	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04
34	Estabilidad Corregida (Kg.)	Kg.	2330	2344	2382





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
ADICION : 10% CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

ENSAYO METODO MARSHALL ASTM D-1559 Y AASHTO T-245

ENSAYO		CALCULOS			PROMEDIO
		1	2	3	
1	Nº de Biqueta				
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.0	5.0	5.0
3	Grava triturada en peso de la Mezcla (mayor N°4)	%	46.00	46.00	46.00
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (menor N°4)	%	52.00	52.00	52.00
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla N° 200)	%			
6	Peso Especifico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020
7	Peso Especifico Bulk de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.855	2.855	2.855
8	Peso Especifico Aparente de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.896	2.896	2.896
9	Peso Especifico Bulk de la Arena < N°4 (ASTM C. 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.648	2.648	2.648
10	Peso Especifico Aparente de la Arena < N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.887	2.887	2.887
11	Peso Especifico aparente del filler	gr/cc	2.674	2.674	2.674
12	Altura Promedio de la Biqueta	cm	6.40	6.38	6.36
13	Peso de la Biqueta Seca en el Aire (g)	gr	1203.0	1202.0	1202.7
14	Peso de la Biqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1203.3	1202.5	1203.4
15	Peso de la Biqueta Sumergida en el Agua	gr	667.8	665.9	666.1
16	Volumen de la Biqueta	14-15 cc	535.5	536.7	535.3
17	Peso Unitario de la Biqueta (ASTM D 2726, MTC E 514)	13/16 gr/cm ³	2.246	2.240	2.247
18	Peso Especifico Teórico Máximo (RICE) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cm ³	2.35	2.35	2.35
19	Máxima Densidad Teórica de los Agregados $100[(2/6)+(3^2/2(7+8)+(4^2/2(9+10))]$		2.597	2.597	2.597
20	% Vacíos con Aire (ASTM D 3203, MTC E 505)	100*(1-17/18)	4.4	4.7	4.4
21	Peso Especifico Bulk del Agregado Total $(100-21)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$		2.857	2.857	2.857
22	Peso Especifico Aparente del Agregado Total $(100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$		2.763	2.763	2.763
23	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total $(3+4)/((3^2/2(7+8)+(4^2/2(9+10)+(5/11)))$		2.828	2.828	2.828
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total $100*(23-21)/(23^2*21)$		0.33	0.33	0.33
25	Vol. del Agregado/ Vol. Bruto de la Biqueta $(3+4)*17/21$		82.8	82.6	82.9
26	Vol. del Asfalto efectivo/ Vol. de Biqueta $100-(25+20)$		12.75	12.71	12.75
27	Vacios del Agregado Mineral	100-25	17.15	17.41	17.14
28	Asfalto Efectivo / Peso de la Mezcla $2*(24/100)*(3+4)$	%	4.7	4.7	4.7
29	Relación Deben Vacíos $(26/27)*100$	%	74.3	73.0	74.4
30	Flujo (0.01 pulg.)	pulg.	10.3	10.5	10.7
31	Estabilidad (lectura dial de carga)		678	667	666
32	Estabilidad sin Corregir (Kg.)	Kg.	2277	2241	2304
33	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04
34	Estabilidad Corregida (Kg.)	Kg.	2368	2330	2396





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH. ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
ADICION : 10% CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

