

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL CON MENCIÓN EN
CARRETERAS, PUENTES Y TÚNELES**



TRABAJO DE TESIS:

Para optar el Grado Académico de Maestro en: Ingeniería Vial con
mención en Carreteras, Puentes y Túneles.

**“Desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando
cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo”**

Autor: Bach. Peña Anccasi, Juan Carlos

Asesor: Msc. Ing. Aramayo Pinazo, Francisco A.

LIMA – PERÚ

2019

PÁGINA DEL JURADO

Firma del presidente de jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Lima, agosto del 2019.

A mis padres, Cesar y Edelmira que me acompañan en cada paso importante de mi vida y carrera profesional.

A Edith, mi hermana y amiga.

A Claudia, el amor más puro y sincero.

Agradecimientos:

A Dios por bendecirme con disciplina y determinación, por darme salud para alcanzar todos los objetivos trazos en mi vida como persona y profesional.

A mis padres y hermana por el apoyo constante en la búsqueda de nuevos conocimientos.

A todos los docentes de la Maestría en especial al Ingeniero Francisco Aramayo Pinazo, por haberme guiado en el desarrollo técnico de la tesis.

Al Dr. Ing. Carlos Chavarry Vallejo, por impartir sus conocimientos y sabiduría en la parte metodológica en el desarrollo de la tesis.

Índice General

Caratula	i
Página del jurado	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice	v
Lista de tablas	vii
Lista de figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
Introducción	xi
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Importancia y Justificación del Estudio	3
1.4. Delimitación del estudio	4
1.5. Objetivos de la investigación	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Marco histórico	6
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	18
2.3. Estructura teórica y científica que sustente el estudio	10
2.4. Definición de términos básicos	39
2.5. Hipótesis	41
2.5.1. Hipótesis general	41
2.5.2. Hipótesis específica	41
2.6. Variables	41
2.6.1. Variable independiente	41
2.6.2. Variable dependiente	41
2.6.3. Variable interviniente	41
2.6.4. Operacionalización de variables	42

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	43
3.1. Método, tipo y diseño de investigación	43
3.1.1. Método de investigación	43
3.1.2. Tipo de investigación	44
3.1.3. Nivel de investigación	44
3.1.4. Diseño de investigación	44
3.2. Población y muestra	45
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
3.4. Descripción de procedimientos de análisis	48
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
4.1. Resultados	49
4.2. Análisis de resultados	62
4.3. Discusión de resultados	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
Conclusiones	71
Recomendaciones	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	78

Lista de tablas

Tabla 01. Requerimientos para agregados gruesos	28
Tabla 02. Requerimientos para agregados finos	29
Tabla 03. Requerimientos de cal tipo I	30
Tabla 04. Requerimientos para usos granulométricos	30
Tabla 05. Requerimientos para gradación de mezclas	31
Tabla 06. Selección del tipo de asfalto	31
Tabla 07. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración	32
Tabla 08. Mezcla del concreto bituminoso	33
Tabla 09. Requisitos de adherencia	33
Tabla 10. Vacíos mínimos en el agregado mineral	34
Tabla 11. Requerimientos químicos	36
Tabla 13 Operacionalización de variables	43
Tabla 14. Cantidad de muestras para determinar el óptimo de asfalto	46
Tabla 15. Cantidad de muestras para determinar el óptimo de asfalto	47
Tabla 16. Cantidad de muestras para medir el desempeño de daño por humedad	47
Tabla 17. Cantidad de muestras para medir la deformación permanente	47
Tabla 18. Cemento asfáltico clasificado por penetración	52
Tabla 19. Agregado grueso TM 3/4"	53
Tabla 20. Agregado fino (arena chancada)	54
Tabla 21. Agregado fino (arena zarandeada)	54
Tabla 22. Husos granulométricos	55
Tabla 23. Combinación de agregado tipo MAC-2	55
Tabla 24. Resultado del diseño Marshall	56
Tabla 25. Resultados de los parámetros Marshall y TSR	59

Lista de figuras

Figura 01. Rendimiento del cemento asfáltico residual	20
Figura 02. Obtención del asfalto	20
Figura 03. Composición química del asfalto	23
Figura 04. Gradación de agregados	55
Figura 05. Briquetas compactadas con el martillo Marshall	56
Figura 06. Nomenclatura de briquetas Marshall	56
Figura 07. Peso unitario vs % C.A	57
Figura 08. Vacíos vs % C.A	57
Figura 09. Vacíos en el agregado mineral vs % C.A	58
Figura 10. Vacíos llenos de cemento asfáltico vs % C.A	58
Figura 11. Flujo vs % C.A	58
Figura 12. Estabilidad vs % C.A	58
Figura 13. Estabilidad vs % CV incorporadas al llenante mineral (filler)	60
Figura 14. Flujo vs % CV incorporadas al llenante mineral (filler)	60
Figura 15. Relación Estabilidad / Flujo incorporando ceniza volante	61
Figura 16. TSR vs (%) Ceniza volante	62
Figura 17. Especimen de 1500mm x 60mm de ensayo Rueda de Hamburgo	63
Figura 18. Variación de la estabilidad con respecto al reemplazo de la ceniza	65
Figura 19. Variación de flujo respecto al reemplazo de ceniza volante	65
Figura 20. Briquetas preparadas antes de ser ensayadas	66
Figura 21. Ahuellamiento respecto al reemplazo de cenizas volantes	67
Figura 22. Resultados valores estabilidad/flujo (0.35%, 0.50% y 1.0%)	69
Figura 23. TSR vs (%) de cenizas volantes incorporadas al llenante mineral	70
Figura 24. Resultado del ensayo de Rueda de Hamburgo con incorporación del 0.75%	71

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el porcentaje de incorporación de cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica Ilo que incrementa el desempeño mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente. La metodología utilizada fue deductiva, de orientación aplicada y de enfoque cuantitativo, de acuerdo a la teoría existente analizamos las cenizas volantes cuya composición química (Dióxido de silicio (SiO₂) + Oxido de aluminio (Al₂O₃) + Óxido de hierro (Fe₂O₃) genera gran actividad puzolana, con lo cual podemos resolver el problema del desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando en distintos porcentajes de cenizas volantes al llenante mineral (0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1.0%) y con ello obtener propiedades que estabilicen e incrementen la resistencia de la unión del asfalto con el agregado. El tipo de investigación es descriptiva, primero se caracteriza la granulometría tipo MAC-2 y PEN 85/100, asimismo para correlacionar las variables, se incorpora las cenizas volantes al llenante mineral y finalmente se explica los valores obtenidos en los ensayos Marshall (Estabilidad – Flujo), resistencia a la tracción indirecta (TSR) y Rueda de Hamburgo.

La presente investigación halló el óptimo contenido de asfalto que fue de 6.0% de acuerdo al ensayo Marshall, con ello se construyeron 96 briquetas en general. Para incorporaciones de 0.75% y 0.85% de cenizas volantes se visualiza tendencias crecientes en valores de Estabilidad – flujo que se aproximan a 3853 kg/cm mientras con 1.0% alcanza 3892 kg/cm. Con 0.75% de incorporación de cenizas volantes el ensayo de TSR alcanza un 86.5% en relación a 80.6% inicial. El ensayo de Rueda de Hamburgo decreció en un 73.92% respecto a la profundidad de ahuellamiento especificada.

En conclusión es recomendable utilizar las cenizas volantes en incorporación de porcentajes por debajo de 0.75%, con lo cual se estaría garantizando incrementar el desempeño mecánico frente al daño por deformación permanente.

Palabras claves: Mezcla asfáltica en caliente, llenante mineral, comportamiento mecánico, ceniza volante.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the percentage of incorporation of fly ash from the Ilo Thermoelectric Plant to improve the mechanical performance of the Hot Asphalt Mix. The method used was deductive, applied guidance and quantitative approach, according to the existing theory we analyze the fly ash whose chemical composition (silicon dioxide (SiO₂) + aluminum oxide (Al₂O₃) + iron oxide (Fe₂O₃) generates large pozzolana activity, with which we can solve the problem of the mechanical performance of hot asphalt mixing incorporating in different percentages of fly ash to the mineral filler (0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% and 1.0%) and with This is to obtain properties that stabilize and improve the strength of the asphalt bonding with the aggregate. The type of research is descriptive, first the MAC-2 and PEN 85/100 granulometry is characterized, also to correlate the variables, the ashes are incorporated Rulers to the mineral filler and finally explains the values obtained in the Marshall tests (Stability - Flow), indirect tensile strength (TSR) and Hamburg Wheel.

The main results found were: 6.0% optimal asphalt content according to the Marshall test. For incorporations of 0.75% and 0.85% of fly ash, there is an increasing trend in Stability - flow values that approach 3853 kg / cm while with 1.0% it reaches 3892 kg / cm. With 0.75% incorporation of fly ash, the TSR test reaches 86.5% in relation to the initial 80.6%. The wheel test of Hamburg decreased by 73.92% with respect to the specified rutting depth.

In conclusion it is advisable to use the fly ash in percentages below 0.75%. With which it would be guaranteeing a better mechanical behavior against permanent deformation damage.

Keywords: Hot asphalt mix, mineral filler, mechanical behavior, fly ash.

INTRODUCCIÓN

En el Perú las carreteras que predominan son a nivel de pavimentos definitivos, constituidos principalmente por mezclas asfálticas en caliente, donde el asfalto es el componente principal, sin embargo los problemas que afectan a la mezcla asfáltica en el pavimento son: agrietamiento por fatiga, deformación permanente y el envejecimiento prematuro, esto se debe a los cambios en las propiedades físicas y químicas, lo cual repercute en su comportamiento y durabilidad según Angulo y Duarte (2005). En consecuencia, frente a este problema, se busca que la construcción de pavimentos utilice nuevas tecnologías, nuevos materiales, mejores procesos constructivos, y todos ellos engranados con una mejora continua de las actividades medio ambientales en cumplimiento de los estándares de competitividad en infraestructura vial.

La presente investigación pretende alcanzar el objetivo de incrementar el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica Ilo 21, material que es considerado un pasivo ambiental, lo cual debido a su actividad puzolana y la buena reacción química con el asfalto pueda cubrir la necesidad de prolongar la vida útil del pavimento y a la vez contribuir a la reducción de impactos ambientales negativos. Mediante el contenido óptimo de asfalto, se incorporara porcentajes de ceniza volante al llenante mineral que caracterice mejor la resistencia de la mezcla asfáltica en caliente, medidos a partir de los parámetros (Estabilidad – Flujo). De la misma manera se verificara el porcentaje de incorporación de cenizas volantes al llenante mineral con lo cual la mezcla asfáltica en caliente mejore la resistencia al daño por humedad inducida, los valores serán medidos a través de la resistencia a la tracción indirecta (TSR). Finalmente encontrando el porcentaje adecuado de cenizas volantes que caracterice mejor la resistencia en parámetro (Estabilidad – Flujo) y (TSR), se procederá a realizar el ensayo de Rueda de Hamburgo con el fin de determinar la durabilidad de la mezcla asfáltica en caliente.

La investigación se realizó en 4 capítulos las cuales se detallan a continuación:

En el primer capítulo se presenta la descripción de la realidad problemática de los pavimentos en cuanto a su durabilidad, asimismo la importancia y justificación de la utilización de nuevos materiales que son considerados como desecho. Finalmente la delimitación de la investigación, así como los objetivos a alcanzar.

En el segundo capítulo se presenta los antecedentes históricos sobre el diseño de mezclas asfálticas en caliente, incorporación de distintos materiales a la mezcla, asimismo la estructura teórica y científica que sustenta la investigación, la formulación de Hipótesis y operacionalización de variables.

En el tercer capítulo se presenta el marco metodológico referido al método, tipo nivel y diseño de investigación, de la misma manera se hace referencia a la población y muestra utilizada, para finalmente ver las técnicas e instrumentos de recolección de datos y describir el procedimiento de análisis de la incorporación de las cenizas volantes.

En el cuarto capítulo se presenta los resultados y análisis de la incorporación de la cenizas volantes al llenante mineral provenientes de la Termoeléctrica Ilo 21 y su repercusión en el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente, así mismo se realiza la discusión de los resultados en comparación con los antecedentes, y contrastando las hipótesis.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones y el aporte que tiene las cenizas volantes de carbón incrementando las propiedades mecánicas de la mezcla de asfáltica en caliente.

CAPÍTULO 1:

Planteamiento del problema

1.1. Determinación de la realidad problemática

En los países a nivel mundial, el diseño, implementación y construcción de estructuras de pavimentos flexibles es la alternativa de pavimentación más económica como técnica para vías de tráfico pesado. Sin embargo, a pesar de esta consideración, estas obras han sufrido inconvenientes y fallas que han generado una disminución considerable en su efectividad y durabilidad, generando como consecuencia una incomodidad en los usuarios que utilizan estas vías, ya que el mantenimiento en estas restringe su uso.

Según el informe del MTC (2012-2016), a inicios del año 2012 la Red Vial Nacional fue de 24, 593 km, de las cuales 2,156 km (9%) corresponde a carreteras pavimentadas con tecnología no convencional (solución básica), aplicadas en las carreteras de bajo nivel de tránsito. Para diciembre del año 2016 se cuantificó 14, 718 km entre pavimentos definitivos en asfalto en caliente y pavimentos con soluciones básicas. Según Pro Inversión (2018) queda por pavimentar 7,001 km de Red Vial Nacional.

En los últimos 7 años el Perú ha impulsado una política favorable para la construcción de obras viales en toda la extensión del territorio habiéndose ejecutado más de 15,000 kilómetros de carreteras con pavimentos asfáltico en caliente, según reporte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012).

La dinámica se manifiesta en obras importantes como las carreteras interoceánicas que atraviesan transversalmente el territorio peruano por el norte, centro y sur. La Interoceánica Sur, parte de límites con Brasil terminando en puertos marítimos del Océano Pacífico; interconectando de esta manera pueblos del Perú y permitiendo que Brasil tenga salida al mar hacia los mercados orientales.

Ante esta realidad existe la imperiosa necesidad de mejorar la tecnología de los pavimentos asfálticos en el Perú a fin que estos logren alcanzar la vida útil para la que fueron diseñados. Huamán, Néstor (2012).

La Región Lima es sin duda la concentración de todas las actividades de comercio del país así como la logística de distribución y operatividad del puerto del Callao, las provincias de la región Lima tienen zonas altas con respecto al mar que surgen desde la Sierra Central del Perú y fluctúan desde los 3619 msnm – 2380 msnm que son: (Oyon, Yauyos, Canta, Cajatambo y Huarochiri), conectando a la ciudad de Lima con carreteras a nivel de asfalto en caliente con elevados porcentajes de tránsito pesado, existiendo la posibilidad que presenten deterioros prematuros en los pavimentos por efecto del clima (daño por humedad).

En la actualidad la nueva tecnología para el diseño de las mezclas asfálticas tiene que estar directamente relacionado con los principios de mejora continua de las actividades medioambientales, ya que la construcción, mantenimiento y operación de la infraestructura vial constituye un foco relevante del impacto ambiental, debido a los usos de grandes cantidades de materias primas y combustibles fósiles ligados a ellas. En consecuencia, existen alternativas de materiales que componen la mezcla asfáltica para mejorar su capacidad de respuesta mecánica, por ejemplo, adiciones como las fibras de llantas usadas, agregados sintéticos, entre otros. Asimismo con el fin de realizar una contribución a los principios de mejoras medioambientales y un aporte a la utilización de nuevos materiales, se plantea la utilización de cenizas volantes de carbón producidas en las centrales termoeléctricas de nuestro país, estas se han empleado principalmente como adición en mezclas de hormigón y en estabilización de bases granulares, pero no se ha profundizado su aplicación dentro de la dosificación en mezclas asfálticas, lo cual sería una alternativa de solución para observar el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica y así poder contribuir a la mitigación del problema ambiental que genera este desperdicio ocasionado por la generación de energía en la central termoeléctrica.

1.2. Formulación y delimitación del problema

1.2.1. Problema general.

¿De qué manera influye la incorporación de cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo en el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente?

1.2.2. Problemas específicos.

- a. ¿Cómo influye la incorporación de cenizas volantes en la resistencia mecánica de la Mezcla Asfáltica en Caliente?
- b. ¿En qué medida incide la incorporación de cenizas volantes en la resistencia al daño por humedad de la Mezcla Asfáltica en Caliente?
- c. ¿En qué medida incide la incorporación de cenizas volantes en la durabilidad de la Mezcla Asfáltica en Caliente?

1.3. Importancia y justificación del estudio

La utilización de nuevos materiales como son las cenizas volantes de carbón provenientes de las centrales termoeléctricas del país y su aplicación en el diseño de la mezclas asfáltica en caliente es una de las importantes soluciones tecnológicas para cubrir las necesidades de prolongar la vida útil del pavimento. Asimismo la reutilización de estos materiales permite contribuir a la reducción de impactos ambientales negativos.

Se entiende que los problemas que afectan a la mezcla asfáltica en el pavimento son: agrietamiento por fatiga, deformación permanente y el envejecimiento, la presente investigación pretende alcanzar un incremento sustancial en el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente al adicionar en distintos porcentajes de cenizas volantes y constituir mezclas que al ser sometidas a diferentes condiciones de carga y clima respondan de manera satisfactoria.

1.3.1. Justificación

Justificación teórica

Esta investigación se realiza con el propósito de aportar conocimiento existente sobre la utilización y aprovechamiento de nuevos materiales para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente con la finalidad prolongar la vida útil del pavimento. Las cenizas volantes de carbón producidas por Centrales Termoeléctricas son consideradas un pasivo ambiental, las cuales vienen siendo ampliamente investigadas en distintos

países sobre los efectos que produce la incorporación de este material en la mezcla asfáltica en caliente ya que se estaría demostrando que existe un incremento significativo en el desempeño mecánico con respecto a una mezcla asfáltica en caliente convencional.

Justificación practica

Esta investigación se realiza por que existe una necesidad de mejorar la construcción de obras de infraestructura vial como son los pavimentos, ya que es una de las que más consumen directamente los recursos naturales. Los procesos constructivos absorben gran cantidad de agregado granular, arenas y arcillas. La extracción de estos materiales genera impactos ambientales casi siempre irreversible. El aumento de la demanda de agregados para uso en la construcción de pavimentos, trae la preocupación por la posibilidad del agotamiento de los recursos naturales y con los efectos que la extracción de agregados degrade el medio ambiente. Por lo tanto, surge necesidad de buscar nuevas alternativas de materiales empleados en la construcción de pavimentos y de esta manera generar proyectos que sean sostenibles. Es así que el potencial aprovechamiento de residuos (cenizas volantes de carbón) que generan las centrales termoeléctricas, sería una alternativa importante como un nuevo material para incrementar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas en caliente y de esta manera su utilización ofrezca alternativas para contribuir con el cuidado medio ambiente.

1.4. Delimitación del estudio

Delimitación geográfica

La ciudad de Lima dentro de sus lineamientos de desarrollo sostenible es la ciudad donde se centraliza la mayor parte las actividades de comercio del país. La Región Lima tiene diferentes zonas climáticas, las más importantes fluctúan entre 3619 msnm – 2380 msnm, asimismo posee carreteras a nivel de asfalto en caliente que la conectan con el interior del país, las cuales, con un tránsito pesado importante cada día transporta diferentes productos a los distintos mercados de la capital, es por ello que en la presente investigación toma los parámetros y especificaciones para materiales que constituyen la Mezcla Asfáltica en Caliente como; agregado grueso, agregado fino, filler y el tipo de PEN para altitudes mayores a 3000 msnm de acuerdo a la EG-2013.

Delimitación del conocimiento y tiempo

La presente investigación pretende analizar el desempeño mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente incorporando cenizas volantes de carbón provenientes de la central termoeléctrica de Ilo, asimismo la incorporación de las cenizas volantes en diferentes porcentajes será al llenante mineral en este caso el filler y todos los ensayos para la verificación del desempeño de la Mezcla asfáltica en caliente se realizarán a nivel de laboratorio entre los meses de abril a mayo del 2019.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general.

Determinar el porcentaje de incorporación de cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo para incrementar el desempeño mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente.

1.5.2. Objetivos específicos.

- a. Determinar el incremento en la resistencia mecánica de la Mezcla Asfáltica en Caliente a partir de porcentajes de incorporación de cenizas volantes mediante el ensayo Marshall.
- b. Determinar el incremento en la resistencia al daño por humedad de la Mezcla Asfáltica en Caliente a partir de porcentajes de incorporación de cenizas volantes mediante el ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta (TSR).
- c. Determinar el incremento en la durabilidad de la Mezcla Asfáltica en Caliente a partir de porcentajes de incorporación de cenizas volantes mediante el ensayo de Rueda de Hamburgo.

CAPÍTULO 2:

Marco teórico

2.1. Marco histórico

Huaquisto S., Belizario G. (2018). La Central Térmica Ilo 21 genera electricidad a base de carbón y cuyo residuo es la ceniza volante, material contaminante del medio ambiente, el cual es utilizada como adición al cemento para la fabricación del concreto de las diferentes obras civiles, en tal sentido el objetivo del presente estudio fue la dosificación de mezclas de concreto adicionando ceniza volante de tal manera que no disminuya la resistencia y ayude a mitigar el medio ambiente. El material y método empleado es el concreto normal con adiciones de ceniza volante en proporciones de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados indican que a los 28 días se tienen resistencias en promedio de 221kg/cm² para concreto normal, para concreto con 2.5% de ceniza volante 223kg/cm², para el 5.0% 231kg/cm², para el 10.0% 200 kg/cm² y 192kg/cm² para el 15% de ceniza volante respectivamente. En conclusión la ceniza volante se debe utilizar como sustitución al cemento en un rango menor al 10%, más allá de este valor disminuye la resistencia del concreto, por lo que puede resultar perjudicial a la hora de realizar los controles de calidad.

Los autores muestran las bondades de utilización de la ceniza volante proveniente de la central termoeléctrica de Ilo 21 en la fabricación del concreto para diferentes obras civiles, como resultado obtuvieron un incremento a la resistencia, sin embargo recomiendan adiciones en rangos menores al 10%.

Argiz C., Menendez E., San Juan M. (2013). La utilización de nuevas adiciones en el cemento es necesaria con el fin de obtener un material más sostenible y durable. En este sentido, las cenizas pesadas o cenicero de las centrales termoeléctricas de carbón se podrían reciclar siendo empleadas como un componente principal de los cementos Portland. Se han estudiado las propiedades mecánicas de unos morteros normalizados elaborados con mezclas de cenizas volantes con cenizas de fondo fabricados con unos porcentajes similares a los correspondientes de los CEM II/A-V, CEM II/B-V y CEM IV/A (V). En conclusión, la utilización de mezclas de cenizas de fondo o cenicero con cenizas volantes sustituyendo a éstas últimas entre el 0% y el 100%, no influye significativamente en el comportamiento mecánico de los morteros estudiados en los que el contenido máximo de adición ha sido del 35%, si bien afecta a determinados aspectos microestructurales, como la cantidad y distribución de poros capilares.

Los autores utilizan cenizas pesadas de centrales termoeléctricas y estudian el comportamiento en la adición a morteros, concluyendo que las cenizas pesadas no influyen en el comportamiento de los morteros.

Taner A., Mustafa E., (2013). En este estudio, los efectos de la utilización combinada de estireno-butadieno-estireno (SBS) en la modificación del betún y cenizas volantes. Se investigó la modificación de las mezclas sobre las propiedades mecánicas de los asfaltos de mezcla caliente. Dentro del ámbito de este estudio, se obtuvieron 12 diferentes mezclas mediante la combinación de tres proporciones diferentes de aditivo SBS en relación con la masa total de betún (0, 3 y 6% en peso) con cuatro proporciones diferentes de reemplazo de cenizas volantes en relación con la masa total agregada (0, 2, 4 y 6% en peso). Como resultado de estas pruebas, se descubrió que el uso de cenizas volantes reduce el contenido óptimo de betún (OBC), mientras que el uso de SBS aumenta el OBC. Se determinó que la utilización individual de SBS y las cenizas volantes mejoró la estabilidad de las mezclas, la resistencia en condiciones normales, temperaturas, resistencia al daño inducido por la humedad, fatiga y resistencia a la deformación permanente. Además, se encontró que el uso de SBS solo en la modificación del betún al 3% en peso sin usar cenizas volantes y el uso de cenizas volantes solamente como relleno la proporción de 6% en peso con betún puro produjo resultados similares. El uso combinado de SBS y cenizas volantes se determinó

para aumentar los efectos positivos asociados, mientras que una comparación de adiciones separadas mostró que la SBS es más efectiva que las cenizas volantes, también detectó que a medida que aumentaba el contenido de SBS en la mezcla, la efectividad de las cenizas volantes disminuía.

Los autores utilizan SBS y cenizas volantes en conjunto en las mezclas asfálticas en caliente con el fin de medir las bondades en las propiedades mecánicas de la mezcla, concluyendo que las cenizas disminuyen el óptimo contenido de asfalto y a la vez mejora la estabilidad de la mezcla.

Min-Chih Liao, Gordon A., Jian-Shiuh C. (2013). Hoy en día existen diversos métodos para la adición de cemento Portland ordinario ya que en lugar de relleno de piedra caliza en Pavimentos de asfalto en Taiwán, existe interacciones fisicoquímica del relleno del asfalto convencional y las partículas de relleno de cemento. Asimismo hay iteración entre las propiedades de ingeniería las cuales mejora las mezclas asfálticas. Los parámetros actuales de Superpave de $G^* / \sin \delta$ y $G^* \sin \delta$ se utilizaron para vincular el Propiedades reológicas de los aglutinantes de asfalto y medir el rendimiento del pavimento frente al ahuellamiento y fatiga. Sin embargo, las características de los aglutinantes del asfalto se determinaron en el dominio viscoelástico lineal mediante barridos de frecuencia. La película de la carpeta del asfalto podría actuar en el Rango no lineal debido a la considerable diferencia entre el módulo de rigidez de los agregados y el módulo del ligantes. Adicionalmente, La interacción de relleno de asfalto podría no reflejarse a través de los parámetros de Superpave. Propiedades mecánicas de rigidez, deformación y la fatiga por el relleno de masillas asfálticas puede ser más apropiada en términos de establecer una correlación con el rendimiento del pavimento asfáltico. Se realizaron pruebas de oscilación y de fluencia con un reómetro dinámico de corte (DSR) para cuantificar las propiedades mecánicas del elemento y Masillas asfálticas de relleno de piedra caliza en los mismos niveles de contenido de relleno por peso. Los resultados de la prueba mostraron que el módulo complejo más alto y efecto de rigidez de las masillas de asfalto de relleno de cemento que las de las masillas de asfalto de relleno de piedra caliza dentro de un viscoelástico lineal dominio. En términos de comportamiento de creep la adición de relleno de cemento a la base del betún aumenta la viscosidad en un estado estable. Se evidencia señales más largas de fatiga para las masillas asfálticas de relleno de

cemento lo cual indica que la adición de relleno activo puede proporcionar una mejor durabilidad del pavimento.

Los autores realizan estudios sobre el comportamiento de la piedra caliza y cemento como relleno mineral, asimismo concluyen que el cemento otorga mejor comportamiento aumentando la viscosidad de manera estable.