ENSAYO METODO MARSHALL ASTM D-1559 Y AASHTO T-245

ENSAYO		CALCULOS			PROMEDIO
		1	2	3	
1	Nº de Biqueta				
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.5	5.5	5.5
3	Grava triturada en peso de la Mezcla (mayor N°4)	%	46.00	46.00	46.00
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (menor N°4)	%	52.00	52.00	52.00
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla N° 200)	%			
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020
7	Peso Específico Bulk de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.855	2.855	2.855
8	Peso Específico Aparente de la Grava > N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.896	2.896	2.896
9	Peso Específico Bulk de la Arena < N°4 (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.648	2.648	2.648
10	Peso Específico Aparente de la Arena < N°4 (ASTM C 127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.687	2.687	2.687
11	Peso Específico aparente del filler	gr/cc	2.674	2.674	2.674
12	Altura Promedio de la Biqueta	cm.	6.40	6.38	6.36
13	Peso de la Biqueta Seca en el Aire (g.)	gr.	1197.0	1185.0	1182.0
14	Peso de la Biqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1198.2	1186.3	1182.5
15	Peso de la Biqueta Sumergida en el Agua	gr.	663.3	666.4	663.3
16	Volumen de la Biqueta	14-15 cc.	534.9	527.9	529.2
17	Peso Unitario de la Biqueta (ASTM D 2726, MTC E 514)	13/16 gr/cm ³	2.238	2.245	2.234
18	Peso Específico Teórico Máximo (RICE) (ASTM D 2041, AASHTO T 208, MTC E 508)	gr/cm ³	2.349	2.349	2.349
19	Máxima Densidad Teórica de los Agregados	$100 / ((2/5) + (3^2/2(7+8)) + (4^2/2(9+10)))$	2.597	2.597	2.597
20	% Vacíos con Aire (ASTM D 3203, MTC E 505)	$100 * (1 - 17/18)$	4.7	4.4	4.9
21	Peso Específico Bulk del Agregado Total	$(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	2.643	2.643	2.643
22	Peso Específico Aparente del Agregado Total	$(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	2.763	2.763	2.763
23	Peso Específico Efectivo del Agregado Total	$(3+4) / ((3^2/2(7+8)) + (4^2/2(9+10)) + (5/11))$	2.828	2.828	2.828
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total	$100 * 6 / (23 - 21) * (23^2 - 21^2)$	0.33	0.33	0.33
25	Vol. del Agregado/ Vol. Bruto de la Biqueta	$(3+4) * 17/21$	83.0	83.2	82.8
26	Vol del Asfalto efectivo/ Vol de Biqueta	100 - (25 + 20)	12.30	12.34	12.28
27	Vacíos del Agregado Mineral	100 - 25	17.04	16.78	17.19
28	Asfalto Efectivo / Peso de la Mezcla	$2 * (24/100) * (3+4)$	5.2	5.2	5.2
29	Relación Betún Vacíos	$(26/27) * 100$	72.2	73.5	71.4
30	Flujo (0.01 pulg.)	pulg.	19.0	19.5	19.6
31	Estabilidad (lectura dial de carga)		688	676	681
32	Estabilidad sin Corregr (Kg.)	Kg.	2244	2271	2287
33	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04
34	Estabilidad Corregrda (Kg.)	Kg.	2334	2361	2379





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SOLICITA : BACH. ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
ADICION : 10% CENIZAS DE CARBON MINERAL
MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
FECHA : 1/08/2018

CANTERA PIEDRA CHANCADA : RUBEN (PANCHO MEDINA)
 CANTERA ARENA CHANCADA : RUBEN (PANCHO MEDINA)
 CANTERA ARENA ZARANDEADA : RUBEN

MEZCLA DE AGREGADOS
 Grava Chancada : 45.0 %
 Arena Chancada y Zarandeada : 49.9 %
 Especificaciones de Gradación : MAC - 2

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

- ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN : MAC - 2
 - TIPO DE ASFALTO : PEN 60/70
 - PORCENTAJE DE ÓPTIMO DE A.C. : 5.10 %

c.- CARACTERISTICAS DEL MARSHALL

- Nº DE GOLPES DE CAPA	75	75	75	75
- CEMENTO ASFALTICO (%)	4.0	4.5	5.0	5.5
- PESO ESPECIFICO (Kg/cc.)	2.268	2.281	2.244	2.239
- ESTABILIDAD (Kg)	2171	2352	2365	2358
- FLUJO (0.01 pul)	6.50	8.83	10.50	10.97
- VACIOS DE AIRE (%)	4.74	4.78	4.50	4.70
- VACIOS DE AGREGADO MINERAL (%)	17.3	16.3	17.2	17.0
- VACIOS LLENOS DE C.A. (%)	73	71	74	72

NOTA : LAS MUESTRAS DE AGREGADO Y ASFALTO FUERON TOMADAS EN PLANTA POR PERSONAL TECNICO DEL LABORATORIO UNISEO E.I.R.L.





UNIVERSIDAD SAN PEDRO

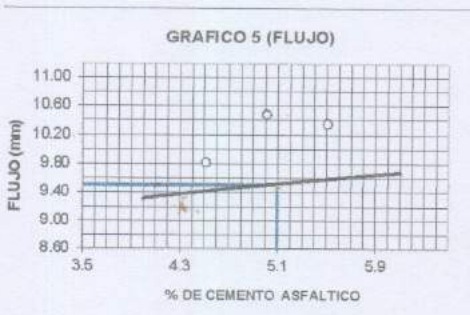
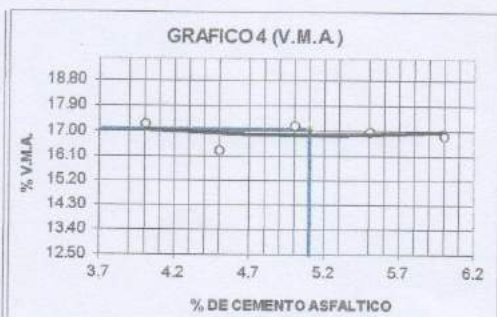
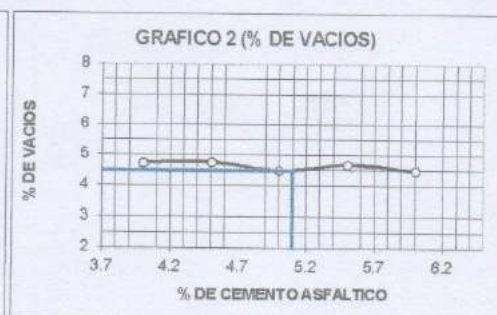
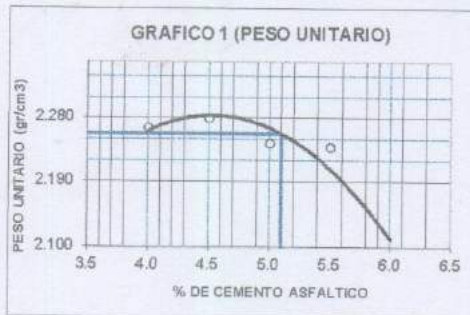
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

INFORME N° 1-EXPERIMENTAL

SOLICITA : BACH: ROSALES LECCA JOAN GERARDO
 TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBON MINERAL
 MATERIAL : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MAC-2
 FECHA : 1/08/2018

CAPA DE RODADURA

CURVAS MARSHALL



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 136 - 2018 - MTC/14.01

SOLICITANTE : JOAN GERARDO ROSALES LECCA MUESTRA : Agregados
 DOMICILIO LEGAL : Pje. Alfonso Ugarte N° 198 - Chimbote. IDENTIFICACIÓN : El que se indica
 PROYECTO : "RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICIÓN DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBÓN MINERAL" CANTIDAD : 50 Kg
 REFERENCIA : REC N° 105 - 2018 - FPL - 501 - G. PRESENTACIÓN : Sacos de polietileno
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2018.05.18 FECHA ENSAYO : 2018.05.29 al 31.