Valentova T., Valentín J., (2016). El deterioro de los pavimentos de asfalto por inmersión en agua y mayor contenido de humedad representa uno de los temas principales para los tecnólogos de pavimentos. Especialmente si el deterioro se concentra en la fase inicial del ciclo de vida de un pavimento. La humedad natural puede ser perjudicial para los enlaces entre el bitumen y las partículas de agregados, lo que ocurre a través en el medio de la adhesión se origina el deterioro en la interfaz o en el conjunto de la adherencia de capas. Incluso si pudiera verse a primera vista, el ligante bituminoso crea una capa perfectamente impermeable de partículas delgadas, en realidad la película de betún hace recubrimiento inestable de agregados en espesores y frecuencias desiguales. Esas áreas debilitadas están más susceptibles a los efectos del agua y la humedad, que entran en la capa de asfalto en el límite de Agregados y ligantes bituminosos. Para mejorar la adherencia entre bitumen y agregados y para conseguir en general mejores características funcionales de mezclas asfálticas en gran medida. Existen gran cantidad de aditivos en la ingeniería civil. El primer grupo se puede definir como aditivos que se agregan directamente al aglutinante bituminoso y proporciona una especie de modificación del betún. El segundo grupo incluye aditivos minerales, que pueden reemplazar parcial o completamente las partículas de grano fino, normalmente en la forma de relleno. En este artículo se estableció el objetivo de calificar el efecto de la activación mecánica del microfilamento procedente de subproductos de piedra caliza o de hormigón reciclado como sustituto del agregado fino o relleno activo en mezclas asfálticas. La investigación dirigida a utilizar materiales de desecho y contribuir a la reducción de los impactos negativos globales sobre el medio ambiente.

Los autores investigan sobre el efecto de la humedad en el deterioro del pavimento, para ello estudian dos grupos de aditivos, siendo el grupo de aditivos minerales que son subproductos de la piedra caliza o reciclado del agredo fino o

relleno activo en mezclas asfálticas lo cual su utilización contribuye a la reducción de impactos negativos.

Antunes V., Freire A. C., Quaresma L., Micaelo R. (2017). Hay muchas maneras diferentes de reducir el impacto de la industria de la construcción en el medio ambiente. La incorporación de residuos en la fabricación de los materiales de construcción puede ser beneficiosos tanto para el sector de la gestión de residuos y la industria de la construcción. El objetivo de esta investigación fue investigar el uso de tres diferentes materiales de desecho (construcción y residuos de demolición, polvo de ladrillo y cenizas volantes) como relleno en Mezclas de asfalto. Se utilizó relleno de piedra caliza como referencia. Los materiales se caracterizaron en términos de sus características geométricas, y propiedades físicas y químicas, asimismo la interacción con el betún fue evaluado con dos métodos de prueba de mezcla utilizando cuatro diferentes betunes. La superficie específica de los residuos materiales muestra una amplia variedad debido al material específico de forma y textura de partículas. Las pruebas de número de bitumen para medir adecuadamente el efecto de rigidez de estos materiales. Los resultados de la prueba delta del anillo y bola mostraron que hay una buena relación con el contenido de relleno cuando los resultados se ven afectados por el tipo de betún. La relación f/b para una combinación específica de betún-relleno puede ser determinado a partir de la relación máxima de relleno a betún y el aumento de rigidez recomendado. Las masillas con estos materiales de desecho mostraron una fuerte resistencia a daños por humedad inducida. Los autores hacen referencia a la reducción del impacto ambiental en la industria de la construcción, asimismo utilizan 3 tipos de materiales: piedra caliza, polvo de ladrillo y ceniza volante como relleno mineral, concluyen que la relación asfalto y materiales (mástico asfáltico) de desecho de la industria de construcción presentan una buena resistencia a daños por humedad inducida.

Raja M., karmakar S., Kumar Roy T., (2019). La creciente preocupación por proteger el medio ambiente concentró la atención de la sociedad en la posible reutilización de diferentes desechos agrícolas e industriales en la construcción de carreteras. Este estudio de investigación muestra el efecto del uso de desechos como la ceniza de cáscara de arroz (RHA) y la ceniza volante (FA) como reemplazo de la cal

hidratada (HL) utilizada convencionalmente como rellenos en asfalto de mezcla en caliente (HMA). Principalmente, las muestras de mezcla de macadán bituminoso (DBM) denso se hicieron en el laboratorio con proporciones variables que oscilan entre el 2% y el 8% de HL, RHA y FA siguiendo las mezclas de diseño según el método Marshall y compararon los resultados con la mezcla de control como preparado utilizando 2% HL. Los rendimientos de dichas mezclas se estudiaron a través de los resultados de Marshall, la resistencia a la tensión indirecta y la relación de la resistencia a la tracción. Los resultados de la investigación muestran un mejor rendimiento de HMA con la adición de RHA y FA y también resultó ser económico ya que el contenido óptimo de betún se reduce en un 7,5% respecto al de la mezcla de control cuando se agrega a una relación de relleno del 4%. Además, RHA muestra una mayor afinidad con el betún que atribuye la mayor rigidez efecto de las gotas de masilla bituminosa en comparación con el de otros rellenos usados con buena compatibilidad en el micro nivel satisfaciendo el criterio esencial.

Los autores hacen referencia a la utilización de los desechos de ceniza de cascara de arroz y ceniza volante de carbón como reemplazo de cal hidratada que es el relleno mineral de la mezcla asfáltica en caliente, concluyendo que disminuye el contenido de asfalto en la mezcla y presenta mayor rigidez en comparación a otros rellenos minerales.

Hamad I. et. Al (2014). La combustión de aceite pesado en la Instalaciones de generación de energía de plantas de desalinización. Grandes cantidades de cenizas volantes de petróleo pesado (OFA). Los residuos de Ceniza se espera que la producción aumente con el aumento del uso de aceite pesado o craqueado como combustible en potencia ineficiente. Las instalaciones de generación de energía generan ceniza de aceite estos puede representar un peligro para la salud lo cual podría afectar el sistema respiratorio y puede contaminar el nivel freático si se vierte incorrectamente. La utilización de la ceniza de petróleo pesado en materiales de construcción proporciona un uso viable para este subproducto, protegiendo así el medio ambiente y eliminando la necesidad de construir zonas de disposición especial para la ceniza. En este estudio se utilizaron 03 diferentes métodos de tratamiento químico para la modificación superficial de las cenizas volantes. El análisis elemental indicó que el proceso de tratamiento elimina algunos de los

elementos tales como vanadio, hierro y níquel de las muestras OFA. Las cenizas se mezclaron con aglutinante asfáltico en una proporción del 2% y utilizado en mezclas asfálticas de hormigón de rendimiento de ligantes de asfalto modificados con cenizas aumentaron de 64-16 a 76-16. Mezclas de asfalto de hormigón modificadas con OFA tratado químicamente tiene un 11% más de tracción dividida fuerza, 25% mayor módulo elástico, 1,40% Incremento en la vida de fatiga y reducción del 55% en la formación de cúmulos de mezcla de concreto asfáltico tratada con el mismo contenido asfáltico. Modificando la carpeta de asfalto con el 2% de los OFA tratados químicamente mejora significativamente el rendimiento del pavimento asfáltico.

Los autores estudian la utilización de las cenizas pesadas de la combustión de acetite pesado en la dosificación a la mezcla asfáltica concluyendo que incrementa el modulo elástico y la vida a la fatiga incrementando la vida del pavimento asfaltico.

Aboelkasim D., Mahmoud E., (2018). Este estudio está dedicado a comprender los mecanismos de los rellenos minerales en el asfalto en las escalas de mezcla y masilla. Para ello, se evaluaron las propiedades físicas de las mezclas asfálticas y masillas; Además, se presentó una investigación química en la escala de masilla por el bien de proporcionar información sobre los posibles mecanismos entre la carpeta de asfalto y el relleno mineral. Tres cargas minerales, a saber, cal hidratada (HL), caliza (LS) y polvo de derivación de cemento (CD) se incorporaron en un aglutinante de asfalto en diferentes rellenos ratios de ligante (F / B). Para la evaluación mecánica de las mezclas, se llevaron a cabo las pruebas de resistencia a la tracción indirecta (ITS), evaluación de daños por humedad, módulo elástico y recuperación de fluencia estática. Las energías de fractura también se cuantificaron para todas las mezclas estudiadas. Los resultados de las pruebas de penetración y punto de reblandecimiento, así como su índice de penetración (PI) pertinente, se discutieron para dilucidar algunas propiedades físicas de los masticos. La espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN) se realizó en los masticos para obtener información sobre las estructuras moleculares de los compuestos formados. Los hallazgos de este estudio enfatizan que las propiedades físicas de las mezclas y las masillas son altamente dependientes del tipo y concentración de relleno mineral. Los resultados de 1H NMR y 13C NMR

demonstraron que la inclusión de los rellenos estudiados no cambió la estructura molecular del aglutinante asfáltico base; de esta manera los mecanismos físicos están detrás de las propiedades alcanzadas. Se cree que los hallazgos de este trabajo contribuirían a un mayor conocimiento de los mecanismos de los minerales rellenos en mezclas asfálticas.

Los autores realizan el estudio sobre los rellenos minerales en las mezclas asfálticas con tres diferentes materiales: cal hidratada, caliza y polvo de derivación del cemento, asimismo concluyen que la inclusión de los rellenos no cambió la estructura molecular del aglutinante asfáltico y que los parámetros físicos están dentro de las propiedades alcanzadas.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

Sánchez Otálora, S. (2014) menciona en el trabajo de investigación que realizó y verificó el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente tipo 2 preparadas con un menor porcentaje de asfalto y del llenante mineral en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 20%, 30 % de cenizas disminuyendo el ligante y 25%, 50%, 75% de ceniza para reemplazar el llenante mineral. El autor concluye que existe un mejor comportamiento y un aumento de resistencia de la mezcla asfáltica a la deformación y a los esfuerzos de tensión que son constantes, por consiguiente a la fatiga y a la reducción del agrietamiento, a futuro este tipo de mezclas puede reducir la susceptibilidad de la capa de rodadura a los cambios climáticos.

Rodríguez de Farias, E. (2005) menciona que se realizó ensayos para verificar el comportamiento mecánico incorporando cenizas volantes como estabilizador de suelos para en la construcción de carreteras, para ello se realizó la mezcla de 5 muestras en diferentes proporciones Muestra suelo/ceniza volantes y se representaron de la siguiente forma: 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, 0/100, se realizaron los ensayos de compactación y se puede observar que con la adición de cenizas volantes hay una importante mejora en el CBR y la expansión de cada una de las mezclas suelo/ceniza volante, se visualiza que mejora las propiedades geotécnicas de la mezcla, para todas las muestras ensayadas, la adición de la ceniza volantes aumenta el valor de la capacidad de soporte, disminuye su expansibilidad y reduce la masa específica aparente seca, se observa que la mezcla 50/50 presenta los mayores valores de CBR en comparación a una mezcla 100/0.

Con la adición del 50% (en peso) de ceniza volantes en el suelo el valor del CBR aumenta de 10.6% a 22.0% y la expansión se aproxima a 0%, la ceniza en la mezcla que no se expanda, que sea poco sensible a humedad y con la capacidad de soporte presentada, podría incluso considerar su utilización en capas de sub base de una estructura en pavimentos de bajo volumen de tránsito. De esta forma el autor constato que desde el punto de vista estructural las mezclas 70/30 y 50/50 podrán emplearse como capa de subbase de suelo pues presentan una capacidad de soporte CBR superior al 20%.

Barroso Vasconcellos, C. et al (2004) mencionan que realizaron el estudio experimental de la ceniza de caldera el cual se utilizó en la sustitución del filer calcáreo en las mezclas de asfalto, los porcentajes utilizados en el programa experimental fueron 35, 50, 70 y 100% en relación con el peso del filer presente en la mezcla de referencia. Sin embargo, debido a la diferencia de masa específica del calcáreo y de la ceniza, se realizaron correcciones, para asegurar que las mezclas posean el mismo volumen de cargas. El comportamiento de las diversas mezclas de concreto asfáltico, con diferentes porcentajes de gris, se observó mediante la realización de ensayos Marshall, resistencia a la tracción, módulo de resiliencia y velocidad del pulso (UPV). Los autores concluyen que la adición de la ceniza de caldera a gas cambia la velocidad del pulso el ultrasonido, con el valor del pulso disminuyendo a medida que se aumenta el porcentaje de rechazo. Es probable que esta adición cause un aumento porcentaje de vacíos del concreto asfáltico la estabilidad disminuye con el aumento del porcentaje de gris de caldera a gas, con los valores llegando cerca del mínimo establecido por la ES 313/97 del DNER. La resistencia a la tracción aumenta con el aumento del porcentaje de gris de caldera de gas, asimismo la adición de la ceniza de caldera a gas cambia el módulo de resiliencia. Los valores del módulo aumentan cuando se agrega hasta aproximadamente 50% de ceniza de caldera de gas. A partir de este punto, el valor del módulo disminuye con el aumento del porcentaje de ceniza de caldera a gas, lo que puede ser ocasionado por el exceso de vacíos y pérdida de adherencia entre los materiales.

Vargas Nordcbeck, A. et al (2013) mencionan que evaluaron las propiedades de la mezcla asfáltica en función de la perdida de recubrimiento del agregado, con la aplicación del ensayo de módulo dinámico como método para determinar la susceptibilidad

al daño por humedad de mezclas asfálticas, asimismo se realizaron ocho diseños de mezclas que utilizaron una sola fuente de agregado, conocida por su pobre desempeño en el campo al daño por humedad. Estos diseños consistieron en mezclas de control, modificada con polímero SBS y con aditivos promotores de adherencia (agente anti desnudante líquido ADL y cal), para tamaños máximos nominales (TMN) de 9.5 mm y 12.5 mm, el ligante asfáltico corresponde a un PG 70-22, de acuerdo a la clasificación por grado de desempeño. Los autores concluyen que para distintos tipos de mezclas fue posible observar que la resistencia al daño por humedad puede aumentarse mediante el uso de aditivos mejoradores de adherencia, la selección del tamaño máximo nominal del agregado también puede contribuir a una menor disminución del módulo conforme se aplican los ciclos de acondicionamiento (menor susceptibilidad de la humedad). La inclusión de un mayor número de ciclos de acondicionamiento en la metodología del ensayo AASHTO T283 puede mejorar la correlación con el desempeño en campo, sin embargo sigue tratándose de un ensayo empírico, ya que el ensayo de Lottman modificado ofrece resultados variables en el desempeño en campo de las mezclas asfálticas. La retención retenida a la tensión diametral (RRTD) con un ciclo de acondicionamiento cumple o excede los valores mínimos solicitados para todas las mezclas, aún cuando se conoce por experiencia que la fuente de agregado seleccionada tiende a presentar problemas de adherencia.

Tarniowicz Barros, E. et al (2017) mencionan que el uso del residuo de ceniza muestra una posibilidad técnica de adición parcial como filer en el concreto asfáltico en caliente pues todos los resultados quedaron dentro del rango específico, Sin embargo, analizando los resultados finales se nota que no ocurrió mejoras en la mezcla asfáltica, a pesar de su utilización, la ceniza no proporcionó cambios favorables. También se puede observar que la ceniza no presentó una buena interacción con el ligante, con deficiencia en la adhesión entre ellos y homogeneidad en su concentración en la mezcla. Debido a su baja masa específica redujo la densidad de la fracción, aumentando excesivamente el consumo de CAP lo que haría su utilización económicamente inviable, pues cuanto mayor sea la cantidad de finos mayor será el contenido de CAP, así haciendo la producción del concreto asfáltico flexible con un costo mucho más elevado, esto es la preocupación a corto plazo que se está aplicando a los precios, pues el CAP

representa en de alrededor del 60% al 70% el costo de una obra. Pero si el objetivo es el valor que eso representa a largo plazo, hay grandes posibilidades de ser viable su utilización, de modo que traerá ganancias en el medio ambiente, evitando la necesidad de tomar medidas futuras para contener la contaminación que la ceniza causará.

Vilela Margon, P. (2002) se elaboró una metodología para la formulación de una dosificación para morteros de revestimiento, a través de curvas granulométricas, con la incorporación de las cenizas procedentes de la combustión del carbón pulverizado. A través del modelo matemático propuesto por FURNAS (1931), se generó una la curva granulométrica teórica. Esta curva definió la distribución granulométrica de los agregados y de los aglomerantes, cuyas proporciones obedecieron al trazado 1: 2: 9 en volumen. Se han confeccionado morteros con sustitución de la arena por ceniza volantes en los 0%, 50% y 100%, utilizando cenizas procedentes de dos procesos termoeléctricos diferentes, lo que compone un total de cinco morteros. Se evaluaron las propiedades de los morteros confeccionados en los estados fresco y endurecido. A partir del análisis de los datos obtenidos, se llegó a las siguientes respuestas a las hipótesis de este trabajo: La incorporación de las cenizas volantes en sustitución de la arena los morteros realmente pueden ser optimizados por el análisis de la composición granulométrica de los componentes (aglomerantes y agregados) a través de curvas granulométricas. Como ya se ha dicho anteriormente, el principio para la composición y la dosificación del mortero con base en la curva granulométrica está en obtener un mortero trabajable en estado fresco y que posea, en el estado endurecido, una compacidad elevada, con reducción del volumen de vacíos. Resultados a la compresión a los 90 días (MPa) CH 50% CH 100% JI 50% JL 100% promedio de resultados 9.80 y 11.22.

De Brito Andrade, L. (2004) menciona que se realizó la incorporación de cenizas pensadas generadas por centrales termoeléctricas como agregado natural para concreto, cuando se incorpora cenizas pesadas a la granulometría para la preparación de las probetas de concreto este material fino da una mejor distribución en el conjunto de la arena natural, como se vio en las curvas granulométricas generadas de las mezclas, estas mejoras se da principalmente en

los contenidos de 25 % a 50% de sustitución, donde se realiza un desplazamiento de la curva granulométrica en la dirección de mayor cantidad de finos, comprobado por el módulo de finura de la mezcla las composición de 75% CZP/AR Y 100% CZP/AR aunque fuera de los límites propuestos por norma se pueden producir concretos con buen rendimiento, buena resistencia mecánica, baja capilaridad que el hecho de las cenizas pesadas generan mezclas con una característica de mejor distribución de finos esto se traduce ten las mezclas con la posibilidad de un mejor relleno de espacios de vacíos y que alcanzan resistencias de acuerdo a las especificaciones por las propiedades puzolanas que presenta la ceniza pesada.

Antônio Eig, M. (2018) realizó el análisis de la incorporación de ceniza volante y pesada en diferentes dosages de mezclas asfálticas densas y evaluar los impactos físico químicos de las mezclas de forma comparativa con una mezcla convencional, se confeccionaron 50 cuerpos de pruebas de las cuales 25 se refieren a la mezcla convencional y 25 incorporando cenizas en sustitución de porciones de finos, cada mezcla presenta 5 niveles de ligante bituminosos diferentes y cada contenido presenta 5 muestras. El contenido óptimo de asfalto de la muestra convencional es de 4,86%, en cuanto a la mezcla incorporando cenizas es de 5,18% adicionalmente la incorporación de ceniza a la mezcla presenta un contenido de vacíos menor que la mezcla convencional, provocando una mayor densificación y a su vez promoviendo una densidad volumétrica aparente menor. Otro aspecto importante de las cenizas es presentar una densidad menor que el material pétreo. Esto proporciona una mayor necesidad de material en volumen. Este hecho asociado con una mayor superficie específica real de las cenizas lo cual ocasionó una mayor necesidad de ligante y también una mayor dificultad de los procesos de mezcla de las mismas a bajos niveles. Se observa, además, una caída acentuada de los valores de estabilidad de la ceniza para niveles superiores al 5,18%. Por lo tanto, se espera que un aumento de ligante que ocasione los niveles por encima del 5,18%, no generan un aumento de estabilidad, por el contrario, deberá ocurrir en este caso una caída de la misma. El autor concluye que se debe tener en consideración las cantidades optimas de asfalto ya que como los que se obtuvieron en la presente investigación (4.86 y 4.54) ya que el exceso de ligante ocasiona problemas tanto mecánicos como también el efecto de exudación del ligante en

campo. De esta forma, se recomienda también un análisis de los costos relacionados con la utilización de mayores contenidos de ligante en las mezclas asfálticas en las investigaciones venideras.

Reyes Ortiz, J. et al (2006) determinaron la influencia de reemplazar el llenante mineral por cenizas volantes en la deformación permanente y las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica con granulometría 0/10 y asfalto CA60/70. 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.

Evelice Pavei, et al (2014) estudiaron la influencia de la incorporación de diferentes porcentajes de gris pesado, en la resistencia a la tracción en mezclas asfálticas de capas de revestimiento. Se estudiaron mezclas sin y con adición de 2, 4, 8 y 12% de gris pesado. La ceniza procede del Complejo Termoeléctrico Jorge Lacerda, ubicado en el municipio de Capivari de Baixo, SC. Las mezclas fueron dosificadas mediante la metodología Marshall (DNER-ME 043/95) para estimar el contenido óptimo de ligante. Con el valor del contenido óptimo de ligante fueron moldeados cuerpos de prueba para ser ensayados a la tracción diametral. Los resultados de estos ensayos mostraron que la adición de ceniza pesada hasta un valor del 5,9%, permite incrementar la resistencia a la tracción de las mezclas, con adición de ceniza, en comparación con la mezcla de referencia, sin gris. En base a los resultados obtenidos, el uso de la ceniza pesada en el revestimiento asfáltico en pavimentos flexibles, permitirá la utilización de un gran volumen de este residuo colaborando, de esta forma, con la gestión ambiental del mismo y con una economía en el uso de agregados pétreos naturales.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Cemento asfáltico.

El asfalto se define como un material de color oscuro, que puede tener consistencia líquida, semisólida o sólida, compuesto principalmente por hidrocarburos. Puede encontrarse en yacimientos naturales o como un producto de la refinación del petróleo; sus cualidades aglutinantes y propiedades fisicoquímicas lo hacen apto para un sinnúmero de aplicaciones. El 80 % de la producción mundial del asfalto de refinería se utiliza para la construcción de vías. Adicionalmente, es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Es más, a pesar de que el asfalto fluctúa tan solo entre el 4.5 y el 7.5% de la composición del pavimento, ningún otro material garantiza en mayor grado la satisfacción simultánea y económica de estas funciones, al mismo tiempo que proporciona una estructura de pavimentos con características flexibles que permiten cierto grado de acomodo, sin fisurarse en eventuales movimientos de las capas subyacentes. En base a las características fisicoquímicas y coloidales, este tipo de ligante aporta a la vía propiedades viscosas a altas temperaturas y elásticas a bajas temperaturas, en suma, el asfalto es el encargado de unir el agregado mineral de diferentes tamaños, que hace las veces del esqueleto, dando confort al usuario (Garson, et al, 2005, p. 2).

2.3.2. Proceso de obtención del asfalto.

El crudo de petróleo varía su composición dependiendo de la fuente, produciendo diferentes tipos y cantidades de cemento asfáltico residual y otras fracciones destilables (Minaya y Ordoñez, 2001, p.63). El crudo de petróleo puede clasificarse arbitrariamente de acuerdo con su gravedad API (American Petroleum Institute). La gravedad API está en función de la densidad del material a 60° F y se obtiene de la siguiente expresión:

La gravedad API del agua es 10. El asfalto, material más pesado, tiene una gravedad API entre 5 y 10, mientras que el API más liviano de la gasolina es alrededor de 55. Los procesos de refinación para la obtención de asfaltos dependen de las características del crudo y el rendimiento del asfalto que presentan. Los crudos de petróleo pesados con API menor a 25 resultan en mayores porcentajes de cementos asfálticos, mientras que los petróleos livianos con API mayor a 25 arrojan menores porcentajes de asfaltos. La siguiente ilustración presenta los porcentajes de asfalto resultante de crudos típicos (Minaya y Ordoñez, 2001, p.64).

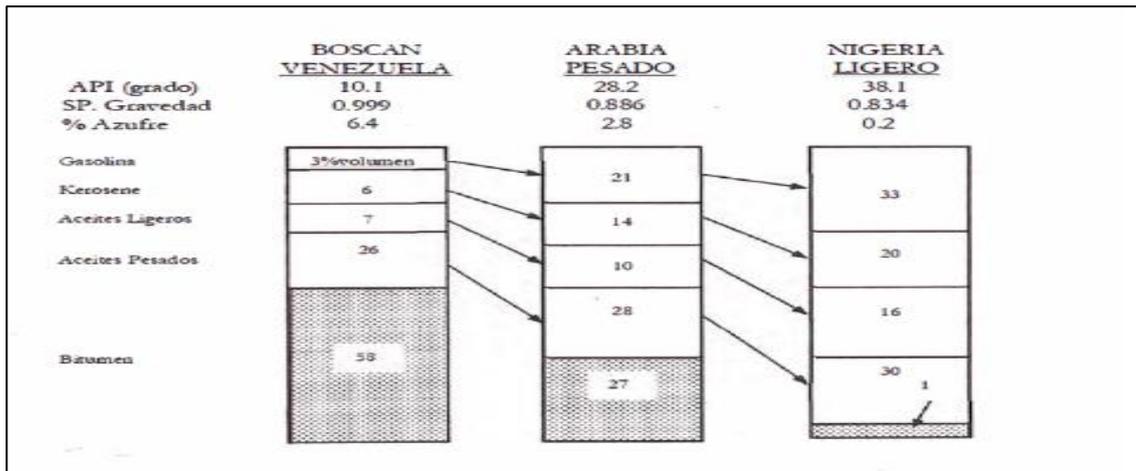


Figura 01. Rendimiento del cemento asfáltico residual.
Fuente: Ensayos para pavimentos Volumen I. (2008)

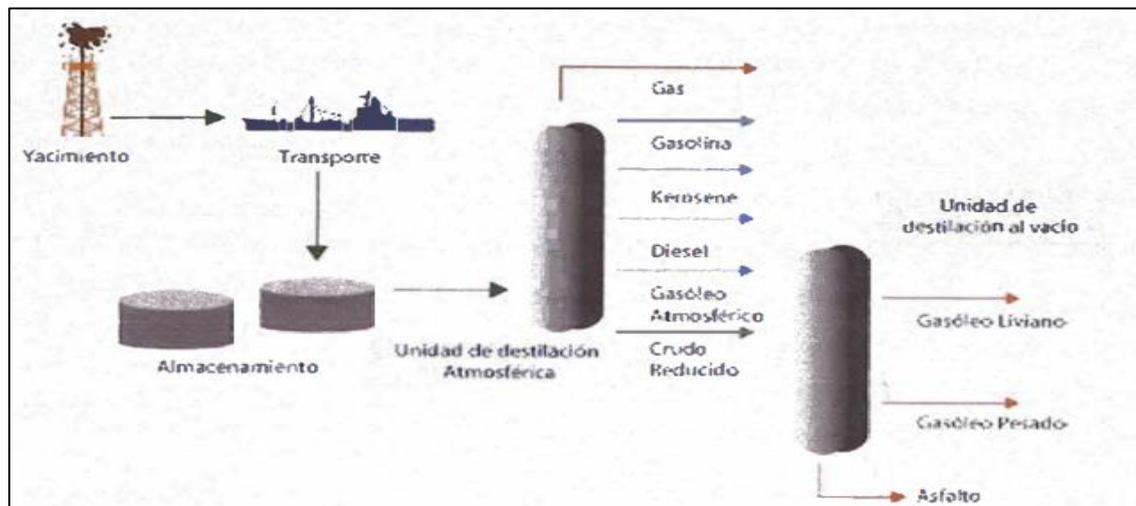


Figura 02. Obtención del asfalto.
Fuente: Pagina Web Repsol Perú. (2009)

Para crudos muy pesados de altos rendimientos de asfalto, basta una etapa de destilación al vacío. Para crudos de rendimientos intermedios de asfalto serán necesarios dos etapas de destilación: una a presión atmosférica y otra al vacío. Para crudos muy livianos y de bajo rendimiento de asfalto se requiere una etapa adicional a las dos anteriores, que es la etapa de extracción. La destilación del crudo de petróleo consiste en el calentamiento a más o menos 343°C, vaporizándose parcialmente sus componentes. Luego, el material remanente es transferido a una torre de destilación donde los componentes ligeros se vaporizan, ascendiendo hasta lo más alto, luego de enfriarse y condensarse son sacados fuera. A diferentes alturas en la torre, las fracciones logran su

punto de ebullición y luego, con la disminución de la temperatura, se condensa en recipientes dentro de la torre. El componente intermedio de la torre se saca y trata para producir kerosene y diésel. El residuo de esta destilación es usualmente colocado dentro de una unidad de destilación al vacío donde se producen los aceites pesados. La presión reducida (típicamente 55 mmHg, 1.0 psi) en la torre de vacío ayuda a inflamar estos aceites a temperaturas inferiores para prevenir el rompimiento térmico del cemento asfáltico. En el rompimiento, las moléculas grandes de asfalto son químicamente rotas. Con frecuencia el vapor es incorporado a la base de la torre para más adelante reducir la presión de 50 mmHg a alrededor de 12 mmHg, 0.24 psi. El residuo de la base de esta unidad se llama cemento asfáltico. El grado de este cemento asfáltico, se mide por penetración o viscosidad, y es controlado por la cantidad de aceites pesados sacados del petróleo.

2.3.3. Tipos de asfalto.

Los asfaltos comúnmente usados en la construcción de pavimentos flexibles pueden dividirse en tres tipos:

- Cemento asfáltico
- Asfalto emulsificado
- Asfalto cutbacks

Cemento asfáltico

A temperatura ambiente el cemento asfáltico es negro, pegajoso, semisólido y altamente viscoso. Es un cemento fuerte y durable con excelentes características adhesivas e impermeables. También es muy resistente a la acción de muchos ácidos, álcalis y sales. Para clasificar o definir la gradación del cemento asfáltico se usan tres métodos basados en la penetración, viscosidad y performance. En este informe el cemento asfáltico se clasifica por penetración (este solo nos indica la consistencia a temperatura media, 25°C) y por Viscosidad (siendo este un indicador fundamental del flujo, solo suministra información sobre el comportamiento viscoso a alta temperatura y no sobre el comportamiento elástico a baja temperatura). En cuanto a la clasificación por performance térmica usado por el sistema SUPERPAVE, consiste en que los asfaltos son graduados por su grado de desempeño (PG) en función de la temperatura ambiente más alta y la más baja a la cual el pavimento se mantendrá sin fallas.

Asfalto emulsificado.

El asfalto emulsificado es una mezcla de cemento asfáltico con agua y un agente emulsificador. El cemento asfáltico no se disuelve en agua. El cemento asfáltico caliente y el agua con contenido de agente emulsificador son sometidos a presión a través de un molino coloidal para producir glóbulos o gotas de cemento asfáltico extremadamente pequeños (menos que 5-10 micrones) que son suspendidas en agua. El agente emulsificante reparte una carga eléctrica en la superficie de la gota que causa su repulsión uno a otro, y así los glóbulos son impedidos de cohesionarse. Una vez mezclado la emulsión con el agregado se produce el rompimiento de la emulsión, así se cohesionan las partículas de asfalto liberando agua. Los asfaltos emulsificados se categorizan como asfaltos líquidos porque, a diferencia de los cementos asfálticos, ellos son líquidos a temperatura ambiente.

Asfalto cutbacks.

Los cutbacks son asfaltos líquidos a temperatura ambiente que se preparan incorporando (cutting back) solventes de petróleo (cutter stock o diluentes) al cemento asfáltico. Esto se hace para reducir la viscosidad del asfalto para aplicaciones a inferiores temperaturas. Una vez mezclado con el agregado se produce la evaporación del solvente, abandonando el residuo de cemento asfáltico. En función de la rapidez de la evaporación del solvente (proceso de curado), los asfaltos cutbacks se dividen en tres tipos: de curado rápido, curado medio y curado lento.

2.3.4. Composición química del asfalto.

Debido a la complejidad de la composición del asfalto, no es fácil clasificarlo con gran exactitud en componentes individuales. En base a lo anterior el asfalto se clasifica en tres grupos básicos: asfáltenos, resinas y aceites (aromáticos + saturados). Los asfaltos sometidos a temperaturas típicas de trabajo son un sistema disperso, ya que las partículas de la fase dispersa son las miscelas, en las cuales el núcleo o el agregado es el asfálteno (Garzón, Pareja y Guiza, 2005, pg. 04).

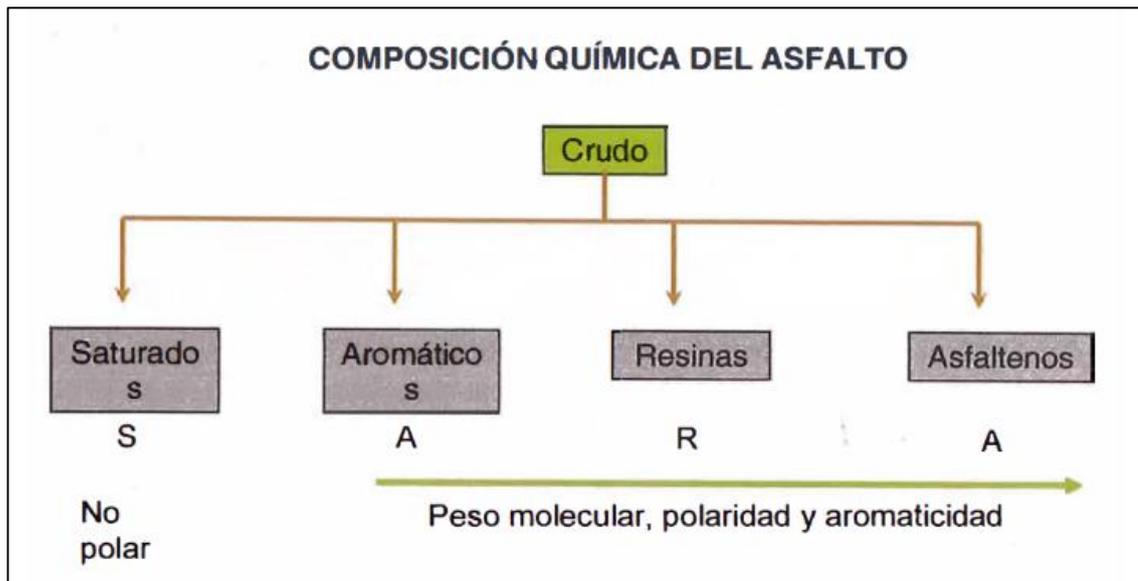


Figura 03. Composición química del asfalto.

Fuente: Ecopetrol (2009)

Existen técnicas normalizadas para determinar las partes fundamentales del asfalto (Subiada y Cuatticchio, 2005, p. 10-11), las cuales son:

- Técnica de extracción: ASTM D-2006 basada en el método de Rostler y Stemberg (hoy discontinuada).
- Técnica de absorción: ASTM D-4124 basada en el método de Corbett y Swarbrick.

Este método consiste en la precipitación de los asfaltenos mediante n heptano:

Solventes parafínicos que como su nombre lo indica de poca afinidad, de la familia de los alifáticos. La fracción soluble se eluye a través de la columna cromatográfica rellena con una alúmina de características especiales con el fin de separar mediante solventes de polaridad creciente las diferentes fracciones que componen a la fase malténica de la siguiente forma:

Parafinas o saturados: la fracción que primero eluye de la columna cromatografía con n-heptano es incolora.

Nafténico aromático: esta fracción eluye a través del pre colación con un solvente de mayor polaridad como el tolueno, presenta un color entre amarillo y ámbar.

Polar aromáticos (resinas): Esta fracción eluye a través de columna por elusión con un solvente de mayor polaridad, el tricloroetileno es de color oscuro casi negra y viscosa.

Estas cuatro partes fundamentales del asfalto, cada una con sus propiedades, constituyen el asfalto formando un sistema coloidal. Nellensteyn (1924) sugiere este modelo aún vigente, basado en que la presencia de los asfaltenos o hidrocarburos de mayor peso molecular se encuentran rodeados de los compuestos de hidrocarburos de mayor peso molecular de la fase malténica denominando a este complejo de compuestos miscelas; en tanto la fase continua está formada por los compuestos de menor peso molecular de la fase malténica denominándola fase intermiscelar.

Asfaltenos.

Las moléculas de los asfaltenos poseen grupos funcionales y radicales, que condicionan la formación de las micelas cuando se tienen concentraciones determinadas de asfaltenos en el hidrocarburo. Los grupos funcionales más representativos son carbonilos (-CO-); carboxílicos (-COO-); fenólicos (Ar-OH) e hidróxidos (-OH); los cuales se encuentran en la parte interna de la micela y la molécula del hidrocarburo en la parte externa.

Resinas.

Las resinas sirven de materia prima para la formación de asfaltenos y desde otro punto de vista, ellas plastifican las moléculas de los asfaltenos. Adicionalmente las resinas tienen muy buena solubilidad en los hidrocarburos del crudo y del asfalto, favoreciendo la formación de un sistema estable asfaltenoresina- asfaleno. Como resultado de la reacción de las resinas, tenemos procesos de deshidrogenación y condensación con la eliminación de moléculas de agua, hidrógeno, ácido sulfhídrico y amoníaco con la consecuente formación de asfaltenos. Las resinas tienen más ramificaciones que los asfaltenos (son menos compactas y más desordenadas). El contenido de grupos polares (hidroxílicos, carboxílicos) y unos cuantos grupos funcionales garantizan a las resinas su poder emulsificante (peptizante). En dependencia de la concentración de asfaltenos y de la temperatura, las resinas en los asfaltos pueden encontrarse, tanto en la fase dispersa como en el medio dispersante del sistema (Garzón et al, 2005, p. 04).

Aceites (aromáticos, saturados).

Los aceites son el medio dispersante del asfalto y su capacidad de solubilidad se determina por medio de su composición química, con frecuencia, por medio de la relación de los hidrocarburos parafino-nafténicos y aromáticos y en cierto grado con su peso molecular. Generalmente los hidrocarburos parafinonafténicos, aromáticos y nafténicos de cadena lateral parafínica forman una fase dispersa en los aceites bajo determinadas temperaturas. Se determinó que los componentes promotores de cristales en el asfalto no son solamente las parafinas, sino también los hidrocarburos nafténicos, el calor de fusión de estos últimos es dos veces menor que el calor de fusión de las parafinas. La cristalización de las parafinas en el asfalto puede continuar en un transcurso de 2 a 3 días con un aumento mínimo del calor de fusión. La influencia de la fase cristalina en las propiedades de los asfaltos se expresa en el empeoramiento de las propiedades de resistencia al fisuramiento térmico a bajas temperaturas y a la humedad. Generalmente los asfaltos parafínicos son menos longevos. Sin embargo, en los asfaltos de diferentes tipos reológicos la acción de las parafinas no es igual. La temperatura de fusión de los hidrocarburos sólidos depende de la estructura de su molécula y posición del sustituyente. De todas maneras, el impacto de las parafinas, como de cualquier componente, depende de la composición y de la estructura de los asfaltos y la solución del interrogante sobre las cantidades permisibles de parafinas en el asfalto se puede determinar con el cálculo de su estructura y composición (Garzón, et al, 2005, pg. 05).

2.3.5. Propiedades de las mezclas asfálticas en caliente.

Según Maila, J. (2013). 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 estabilidad, durabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al daño por humedad o impermeabilidad, resistencia al deslizamiento y trabajabilidad.

a) Estabilidad: La estabilidad de la mezcla es la 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 ahuellamientos (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. Esta propiedad depende, básicamente, de la fricción interna y de la cohesión. La fricción interna (fricción entre las partículas) depende mucho de la textura superficial, de la granulometría, de la forma y tamaño de la partícula.

Por otro lado la cohesión de la mezcla depende del contenido óptimo del asfalto, ya que el asfalto mantiene las presiones de contacto que generan las partículas del agregado; también se debe recalcar que la cohesión aumenta a medida que la viscosidad del asfalto incrementa o cuando la temperatura del pavimento disminuye. Éstas características son dependientes una de la otra, ya que lo que afecte a una de ellas instantáneamente repercute en la otra; así pues si la cantidad de asfalto excede al contenido máximo, se forma una película gruesa lo que produciría una pérdida de fricción entre las partículas del agregado y aumentaría la cohesión en dicha mezcla. Por lo que una cantidad adecuada de estos dos factores evitará que se produzcan deterioros en el pavimento.

b) Durabilidad: El tiempo de vida de un pavimento depende de muchos factores pero primordialmente de la durabilidad. Es importante resaltar que un pavimento (principalmente la carpeta asfáltica), queda expuesto a diferentes agresiones externas que perjudican su duración siendo éstas la abrasión producida por el tráfico, la radiación solar, la oxidación del ligante producida por el aire, el agua o el hielo, también los aceites y combustibles, produciendo así el desprendimiento de la película de asfalto y la desintegración del agregado. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

c) Flexibilidad: La flexibilidad es una propiedad muy deseable en todos los pavimentos, ya que la densidad de la subrasante es poco uniforme debido a que algunas partes del pavimento tienden a comprimirse y expandirse por el suelo y tienden a asentarse por causa del tráfico. Lo que se busca en la mayoría de mezclas es la capacidad

de poder resistir a diversos tipos de asentamientos sin que lleguen a quebrarse. Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

d) Resistencia a la fatiga: La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento (el periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Asimismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

e) Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad: La impermeabilidad no nace de la capa superior del pavimento sino desde sus capas interiores. Esta propiedad tiene como función evitar el paso del agua o aire a las mezclas asfálticas, siendo sus principales colaboradores: el contenido de vacíos, ya que éste es un gran indicador de cuan susceptible puede llegar a ser la mezcla asfáltica y el contenido de asfalto. Cuando esta impermeabilidad se va perdiendo, debido a la gran cantidad de contenido de vacíos, aparecen carencias estructurales en el pavimento producidas por la oxidación y adherencia del asfalto, y el drenaje del pavimento.

f) Resistencia al deslizamiento: Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo).

Se tiene que tener en cuenta que una superficie rugosa y áspera tendrá mayor posibilidad de adherencia con el neumático; para esto, los agregados deben de ser resistentes al desgaste bajo tránsito, siendo los agregados calcáreos los menos resistentes.

Otro punto muy importante de resaltar es la exudación del asfalto ya que proporciona poca resistencia al deslizamiento.

g) **Trabajabilidad:** Las mezclas asfálticas deben de ser trabajables; esto se refiere a la docilidad en el proceso de mezclado, colocación y compactación in situ. Esto depende de las características del agregado, granulometría, relleno mineral, contenido y viscosidad del asfalto. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

2.3.6. Pavimento de concreto asfáltico en caliente.

Según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013) consiste en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente y su colocación en una o más capas sobre una superficie debidamente preparada e imprimada.

Materiales

a) Agregados minerales gruesos.

Los agregados gruesos, deben cumplir con los requerimientos establecidos en la EG-2013, los cuales se muestran en la tabla 01.

Tabla 01.
Requerimientos para agregados gruesos.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 209	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (*)	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales – MTC (2013)

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

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

b) Agregados minerales finos.

Los agregados finos deben cumplir con los requerimientos establecidos en la EG-2013, los cuales se muestran en la tabla 02.

Tabla 02.
Requerimientos para agregados finos.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 111	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (**)	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales – MTC (2013)

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

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

c) Filler mineral.

El filler es un material que se utiliza en las mezclas asfálticas, con la finalidad de complementar la granulometría de los agregados finos cuyas características no cumplen las especificaciones técnicas correspondientes. Los materiales que pueden utilizarse como filler pueden ser cemento, cal hidratada, polvo de roca, polvo de escoria, ceniza fina o loes. Asimismo, en la sección 430 EG-2013, mejoradores de adherencia menciona que uno de los materiales a utilizar son cenizas que deben de cumplir las especificaciones (AASHTO M295).

Asimismo, especifica que se debe garantizar el grado de afinidad entre el asfalto y agregado según el tipo de pavimento bituminoso a utilizar.

Tabla 03.

Requerimientos de cal tipo I

Requerimiento	% en masa
Contenido mínimo de Cal Activada (% en masa) (% Ca (OH) ₂ + %Ca(O*))	90
Contenido máximo de Cal Deshidratada (% en masa de CaO)	7
Contenido máximo de agua (% en masa de H ₂ O)	3

Fuente: Adaptado de las Especificaciones técnicas generales – MTC (2013).

* No se permite más del 7% en masa de óxido de calcio (cal deshidratada) en la determinación del contenido total de cal activa.

d) Gradación de la mezcla asfáltica en caliente.

Gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la EG-2013, los cuales se muestra en la Tabla 03. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 indicadas en la Tabla 04 e Instituto del Asfalto.

Tabla 04.
Requerimientos para usos granulométricos.

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

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales – MTC (2013).

Tabla 05.
Requerimientos para gradación de mezclas.

Abertura de malla	Mezcla cerrada								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2 in	1 1/2 in	1 in	3/4 in	1/2 in	3/8 in	N° 4	N° 8	N° 16
	(50 mm)	(37,5 mm)	(25,0 mm)	(19,0 mm)	(12,5 mm)	(9,5 mm)	(4,75 mm)	(2,36 mm)	(1,18 mm)
2 ½"(63mm)	100								
2"(50mm)	90 - 100	100							
1 ½"(37,5mm)		90 - 100	100						
1"(25,0mm)	60 - 80		90 - 100	100					
¾"(19,0mm)		56 - 80		90 - 100	100				
½"(12,5mm)	35 - 65		56 - 80		90 - 100	100			
3/8"(9,5mm)			...	56 - 80	...	90 - 100	100		
N°4(4,75mm)	17- 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100		100
N°8(2,36mm)	10. - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100		95-100
N°16(1.18mm)							40 - 80		85-100
N°30(600µm)							35 - 65		70-95
N°50(300µm)	3. - 15	4. - 16	5. - 17	5. - 19	5. - 21	7. - 23	7. - 40		45-75
N°100(150µm)							3. - 20		20-40
N°200 (75µm)	0 - 5	0 - 6	1. - 7	2. - 8	2. - 10	2. - 10	2. - 10		9-20

Fuente: Adaptado de ASTM D – 3515.

e) Cemento asfáltico

El Cemento Asfáltico deberá cumplir con lo especificado en la EG-2013, basados en el clima y temperatura de la zona.

Tabla 06.
Selección del tipo de asfalto.

Temperatura Media Anual			
24°C a más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40 - 50 o´		85 - 100	
60 - 70 o´	60 -70	120 -150	
modificado			Asfalto Modificado

Fuente: Adaptado de ASTM D – 3515.

Tabla 07.
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.

Tipo	Grado	Ensayo	Grado de Penetración									
			PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
			min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso												
Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1mm		MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, c°		MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm		MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %		MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)		MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Olienses)												
Solvente Nafta - Estándar			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno		AASHTO M20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3.2mm, 5h												
Pérdida de masa, % Penetración retenida después del ensayo de película fina, %		ASTM D 1754	0,8		0,8		1		1.3		1.5	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm		MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
		MTC E 306			50		75		100		100	

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales MTC (2013).

f) Requisitos para mezcla asfáltica en caliente

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 EG-2013, las cuales se muestran en las Tablas 08, 09 y 10, según corresponda al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño del proyecto.

Tabla 08.
Mezcla del concreto bituminoso.

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, numero de golpes por lado	75	50	35
	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
2. Estabilidad (mínimo)	(831 kg)	(555 kg)	(462 kg)
3. Flujo 0,01 (0,25 mm)	8. - 14	8. - 16	8. - 20
4. Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3. - 5	3. - 5	3. - 5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 2.15		
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (min)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 min.		

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales MTC (2013).

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Estabilidad/Flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactibilidad mínimo será 5. Donde $IC = 1 / (GEB\ 50 - GEB\ 5)$, siendo GEB50 y GEB5, las gravedades especificas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Tabla 09.
Requisitos de adherencia.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		≤ 3.000	> 3.000(*)
Adherencia (Agregado grueso)	MTC E 517	+95	-
Adherencia (Agregado fino)	MTC E 220	4 min. (**)	-
Adherencia (mezcla)	MTC E 521	-	+95
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T 283	-	80 min.

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales MTC (2013).

(*) Mayor a 3000 msnm y zonas húmedas o lluviosas.

(**) Grado inicial de desprendimiento.

Tabla 10.
Vacíos mínimos en el agregado mineral.

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %
	Marshall
2,36 mm (N° 8)	21
4,75 mm (N° 4)	18
9,50 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: Adaptado de las especificaciones técnicas generales MTC (2013).

2.3.7. Cenizas volantes en el ámbito internacional

La composición de las cenizas depende de las características mineralógicas y condiciones de quema del carbón.

POZZOBON (1999) afirma que, entre los residuos industriales originados, la ceniza del carbón mineral ocupa un lugar destacado, por estar presente en la mayoría de los procesos de generación de energía. Las cenizas se forman a partir de componentes no combustibles de carbón y, también, de partículas no quemadas debido a la combustión incompleta del carbón pulverizado en la cámara de combustión, a una temperatura variable entre 1200 y 1600°C.

El carbón mineral producido y utilizado en Brasil como combustible, en complejos energéticos e industriales, contiene altos contenidos de materia mineral (hasta el 60%) responsable por la generación de los residuos (SILVA et al, 1997).

Debido a sus características físico-químicas, la ceniza seca o volante generada es vendida a las cementeras y concretas, que las emplean en la producción del cemento Portland o como adición mineral al concreto; sin embargo, las cenizas volantes no alcanzan el mismo mercado, constituyendo así un gran problema de orden ambiental (ROCHA et al, 1999).

El uso potencial de la ceniza volante es principalmente controlado por su composición química, aunque la finura de las partículas también es una importante consideración. La utilización potencial de las cenizas volante se determina por sus características físicas, como la distribución granulométrica. La textura normalmente áspera, fundida y vitrificada de la ceniza volante hace de ella un sustituto ideal para los agregados (CHERIAF et al, 1999).

Las cenizas volantes son materiales cuya composición depende de la composición del carbón; del grado de benéfico y de la molienda del carbón; tipo, diseño y operación de la caldera; y del sistema empleado para extracción y manejo de las cenizas (ROCHA et al, 1999).

Composición química de las cenizas

En los estudios realizados por CHERIAF y ROCHA (1997), que investigaron las propiedades de las cenizas provenientes del Complejo Termoeléctrico Jorge Lacerda, y por PIAZZA y RUI (1999) que evaluaron las cenizas provenientes de la central termoeléctrica Charqueadas, se puede comprobar que ambas cenizas pertenecen a la clase F según la clasificación de la ASTM C618, debido al porcentaje de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$ y con un contenido de CaO inferior al 10%.

La ceniza volante del Complejo Termoeléctrico Jorge Lacerda posee un mayor contenido de Fe_2O_3 en detrimento de los niveles de SiO_2 y Al_2O_3 que, según CHERIAF y ROCHA (1997), está relacionado principalmente con la presencia de sulfito (pirita y marcassita) en los carbones minerales. Al observar la composición química de las cenizas provenientes de la Usina Termoeléctrica Charqueadas se constata que tantos los contenidos de Fe_2O_3 como los de SiO_2 y Al_2O_3 son un poco más grandes en las cenizas volante en comparación con las cenizas ligeras. Las cenizas generadas en ambos procesos termoeléctricos tienen un contenido de calcio por debajo de 2%.

Complejo Termoeléctrico Jorge Lacerda, el almacenamiento de estas cenizas es diferente. Las cenizas volantes, después de deshacer grumos, son bombeadas con agua a las lagunas de decantación, permaneciendo allí hasta el completo llenado de esas lagunas, cuando entonces son removidas y aplicadas en área de recuperación

ambiental. Las cenizas ligeras, en función del manejo en seco, son depositadas en silos y parcialmente vendidas para su uso en la fabricación de cementos de manera general, por cada 100 toneladas de carbón mineral consumidas en el Complejo Termoeléctrico Jorge Lacerda, se generan 42 toneladas de cenizas, de las cuales el 70% es extraído seca y 30% húmeda. POZZOBON (1999).

Las cenizas volantes presentan características físicas bastante distintas de las cenizas ligeras y composición química similar. Asimismo, las cenizas pesadas poseen la misma actividad puzolana que las cenizas ligeras. PIAZZA R. (1999).

Según el ASTM C 618 – 03, especificación estándar para las cenizas volantes de carbón y la puzolana natural cruda calcinada para uso en concreto.

Las cenizas silicoaluminosas de clase F, llamadas también por su nombre puzolanico, se caracterizan por tener un contenido de CaO inferior al 10%. Las cenizas silicoaluminosas se destacan por que son las más usadas y las que más se generan. Las propiedades del ligante aparecen cuando tienen presencia de activadores de puzolanicidad, para esto se utiliza cal o cemento. Los componentes químicos que más se destacan son el sílice, alúmina y óxidos de hierro- el pH de este tipo de cenizas puede ser superior a 10.

Tabla 11.
Requerimientos químicos.

	Clases		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO ₂) + Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) + Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃) + % mín.	70	70	50
Trióxido de azufre (SO ₃), máx. %	4	5	5
Contenido de humedad, máx. %	3	3	3
Perdida al fuego, máx. %	10	6.00	6.00

Fuente: Adaptado de ASTM C 618 - 03.

2.3.8. Cenizas volantes en el ámbito nacional.

En el Perú no hay suficiente información sobre la disposición final de las cenizas volantes debido a que las empresas termoeléctricas generadoras de energía a partir de la quema de combustible fósil (carbón mineral), son reservadas en cuanto a esta información. Sin embargo, con respecto a la ceniza volante es uno de los tipos de adiciones activas empleadas en la fabricación de cementos y hormigones (Rodríguez S.,

1988), conocida también como ceniza de combustible pulverizado, es la ceniza precipitada electrostáticamente de los humos escapados de las estaciones de fuerza motriz que funcionan a base de carbón, y es la puzolana artificial más común (Neville M., 1988).

Las partículas individuales de cenizas volantes de carbón están en el rango de menos de 1 µm a más de 1mm de tamaño. Las partículas de cenizas volantes apropiadas para ser usadas como puzolana en concretos pasan en su mayoría el tamiz N° 325 (45 µm) con contenidos de humedad presentes menores a 1%. Su composición química es compleja, la mayoría son de naturaleza silíceo y de bajo contenido de óxido de calcio, es decir: óxido de aluminio (Al₂O₃), óxido férrico (Fe₂O₃), óxido de calcio (CaO), dióxido de silicio (SiO₂) (Molina B., Moragues T., y Gálvez R., 2008).

La ceniza volante usada comúnmente en el Perú es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y carbones bituminosos y cuya suma de óxidos ácidos es mayor del 70% (Santaella V., 2001).

La ceniza volante, extraído de la central termoeléctrica de Ilo 21, sometida a análisis químicos arrojó los siguientes resultados:

Tabla 12.
Características químicas de la ceniza volante.

Descripción de elementos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Muestra	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Ceniza volante	54.32	25.36	0.18	0.05	1.18	0.03	1.27	1.93	0.05

Fuente: Laboratorios analíticos del sur E.I.R Ltda – Arequipa. (2016)

2.3.9. Método Marshall

Guerrero, A. (2004) Los conceptos del método Marshall para el proyecto de mezclas de pavimentación fueron formulados por Bruce Marshall, inicialmente ingeniero de mezclas asfálticas en el Departamento de Autopistas del estado de Mississippi.

El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos mejoro y añadió ciertas características al procedimiento de ensayo Marshall, mediante investigaciones y estudios de correlación completos, y desarrollo por último los criterios para proyecto de mezclas.