MALLAS		DENOMINACIÓN	Cantera Ruben (Chimbote) Agregado Grueso 1/2"							
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	NORMAS ENSAYO	RET (%)	PASA (%)						
3"	76.200	NTP 400.012 (2 013)								
2 1/2"	63.500									
2"	50.800									
1 1/2"	38.100									
1"	25.400				100					
3/4"	19.050			35	65					
1/2"	12.700			30	35					
3/8"	9.525			13	22					
1/4"	6.350			11	11					
N° 4	4.760			5	6					
N° 6	3.360			-	6					
N° 8	2.360			-	6					
N° 10	2.000			-	6					
N° 16	1.190			-	6					
N° 20	0.840			-	6					
N° 30	0.590			-	6					
N° 40	0.426			-	6					
N° 50	0.297			-	6					
N° 80	0.177			-	6					
N° 100	0.149			-	6					
N° 200	0.074		-	6						
- N° 200	-	NTP 400.018 (2013)	6	-						

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2018.05.18
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.06.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo de exclusiva responsabilidad del usuario.

DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
 J. G. FLORES C.
 Coord. de Control de Calidad
 pasd/cj
 O.S. N° 136

LABORATORIO DE ENSAYOS DE CALIDAD U.E. S. DE SAN MIGUEL C.
 SURLOS Y AGREGADOS
 BACH. ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
 Lima, 25 de Junio del 2018



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Tel. : 481-3707

Fax: 481-0677



LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 1 3 6 - 2018 - MTC/14.01

SOLICITANTE : JOAN GERARDO ROSALES LECCA MUESTRA : Agregados
 DOMICILIO LEGAL : Pje. Alfonso Ugarte N° 198 - Chimbote. IDENTIFICACIÓN : El que se indica
 PROYECTO : "RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICIÓN DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBÓN MINERAL" CANTIDAD : 50
 REFERENCIA : REC N° 105 - 2018 - FPL - 501 - G. PRESENTACIÓN : Sacos de polietileno
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2018.06.18 FECHA DE ENSAYO : 2018.05.29 al 2018.06.11

NTP 400.016 (2 016) AGREGADOS. DETERMINACIÓN DE LA INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS POR MEDIO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO (*).		
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RESULTADO (%)
Cantera Ruben (Chimbote) Agregado Grueso 1/2"	Pérdida o desgaste del agregado grueso	2.02

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM C-88 (2 013) "Aggregate. Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate".
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2018.06.18
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos, o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



BACH.ING : ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
 Lima, 25 de Junio de 2018





PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

00000003

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 136 - 2018 - MTC/14.01

SOLICITANTE	: JOAN GERARDO ROSALES LECCA.	MUESTRA	: Agregados.
DOMICILIO LEGAL	: Pje. Alfonso Ugarte N° 198 - Chimbote.	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica.
PROYECTO	: "Resistencia a la Deformación de una Mezcla Asfáltica en Caliente con Adición de 10% por Cenizas de Carbón Mineral".	CANTIDAD	: 50 kg.
REFERENCIA	: REC N° 105-2018-FPL-501-G.	PRESENTACIÓN	: Sacos.
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2018/06/18.	FECHA DE ENSAYO	: 2018/06/25 al 2018/06/28.

MTC E 220 (2000)* ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ÁRIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL WEBER)

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (GRADO)
	Desprendimiento Parcial - Desprendimiento Total
Cantera: "RUBEN" (agregado fino)	0 - 8

Tipo de asfalto: Cemento asfáltico PEN 60/70, proporcionado por el solicitante.

Observaciones:

- (*) Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras (EM-2000), 2da edición aprobado con R.D. N° 028-2001-MTC/15.17 del 16/01/2001.
- Agregados, proporcionados e identificados por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2018/06/18.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



ALI E. DIAZ-CAMA
Lima, 26 de Junio del 2018.

UMA (1/2)
adc/wlll
O.S. N°136



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Telf.: 481-3707

Fax: 481-0677



LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 136 - 2018 - MTC/14.01

SOLICITANTE : JOAN GERARDO ROSALES LECCA. MUESTRA : Agregados.
 DOMICILIO LEGAL : Pje. Alfonso Ugarte N° 188 - Chimbote. IDENTIFICACIÓN : La que se indica.
 PROYECTO : "Resistencia a la Deformación de una Mezcla Asfáltica en Caliente con Adición de 10% por Cenizas de Carbón Mineral". CANTIDAD : 50 kg.
 REFERENCIA : REC N° 105-2018-FPL-501-G. PRESENTACIÓN : Sacos.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2018/06/18. FECHA DE ENSAYO : 2018/06/25 al 2018/06/28.