George, M (2013), menciona que el método de Marshall, tal como se usó y desarrollo por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, solo es aplicable a las mezclas asfálticas en caliente para pavimentos empleando ligantes asfálticos y agregados

cuyo tamaño máximo es de una pulgada o menor. El método puede usarse tanto para proyecto en el laboratorio como para control en obra de las mezclas asfálticas en caliente para pavimentación. El método utiliza probetas normalizadas de 2.5 pulgadas (6.35 cm) de altura y 4 pulgadas (10.16cm) de diámetro. Se preparan empleando un procedimiento especificado para calentar, mezclar y compactar la mezcla de asfalto y agregados. Los dos elementos principales del método Marshall son un análisis de las relaciones entre densidad y volumen de huecos Y un ensayo para la determinación de la estabilidad y fluencia de las probetas compactadas. La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que desarrolla cuando es ensayado a una temperatura de 60° C. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100”), que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad. El método Marshall solo establece requisitos para la granulometría y los parámetros volumétricos de la mezcla. Los requisitos de calidad del agregado y del asfalto los fijan las dependencias encargadas del desarrollo de la infraestructura.

2.3.10. Resistencia a la tracción indirecta.

AASHTO T-283, Para la evaluación de la adherencia Árido ligante, se ha utilizado el ensayo de resistencia a la tracción indirecta, que propone evaluar la resistencia de las mezclas asfálticas compactadas, al daño causado por la humedad, utilizando el método propuesto por la norma ASSHTO T 283: conocido como Test de Lottman modificado. Es un ensayo que se ajusta más a las condiciones de obra cuantificando la adhesividad. El mismo ha permitido determinar la resistencia a la tracción indirecta de las muestras, midiendo la pérdida de cohesión de una mezcla compactada como resultado de los efectos de la saturación acelerada en agua, permitiendo medir la resistencia de la mezcla en su conjunto. El procedimiento consta de los siguientes pasos: un grupo de probetas deben ser ensayadas a tracción indirecta luego de estar acondicionadas en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas, denominado grupo en seco.

El segundo grupo, se acondicionará de la siguiente manera: primero se saturan las probetas colocadas en un recipiente con agua por medio de vacío, luego se colocan a -18 °C durante 16 horas, cumplido este paso se colocan las probetas en un baño de agua a 60 °C durante 24 horas, inmediatamente después se colocan en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas, para luego ser ensayadas a tracción indirecta, siendo el 80 % el

valor mínimo de exigencia de la relación de las tensiones de tracción indirecta, es común encontrar esta relación por las siglas en inglés de tensile strength ratio (TSR).

2.3.11. Resistencia a la deformación permanente

El ahuellamiento es uno de los principales mecanismos de daño de capas asfálticas en estructuras de pavimentos flexibles y semirrígidos. Este fenómeno puede ser definido como la deformación vertical permanente que se va acumulando en el pavimento debido al paso repetitivo de los vehículos, el cual genera la formación de delgadas depresiones longitudinales a lo largo de la trayectoria de las llantas. Pueden generar fallas estructurales o funcionales en el pavimento y ocurre en cualquier capa de la estructura. Sin embargo, investigadores como Sousa et al (1994) y Chen et al (2003) han demostrado y reportado que la mayor parte del ahuellamiento se genera en la capa asfáltica. Para determinar la condición del pavimento frente al ahuellamiento se tiene diferentes ensayos de laboratorio, donde sobre sale el Whell – Track de Hamburgo o la Rueda de Hamburgo T 324, la cual describe el procedimiento para evaluar la susceptibilidad a la deformación permanente y el daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente usando especímenes sumergidos bajo la acción de la rueda oscilante en el equipo Rueda de Hamburgo. Menciona que los procedimientos son para especímenes cilíndricas de mezclas compactadas en mediante el compactador giratorio Superpave. El ensayo mide la profundidad de la huella y el número de pasadas a la falla, según las especificaciones T – 324 (12.5mm profundidad de la huella a la falla a 20, 000 pasadas)

2.4. Definición de términos básicos

Ceniza volante.

Norma española UNE – EN 450, es un polvo fino que en su mayoría se compone físicamente de partículas esféricas cristalinas, procedentes de la combustión, a la que se le es atribuida propiedades puzolanas y que químicamente está compuesta principalmente SiO₂, Al₂O₃ y en menor proporción por óxidos de Ca, Fe, S.

Modificación de la mezcla asfáltica.

Figueroa Infante (2008), modificar el asfalto ha sido una técnica ampliamente usada para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales, cuando estas se someten a tránsitos elevados y temperaturas altas.

Daño por humedad en pavimentos asfálticos.

Memorias XVIII CILA ISBN 978-950-630-031-9, el daño prematuro de los pavimentos asfálticos se atribuye a la presencia de agua en la mezcla asfáltica. La manifestación más común del deterioro causado por la presencia del agua al interior de una mezcla en pavimentos flexibles es la pérdida del recubrimiento del asfalto de la superficie de los agregados. Además, se puede presentar el desprendimiento progresivo de los agregados de la superficie de la mezcla causado por el paso de las llantas de los vehículos sobre el material asfáltico. Estos dos tipos de manifestaciones de daño tienen en común la pérdida de las propiedades de adhesión en la interface agregado cemento asfáltico.

Flujo de la mezcla asfáltica

Bruce G. Marshall del Departamento de Caminos del Estado de Mississippi (EEUU), es la disminución del diámetro que experimenta la probeta entre el inicio de carga y el instante de rotura, expresada en mm con una aproximación de 0.1 mm.

Estabilidad de la mezcla asfáltica

Bruce G. Marshall del Departamento de Caminos del Estado de Mississippi (EEUU), es la carga máxima en N resistida por la probeta multiplicada por el factor de corrección correspondiente, función del volumen y del espesor de la probeta, expresada con una aproximación de 100 N, en consecuencia, mide la capacidad de resistir desplazamiento y deformación bajo la acción de cargas.

Mastico asfáltico

Congreso Mexicano de Asfalto (2011), es el componente formado por la mezcla del asfalto y el filler contenidos en una mezcla asfáltica, asimismo es el responsable de muchas de sus propiedades siendo este el principal aglomerante cumpliendo funciones como la cohesión, estabilidad, impermeabilidad entre otras.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La incorporación de cenizas volantes provenientes de la central termoeléctrica de Ilo incrementa el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente.

2.5.2. Hipótesis específicas.

- a. La incorporación de cenizas volantes incrementa la resistencia de la Mezcla Asfáltica en Caliente.
- b. La incorporación de cenizas volantes incrementa la resistencia al daño por humedad de la Mezcla Asfáltica en Caliente.
- c. La incorporación de cenizas volantes incrementa la durabilidad de la Mezcla Asfáltica en Caliente.

2.6. Variables.

2.6.1. Variable independiente

Cenizas volantes, se realizarán diferentes variaciones de porcentajes para la dosificación del llenante mineral de la mezcla asfáltica en caliente.

2.6.2. Variable dependiente

Desempeño Mecánico, se realizarán los ensayos correspondientes a fin de determinar los parámetros de desempeño cuando se incorpore las cenizas volantes al llenante mineral.

2.6.3. Variable interviniente

Mezcla asfáltica en caliente, se calculará el óptimo contenido de asfalto con un tipo de gradación (MAC-1, MAC-2 o MAC-3).

Tabla 13.
Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	HERRAMIENTA
Desempeño mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente (Variable Dependiente)	<p>La mezcla asfáltica está diseñada con los parámetros necesarios para que pueda resistir las condiciones sometidas durante el tiempo, como son la carga y el clima. Dicho MAC está en función de la correcta proporción del cemento asfáltico, agregados y sus propiedades volumétricas. Asimismo la mezcla asfáltica en caliente una vez compactada presenta propiedades en conjunto como son estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al daño por humedad y la resistencia al deslizamiento.</p>	Resistencia	Capacidad de resistir desplazamiento.	Ensayo Marshall	MTC E-504
		Resistencia al daño por humedad	Capacidad de resistir a la deformación bajo la acción de cargas. Resistencia al daño causado por la humedad.		
Cenizas volantes (Variable Independiente)	<p>La Ceniza Volante es un subproducto de la combustión del carbón pulverizado en las plantas generadoras de electricidad. Bajo la ignición en el horno la mayor parte de la materia volátil y el carbono se queman durante la combustión, la impurezas minerales del carbón (tales como arcilla, feldespato, cuarzo y esquisto) además la mayoría son de naturaleza silícea y de bajo contenido de óxido de calcio.</p>	Durabilidad	Elección adecuada del PEN. Adhesividad del agregado con el PEN Resistencia a la deformación, bajo diferentes cargas, a diferentes temperaturas. Gradación del tipo de Mac Elección adecuada del PEN. Porcentaje de adición de relleno mineral	Ensayo Rueda de Hamburgo	AASHTO T-324
			Gran concentración de SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ Bajo contenido CaO	Análisis Químico. Medida de Actividad Puzolana	ASTM-618 C03

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3:

Metodología de la investigación

3.1. Método, tipo y diseño de investigación

3.1.1. Método de investigación.

Según Hernández, Fernández Baptista (2014), deductivo, porque a partir de la teoría existente, se va analizar nuevos conocimientos para soluciones de problemas prácticos, contrastando hipótesis y correlación de las variables, en este caso la reutilización de nuevos materiales como son las cenizas volantes provenientes de la generación de energía de las centrales termoeléctricas como material integrante en la dosificación de una mezcla asfáltica en caliente. En la actualidad en los países latinoamericanos se busca alternativas de solución debido a la degradación y el agotamiento de materias primas. Asimismo, se comprobó que las cenizas volantes tienen propiedades puzolanas, y que al incorporar en la mezcla asfáltica, otorga un buen desempeño mecánico, y repercute en la vida útil del pavimento. La orientación es aplicada porque va a resolver problemas en base a la teoría. Se pretende incrementar la vida útil del pavimento y esto se consigue observando un buen comportamiento mecánico, la teoría del diseño de mezclas asfálticas en caliente incorpora 3 tipos de materiales en su dosificación como son: material grueso, fino y filler, a esta dosificación se pretende incorporar las cenizas al llenante mineral en proporciones adecuadas, proveniente de las centrales termoeléctricas ya que según los antecedentes el llenante mineral estabiliza la mezcla llenando los vacíos del esqueleto granular, aumenta la resistencia post

compactación, incrementando la resistencia entre la unión del asfalto con el agregado, las cuales se medirán en función de los parámetros Marshall, deformación permanente que disminuya la profundidad máxima de ahuellamiento y la resistencia a la humedad inducida. Según el enfoque cuantitativo, porque al incorporar las cenizas volantes al llenante mineral de una mezcla asfáltica en caliente se va a medir el desempeño mecánico con los valores Marshall: Estabilidad (>831 kg), Flujo (8-14), Resistencia al daño por humedad (80% min.) y Rueda de Hamburgo (12.5 mm). La Fuente de recolección de datos Retroactiva, se basa en instrumentos ya existentes como son los formatos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. La recolección de datos como son: cemento asfáltico, material grueso, material fino, filler y las cenizas volantes estarán en concordancia y con la exigencia mínima de parámetros de los distintos manuales del MTC.

3.1.2. Tipo de investigación

Según Hernández, Fernández Baptista (2014), Descriptiva, correlacional y explicativa, dado que se realizará, la descripción de las características y el desempeño mecánico inicial de una mezcla asfáltica en caliente convencional sin incorporación, para luego correlacionar la incorporación de la variable cenizas volantes al llenante mineral de la mezcla asfáltica en caliente y explicar la variación de Estabilidad, Flujo, deformación permanente y Resistencia al daño por humedad.

3.1.3. Nivel de la investigación

Según Hernández, Fernández Baptista (2014), descriptiva, porque se calculará el porcentaje de cenizas volantes que al incorporar en proporciones adecuadas al llenante mineral que incremente el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente.

3.1.4. Diseño de investigación

Según Hernández, Fernández Baptista (2014), experimental, porque se manipulará la variable independiente como es la adición de cenizas volantes al llenante mineral y se obtendrá un porcentaje que incremente el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente. Longitudinal ya que realizarán varias briquetas de una mezcla asfáltica en caliente con porcentajes diferentes de cenizas volantes, las cuales se ensayarán y se obtendrán diferentes resultados, y estas se contrastarán con una mezcla

asfáltica en caliente convencional en relación al desempeño mecánico. Prospectivo debido a que todos los resultados se obtendrán en laboratorio a partir de la elaboración de briquetas de mezclas asfálticas y se ensayarán mediante el ensayo Marshall, daño por humedad inducida (TSR) y Rueda de Hamburgo y Resistencia. El estudio del diseño de la investigación es el diseño de cohortes, causa efecto y ensayo – laboratorio, Se realizarán briquetas de mezcla asfáltica con incorporación de cenizas volantes al llenante mineral y se verificara en laboratorio su efecto incrementando el desempeño mecánico, mediante el ensayo Marshall, Rueda de Hamburgo y Resistencia al daño por humedad inducida (TSR).

3.2. Población y muestra

La población del presente estudio de esta investigación son las briquetas de mezcla asfáltica en caliente con adición de distintos porcentajes de cenizas volantes al llenante mineral provenientes de la central termoeléctrica de Ilo.

Para el diseño de la muestra se utilizará el criterio de inclusión y exclusión para la fabricación de briquetas de mezcla asfáltica en caliente con adición de distintos porcentajes de cenizas volantes al llenante mineral, asimismo el número se obtendrá con la normativa de los ensayos de diseño correspondientes (Marshall), Normativas como AASHTO T-283, MARSHALL MTC E-504, AASHTO TP 31, se tomarán como referencia para aproximar el número de muestras necesarias a ensayar.

Tabla 14.
Cantidad de muestras para determinar el óptimo de asfalto.

Porcentaje de Asfalto (%)					
Mezclas %Cenizas volantes	5.5	6	6.5	7	Numero de muestras
Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall - MTC E 504					
0.00%	3	3	3	3	12
Total					12

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales MTC (2013).

Tabla 15.
Cantidad de muestras para determinar estabilidad y flujo

Porcentaje de Asfalto (%)					
Mezclas					Numero de
%Cenizas volantes	5.5	6	6.5	7	muestras
Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall – MTC E 504					
0.25%	-	3	-	-	3
0.35%	-	3	-	-	3
0.50%	-	3	-	-	3
0.75%	-	3	-	-	3
0.85%	-	3	-	-	3
1.00%	-	3	-	-	3
Total					18

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales MTC (2013).

Tabla 16.
Cantidad de muestras para medir el desempeño de la mezcla de daño por humedad.

Porcentaje de Asfalto (%)					
Mezclas					Numero de
%Cenizas volantes	5.5	6	6.5	7	muestras
Resistencia a la tracción indirecta (daño por humedad) de mezclas bituminosas – AASHTO T283.					
0.25%	-	6	-	-	6
0.35%	-	6	-	-	6
0.50%	-	6	-	-	6
0.75%	-	6	-	-	6
0.85%	-	6	-	-	6
1.00%	-	6	-	-	6
Total					36

Fuente: Adaptado de AASHTO T283.

Tabla 17.

Cantidad de muestras para medir el desempeño a la deformación permanente

Porcentaje de Asfalto (%)					
Mezclas					Numero de
%Cenizas volantes	5.5	6	6.5	7	muestras
Ensayo de la rueda de Hamburgo					T 324
0.00%	-	1	-	-	1
0.75%	-	1	-	-	1
Total					2

Fuente: Adaptado AASHTO T324.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas.

La investigación emplea la técnica de la observación, previa ejecución de ensayos de caracterización de los agregados y cemento asfáltico de acuerdo al Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (MTC, 2013), se realizó el procedimiento descrito por la Metodología Marshall con el cual se realizó el diseño de mezcla convencional con la finalidad de comparar el desempeño mecánico de esta mezcla con otra a la que se añadió diferentes dosificaciones de cenizas volantes al llenante mineral provenientes de las central termoeléctrica de Ilo, previamente se realizó los ensayos de Marshall para la determinación de los parámetros de desempeño mecánico de la mezcla asfáltica (estabilidad, fluidez, densidad, vacíos de la mezcla, y vacíos del agregado mineral) sin incorporación de cenizas volantes al llenante mineral, con el cual se determina el porcentaje óptimo de asfalto, encontrando el óptimo que fue de 6% se procede a adicionar la ceniza volante al llenante mineral en porcentajes de 0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1.00% para el diseño final. Con los óptimos contenidos de asfalto de ambas mezclas, se procedió a evaluar el desempeño mediante los ensayos de caracterización, parámetros Marshall, resistencia a la deformación permanente y resistencia por humedad inducida en Mezclas Asfálticas (TSR), donde se observaron diferentes parámetros y del mismo modo se registró los resultados para compararlos y mencionar las conclusiones significativas.

Instrumentos

El instrumento de recolección de datos fue las fichas donde se registró todos los datos concernientes a caracterización de materiales (agregado grueso, agregado fino y tipos de filler), caracterización del PEN 85/100. Asimismo, en cuanto a la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente se registró los resultados de los ensayos que ya están establecidos en la normativa peruana e internacional para verificar el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente.

3.4. Descripción del procedimiento de análisis

Se tomó como base los antecedentes para la formulación del procedimiento a realizar en la incorporación de cenizas volantes en diferentes porcentajes al llenante mineral (filler), debido a que existe una íntima relación entre el asfalto y el filler (el mastico), “los estudios reológicos demostraron la mezcla asfalto-filler ofrece buena información sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas ya que este "mastico" es el responsable de muchas de sus propiedades como: cohesión, estabilidad, impermeabilidad, entre otras, siendo este el principal aglomerante y participando de manera importante en el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente,. El aporte del filler al comportamiento reológicos del asfalto es muy importante y más aún el efecto del tipo de filler en el comportamiento reológicos del mastico y de la mezcla asfáltica en general” VII CONGRESO MEXICANO DEL ASFALTO – AMAAC (2011). De acuerdo al ensayo Marshall se realizaran briquetas de mezcla asfáltica en caliente sin incorporación de cenizas volantes al llenante mineral (filler), luego una vez obtenido el óptimo contenido de asfalto, se procede a incorporar las cenizas volantes a razón de 0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1.00%, para encontrar con el porcentaje adecuado con el cual incrementa las propiedades mecánicas medidos a partir de los parámetros Marshall (estabilidad, fluidez, densidad, vacíos de la mezcla, y vacíos del agregado mineral). Asimismo, para el ensayo de resistencia a la tracción indirecta (daño por humedad) se procederá con los mismos porcentajes a realizar; briquetas grupo seco y otros vía humedad para determinar la relación de resistencia a la tracción indirecta (TSR), finalmente para el ensayo de la Rueda de Hamburgo se verificara de acuerdo al porcentaje de incorporación de cenizas volantes al llenante mineral (filler) que arroja mejores resultados en los ensayos Marshall y TSR.

CAPÍTULO 4:

Resultados, análisis y discusión de resultados

4.1. Resultados

En el presente capítulo verificaremos todo lo concerniente al desarrollo de la investigación, los procedimientos de ensayos, caracterización de los materiales, elección del tipo de asfalto, elección del tipo de MAC, para la obtención de resultados, todo ello de acuerdo a los manuales vigente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones; Especificaciones Técnicas Generales par al Construcción EG-2013, Manual de Suelos y Pavimentos, Manual de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas Asfálticas en Caliente MS-22 (Instituto de Asfalto, 1982), Manual de Ensayo de Materiales (MTC-2016), Normativa American Society for Testing and Materials (ASTM) y Manuales ASSHTO.

El procedimiento de incorporación de cenizas volantes de carbón fue al llenante mineral (filler), primero se realizó la mezcla asfáltica convencional sin incorporación de acuerdo al ensayo Marshall, la dosificación de materiales que se empleo fue la siguiente: grava triturada $\frac{3}{4}$ " – 41%, arena triturada 1/16" – 33%, arena natural 25% y 1% de cal hidratada (filler o llenante mineral). A partir de ello se encontró el óptimo contenido de asfalto de la mezcla, finalmente se analiza los resultados del ensayo Marshall, lo cual sirve como base para variar los porcentajes de incorporación de cenizas volantes al filler.

4.1.1. Materiales utilizados

Cemento Asfáltico

Según el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013, 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 penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla 415-01. Teniendo en cuenta que se está especificando el ámbito de aplicación por encima de los 3000 msnm y que todos los ensayos de laboratorio se realizaron en la ciudad de Huancayo con materiales de agregados de la zona, la selección del tipo de cemento asfáltico fue de acuerdo a las tablas 415-01, temperatura media anual entre 15 C° a -5C°, específica que se tiene que utilizar cemento asfáltico de grado de penetración PEN 85/100.

Asimismo, los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establecen las Tablas 415-02 y 415-03. 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.

Tabla 18.
Cemento asfáltico clasificado por penetración.

Tipo		Grado de Penetración		
Grado	Ensayo	PEN		Resultado
		85-100		
		min.	máx.	
Pruebas sobre el Material Bituminoso				
Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1mm	MTC E 304	85	100	94
Punto de inflamación, c°	MTC E 312	232		276
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		>150
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,7
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)	MTC E 304	-1	+1	-0.1
Ensayo de la Mancha (Olienses)				
Solvente Nafta - Estándar	AASHTO M20		Negativo	Negativo

Solvente Nafta - Xileno, %Xileno		Negativo	Negativo
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno		Negativo	Negativo

Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3.2mm, 5h

Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		1	0.20
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	47+		63
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	75		108

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales MTC (2013).

Agregados pétreos y filler o relleno mineral

Según el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013, Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal que, al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adecuada adherencia. Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (N.º 4 y N.º 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 µm (N.º 200).

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

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. Su peso unitario aparente, determinado por la norma de ensayo MTC E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm³ y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6. La mezcla de los agregados grueso y fino y el polvo mineral deberá ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría.

En la tabla 19 y 20 se muestran los resultados del análisis granulométrico de los agregados que se encuentran separados por fracciones debidamente chancados, agregados grueso de TM ¾”y TM ½” y los agregados finos (arena natural y arena chancada).

Tabla 19.
Agregado grueso TM ¾”.

Análisis granulométrico por tamizado (% que pasa el tamiz)						
TAMIZ	ABERT. mm.	% Q' PASA- G-1	% Q' PASA- G-2	% Q' PASA- G-3	% Q' PASA- G-4	PROMEDIO
3/4"	19.05	100	100	100	100	100
1/2"	12.7	77.44	78.1	76.7	77.3	77.385
3/8"	9.525	55.11	55.8	54.9	54.5	55.0775
# 4	4.76	10.46	10.6	9.89	10.21	10.29
# 10	2	1.75	1.5	1.89	2.11	1.8125
# 16	FONDO	0	0	0	0	0

Fuente: Ensayos realizado por la empresa D.K

Tabla 20.
Agregado fino (arena chancada)

Análisis granulométrico por tamizado (% que pasa el tamiz)										
TAMIZ	ABERT. mm.	% Q' P. G-1	% Q' P. G-2	% Q' P. G-3	% Q' P. G-4	% Q' P. G-5	% Q' P. G-6	% Q' P. G-7	% Q' P. G-8	PROMEDIO
# 8	2.36	100	100	100	100	100	100	100	100	100
# 10	2	70.19	71.2	70.9	68.3	71.61	69.6	70.9	67.94	70.08
# 40	0.42	29.6	30.1	28.9	29.2	29.56	29.94	28.9	29.04	29.405
# 80	0.18	16.9	17.11	16.41	16.9	16.93	16.74	16.41	16.2	16.7
# 200	0.075	10.8	10.92	10.11	10	10.93	10.61	10.11	10.04	10.44
< # 200	FONDO									

Fuente: Ensayos realizado por la empresa D.K

Tabla 21.
Agregado fino (arena zarandeada)

TAMIZ	ABERT. mm.	Análisis granulométrico por tamizado (% que pasa el tamiz)								PROMEDIO
		% Q' P. G-1	% Q' P. G-2	% Q' P. G-3	% Q' P. G-4	% Q' P. G-5	% Q' P. G-6	% Q' P. G-7	% Q' P. G-8	
3/4"	19.05	100	100	100	100	100	100	100	100	
1/2"	12.7	100	96.94	97.89	98.55	96.1	95.8	95.4	97.29	97.24
3/8"	9.525	94.37	91.75	95.1	93.86	94.2	92.39	93.61	94.08	93.67
# 4	4.76	80.09	78.27	82.38	81.93	81.29	80.89	82.4	80.68	80.99
# 10	2	72.68	71	74.44	74.79	73.59	72.79	72.6	73.68	73.19
# 40	0.42	59.54	58.38	60.98	61.25	60.19	61.09	59.8	59.89	60.14
# 80	0.18	19.97	19.14	20.91	20.52	21.39	20.79	19.7	20.69	20.38
# 200	0.075	9.98	8.58	12.56	10.03	11.19	9.89	10.4	9.79	10.3
< # 200	FONDO									

Fuente: Ensayos realizado por la empresa D.K

Combinación de agregados

Los agregados que fueron utilizados en la presente investigación son de las canteras del río Mantaro, ciudad de Huancayo, estos fueron combinados toda vez que la estructura granular sea la más adecuada para dar un mejor comportamiento mecánico frente a las acciones del tránsito pesado y evitar sustancialmente la deformación permanente (ahuellamiento) que es una de las fallas más importantes que dañan al pavimento, es por ello que el huso granulométrico que se adecua es el tipo MAC-2, debido a que ofrece una estructura granular más gruesa, conformado por mayor presencia de material gravoso, las Especificaciones Técnicas Generales EG-2013, especifica el huso granulométrico de acuerdo a las condiciones previstas por cada proyecto.

Tabla 22.
Husos granulométricos

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

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas generales MTC (2013)

Tabla 23.

Combinación de agregado tipo MAC-2

Agregado	Porcentaje
Grava triturada 3/4"	41.0%
Arena triturada 3/16"	33.0%
Arena natural	25.0%
Filler (Cal Hidratada)	1.0%

Fuente: Ensayos realizado por la empresa D.K

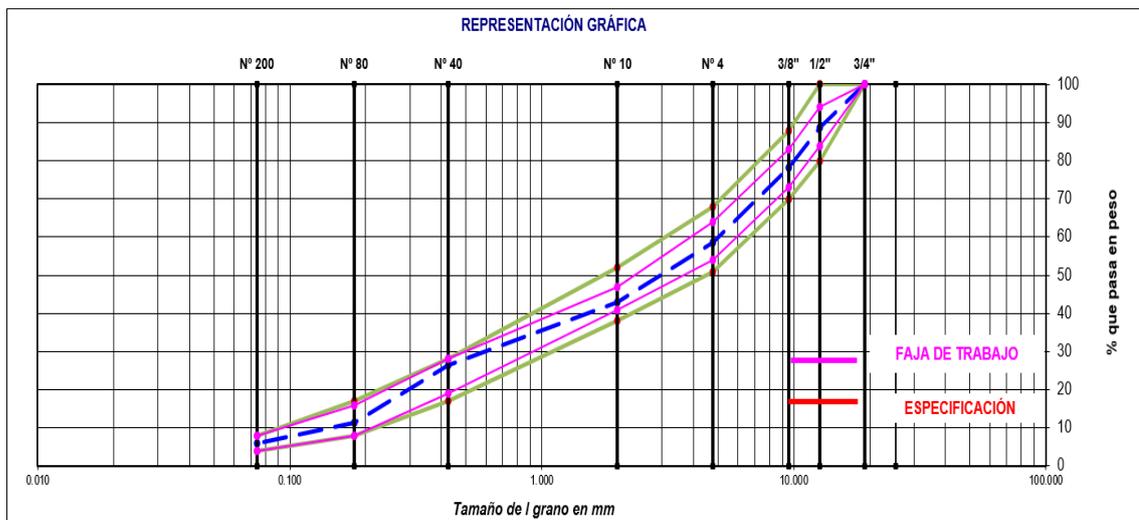


Figura 04. Gradación de agregados.

Fuente: Ensayos realizado por la empresa D.K

4.1.2. Diseño de la mezcla asfáltica convencional

Ensayo Marshall

Para el ensayo Marshall se realizó de acuerdo a la metodología de diseño que corresponde a la sección MTC E504 - Resistencia de Mezcla Bituminosas Empleando el Aparato Marshall indicada en el Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016), asimismo se obtienen los parámetros Marshall que permiten determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla.

Para hallar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla convencional, se elaboraron mezclas las cuales en conjunto y compactadas forman briquetas estas se realizaron con cuatro contenidos de asfalto diferentes. Los porcentajes utilizados fueron de 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%, en las Figuras 05 y 06., se puede visualizar las probetas Marshall para los diferentes porcentajes de asfalto.



Figura 5. Briquetas compactadas con el martillo Marshall.

Fuente: Ensayos realizados por la empresa D.K



Figura 6. Nomenclatura de briquetas Marshall.

Fuente: Ensayos realizados por la empresa D.K

Se realizó el ensayo Marshall y se obtuvieron por cada contenido de asfalto diferentes parámetros de acuerdo a la rotura de briquetas, los valores se encuentran dentro de las especificaciones.

Tabla 24.

Resultado del diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional.

Diseño Marshall		T. de mezcla (150 C°) T. de compactación (145 C°)			
Parámetro de diseño	Unidad	Resultados de ensayos			
C.A.	%	5.5	6	6.5	7
Peso unitario	kg/cm ³	2.360	2.372	2.371	2.368
Vacíos	%	5.0	4.2	3.8	3.6
Vacíos agregado mineral	%	16.1	16.1	16.6	17.1
Vacíos llenos de asfalto	%	69.0	73.9	77.2	79.0
Flujo	kg	3.7	3.9	4.1	4.7
Estabilidad	0.01"	1674.8	1521.0	1490.5	1079.2

Fuente: Ensayos realizados por la empresa DK.

Con los resultados del diseño Marshall de la mezcla asfáltica en caliente se elaboraron los gráficos de Peso unitario (densidad), vacíos, vacíos agregado mineral, vacíos llenos de asfalto, flujo y estabilidad, como se observan en las siguientes figuras.

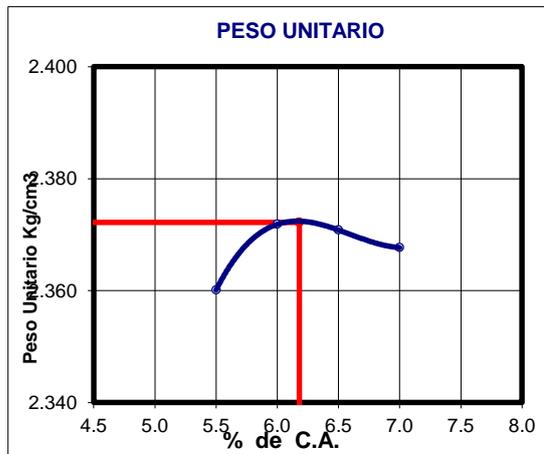


Figura 7. Peso unitario vs % C.A

Fuente: Ensayos realizados por la empresa D.K

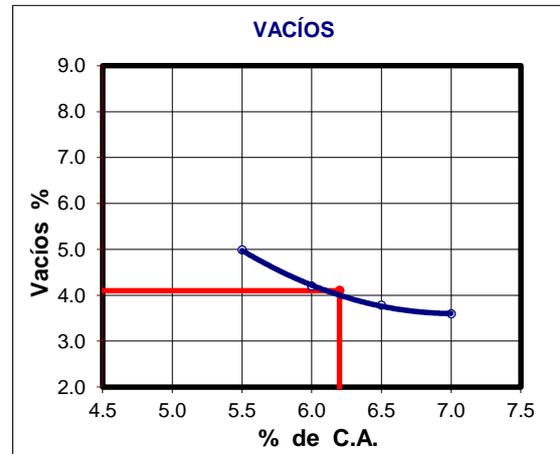


Figura 8. Vacíos vs % C.A

Fuente: Ensayos realizados por la empresa D.K

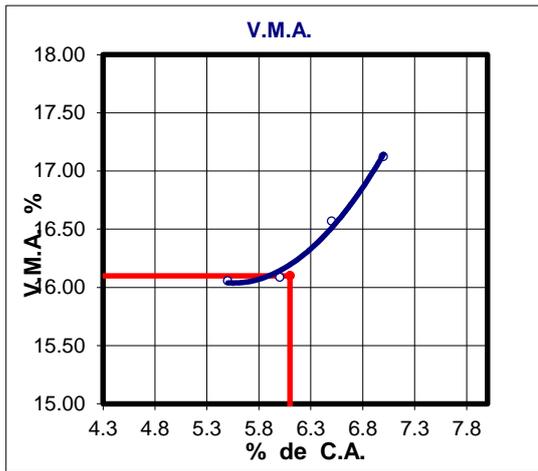


Figura 9. Vacíos en el agregado mineral vs % C.A

Fuente: Ensayos realizados por la empresa D.K

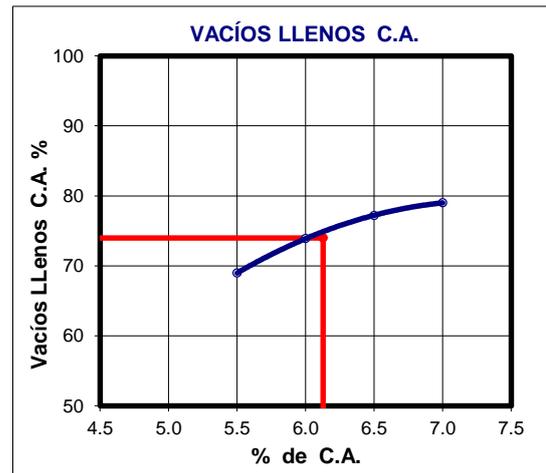


Figura 10. Vacíos llenos de C.A vs % C.A

Fuente: Ensayos realizados por la empresa D.K

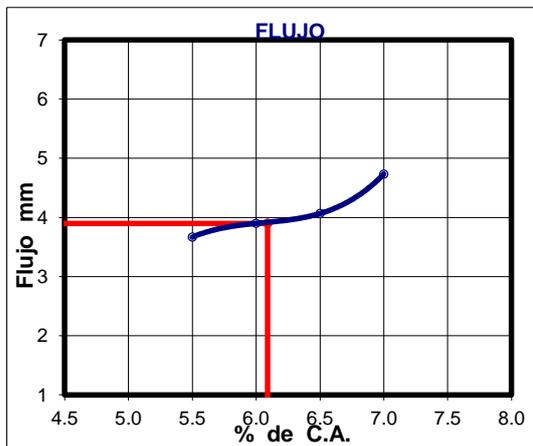


Figura 11. Flujo vs % C.A

Fuente: Ensayos realizados por la empresa D.K

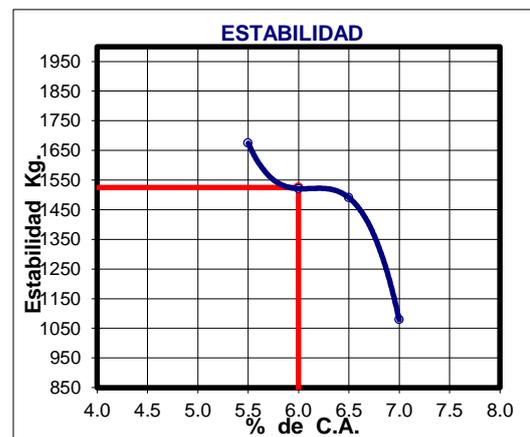


Figura 12. Estabilidad vs % C.A

Fuente: Ensayos realizados por la empresa D.K

Incorporación de cenizas volantes de carbón al llenante mineral (filler) en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente.

De acuerdo a lo descrito en el procedimiento de análisis se tomó como base los antecedentes para la formulación del procedimiento a realizar en la incorporación de cenizas volantes en diferentes porcentajes al llenante mineral (filler), debido a que existe una íntima relación entre el asfalto y el filler (el mastico), “los estudios reológicos demostraron la mezcla asfalto-filler ofrece buena información sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas ya que este "mastico" es el responsable de muchas de sus propiedades, siendo este el principal ser aglomerante y participando de manera importante

en el desempeño, con características como cohesión, estabilidad, impermeabilidad, entre otras. El aporte del filler al comportamiento reológicos del asfalto es muy importante y más aún el efecto del tipo de filler en el comportamiento reológicos del mastico y de la mezcla asfáltica en general” VII CONGRESO MEXICANO DEL ASFALTO – AMAAC (2011). De acuerdo ASTM C 618 – 03, las cenizas silicoaluminosas se destacan por que son las más usadas y las que más se generan. Las propiedades del ligante aparecen cuando tienen presencia de activadores de puzolanicidad, para esto se utiliza cal o cemento.

Ensayo Marshall, según lo descrito, se empleó la misma combinación de agregados (grava triturada ¾” - 41.0% , arena chancada 3/8” - 33%, arena natural – 25%, filler 1%, de acuerdo a la Metodología Marshall, asimismo se determinó el óptimo contenido de asfalto que fue de 6%, con ese porcentaje se empezó a preparar briquetas de mezcla asfáltica incorporando cenizas volantes de carbón al llenante mineral (filler) en los siguientes porcentajes: 0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1.0%, estos porcentajes con respecto al peso del filler que este caso fue Cal Hidratada al 1%., con esto se obtuvo los resultados que se aprecian en la Tabla 25.

Tabla 25.

Resultado de los parámetros Marshall con incorporación de cenizas volantes al llenante mineral.

Parámetros	Unidad	Esp.	Mezcla convencional	% de incorporación de cenizas volantes en el filler						
				0.25%	0.35%	0.50%	0.75%	0.85%	1.00%	
				C.V	C.V	C.V	C.V	C.V	C.V	
			0%	0.75%	0.65%	0.50%	0.30%	0.15%	0.0%	
				Cal	Cal	Cal	Cal	Cal	Cal	
Estabilidad	kg	Min. 815	1500	1202.2	1391.8	1495.31	1530.9	1481.1	15383.9	
Flujo	mm	2 - 4	3.9	3.8	4.3	4.6	4	3.93	4.07	
Estab./Flujo	Kg/cm	1700 - 4000	3853	3164	3237	3251	3827	3769	3892	

Fuente: Elaboración propia.

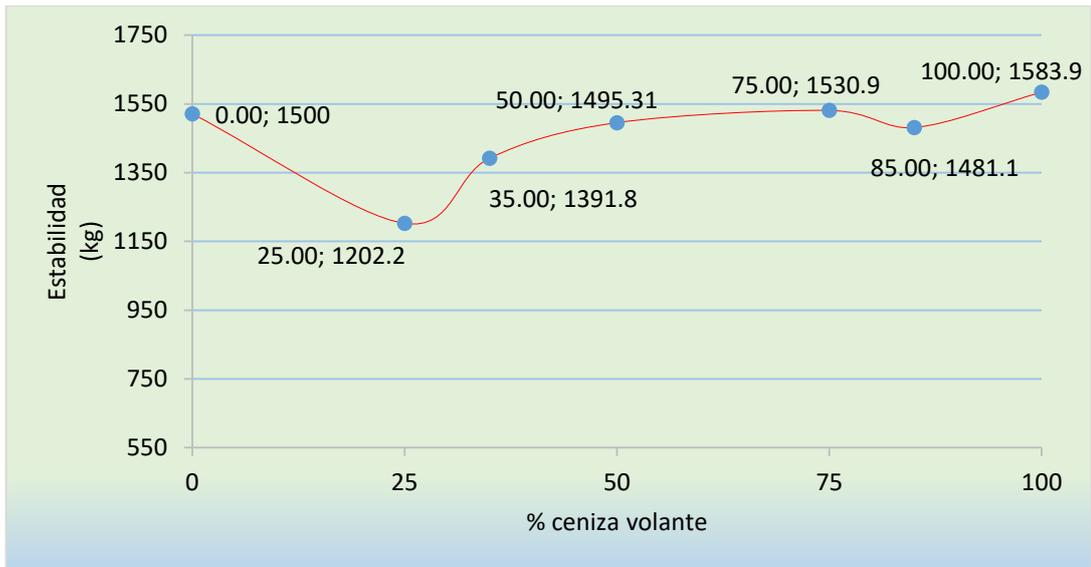


Figura 13. Estabilidad vs % de cenizas volantes incorporadas al llenante mineral (filler).
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 13 se observa la relación estabilidad y porcentaje de cenizas incorporadas al filler, según el manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013, establece un valor mínimo que debe cumplir la Estabilidad Marshall que es de 815 kg, todas las muestras incorporadas de cenizas volantes (0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1%), cumplen satisfactoriamente la normatividad.

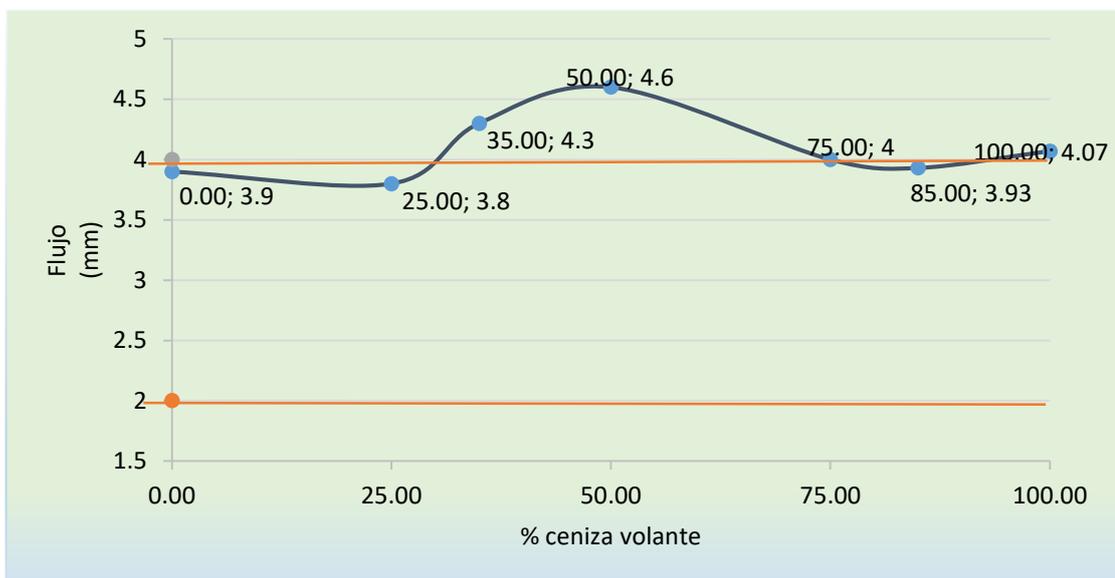


Figura 14. Flujo vs % de cenizas volantes incorporadas al llenante mineral (filler).
Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se observa el flujo que según el manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013, los parámetros son de 2-4mm, sin

embargo, para las incorporación de 0.35%, 0.50% y 1.0% de cenizas volantes al filler, el flujo se encuentra por encima de las especificaciones lo cual hace suponer que la mezclas bajo estos porcentajes tendrá proceso de deformación más rápidos que el convencional.

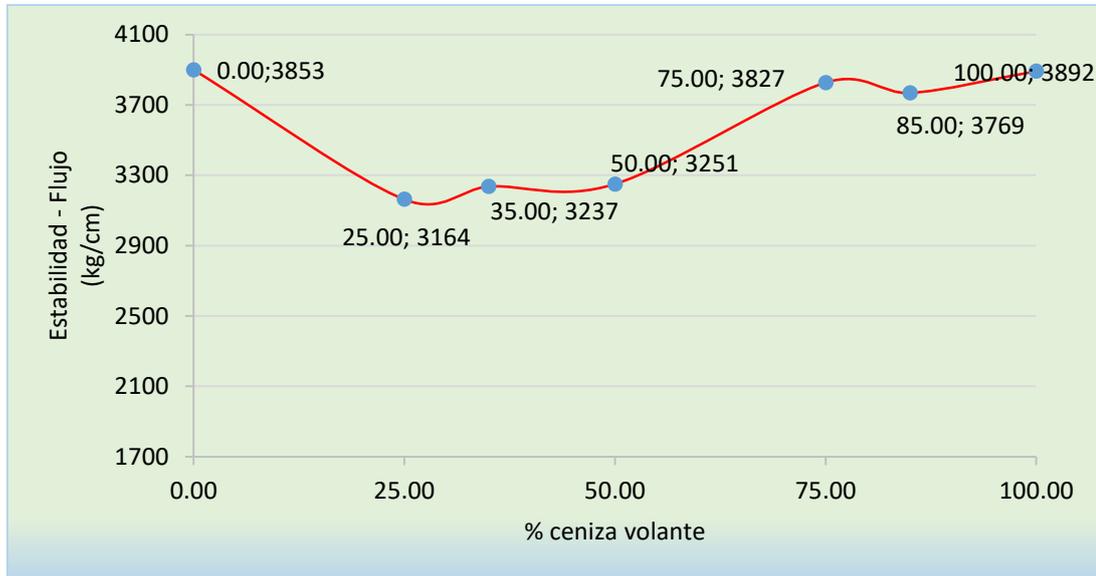


Figura 15. Relación entre estabilidad/ flujo y % de cenizas volantes incorporadas al llenante mineral (filler).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 muestra la relación estabilidad – flujo, según el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción, donde menciona que la relación estabilidad – flujo para zonas de climas fríos es deseable que esta relación sea la menor magnitud de acuerdo al intervalo, sin embargo los valores que inicia para la mezcla asfáltica convencional sin incorporación es de 3853 kg/cm, valor que es superado cuando se incorpora el 1% de Cal Hidratada (filler) en 3892 kg/cm, en los siguientes valores se modificó el porcentaje de filler, con respecto al peso. Podemos observar que con 0.25% de ceniza volante y 0.75% de cal hidratada la relación estabilidad - flujo desciende a 3164 kg/cm, a partir de ese valor se genera un tendencia creciente con la adición de 0.35% y 0.50% de cenizas volantes con respecto al peso del llenante mineral, valores de 3237 kg/cm y 3251 kg/cm, el punto más alto de esta tendencia es de 3892 kg/cm con incorporación al 1.0% de ceniza volante, como se puede observar todos los valores incorporados con cenizas volantes están dentro de las especificación estabilidad – flujo, sin embargo muchos de estos valores superan el

parámetro de flujo que es a 4 mm. Por lo tanto, tomará valores que solo cumplan las especificaciones técnicas de acuerdo a la normatividad.

Ensayo de resistencia a la tracción indirecta (TSR) de acuerdo a la metodología se prepararon un grupo de probetas a ser ensayadas a tracción indirecta luego de estar acondicionadas en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas, denominado grupo seco. Para el segundo grupo: primero se saturaron las probetas colocadas en un recipiente con agua por medio vacío, luego se colocaron a - 18 °C durante 16 horas, cumpliendo este paso se colocaron las probetas a un baño de agua a 60°C durante 24 horas, inmediatamente después se colocan en un baño de agua a 25°C durante 2 horas para luego ser ensayadas a tracción indirecta, los resultados se muestran en la Tabla 26 y figura 14.

Tabla 26.

Resultado del ensayo de TSR.

Parámetros	Unidad	Esp.	% de incorporación de cenizas volantes de carbón en el filler						
			Mezcla convencional	0.25% C.V	0.35% C.V	0.50% C.V	0.75% C.V	0.85% C.V	1.00% C.V
			0%	0.75% Cal	0.65% Cal	0.50% Cal	0.30% Cal	0.15% Cal	0.0% Cal
TSR	%	Min. 80	80.6	81.3	83.4	85.5	86.5	84	82

Fuente: Elaboración propia.

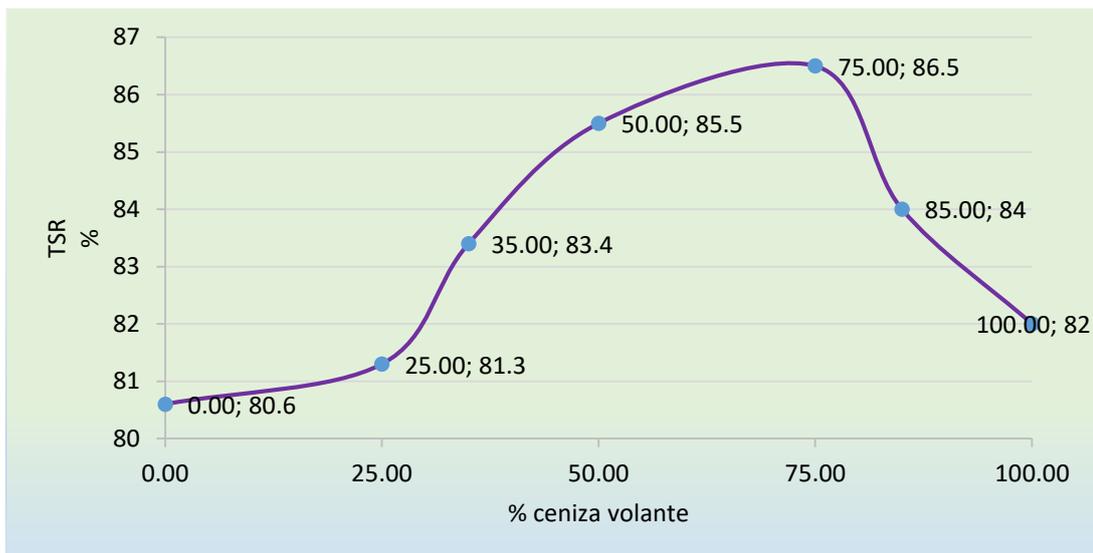


Figura 16. TSR vs (%) de cenizas volantes incorporadas al llenante mineral (filler).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 16 se observa el comportamiento del ensayo de resistencia a la tracción indirecta de mezclas inducidas al daño por humedad. Se prepararon todas las

muestras vía seca y húmedas para encontrar la relación de resistencia cuyo valor mínimo es 80% según las especificaciones vigentes del manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013. Asimismo, existe una tendencia creciente para las incorporaciones de 0.20%, 0.35% y 0.50% cenizas volantes, encontrando el pico más alto con la incorporación de 0.75% de cenizas volantes, sin embargo, desciende con incorporaciones de 0.85% y 1.0% de cenizas volantes.

Para la realización del ensayo de Rueda de Hamburgo se fabricaron especímenes cilíndricos de mezclas compactadas mediante el compactador giratorio superpave, como se muestra en la figura 17. Cuyos resultados se miden a partir de alcanzar un profundidad de ahuellamiento menor a 12.5mm para 20,000 pasadas. Ver anexo 27-28.

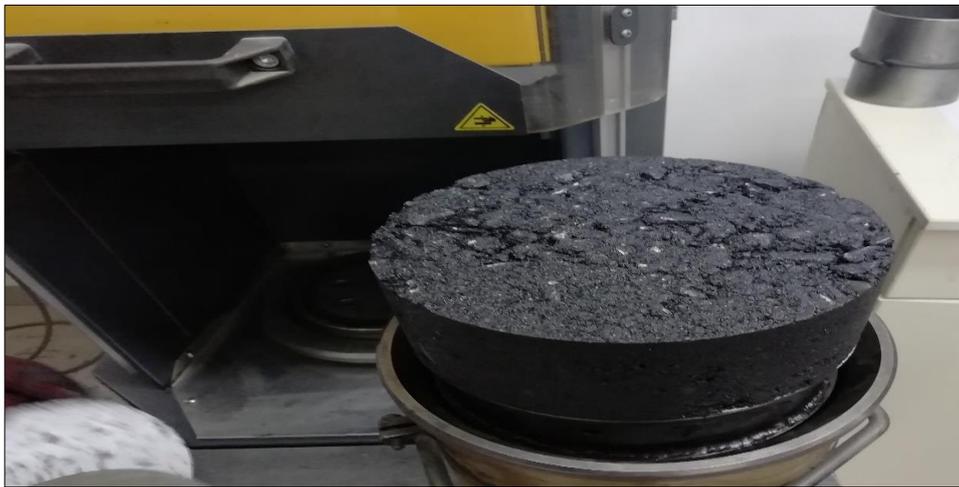


Figura 17. Especímen de 150 mm de diámetro y 60 mm de altura - ensayo Rueda de Hamburgo.
Fuente: Elaboración propia.

4.2. Análisis de los resultados.

De acuerdo a los resultados hallados en los diferentes ensayos muestra que las cenizas volantes presenta dentro de su composición química gran actividad puzolana, asimismo cuando se incorpora en porcentajes adecuado al relleno mineral de la mezcla asfáltica en caliente, hay una tendencia de aumento en la resistencia mecánica de la mezcla asfáltica, ya que los antecedentes mencionan que hay una buena reacción química entre el mezcla asfáltica y las cenizas volantes , teniendo en consideración la posibilidad de un vínculo entre el asfalto y relleno mineral (filler) lo que se conoce como el mastico asfáltico.

La investigación se realizó incorporando cenizas volantes de carbón al llénate mineral (filler). Para ello se realizó el ensayo Marshall, donde se elaboraron briquetas de mezcla asfáltica con la finalidad de obtener el óptimo contenido de asfalto que resulto un 6% ver anexo 4 al 11. Asimismo, se analizó los paramentos Marshall cuyos resultados están dentro de la normativa de las especificaciones técnica generales para la construcción EG-2013. Con el óptimo contenido de asfalto de 6% se prepararon muestras con incorporación de cenizas volantes a razón de 0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1.00% al relleno mineral (filler), para encontrar el porcentaje adecuado con el cual mejora las propiedades mecánicas con respecto al ensayo Marshall (estabilidad, flujo, densidad, vacíos de la mezcla, y vacíos del agregado mineral), ver anexos 12 al 18. En consecuencia, lo valores de 0.75% y 1.0% de incorporación de cenizas volantes mejoran las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente por lo que estos valores se tomaron representativos para el análisis de otros ensayos.

Para el ensayo de resistencia a la tracción indirecta (daño por humedad inducida) se incorporó cenizas volantes al llénate mineral con los mismos porcentajes descritos a razón de 0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1.00% todos con un 6% de óptimo contenido de asfalto; grupo de birquetas vía seca y otro grupo de briquetas por vía humedad y así determinar la relación de resistencia a la tracción indirecta (TSR) por cada porcentaje de ceniza volante incorporada al llénate mineral. Ver anexo 19 al 26.

Para el ensayo de Rueda de Hamburgo se realizaron 04 briquetas de 150 mm de diámetro y 60 mm de espesor cilíndricas compactadas en el compactador giratorio superpave. Con un óptimo contenido de asfalto que fue del 6% se moldearon las briquetas de la mezcla asfáltica en convencional, asimismo se realizó otra briqueta con el porcentaje de incorporación de cenizas volantes al llenante mineral (filler) que arroja los mejores resultados en los ensayos Marshall y TSR el cual fue 0.75%. Ver anexo 27 al 28.

4.3. Discusión de resultados

De acuerdo a los antecedentes se encontraron resultados variables, según Raja M., karmakar S., Kumar Roy T., (2019). Mencionan una fuerte preocupación sobre la preservación del medio ambiente, asimismo hacen referencia a la industria de la construcción quienes deberían enfocarse en la reutilización de nuevos materiales como son los desechos agrícolas e industriales, los autores utilizan la ceniza de cascara de arroz y ceniza volante como reemplazo de la cal hidratada, que en este caso sería la fracción llenante mineral de la mezcla asfáltica en caliente.