MTC E - 517 (2000)* CUBRIMIENTO DE LOS AGREGADOS CON MATERIALES ASFÁLTICOS (INCLUYE EMULSIONES) EN PRESENCIA DEL AGUA (STRIPPING) MEZCLAS ABIERTAS Y/O T.S.

IDENTIFICACIÓN	REVESTIMIENTO (%)	CUBRIMIENTO (%)
Cantera: "RUBEN" (agregado grueso)	100	+ 95

Tipo de asfalto: Cemento asfáltico PEN 60/70, proporcionado por el solicitante.

Observaciones:

- (*) Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras (EM-2000), 2da edición aprobado con R.D. N° 028-2001-MTC/15.17 del 16/01/2001.
- Agregados, proporcionados e identificados por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2018/06/18.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



ING. ALI E. DÍAZ CAMA.
Lima, 28 de Junio del 2018.

UMA (2/2)
adc/wlll.
O.S. N°136





**UNIVERSIDAD
SAN PEDRO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

ANÁLISIS QUÍMICO

SOLICITA : BACH. ROSALES LECCA JOAN GERARDO
TESIS : RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICIÓN DE UN 10% POR CENIZAS DE CARBÓN MINERAL
LUGAR : CHIMBOTE - SANTA - ANCASH
CANTERA : RUBEN
FECHA : 29/08/2018

MUESTRA	SALES SOLUBLES TOTALES (PPM)	(%)
GRAVA CHANCADA 1/2"	671	0.0671

MUESTRA	SALES SOLUBLES TOTALES (PPM)	(%)
ARENA GRUESA	787	0.0787



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE

PANEL FOTOGRÁFICO

Recolección de carbón Mineral



Foto 01. Centro poblado de Ancos distrito de Santa Rosa -Ancash
Fuente: El autor



Foto 02. Realización de pulverización del carbón mineral
Fuente: El autor

RECOLECCIÓN DE AGREGADOS.



Foto 03. Cantera Rubén-arena gruesa
Fuente: El autor



Foto 04. Cantera Rubén-grava chancada
Fuente: El autor.

ENSAYOS DE AGREGADOS.



Foto 05. Ensayo Peso unitario agregado grueso.
Fuente: El autor.





Foto 06. Ensayo granulométrico.
Fuente: El autor



Foto 07. Cuarteo del material.
Fuente: El autor



Foto 08. Gravedad específica y absorción.
Fuente: El autor.



Foto 09. Ensayo de abrasión (máquina de los Ángeles).
Fuente: El autor



Foto 10. Ensayo de caras fracturadas.

Fuente: El autor



Foto 11. Ensayo de partículas chatas y alargadas.

Fuente; el autor



Foto 12. Ensayo de equivalente de arena.

Fuente: El autor.



Foto 13. Ensayo de gravedad específica.

Fuente: El autor

ENSAYO MARSHALL



Foto 14. Llenado la mezcla en los moldes.
Fuente: El autor.



Foto 15. compactando 75 golpes y obteniendo las briquetas.
Fuente: El autor



Foto 16: briquetas para ser ensayadas.
Fuente: El autor



Foto 17: Peso de briquetas.
Fuente: El autor



Foto 18: Balde agua durante 5 minutos.
Fuente: El autor



Foto 19: peso de briquetas después de agua
Fuente: El autor



Foto 20. sacando del molde y poniendo en baño maría durante 5 minutos.
Fuente: El autor



Foto 21: Ensayo Marshall viendo la estabilidad de la briqueta
Fuente: El autor



Foto 22: Ensayo Marshall viendo el flujo de la briqueta.
Fuente: El autor