Los autores proponen proporciones de reemplazo de la cal hidratada que oscilan entre el 2% y el 8% con respecto a la ceniza de cáscara de arroz y ceniza volante, todo el procedimiento de diseño se realizó con el ensayo Marshall. A efectos de control se preparó una mezcla patrón con 2% de cal hidratada. Los resultados de la investigación muestran un mejor rendimiento en los parámetros Marshall y un incremento en la relación de la resistencia a la tracción. Asimismo, hay una mejor afinidad entre ceniza y asfalto lo que le atribuye mayor rigidez.

Existe una divergencia sobre los resultados encontrados por los autores y la presente investigación ya que en el Perú las mezclas asfálticas en caliente tienen un filler o relleno mineral que alcanzan valores del 2%. La investigación se realizó con el 1 % de filler y en consecuencia se observa resultados que mejoran los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica convencional, cuando se incorpora de cenizas volantes de carbón a partir del 0.75% y 0.85% aumenta la resistencia mecánica de la mezcla asfáltica en caliente que asimismo se cumple con toda la normativa vigente EG-2013. Se debe entender que las condiciones que realizaron los investigadores fueron otras, ya que utilizaron diferente tipo de PEN, diferentes agregados, no especifican el tipo de gradación que utilizaron, sin embargo, hay una similitud encontrada debido a que existe afinidad entre las cenizas y el asfalto con lo cual se atribuye mayor rigidez a la mezcla asfáltica en caliente.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos Marshall y Rueda de Hamburgo con incorporaciones de cenizas volantes de carbón al llénate mineral (filler) encontramos resultados con características similares a la investigación realizada por los autores Reyes Ortiz, J. et al (2006) quienes determinaron la influencia de reemplazar el llénate mineral por cenizas volantes y verificar sus propiedades mecánicas. Para ello el material granular fue grava de tamaño máximo de 2,54 cm., y arena con un porcentaje de trituración de 70%. La combinación de materiales granulares es de 0/10 y cemento asfáltico 60/70. Realizaron el ensayo Marshall y determinaron el óptimo contenido de asfalto que fue de 5%, asimismo se prepararon 16 probetas compactadas con 50 y 75 golpes en porcentajes de (0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75%, 90% y 100%). Como se observa en la figura 19.

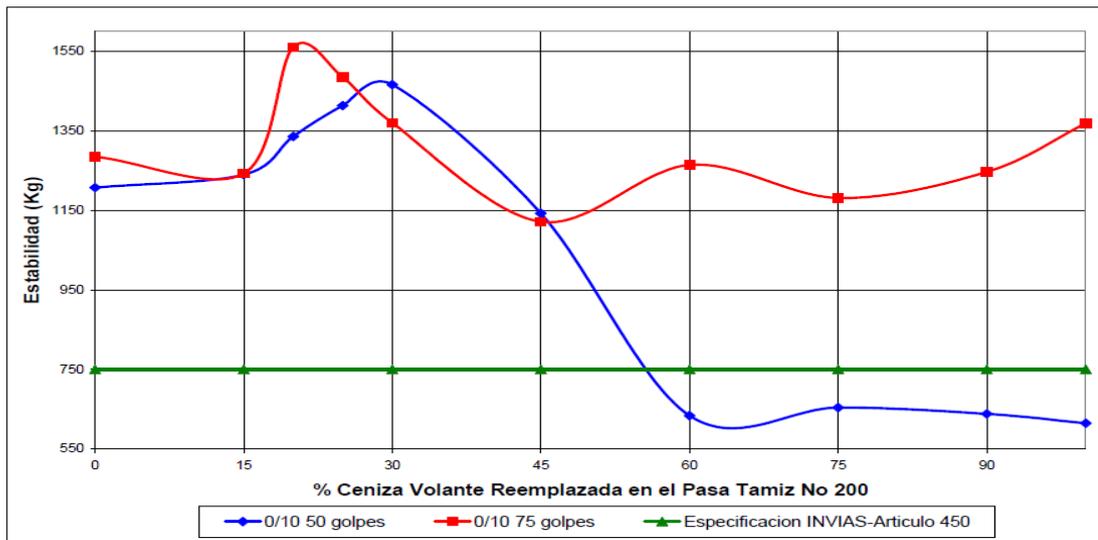


Figura 18. Variación de la estabilidad con respecto al reemplazo de ceniza en el tamiz que pasa la numero 200.

Fuente: Reyes Ortiz, J. et al (2006)

Los valores estabilidad tienen mejor comportamiento para porcentajes de reemplazo del 20% y 25%, sin embargo, decrece la estabilidad a partir de reemplazos por encima del 45% de ceniza volante.

En cuanto al flujo hay un comportamiento adecuado para reemplazos del llenante mineral por cenizas volantes en 20% y 25%, como se observa en la figura 20.

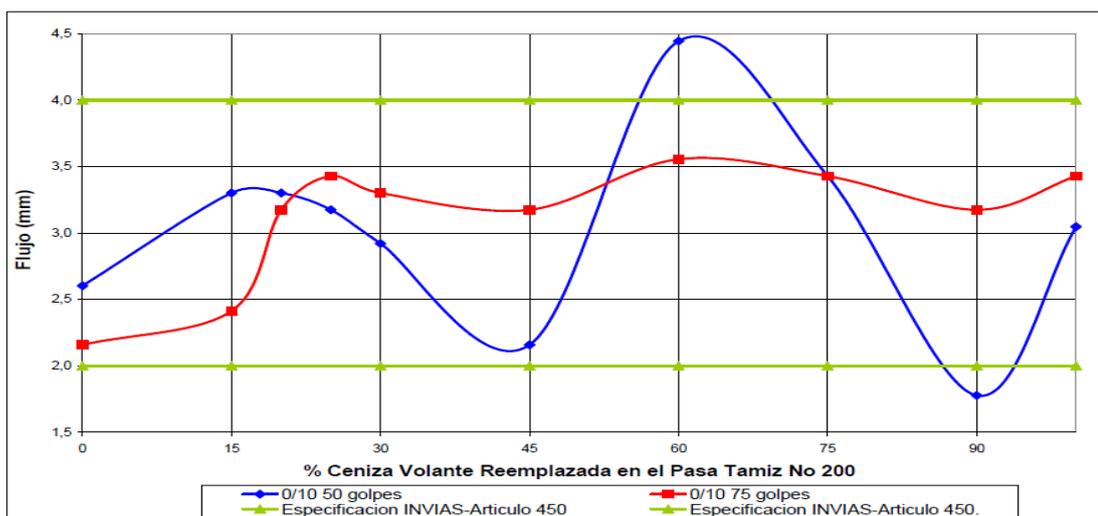


Figura 19. Variación del flujo con respecto al reemplazo de ceniza en el tamiz que pasa la numero 200.

Fuente: Reyes Ortiz, J. et al (2006)

En cuanto a la relación estabilidad – flujo, los autores obtuvieron resultados favorables con un reemplazo de llenante mineral en 25% de cenizas volantes los cuales no exceden el flujo especificado de 4mm. Asimismo los autores manifiestan que a partir de un reemplazo del 20% de cenizas volantes hay un incremento del 19% en resistencia mecánica, con una tendencia decreciente a medida que sobrepasa los 35% a 40% de reemplazo de llenante mineral por ceniza volante.

En concordancia con el autor en la presente investigación de determino que existe una tendencia de aumento de la resistencia medidos a partir de parámetros Marshall para incorporaciones de 0.75%, 0.85% de cenizas volantes al llénate mineral, alcanzando resistencias de 3892 kg/mm., con respecto a la mezcla asfáltica convencional sin incorporación que cual alcanzo 3853 kg/mm.,

Asimismo el autor no realiza el ensayo de resistencia a la tracción indirecta, lo cual en la presente tesis se tomó como parámetro para verificar la adhesividad que tiene el asfalto con el agregado mineral y verificar su resistencia al daño por humedad inducida, en consecuencia a los resultados que se obtuvieron del ensayo Marshall se tomó como referencia para la elaboración de briquetas con 0%, 0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1.0%., encontrando el mejor resultado a partir de 0.75% de incorporación de ceniza volante se obtiene un valor de 86.5% de la resistencia a la tracción indirecta respecto de la mezcla asfáltica sin incorporación de cenizas que resulto 80.6%.

En cuanto al ensayo de Rueda de Hamburgo que permite medir la resistencia a la deformación permanente de la mezcla asfáltica en caliente, se realizaron briquetas compactadas con el compactador superpave obteniendo briquetas cilíndricas de 150 mm de diámetro por 60 mm de altura como las que se muestra en la figura 21.



Figura 20. Briquetas preparadas antes de ser ensayadas.

Fuente: Ensayo Rueda de Hamburgo – TDM (2019)

Cabe resaltar que se tomó el 0.75% de cenizas en función de los parámetros Marshall obtenidos y el ensayo de TSR para realizar el ensayo que simula la durabilidad de la mezcla asfáltica. En consecuencia se obtuvo una disminución de resistencia a la deformación permanente en un 73.92%, existiendo tendencias similares podemos mencionar que a mayor porcentaje de incorporación de cenizas volantes al llenante mineral hay un decremento de la resistencia a la deformación permanente medido con el ensayo de la Rueda de Hamburgo, sin embargo los valores de resistencia (estabilidad – flujo y TSR) se mantienen con valores similares y por encima de la mezcla asfáltica en caliente convencional. Podemos mencionar que los autores Reyes Ortiz, J. et al (2006) en cuanto al ensayo de resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento) no utilizaron el compactador superpave, compactaron sus muestras a 50 y 75 golpes y la temperatura de ensayo de acuerdo a AASHTO T 324 que es de 50 °C esta 10 °C por debajo de lo realizado en la presente investigación. Los ensayos de ahuellamiento se realizaron teniendo en cuenta la norma INV E - 756, a temperatura constante de 40 °C, esfuerzo de 0,9 MPa y un total de 5.000 pasadas en 120 minutos.

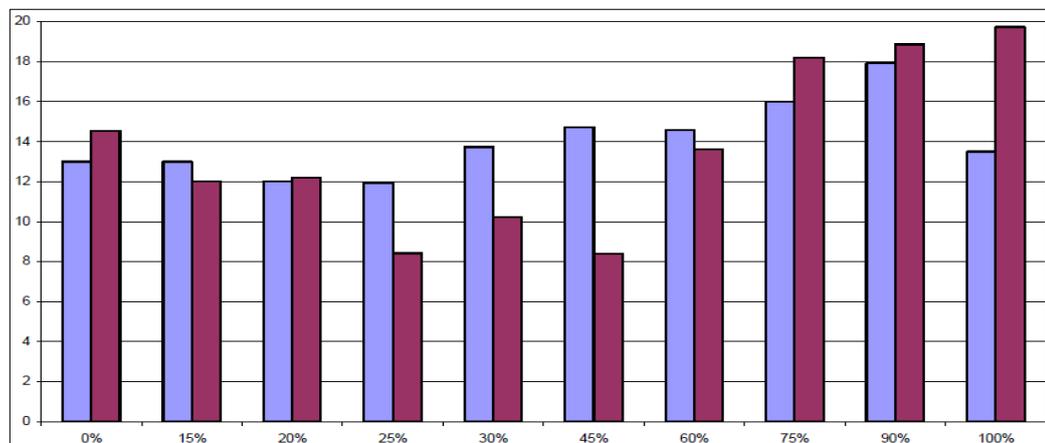


Figura 21. Ahuellamiento con respecto al reemplazo de cenizas volantes

Fuente: Reyes Ortiz, J. et al (2006).

Los valores de ahuellamiento son para la comparación de briquetas compactadas con 50 y 75 golpes por cara, asimismo se puede observar que existe un comportamiento frente a la deformación permanente para porcentajes de reemplazo de ceniza volante con 25% finalmente la deformación permanente decrece para un reemplazo de 45% de cenizas volantes en un 38% con respecto a la mezcla asfáltica patrón.

En consecuencia, los resultados obtenidos por los autores Reyes Ortiz, J. et al (2006) reafirman la tendencia que existe una mejora con la incorporación de cenizas volantes a la mezcla asfáltica en caliente, en consecuencia, se aceptan las hipótesis planteadas en la presente investigación, sin embargo, se debe tener en consideración que los materiales y procedimiento de ensayos son diferentes, para la obtención de los parámetros en general.

Contrastación de hipótesis

De acuerdo a la primera hipótesis específica; la incorporación de cenizas volantes mejora la resistencia de la mezcla asfáltica en caliente.

Se evidencia en la tabla 25, todos los porcentajes de cenizas volantes incorporados al relleno mineral de la mezcla asfáltica en caliente cumplen los valores expuesto en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013, a excepción del flujo, ya que para porcentajes de adición de 0.35%, 0.50% y 1% están por encima del máximo especificado que es 4mm, con lo cual se estaría manifestando en la mezcla mayores deformaciones antes del instante de rotura en comparación a la mezcla asfáltica en caliente sin incorporación de cenizas.. La relación estabilidad y flujo da a entender que la mezcla asfáltica en caliente debe resistir la deformación bajo la acción de cargas con un determinado desplazamiento especificado, se debe buscar en lo posible un equilibrio que simule la resistencia al daño por fatiga (agrietamiento) y deformación permanente (ahuellamiento).

Tabla 25.

Resultado de los parámetros Marshall con incorporación de cenizas volantes al llénate mineral.

Parámetros	Unidad	Esp.	Mezcla convencional	% de incorporación de cenizas volantes en el filler						
				0%	0.25% C.V	0.35% C.V	0.50% C.V	0.75% C.V	0.85% C.V	1.00% C.V
				0%	0.75% Cal	0.65% Cal	0.50% Cal	0.30% Cal	0.15% Cal	0.0% Cal
Estabilidad	kg	Min. 815	1500	1202.2	1391.8	1495.31	1530.9	1481.1	15383.9	
Flujo	mm	2 - 4	3.9	3.8	4.3	4.6	4	3.93	4.07	
Estab./Flujo	Kg/cm	1700 - 4000	3853	3164	3237	3251	3827	3769	3892	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°14, N°22 Estabilidad – flujo y flujo respectivamente versus porcentaje de adición de cenizas volantes, se observa que todos los valores cumplen las especificaciones, sin embargo, se analiza, que al ser valores que provienen de una relación tienen que cumplir valores mínimos.

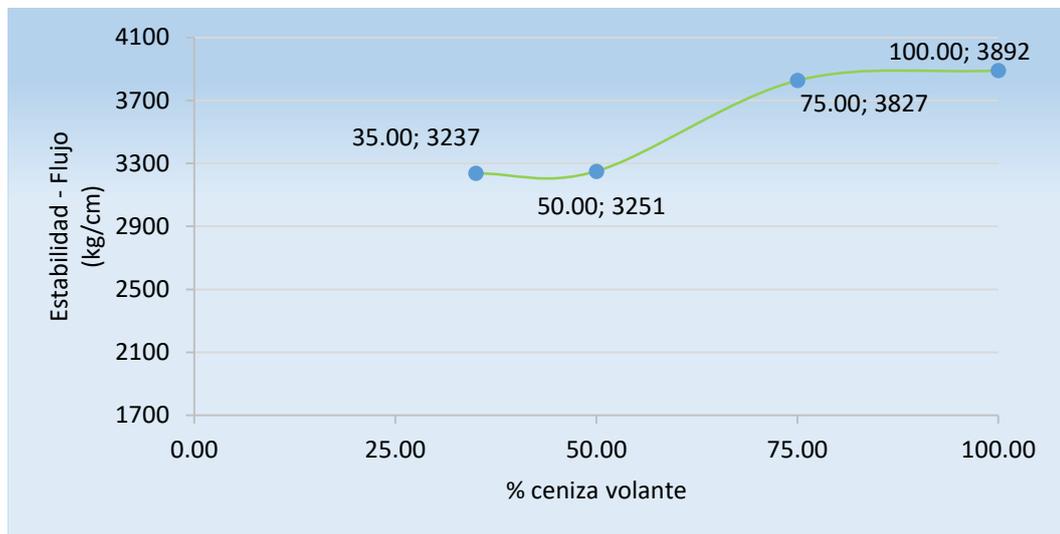


Figura 22. Resultados de valores estabilidad/flujo con porcentajes de 0.35%, 0.50% y 1.0%
Fuente: Elaboración propia.

Los porcentajes de 0.35%, 0.50% y 1.0% estarían fuera de la especificación ya que podrían presentar procesos de deformaciones excesivas. Sin embargo, el mejor valor representativo en parámetros de Estabilidad – Flujo es 0.75% ya que presenta resultados similares los cuales se encuentran dentro de lo especificado en las EG-2013. Por lo tanto, se acepta la hipótesis específica, ya que con el 1.0% de incorporación de cenizas volantes mejora la resistencia mecánica de la mezcla asfáltica en caliente, incrementando en 39 kg/cm de resistencia.

De acuerdo a la segunda hipótesis específica; la incorporación de cenizas volantes mejora la resistencia al daño por humedad de la mezcla asfáltica en caliente.

En la figura 16, se puede observar que existe una tendencia creciente de la resistencia a tracción indirecta alcanzando un 86.5% cuando se incorpora hasta un 0.75% de cenizas volantes al llenante mineral de la mezcla asfáltica en caliente, esto evidencia que solamente hasta 0.75% de incorporación de cenizas volantes es probable un mejor comportamiento al daño por humedad inducida de la mezcla asfáltica en caliente, ya los

valores de la resistencia a la tracción indirecta empiezan a decaer con incorporaciones de ceniza del 0.85% y 1.0%.



Figura 23. TSR vs (%) de cenizas volantes incorporadas al llenante mineral (filler).
Fuente: Elaboración propia.

Tener en consideración que de acuerdo a los antecedentes, las cenizas silicoaluminosas de clase F, llamadas también por su nombre puzolanas, se caracterizan por tener un contenido de CaO inferior al 10%. Las cenizas silicoaluminosas se destacan por que son las más usadas y las que más se generan. Las propiedades del ligante aparecen cuando existe presencia de activadores de puzolanidad, para esto se utiliza cal o cemento. Debido a que la mezcla asfáltica en caliente contiene cal hidrata dentro de su composición, este material es un activador puzolanico. Al incorporar la ceniza volante esta mejora la actividad química y en consecuencia las propiedades mecánicas y reologicas del mastico asfáltico, sin embargo, es necesario que exista la cal hidratada como activador, con lo cual se estaría restringiendo la incorporación total de la ceniza volante en 1.0%. Por lo tanto, se acepta la hipótesis específica, ya que con 0.75% de incorporación de cenizas volantes mejora la resistencia a la tracción indirecta, favoreciendo a la mezcla asfáltica en caliente, mejorando la cohesión y evitando el desprendimiento del ligante con el árido por el efecto del agua en la mezcla.

De acuerdo a la tercera hipótesis específica; la incorporación de cenizas volantes mejora la durabilidad de la mezcla asfáltica en caliente.

Para observar el comportamiento de la resistencia a la deformación permanente de la mezcla asfáltica en caliente, se realizó el ensayo de Rueda de Hamburgo

que pretende simular las condiciones de campo a escala reducida. Para ello se preparó briquetas de 150 mm de diámetro y 60 mm de altura mediante el uso del compactador giratorio, estas muestras fueron fabricadas con contenidos de vacío de 7% +/- 1%. Una vez compactadas se deja enfriar a temperatura ambiente y se acondicionan las muestras bajo el agua a una temperatura de 50 C° en el dispositivo de la Rueda de Hamburgo.

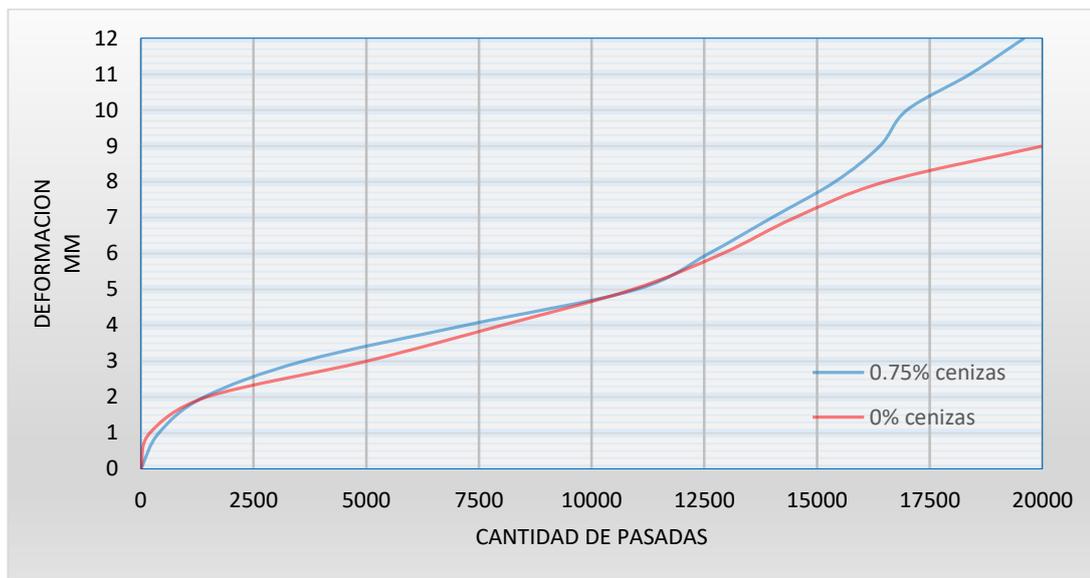


Figura 24. Resultado del ensayo de Rueda de Hamburgo con incorporación del 0.75% de cenizas volantes

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 18 se observa los resultados del ensayo el cual somete al espécimen una carga repetida de 20,000 pasadas (10,000 ciclos ida y vuelta), asimismo la especificación menciona que las profundidades de deformaciones deben ser menores a 12.5mm. Para la mezcla asfáltica en convencional (sin incorporación de cenizas volantes al llenante mineral), se observa que la muestra alcanzo una profundidad de 9.24 mm en 20,000 pasadas, cumpliendo la especificación AASHTO T 324. Para incorporaciones del 0.75% de cenizas volantes al llenante mineral, esta alcanzo una profundidad de 12.5mm en 19,600 pasadas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis específica, ya que al incorporar el 0.75% de cenizas volantes a la mezcla asfáltica en caliente no mejora la resistencia a la deformación permanente, con lo cual la mezcla asfáltica no tendría la capacidad de respuesta a sollicitaciones de carga antes de cumplir su vida útil de diseño.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

1. De acuerdo a los resultados encontrados se concluye que al incorporar la ceniza volante proveniente de la termoeléctrica de Ilo a la mezcla asfáltica en caliente se evidencia un incremento en el desempeño mecánico, con incorporaciones en porcentajes de 0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1.0% de ceniza volante al llenante mineral (cal hidratada), obtenemos valores que están dentro de las especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013, medidos a partir de (Estabilidad – Flujo y TSR). Sin embargo, cuando se mide el incremento de la durabilidad de mezcla asfáltica en caliente a partir del ensayo rueda de Hamburgo incorporando el 0.75% disminuye la resistencia a la deformación permanente. En consecuencia, este material podría ser considerado como un material de relleno mineral (filler). Sin embargo los porcentajes a utilizar deben ser menores a 0.75%, debido a que debe existir un porcentaje mayor a 0.50% de activador puzolánico (cal hidratada) que otorgue mejor reacción con el (Dióxido de silicio (SiO₂) + Óxido de aluminio (Al₂O₃) + Óxido de hierro (Fe₂O₃), en cumplimiento con las especificaciones del ASTM C 618 – 03, clase F. Asimismo existe una afinidad entre el asfalto y la ceniza volante lo que se conoce como mastico asfáltico, en comparación con una mezcla asfáltica sin incorporación de cenizas volantes existe una tendencia a presentar valores similares con aumentos crecientes en sus propiedades mecánicas (Estabilidad – Flujo, Resistencia a la Tracción Indirecta) o considerarlas dentro de los valores permisibles según la normativa nacional e internacional. Asimismo, se abre un nuevo uso potencial para la utilización de cenizas volantes y así contrarrestar el problema de este pasivo ambiental.
2. Cuando se incorporan las cenizas volantes de carbón al llenante mineral de la Mezcla Asfáltica en Caliente en (0.25%, 0.35% y 0.50%), se observa una tendencia decreciente de (18%, 16% y 16.2%) en su resistencia mecánica medidos en parámetros Marshall (Estabilidad – Flujo) en comparación a la Mezcla Asfáltica en Caliente sin incorporación de cenizas volantes, asimismo con porcentajes de incorporación de 0.35%, 0.50% y 1.0% los valores de flujo no

cumplen con las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG-2013. Se observa para incorporaciones de 0.75% y 0.85% de cenizas volantes la resistencia mecánica en valores de Estabilidad – Flujo se aproximan a los 3853 kg/mm, finalmente con el 1.0% de incorporación hay un incremento de resistencia mecánica 3892 kg/cm las cuales están dentro de las especificaciones.

3. La resistencia al daño por humedad de la Mezcla Asfáltica en Caliente convencional sin incorporación de cenizas volantes es de 80.6 % medidos en base a la Resistencia a Tracción Indirecta (TSR – AASHTO T283). Sin embargo al incorporar cenizas volantes al llenante mineral en porcentajes de (0.25%, 0.35%, 0.50% y 0.75%) hay una tendencia creciente incrementando su resistencia en (81.3%, 83.4%, 85.5% y 86.5%), asimismo la resistencia decrece con incorporaciones de 0.85% y 1.0% de cenizas volantes en (84% y 82%), el mayor valor que alcanza la resistencia a la tracción indirecta es de 86.5% con incorporación de 0.75% de ceniza volante.
4. Al incorporar cenizas volantes al llenante mineral por encima de 0.75% se obtuvo valores de Estabilidad – Flujo aproximados a 3853 kg/mm en comparación a los parámetros Marshall de la Mezcla Asfáltica en Caliente sin incorporación de cenizas, asimismo se observa un mejor comportamiento de la resistencia al daño por humedad de la Mezcla Asfáltica en Caliente con 0.75% de incorporación de cenizas resultando 86.6%. En virtud de ello se tomó dicho porcentaje para verificar la durabilidad de la Mezcla Asfáltica en Caliente mediante el ensayo de Rueda de Hamburgo con el 0.75% de cenizas volantes y 0.25% de cal hidratada, el ensayo arrojó valores en función a la profundidad de ahuellamiento alcanzando 12.5mm a las 19,600 pasadas con respecto a la Mezcla Asfáltica sin incorporación de cenizas volantes que alcanzo 9.24mm a las 20,000 pasadas. Se observa que la durabilidad (resistencia a la deformación permanente) decreció en un 73.92%, parámetro medio de acuerdo al ensayo de la Rueda de Hamburgo.

Recomendaciones

1. Utilizar incorporaciones de cenizas volantes en porcentajes debajo de 0.75%, recomendable 0.50% Cenizas y 0.50% de activador puzolanico que es cal hidratada, y verificar si presenta mejores resultados en cuanto a la resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento) de la Mezclas Asfáltica en Caliente y así garantizar que la mezcla asfáltica disminuya la deformación de 12.5mm que alcanzo en 19,600 pasadas. Sin convertirla en una mezcla rígida que pueda llegar a fisurarse a temprana edad por un aumento de rigidez y garantizar la durabilidad de la Mezcla Asfáltica en Caliente.
2. Si bien es cierto que el ensayo de resistencia a la tracción indirecta es un ensayo fácil y dinámico que puede arrojar valores cercanos de resistencia al daño causado por la humedad, esto último referido a la cohesión entre el ligante asfáltico y los áridos. Se recomienda realizar ensayos más complejos que caractericen mejor al mastico asfáltico; como el modulo complejo G^* , ángulo de fase δ , viscosidad η^* y pruebas de creep para determinar la deformación en función del tiempo, ensayos de envejecimiento prematuro, fatiga de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas volantes, así para poder verificar si este material puede contribuir en la vida útil del pavimento y así demostrar de una manera más adecuada la afinidad entre el asfalto y la ceniza volante y que este material pueda ser utilizado como relleno mineral (filler) garantizando un aumento en la resistencia a la durabilidad de la Mezclas Asfáltica en Caliente.
3. Se recomienda que se realicen más ensayos incorporando cenizas volantes a la Mezcla Asfáltica en Caliente a nivel de deformación permanente (ahuellamiento) con variaciones de temperatura acordes a la realidad Peruana ya que el ensayo AASHTO T – 324 menciona que los especímenes deben sumergirse en agua a temperatura 50 °C, lo cual dista mucho de los climas que se tiene en el Perú, sobre todo las temperaturas que se alcanza en épocas de verano y estos a su vez medirlos a nivel del pavimento ya que podríamos encontrar valores diferentes de profundidad de ahuellamiento en zonas como el norte de País.

Referencias bibliográficas

- A. Kuity, A. Das, (2016), Estimation of appropriate filler quantity in asphalt mix from microscopic studies, *RILEM Book*, Vol. 11, p. 49-59.
- Alata.T., Mustafa., K, (2012), The Effects of using Styrene-Butadiene-Styrene and Fly Ash Together on the Resistance to Moisture-Induced Damage, Permanent Deformation and Fatigue of Hot Mixture Asphalt, *KSCE Journal of Civil Engineering*. Vol. 17(5): pp. 1030-1039.
- Antunes. V, Freire. C, et al (2017), Evaluation of waste materials as alternative sources of filler in asphalt mixtures, *Materials and Structures*, Vol.50-254. P.1-14. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1126-3>
- Arguiz. C, Menéndez. E, San Juan. M.A, (2013), Efecto de la adición de mezclas de ceniza volante y ceniza de fondo procedentes del carbón en la resistencia mecánica y porosidad de cementos Portland, *Materiales de Construcción*, Vol. 63, 309, p.49-p.64.
- Barroso V, C, Luiz Días L, C, Pereira F, M, Ferreira C, P (2004), O Aproveitamento da Cinza de Caldeira Na Construção Civil, *VERTICES*, Volumen 6, p.131-p.148.
- Carreira R, Matsumura S, Rohde L, Pereira J. Uso De Cinzas Pesadas Em Misturas Asfálticas a Quente. *SINICESP*. Edición N°01, p.01-p.03. São Paulo, 17 de octubre del 2012.
- Chih., Liao. M, Gordon., A. Shih Chen. J. (2013), Mechanical Properties of Filler Asphalt Mastics, *International Journal of Pavement Research and Technology*, Vol.6 No.5, pp.576-581
- Da silva, J. (2006), *Estudo Da Viabilidade De Utilização da Cinza pesada Em Adição Ao Concreto Compactado Com Rolo (ccr) Destinado A Camada De Base De Pavimentos Híbridos, (Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería Civil)*. Universidad Federal Santa Catarina, Florianópolis.
- George Arias, W. (2013). *Mezclas Asfálticas*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/leonel321/mezclas-asfalticas-2>
- Hamad I. Al-Abdul., Ibelwaleed A. Hussein., Reyad A. S. (2015). Use of modified oil fly ash to enhance asphalt concrete performance. *Materials and Structures*. Vol. 48: pp.3231–3240. DOI 10.1617/s11527-014-0393-5

- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2014), *Metodología de la Investigación. 5ta Edición*. McGraw-Hill / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Huaquisto S.C, Belizario G.Q, (2018), Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento, *Revista de Investigaciones Alto Andinas*, Vol.20 N°02, p.1-p.10.
- Lesueur D, Petit J, Ritter H-J (2013), The mechanisms of hydrated lime modification of asphalt mixtures: *a state-of-the-art review*. *Road Mater Pavement Des* 14:1–16. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.743669>.
- Little, D. and Petersen, J.C. (2005). Unique Effects of Hydrated Lime Filler on the Performance Related Properties of Asphalt Cements: *Physical and Chemical Interactions Revisited*, *Journal of Materials in Civil Engineering* 17, pp.207-218.
- Lopera Palacio C. (2011). *Diseño y Producción de mezclas asfálticas tibias, a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma (ELAEIS GUINEENSIS)*, (Tesis maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Luiz Kreuz, A. (2002), *Utilização de Cinzas Pesadas De Termelétricas Na Substituição de Cimento E Areia Na Confeção De Concretos*, (Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería Civil). Universidad Federal Santa Catarina, Florianópolis.
- Maila Paucar, M. E. (2013). *Comportamiento De Una Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero Etileno Vinil Acetato (EVA)*, (Tesis para optar el grado de ingeniero). Universidad Central del Ecuador, Quito: UCE.
- Martínez Hernández, O. (2014). *Comportamiento de la mezcla asfáltica a diferentes niveles de compactación*, (Tesis maestría). Universidad Autónoma de México, Mexico D.F.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012-2016), *Plan Estratégica Institucional Del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Oficina General de Planeamiento y Presupuesto*. Recuperado de [https://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/144/PLAN_144_PEI_\(Plan_Estrat%C3%A9gico_Institucional\)_2012-2016_2013.pdf](https://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/144/PLAN_144_PEI_(Plan_Estrat%C3%A9gico_Institucional)_2012-2016_2013.pdf).
- MS-22, A. I. (2000), *Principios De Construcción De Pavimentos De Mezcla Asfáltica En Caliente*, Barcelona.
- Néstor Huamán G. (2012), *La Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas y el Consecuente Deterioro de los Pavimentos Asfálticos en el Perú*, (tesis para

- obtener el Grados de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniera de Transportes*). Universidad Nacional Ingeniera, Lima.
- Oscar, M.H. (2014), *Comportamiento de las mezclas asfálticas a diferentes niveles de compactacion*. Mexico, D.F.
- Padilla Rodriguez, A. (2004), *Mezclas Asfálticas, (Tesis para optar el grado de ingeniero)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Pavei E, Arns, P, Villena J. (2014), *Resistência à Tração De Misturas Asfálticas Com Adição De Cinza Pesada, UNESCO, p.02-p.23*.
- Piazza, J.L., RUI, V. (1999) *Comportamento das Cinzas Pesadas de Carvão Mineral como Substituído da Areia Quartzosa em Argamassas*. III Simposio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas. Anais Vitoria, Antac., p.389-p401.
- Pilar, R. (2012), *Avaliação Da Atividade Pozolânica Da Cinza Pesada Moída Em Pastas De Cimento Portland, (Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ingenieria Civil)*. Universidad Federal Santa Catarina, Florianópolis.
- Pozzobom, C.E (1999), *Aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral produzida no complexo termelétrico Jorge Lacerda (tesis para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería Civil)*. Universidad Federal De Santa Catarina. Florianopolis.
- Raja. M., Sandip. K., et al. (2019), *Experimental evaluation of rice husk ash and fly ash as alternative fillers in hot-mix asphalt. Road Materials and Pavement Design ; Abingdon Tomo 20, N.º 4, pp.979-990*.
- Reyes O, J, Troncoso R, R, Camacho T, F. (2006), *Comportamiento Mecánico y Dinámico De Una Mezcla Asfáltica Con Adición De Cinzas Volantes, REVISTA JAVIERIANA, Volumen 10, p.19-p.30*.
- Rocha J.C, Cheriaf, M, M. Pozzobom, C. Maia, M (1999), *Reaproveitamento Das Cinzas Pesadas do Complexo Termeletrico Jorge Lacerda na Elaboracao de Materiais de Construcao: Aspectos Tecnologicos e Ambientais*. XV SNPTEE – Seminario Nacional de Producao e Transmissao de Energia Electrica. Foz do Iguacu. 1999.
- Rodríguez de Farías, E. (2005), *A Utilização de Misturas Solo/Cinza Pesada Na Pavimentação - Análise de Aspectos de Comportamento Mecânico e Ambiental, (Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ingenieria Civil)*. Universidad Federal Santa Catarina, Florianópolis.

- Sánchez Otárola, S. (2014), *Evaluación de Mezclas Asfálticas Con Adición De Ceniza Como Porcentaje Del Ligante y Del Llenante, (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Civil)*. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga.
- Shawabkeh R, Khan MJ, Al-Juhani AA, Al-Abdul Wahhab HI, Hussein IA (2011) Enhancement of surface properties of oil fly ash by chemical treatment. *Appl Surf Sci* Vo. 258:pp.1643–1650.
- Silva, V.S, Liborio, J.B.L, Silva, C.R (1997), *Argamassas de Revestimento com o emprego de pozolana de argila calcinada. In: III Simposio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas. Anais Vitoria, Antac., p.323-p333.*
- T. Valentova y J. Valentin (2017), Alternative Additives for Improving the Functional Characteristics and Performance-Based Behavior of Asphalt Mixes in the Fine-Grained Active Filler Form, *Key Engineering Materials Vol. 731, p.01-p.9.*
- Tapk n, S. (2008). “Mechanical evaluation of asphalt-aggregate mixtures prepared with fly ash as a filler replacement.” *Can. J. Civil Eng. Vol. 35, No. 1, pp. 27-40.*
- Tramontin L, Villena J. (2015), Viabilidade Técnica E Ambiental De Misturas Asfálticas Com Adição De Cinza Pesada, *UNESC, p.02-p.36.*
- Vilela Margon, P. (2002), *Influência Do Uso Das Cinzas De Carvão Mineral De Termelétricas Em Argamassas De Revestimento: Dosagem Por Curvas Granulométricas, (Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería Civil)*. Universidad Federal Santa Catarina, Florianópolis.
- Yee Wan, Y. (2013). *Caracterización, Diseño y Verificación de una mezcla asfáltica drenante caliente modificada con grano llanta triturado y fibra kaltex, (Tesis para obtener el grado de Maestro)*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia	81
Anexo 2: Declaración de autenticidad	82
Anexo 3: Autorización de consentimiento para realizar la investigación	83
Anexo 4: Combinación de agregados	84
Anexo 5: Combinación física de agregados	85
Anexo 6: Equivalente arena	86
Anexo 7: Ensayo de caras fracturadas	88
Anexo 8: Ensayo de partículas chatas y alargadas	89
Anexo 9: Ensayo de abrasión los ángeles	90
Anexo 10: Ensayo de límites de consistencia #40	91
Anexo 11: Ensayo de límites de consistencia #200	92
Anexo 12: Gravedad específica y absorción de los agregados	93
Anexo 13: Análisis granulométrico por tamizado de ceniza volante	94
Anexo 14: Análisis granulométrico por tamizado diseño 5.5% CA.	95
Anexo 15: Análisis granulométrico por tamizado diseño 6.0% CA.	96
Anexo 16: Análisis granulométrico por tamizado diseño 6.5% CA.	97
Anexo 17: Análisis granulométrico por tamizado diseño 7.0% CA.	98

Anexo 18: Fotografías del procedimiento de ensayo Marshall	99
Anexo 19: Análisis granulométrico por tamizado MAC-2	100
Anexo 20: Ensayo Marshall ASTM D-1559 porcentaje de asfalto 5.5%	101
Anexo 21: Ensayo Marshall ASTM D-1559 porcentaje de asfalto 6.0%	102
Anexo 22: Ensayo Marshall ASTM D-1559 porcentaje de asfalto 6.5%	103
Anexo 23: Ensayo Marshall ASTM D-1559 porcentaje de asfalto 7.0%	104
Anexo 24: Ensayo Marshall ASTM D-1559 óptimo contenido de asfalto 6.0%	105
Anexo 25: Resultados de estabilidad retenida e índice de compactibilidad	106
Anexo 26: Resultados de parámetros Marshall optimo contenido de asfalto 6.0%	107
Anexo 27: Resultados Estabilidad-flujo (0.25% CV y 0.75% cal)	108
Anexo 28: Resultados Estabilidad-flujo (0.35% CV y 0.65% cal)	109
Anexo 29: Resultados Estabilidad-flujo (0.50% CV y 0.50% cal)	110
Anexo 30: Resultados Estabilidad-flujo (0.75% CV y 0.25% cal)	111
Anexo 31: Resultados Estabilidad-flujo (0.85% CV y 0.15% cal)	112
Anexo 32: Resultados Estabilidad-flujo (1.0% CV y 0.0% cal)	113
Anexo 33: Fotografías de procedimiento de ensayo TSR	114
Anexo 34: Resultados de TSR (6% optimo contenido de asfalto)	115
Anexo 35: Resultados de TSR - AAHTO T-283 (Cal 0.75% - CV 0.25%)	116
Anexo 36: Resultados de TSR - AAHTO T-283 (Cal 0.65% - CV 0.35%)	117
Anexo 37: Resultados de TSR - AAHTO T-283 (Cal 0.50% - CV 0.50%)	118
Anexo 38: Resultados de TSR - AAHTO T-283 (Cal 0.35% - CV 0.75%)	119
Anexo 39: Resultados de TSR - AAHTO T-283 (Cal 0.15% - CV 0.85%)	120
Anexo 40: Resultados de TSR - AAHTO T-283 (Cal 0.0% - CV 1.0%)	121
Anexo 41: Fotografías del ensayo de Rueda de Hamburgo	122
Anexo 42: Resultado de ensayo de Rueda de Hamburgo	123

Anexo 01.

Cuadro de Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES GENERALES	DIMENSION	INDICADOR	METODOLOGIA
¿De qué manera influye la incorporación de cenizas volantes provenientes de la central termoeléctrica de Ilo en el desempeño mecánico de una mezcla asfáltica en caliente?	Determinar el porcentaje de incorporación de cenizas volantes provenientes de la central termoeléctrica de Ilo para incrementar el desempeño mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente.	La incorporación de cenizas volantes incrementa el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente.	Desempeño mecánico (variable dependiente) Tipo cualitativo - ordinal	Resistencia Durabilidad Resistencia al daño por humedad	Estabilidad (>831 kg) Flujo (2-4) Resistencia al daño por humedad (80% min.) Resistencia a la deformacion	METODO DE LA INVESTIGACION Método deductivo ORIENTACION Aplicada ENFOQUE Cuantitativa
PROBLEMAS ESPECIFICOS ¿Cómo influye la incorporación de cenizas volantes en la resistencia de una Mezcla Asfáltica en Caliente?	OBJETIVOS ESPECIFICOS Determinar el porcentaje de incorporación de cenizas volantes para incrementar la resistencia de una Mezcla Asfáltica en Caliente mediante el ensayo marshall.	HIPOTESIS ESPECIFICAS La incorporación de cenizas volantes incrementa la resistencia de una Mezcla Asfáltica en Caliente.				FUENTE DE RECOLECCION DE DATOS Rotrolectiva
¿En qué medida incide la incorporación de cenizas volantes en la resistencia al daño por humedad de una Mezcla Asfáltica en Caliente?	Determinar el incremento en la resistencia al daño por humedad de una Mezcla Asfáltica en Caliente a partir de un porcentaje de incorporación de cenizas volantes mediante el ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta (TSR).	La incorporación de cenizas volantes incrementa la resistencia al daño por humedad de una Mezcla Asfáltica en Caliente.	Cenizas pesadas (variable independiente) Tipo cualitativo - ordinal	Gran concentracion de SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ Bajo contenido CaO	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ > 70%	TIPO DE INVESTIGACION Descriptiva NIVEL DE LA INVESTIGACION Descriptivo DISEÑO DE LA INVESTIGACION Diseño experimental, longitudinal, prospectivo. ESTUDIO DEL DISEÑO Diseño causa-efecto, ensayo - laboratorio POBLACION Y MUESTRA 68 briquetas
¿En qué medida incide la incorporación de cenizas volantes en la durabilidad de una Mezcla Asfáltica en Caliente?	Determinar el incremento en la durabilidad de una Mezcla Asfáltica en Caliente a partir de un porcentaje de incorporación de cenizas volantes mediante el ensayo de Rueda de Hamburgo.	La incorporación de cenizas volantes incrementa la durabilidad de una Mezcla Asfáltica en Caliente.	Mezcla asfáltica en caliente (variable interviniente)			

Fuente: Elaboración propia

Anexo 02.

Declaración de autenticidad



Escuela de Posgrado

DECLARACION DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO DECLARACION DEL GRADUADO

Por el presente, el graduado: **JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI.**

En condición de egresado del programa de Posgrado: Maestría en Ingeniería Vial con Mención en Carreteras, Puentes y Túneles.

Dejo constancia que ha elaborado la tesis titulada:

Desempeño Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Incorporando Cenizas Volantes Provenientes de la Termoeléctrica de Ilo.

Declara que el presente trabajo de tesis ha sido elaborado por el mismo y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica, de investigación, profesional o similar.

Deja constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no ha asumido como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de la Internet. Asimismo, ratifica que es plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asume la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento y es consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas. En caso de incumplimiento de esta declaración, el graduado se somete a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y los dispositivos legales vigentes.


Firma del Graduado


Fecha

Anexo 03.

Autorización para realizar la investigación



Escuela de Posgrado

AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN

Dejo constancia que el laboratorio de suelos y pavimentos: DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C, que dirijo, ha tomado conocimiento del trabajo de tesis "Desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo".

El mismo que es realizado por el Bachiller. Juan Carlos Peña Ancasi, en condición de estudiante – investigador del Programa de Taller de Tesis.

Asimismo señalo, que según todas las políticas que se maneja dentro del laboratorio de suelos y pavimentos procedemos con el apoyo del desarrollo del trabajo de investigación, realizando todos los ensayos necesarios conjuntamente con el bachiller para la obtención de todos los datos.

En razón de lo expresado doy mi consentimiento para el uso de la información y/o la aplicación de los instrumentos de recolección de datos.

AUTORIZACION PARA EL USO DEL NOMBRE DE LA EMPRESA EN EL INFORME FINAL:

Se autoriza el uso del nombre del laboratorio: DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.


Autelio Nahui Salvatierra
PROFESIONAL RESPONSABLE
GEOTECNISTA
CIP: 113903

Jefe Responsable del Área
General


Favel Dan Córdova Velasque
ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES LABORATORISTA
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

Jefe Responsable Técnico

Anexo 04.

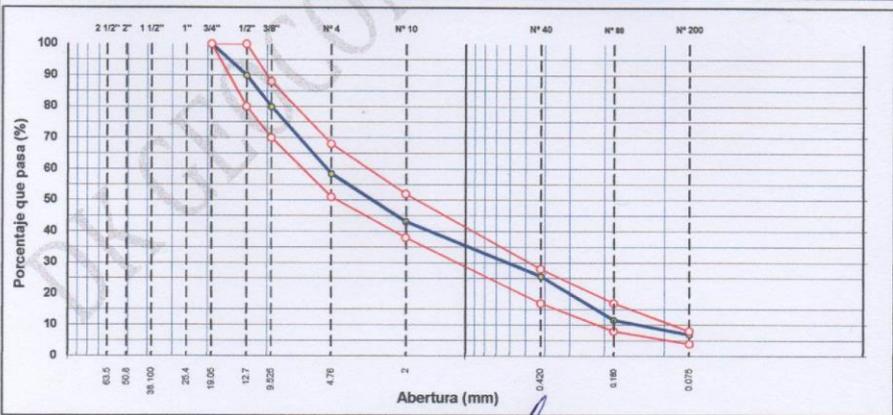
Combinación de agregados



R.U.C.: 20600910028

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0								
COMBINACIÓN DE AGREGADOS		Fecha: 16/04/2019								
		Página: 1 de 1								
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS										
Tesis: DESEMPEÑO MECANICO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE LA TERMOELECTRICA DE ILO		N° CERTIFICADO: N°00201-2019/DKGECONCS								
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		FECHA: 16/04/2019								
DATOS DE LA MUESTRA										
COMBINACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DISEÑO MAC-2-01 - CANTERAS RIO MANTARO										
Fecha : 16-abr-19		Gradación Superpave Tamaño máximo: 3/4"								
Tamices y aberturas (mm)	Fajas por agregados a intervenir					Mezcla MAC-2			Chequeo	
	Grava Integral 3/4"-3/16"	Arena chancada 1/4 - 3/16	Arena zarandeada < 3/8	Gravilla	Filler Cal Hidratada	Comb. Teórica	Específic. MAC-02			
	41.0%	33.0%	25.0%	0.0%	1.0%					
1"	25.400	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	ok
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	ok
1/2"	12.700	77.4	100.0	97.2	97.8	100.0	100.0	90	80	100
3/8"	9.525	55.1	100.0	93.7	85.0	100.0	80.0	70	88	ok
# 4	4.760	10.3	100.0	81.0	7.5	100.0	58.5	51	68	ok
# 10	2.000	1.8	70.1	73.2	0.8	100.0	43.2	38	52	ok
# 40	0.420	0.0	29.4	60.1	0.0	99.9	25.7	17	28	ok
# 80	0.180	0.0	18.7	20.4	0.0	99.1	11.6	8	17	ok
# 200	0.075	0.0	10.4	10.3	0.0	96.8	7.0	4	8	ok



The graph plots the percentage of aggregate passing through various sieve sizes. The x-axis represents sieve size in millimeters (mm) on a logarithmic scale, and the y-axis represents the percentage of material passing. Two curves are shown: a red curve representing the upper limit and a blue curve representing the lower limit. The actual gradation is plotted between these two curves, showing compliance with the specifications.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Pavel Dany Nahui Velasque ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES Y LABORATORISTA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	 Aurelio Nahui Salvatierra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 113903	

DIRECCIONES: JR. JOSÉ C. MARIATEGUI N° 109 – BARRIO YANANACO – HUANCAMELICA.
 PSJE. JOSÉ OLAYA N° 574 – LOS ÁNGELES – RÍMAC – LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
 RPM: #962950404 – CEL: 962950404
 TELEFONO FIJO – (067) – 480519.

Registrado en: Indecopi . RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

Anexo 05.

Combinación física de agregados



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.

R.U.C.: 20600910028



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E204)		Fecha: 16/04/2019						
		Página: 1 de 1						
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS								
TESIS: DESEMPEÑO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE LA TERMOELÉCTRICA DE ILO		N° CERTIFICADO: N°00201-2019/DKGECONS						
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		FECHA: 16/04/2019						
COMBINACIÓN FÍSICA								
TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC. MAC - 2	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MÁXIMO	3/4"
3"	76.200						UBICACIÓN	
2 1/2"	63.500						HORA	
2"	50.800						PESO INICIAL	40000.0 gr
1 1/2"	38.100						Peso de fracción	728.7 gr
1"	25.400						PROPORCIONES	%
3/4"	19.050			100.0	100			
1/2"	12.700	4470.0	11.2	11.2	88.8	80 - 100	Arena Natural < 3/8"	25.0 %
3/8"	9.525	4235.0	10.6	21.8	78.2	70 - 88	Arena Triturada 3/16"	33.0 %
N°4	4.760	7890.0	19.7	41.5	58.5	51 - 68	Grava Triturada 3/4"-3/16"	41.0 %
N° 10	2.000	196.1	15.7	57.2	42.8	38 - 52	Filler	1.0 %
N° 40	0.425	203.9	16.4	73.6	26.4	17 - 28	Total	100.0 %
N° 80	0.180	188.0	15.1	88.7	11.3	8 - 17		
N° 200	0.074	69.0	5.5	94.2	5.8	4 - 8	OBS.- Filler incluido	
< 200	-	71.7	5.8	100.0			Humedad de Mezcla (%)	
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:						
 Pamela Dany Nahui Velasque ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES LABORATORISTA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	 Aurelio Nahui Salvatierra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 113903							

Registrado en: Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

Anexo 06.

Equivalente arena



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.
R.U.C.: 20600910028



SENDDO

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0		
EQUIVALENTE DE ARENA (MTC E114)		Fecha: 16/04/2019		
		Página: 1 de 1		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS				
Tesis: DESEMPEÑO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE LA TERMOELÉCTRICA DE ILO		N° CERTIFICADO: N°00201-2019/DKGEOCONS		
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		FECHA: 16/04/2019		
DATOS DE LA MUESTRA				
MUESTRA	IDENTIFICACIÓN			
	1	2	3	4
Hora de entrada a saturación	15:00	15:02	15:04	
Hora de salida de saturación (más 10')	15:10	15:12	15:14	
Hora de entrada a decantación	15:12	15:14	15:16	
Hora de salida de decantación (más 20')	15:32	15:34	15:36	
Altura máxima de material fino	5.60	5.60	5.70	
Altura máxima de la arena	2.90	3.00	2.90	
Equivalente de arena	52	54	51	
Equivalente de arena promedio	52.3			
Resultado equivalente de arena	52			
Observaciones:				
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:		
 Dany Nahui Velasque ESPECIALISTA EN ENVÍO DE MATERIALES LABORATORIA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	 Aurejo Nahui Salvatierra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 113809			

Registrado en:  Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

DIRECCIONES: JR. JOSÉ C. MARIATEGUI N° 109 - BARRIO YANANACO - HUANCAMELICA
 PSJE. JOSÉ OLAYA N° 574 - LOS ÁNGELES - RÍMAC - LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
 RPM: #962950404 - CEL: 962950404
 TELEFONO FIJO - (067) - 480519.

Anexo 07.

Ensayo de caras fracturadas



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.

R.U.C.: 20600910028



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0				
DETERMINACION DE CARAS FRACTURADAS (MTC E210)		Fecha: 16/04/2019				
		Página: 1 de 1				
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS						
Tesis: DESEMPEÑO MECANICO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE LA TERMOLECTRICA DE ILO		N° CERTIFICADO:	N°00201-2019/DKGEOCONS			
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		FECHA:	16/04/2019			
DATOS DE LA MUESTRA						
CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO	PESO POR MALLAS	1 CARA FRACTURADA (B)	% POR MALLAS (C)	PORCENTAJE POR MALLAS (D)	(E) = (C)*(D)	(E)/(D)
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(A) (gr)	= (B/A)*100 (%)	(%)	(%)	
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2129.1	1890.0	88.8	11.2	992.0
1/2"	3/8"	1683.9	1345.0	79.9	10.6	845.7
TOTAL		3813.0	3235.0		21.8	1837.7
CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO	PESO POR MALLAS	2 CARAS FRACTURADAS (B)	% POR MALLAS (C)	PORCENTAJE POR MALLAS (D)	(E) = (C)*(D)	(E)/(D)
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(A) (gr)	= (B/A)*100 (%)	(%)	(%)	
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2129.1	1546.0	72.6	11.2	811.4
1/2"	3/8"	1683.9	1159.0	68.8	10.6	728.7
TOTAL		3813.0	2705.0		21.8	1540.2
OBSERVACIONES:						
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:		
 Daniel Dany Naranjo Velasque ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES LABORATORISTA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO		 Aurelio Nahui Sabaterra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 113809				

Registrado en:  Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

DIRECCIONES: JR. JOSÉ C. MARIATEGUI N° 109 – BARRIO YANANACO – HUANCVELICA.
PSJE. JOSÉ OLAYA N° 574 – LOS ÁNGELES – RÍMAC – LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
RPM: #962950404 – CEL: 962950404
TELÉFONO FIJO – (067) – 480519.

Anexo 08.

Ensayo de partículas chatas y alargadas



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.

R.U.C.: 20600910028



SENDDO

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0				
DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (NORMA ASTM D-4791)		Fecha: 16/04/2019				
		Página: 1 de 1				
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS						
Tesis: DESEMPEÑO MECANICO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE LA TERMOELECTRICA DE ILO		N°00201-2019/DKGECONSONS				
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		FECHA: 16/04/2019				
DATOS DE LA MUESTRA						
TAMIZ	Peso por mallas (A) (gr)	Peso chatas y alargadas (B) (gr)	Porcentaje (C)=(B)/(A)*100 (%)	Gradación Original (D) (%)	Corrección (E)=(C)*(D) (%)	(E)/(D) (%)
2 1/2" - 2"						
1" - 3/4"						
3/4" - 1/2"	2129	52.0	2.4	11.2	27.3	
1/2" - 3/8"	1684	108.0	6.4	10.6	67.9	
Peso Total (gr.)	3813	160.0		21.8	95.2	4.4
Observaciones:						
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:		
 Pavel Dany Nolas Velasque ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES LABORANTISTA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO		 Aurelio Nahui Salazar PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 113808				

Registrado en:  Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

DIRECCIONES: JR. JOSE C. MARIATEGUI N° 109 - BARRIO YANANACO - HUANCVELICA.
PSJE. JOSE OLAYA N° 574 - LOS ANGELES - RÍMAC - LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
RPM: #962950404 - CEL: 962950404
TELEFONO FIJO - (067) - 480519.

Anexo 09.

Ensayo de abrasión los ángeles



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.
R.U.C.: 20600910028



SENIDIO

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0		
ENSAYO DE ABRASION		Fecha: 16/04/2019		
MAQUINA DE LOS ANGELES - (MTC E207)		Página: 1 de 1		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS				
Tesis: DESEMPEÑO MECANICO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE LA TERMOLÉCTRICA DE ILO		Nº	Nº00201-	
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		CERTIFICADO:	2019/DKGEOCONS	
FECHA:		16/04/2019		
DATOS DE LA MUESTRA				
Tamiz Pasa - Retiene	Gradaciones			
	A	B	C	D
1 1/2" - 1"				
1" - 3/4"				
3/4" - 1/2"		2500.0		
1/2" - 3/8"		2500.0		
3/8" - 1/4"				
1/4" - Nº 4				
Nº 4 - Nº 8				
Peso Total		5000.0		
(%) Retenido en la malla Nº 12		3895.0		
(%) Que pasa en la malla Nº 12		1105.0		
Nº de esferas		11		
Peso de las esferas (gr)		4584 ± 25		
% Desgaste		22.1%		
OBSERVACIONES :				
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:		
 Dany N. Velasque ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES LABORATORISTA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	 Aurelio Nahui Saboterra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 119999			

DIRECCIONES: JR. JOSE C. MARIATEGUI N° 109 - BARRIO YANANACO - HUANCVELICA
PSJE. JOSÉ OLAYA N° 574 - LOS ANGELES - RIMAC - LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
RPM: #962950404 - CEL: 962950404
TELEFONO FIJO - (067) - 480519.

Registrado en:  Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

Anexo 10.

Ensayo de límites de consistencia



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.



SENDDO

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

R.U.C.: 20600910028

CONTROL DE CALIDAD

LÍMITES DE CONSISTENCIA
(MTC E110, MTC E111)

Revisión: 0
Fecha: 16/04/2019
Página: 1 de 1

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Tesis: **DESEMPEÑO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE LA TERMOELÉCTRICA DE ILO** N° CERTIFICADO: N°00201-2019/DKGEOCONS

ALUMNO: **JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI** FECHA: 16/04/2019

DATOS DE LA MUESTRA

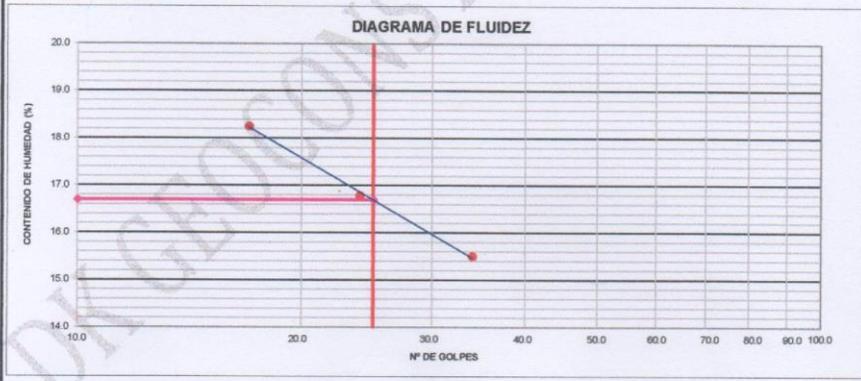
LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)

N° TARRO	2	5	4
TARRO + SUELO HÚMEDO	38.42	36.95	37.19
TARRO + SUELO SECO	35.08	33.62	33.57
AGUA	3.34	3.33	3.62
PESO DEL TARRO	13.54	13.78	13.74
PESO DEL SUELO SECO	21.54	19.84	19.83
% DE HUMEDAD	15.51	16.78	18.26
N° DE GOLPES	34	24	17

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)

N° TARRO			
TARRO + SUELO HÚMEDO			
TARRO + SUELO SECO			
AGUA			
PESO DEL TARRO			
PESO DEL SUELO SECO			
% DE HUMEDAD			

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		OBSERVACIONES
LÍMITE LÍQUIDO	16.70	
LÍMITE PLÁSTICO	N.P.	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.	

ELABORADO POR:



Parysmary Velasquez
ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES LABORATORISTA
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

REVISADO POR:



Aurelio Nahui Salvatierra
PROFESIONAL RESPONSABLE
GEOTECNISTA
COP. 11992

APROBADO POR:

DIRECCIONES: JR. JOSÉ C. MARIATEGUI N° 109 - BARRIO YANANACO - HUANCVELICA.
PSJE. JOSÉ OLAYA N° 574 - LOS ANGELES - RIMAC - LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
RPM: #962950404 - CEL: 962950404
TELÉFONO FIJO - (067) - 480519.

Registrado en:  Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019 /DSD-INDECOPI.

Anexo 11.

Ensayo de límites de consistencia



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

R.U.C.: 20600910028

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0	
LIMITES DE CONSISTENCIA		Fecha: 16/04/2019	
(MTC E110, MTC E111)		Página: 1 de 1	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
Tesis: DESEMPEÑO MECANICO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE LA TERMOELECTRICA DE ILO		N° CERTIFICADO: N°00201-2019/DKGEOCONS	
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		FECHA: 16/04/2019	
DATOS DE LA MUESTRA			
LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 200)			
N° TARRO	6	7	8
TARRO + SUELO HÚMEDO	35.94	38.51	36.08
TARRO + SUELO SECO	32.66	34.65	32.25
AGUA	3.28	3.86	3.82
PESO DEL TARRO	14.43	14.41	14.03
PESO DEL SUELO SECO	18.23	20.24	18.23
% DE HUMEDAD	17.99	19.07	20.95
N° DE GOLPES	34	23	15
LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 200)			
N° TARRO			
TARRO + SUELO HÚMEDO			
TARRO + SUELO SECO			
AGUA			
PESO DEL TARRO			
PESO DEL SUELO SECO			
% DE HUMEDAD			
CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		OBSERVACIONES	
LÍMITE LÍQUIDO	19.0		
LÍMITE PLÁSTICO	N.P.		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.		
ELABORADO POR:		REVISADO POR:	
 Pavel Dany Nahu Velasque ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES LABORATORISTA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO		 Aurelio Nahui Salvatierra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA SIP-118000	
APROBADO POR:			

Anexo 12.

Gravedad específica y absorción de los agregados



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

R.U.C.: 20600910028

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0		
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS (MTC E205/MTC E206)		Fecha: 16/04/2019		
		Página: 1 de 1		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS				
Tesis: DESEMPEÑO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE LA TERMOLÉCTRICA DE ILO		N° CERTIFICADO:	N°00201-2019/DKGEOCONS	
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		FECHA:	16/04/2019	
DATOS DE LA MUESTRA				
GRAVEDAD ESPECIFICA - AGREGADO FINO				
A	Peso material saturado superficialmente seco (en Aire) (gr)	500.0	500.0	
B	Peso frasco + agua (gr)	688.6	688.4	
C	Peso frasco + agua + A (gr)	1188.6	1188.4	
D	Peso del material + agua en el frasco (gr)	1000.4	980.1	
E	Volumen de masa + volumen de vacio = C-D (cm3)	188.2	188.3	
F	Peso de material seco en estufa (105°C) (gr)	494.8	494.6	
G	Volumen de masa = E - (A - F) (cm3)	183.0	183.1	PROMEDIO
	Pa bulk (Base seca) = F/E	2.629	2.628	2.628
	Pa bulk (Base saturada) = A/E	2.657	2.655	2.656
	Pa aparente (Base seca) = F/G	2.704	2.702	2.703
	% de absorción = ((A - F)/F)*100	1.1	1.1	1.1
OBSERVACIONES:				
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:
 Daniel Nahui Velasquez ESPECIALISTA EN ENSAYOS DE MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTO		 Aurelio Nahui Salvatierra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 113903		

DIRECCIONES: JR. JOSE C. MARIATEGUI N° 109 - BARRIO YANANACO - HUANCVELICA.
PS/E. JOSÉ OLAYA N° 574 - LOS ANGELES - RÍMAC - LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
RPM: #962950404 - CEL: 962950404
TELÉFONO FIJO - (067) - 480519.

Registrado en: Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

Anexo 13.

Análisis granulométrico por tamizado de ceniza volante



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.

R.U.C.: 20600910028



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E204)		Fecha: 16/04/2019					
		Página: 1 de 1					
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
TESIS: DESEMPEÑO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES DE LA TERMOELÉCTRICA DE ILO		N° CERTIFICADO: N°00201-2019/DKGEOCONS.					
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		FECHA: 16/04/2019					
DATOS DE LA MUESTRA							
Material: Filler Mineral	Agregado para Asfalto:	CENIZA VOLANTE					
Ubicación de la Muestra: -----							
Tamaño Máximo: # 40							
GRANULOMETRÍA							
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
7"	177.800						PESO TOTAL = 520.1 gr
6"	152.400						PESO LAVADO = 13.8 gr
5"	127.000						PESO FINO = 520.1 gr
4"	101.800						% HUMEDAD P.S.H. P.S.S. % Humedad
3"	76.200						Ensayo Malla #200 P.S.Seco. P.S.Lavado 200%
2 1/2"	63.500						520.1 13.8 97.36
2"	50.800						% Grava = 0.0 %
1 1/2"	38.100						% Arena = 2.7 %
1"	25.400						% Fino = 97.4 %
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
# 4	4.760						
# 8	2.360						
# 10	2.000						
# 16	1.180						
# 30	0.600				100.0		
# 40	0.420	0.3	0.1	0.1	99.9		
# 50	0.300						
# 80	0.180	3.0	0.6	0.7	99.3		
# 100	0.150						
# 200	0.075	10.0	1.9	2.7	97.4		
< # 200	FONDO	506.3	97.4	100.0	0.0		
FINO		520.1					
TOTAL		520.1					
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:					
 Pavel Dany Nahui Velasque ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES LABORATORIA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	 Aurelio Nahui Salvatierra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 115026						

Registrado en: Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

Anexo 14.

Análisis granulométrico por tamizado diseño para 5.5% Cemento Asfáltico.



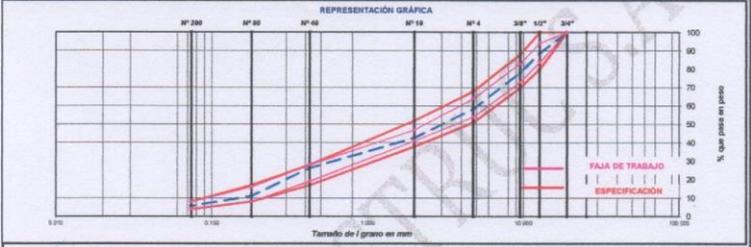
DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.
R.U.C.: 20600910028



SENDD

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAJO DE MATERIALES.

Registrado en:  Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0																																																																																																																																																																																																																	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E204)		Fecha: 16/04/2019																																																																																																																																																																																																																	
		Página: 1 de 1																																																																																																																																																																																																																	
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS																																																																																																																																																																																																																			
TESIS: DESEMPEÑO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLANTES DE LA TERMOELÉCTRICA DE ILO		Nº CERTIFICADO: N°00201-2019/DKGECON																																																																																																																																																																																																																	
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI		FECHA: 16/04/2019																																																																																																																																																																																																																	
DATOS DE LA MUESTRA																																																																																																																																																																																																																			
Diseño C.A. 5.5%																																																																																																																																																																																																																			
ENSAJO GRANULOMÉTRICO		LAVADO ASFÁLTICO																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th>TAMIZADO ASTM</th> <th>34"</th> <th>12"</th> <th>3"</th> <th>Nº 4</th> <th>Nº 10</th> <th>Nº 40</th> <th>Nº 60</th> <th>Nº 200</th> <th><Nº 200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ABERTURA EN mm</td> <td>19.050</td> <td>12.700</td> <td>9.535</td> <td>4.750</td> <td>2.000</td> <td>0.425</td> <td>0.18</td> <td>0.075</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO RETENIDO</td> <td>g</td> <td>4470.0</td> <td>4295.0</td> <td>7890.0</td> <td>190.1</td> <td>203.9</td> <td>188.0</td> <td>69.0</td> <td>71.7</td> </tr> <tr> <td>RETENIDO PARCIAL</td> <td>%</td> <td>11.2</td> <td>10.6</td> <td>19.7</td> <td>15.7</td> <td>18.4</td> <td>15.1</td> <td>5.5</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>RETENIDO ACUMULADO</td> <td>%</td> <td>11.2</td> <td>21.8</td> <td>41.5</td> <td>57.2</td> <td>73.6</td> <td>88.7</td> <td>94.2</td> <td>100.0</td> </tr> <tr> <td>PARA</td> <td>%</td> <td>100.0</td> <td>88.8</td> <td>78.2</td> <td>58.5</td> <td>42.8</td> <td>28.4</td> <td>11.3</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>ESPECIFICACIÓN</td> <td>%</td> <td>100</td> <td>80 - 100</td> <td>70 - 88</td> <td>51 - 68</td> <td>38 - 52</td> <td>17 - 28</td> <td>8 - 17</td> <td>4 - 8</td> </tr> </tbody> </table>	TAMIZADO ASTM	34"	12"	3"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 60	Nº 200	<Nº 200	ABERTURA EN mm	19.050	12.700	9.535	4.750	2.000	0.425	0.18	0.075		PESO RETENIDO	g	4470.0	4295.0	7890.0	190.1	203.9	188.0	69.0	71.7	RETENIDO PARCIAL	%	11.2	10.6	19.7	15.7	18.4	15.1	5.5	5.8	RETENIDO ACUMULADO	%	11.2	21.8	41.5	57.2	73.6	88.7	94.2	100.0	PARA	%	100.0	88.8	78.2	58.5	42.8	28.4	11.3	5.8	ESPECIFICACIÓN	%	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tbody> <tr> <td>Peso Mat. Secar</td> <td>g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Mat. Lavado</td> <td>g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Mat. Lav + Filtro</td> <td>g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de Asfalto</td> <td>g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Inicial de Filtro</td> <td>g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Final de Filtro</td> <td>g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de Filler</td> <td>g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FRACCIÓN</td> <td>%</td> <td>726.7</td> </tr> <tr> <td>PESO TOTAL</td> <td>g</td> <td>48006.8</td> </tr> </tbody> </table>	Peso Mat. Secar	g		Peso Mat. Lavado	g		Peso Mat. Lav + Filtro	g		Peso de Asfalto	g		Peso Inicial de Filtro	g		Peso Final de Filtro	g		Peso de Filler	g		FRACCIÓN	%	726.7	PESO TOTAL	g	48006.8																																																																																																																	
TAMIZADO ASTM	34"	12"	3"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 60	Nº 200	<Nº 200																																																																																																																																																																																																										
ABERTURA EN mm	19.050	12.700	9.535	4.750	2.000	0.425	0.18	0.075																																																																																																																																																																																																											
PESO RETENIDO	g	4470.0	4295.0	7890.0	190.1	203.9	188.0	69.0	71.7																																																																																																																																																																																																										
RETENIDO PARCIAL	%	11.2	10.6	19.7	15.7	18.4	15.1	5.5	5.8																																																																																																																																																																																																										
RETENIDO ACUMULADO	%	11.2	21.8	41.5	57.2	73.6	88.7	94.2	100.0																																																																																																																																																																																																										
PARA	%	100.0	88.8	78.2	58.5	42.8	28.4	11.3	5.8																																																																																																																																																																																																										
ESPECIFICACIÓN	%	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8																																																																																																																																																																																																										
Peso Mat. Secar	g																																																																																																																																																																																																																		
Peso Mat. Lavado	g																																																																																																																																																																																																																		
Peso Mat. Lav + Filtro	g																																																																																																																																																																																																																		
Peso de Asfalto	g																																																																																																																																																																																																																		
Peso Inicial de Filtro	g																																																																																																																																																																																																																		
Peso Final de Filtro	g																																																																																																																																																																																																																		
Peso de Filler	g																																																																																																																																																																																																																		
FRACCIÓN	%	726.7																																																																																																																																																																																																																	
PESO TOTAL	g	48006.8																																																																																																																																																																																																																	
REPRESENTACIÓN GRÁFICA 																																																																																																																																																																																																																			
ENSAJO MARSHALL ASTM D-1559																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th>BRQUETAS</th> <th>Nº</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>PROMEDIO</th> <th>ESPECIFIC.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA</td> <td>%</td> <td>5.5</td> <td>5.5</td> <td>5.5</td> <td>5.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4</td> <td>%</td> <td>39.21</td> <td>39.21</td> <td>39.21</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4</td> <td>%</td> <td>54.35</td> <td>54.35</td> <td>54.35</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA</td> <td>%</td> <td>0.89</td> <td>0.95</td> <td>0.85</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE</td> <td></td> <td>1.017</td> <td>1.017</td> <td>1.017</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK</td> <td></td> <td>2.898</td> <td>2.898</td> <td>2.898</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK</td> <td></td> <td>2.898</td> <td>2.898</td> <td>2.898</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8 PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE</td> <td></td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9 PESO DE LA BRQUETA AL AIRE</td> <td>g</td> <td>1210.4</td> <td>1214.0</td> <td>1211.8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10 PESO DE BRQUETA AL AIRE (SATURADO)</td> <td>g</td> <td>1211.5</td> <td>1215.1</td> <td>1212.7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11 PESO DE LA BRQUETA EN AGUA</td> <td>g</td> <td>897.6</td> <td>701.3</td> <td>898.7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12 VOLUMEN DE LA BRQUETA (10-11)</td> <td>c.c.</td> <td>513.9</td> <td>513.8</td> <td>513.0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>13 PESO DE LA PARAFINA (10-8)</td> <td>g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pa parafina)</td> <td>c.c.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15 VOLUMEN DE LA BRQUETA POR DESPACHAMIENTO (12-14)</td> <td>c.c.</td> <td>513.9</td> <td>513.8</td> <td>513.0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRQUETA (8/15)</td> <td>gr/c.c.</td> <td>2.385</td> <td>2.383</td> <td>2.382</td> <td>2.380</td> <td></td> </tr> <tr> <td>17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041</td> <td></td> <td>2.484</td> <td>2.484</td> <td>2.484</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>18 VACÍOS (17-16)/10017</td> <td>%</td> <td>5.2</td> <td>4.8</td> <td>4.8</td> <td>5.8</td> <td>3 - 5</td> </tr> <tr> <td>19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(2/6)+(3/7)+(4/8)</td> <td>%</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20 V.M.A. (100-(2+3+4)/1919)</td> <td>%</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>Mín. 14</td> </tr> <tr> <td>21 VACÍOS LLENOS CON C.A. (100/20-18/20)</td> <td>%</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td></td> </tr> <tr> <td>22 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(100/17)+(1/5)</td> <td>%</td> <td>2.711</td> <td>2.711</td> <td>2.711</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100/20-18/22*19)</td> <td>%</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td></td> </tr> <tr> <td>24 CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23/2+3+4/100)</td> <td>%</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td>8.9EPI</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25 FLUJO</td> <td>mm</td> <td>3.8</td> <td>3.8</td> <td>3.8</td> <td>3.7</td> <td>2 - 4</td> </tr> <tr> <td>26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR</td> <td>Kg</td> <td>1724.8</td> <td>1723.5</td> <td>1678</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>27 FACTOR DE ESTABILIDAD</td> <td>K</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>28 ESTABILIDAD CORREGIDA</td> <td>Kg</td> <td>1725</td> <td>1724</td> <td>1678</td> <td>1675</td> <td>Mín. 815</td> </tr> <tr> <td>29 ESTABILIDAD-FLUJO</td> <td>Kg/mm</td> <td>4539</td> <td>4788</td> <td>4378</td> <td>4588</td> <td>1700 - 4000</td> </tr> </tbody> </table>	BRQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.	1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.5	5.5	5.5	5.5		2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	39.21	39.21	39.21			3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	54.35	54.35	54.35			4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.89	0.95	0.85			5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.017	1.017	1.017			6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.898	2.898	2.898			7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.898	2.898	2.898			8 PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI			9 PESO DE LA BRQUETA AL AIRE	g	1210.4	1214.0	1211.8			10 PESO DE BRQUETA AL AIRE (SATURADO)	g	1211.5	1215.1	1212.7			11 PESO DE LA BRQUETA EN AGUA	g	897.6	701.3	898.7			12 VOLUMEN DE LA BRQUETA (10-11)	c.c.	513.9	513.8	513.0			13 PESO DE LA PARAFINA (10-8)	g						14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pa parafina)	c.c.						15 VOLUMEN DE LA BRQUETA POR DESPACHAMIENTO (12-14)	c.c.	513.9	513.8	513.0			16 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRQUETA (8/15)	gr/c.c.	2.385	2.383	2.382	2.380		17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.484	2.484	2.484			18 VACÍOS (17-16)/10017	%	5.2	4.8	4.8	5.8	3 - 5	19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(2/6)+(3/7)+(4/8)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI		20 V.M.A. (100-(2+3+4)/1919)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	Mín. 14	21 VACÍOS LLENOS CON C.A. (100/20-18/20)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI		22 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(100/17)+(1/5)	%	2.711	2.711	2.711			23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100/20-18/22*19)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI		24 CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23/2+3+4/100)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI			25 FLUJO	mm	3.8	3.8	3.8	3.7	2 - 4	26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1724.8	1723.5	1678			27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00			28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1725	1724	1678	1675	Mín. 815	29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/mm	4539	4788	4378	4588	1700 - 4000	<p>OBSERVACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> Grava triturada 3/15" - cantera Rio Mantaro) 41% Arena triturada 3/15" - cantera Rio Mantaro) 33% Arena natural - Cantera RIVERA 25% Filler (Cal Hidratada) 1% Cemento asfáltico 6.8% Cemento asfáltico PEN 85 - 100
BRQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.																																																																																																																																																																																																													
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.5	5.5	5.5	5.5																																																																																																																																																																																																														
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	39.21	39.21	39.21																																																																																																																																																																																																															
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	54.35	54.35	54.35																																																																																																																																																																																																															
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.89	0.95	0.85																																																																																																																																																																																																															
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.017	1.017	1.017																																																																																																																																																																																																															
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.898	2.898	2.898																																																																																																																																																																																																															
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.898	2.898	2.898																																																																																																																																																																																																															
8 PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI																																																																																																																																																																																																															
9 PESO DE LA BRQUETA AL AIRE	g	1210.4	1214.0	1211.8																																																																																																																																																																																																															
10 PESO DE BRQUETA AL AIRE (SATURADO)	g	1211.5	1215.1	1212.7																																																																																																																																																																																																															
11 PESO DE LA BRQUETA EN AGUA	g	897.6	701.3	898.7																																																																																																																																																																																																															
12 VOLUMEN DE LA BRQUETA (10-11)	c.c.	513.9	513.8	513.0																																																																																																																																																																																																															
13 PESO DE LA PARAFINA (10-8)	g																																																																																																																																																																																																																		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pa parafina)	c.c.																																																																																																																																																																																																																		
15 VOLUMEN DE LA BRQUETA POR DESPACHAMIENTO (12-14)	c.c.	513.9	513.8	513.0																																																																																																																																																																																																															
16 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRQUETA (8/15)	gr/c.c.	2.385	2.383	2.382	2.380																																																																																																																																																																																																														
17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.484	2.484	2.484																																																																																																																																																																																																															
18 VACÍOS (17-16)/10017	%	5.2	4.8	4.8	5.8	3 - 5																																																																																																																																																																																																													
19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(2/6)+(3/7)+(4/8)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI																																																																																																																																																																																																														
20 V.M.A. (100-(2+3+4)/1919)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	Mín. 14																																																																																																																																																																																																													
21 VACÍOS LLENOS CON C.A. (100/20-18/20)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI																																																																																																																																																																																																														
22 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(100/17)+(1/5)	%	2.711	2.711	2.711																																																																																																																																																																																																															
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100/20-18/22*19)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI																																																																																																																																																																																																														
24 CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23/2+3+4/100)	%	8.9EPI	8.9EPI	8.9EPI																																																																																																																																																																																																															
25 FLUJO	mm	3.8	3.8	3.8	3.7	2 - 4																																																																																																																																																																																																													
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1724.8	1723.5	1678																																																																																																																																																																																																															
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00																																																																																																																																																																																																															
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1725	1724	1678	1675	Mín. 815																																																																																																																																																																																																													
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/mm	4539	4788	4378	4588	1700 - 4000																																																																																																																																																																																																													
ELABORADO POR:  Daniel Dany Canui Velasquez ESPECIALISTA EN GEOTECNIA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	REVISADO POR:  Aurelio Nahai Salvatierra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 113953	APROBADO POR: _____																																																																																																																																																																																																																	

DIRECCIONES: JR. JOSE C. MARIATEGUI N° 109 - BARRIO YANANACO - HUANCAVELICA.
PSJE. JOSÉ OLAYA N° 574 - LOS ANGELES - RÍMAC - LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
RPM: #962950404 - CEL: 962950404
TELÉFONO FIJO - (0671) - 480519.

Anexo 15.

Análisis granulométrico por tamizado diseño para 6.0% Cemento Asfáltico



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.
R.U.C.: 20600910028



SENDDO

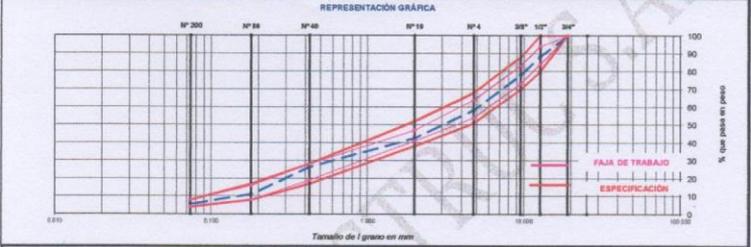
ESTUDIOS GEOTÉCNICOS,
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO.
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS.
ENSAYO DE MATERIALES.

CONTROL DE CALIDAD		Fecha: 16/04/2019
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E204)		Página: 1 de 1
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
TESIS: DESARROLLO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENIZAS VOLCÁNTICAS DE LA TERMOELÉCTRICA DE ILO.		N° CERTIFICADO: N°00201-2019/DKGECON
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCAST		FECHA: 16/04/2019

DATOS DE LA MUESTRA	
Tramo:	Ubicación:
Cantera:	
Material:	
Tamaño Máximo:	

ENSAYO GRANULOMÉTRICO										LAVADO ASFÁLTICO	
TAMIZO ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 60	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. SLaver	g
ABERTURA EN mm	19.000	12.700	9.525	4.750	2.000	0.850	0.150	0.075		Peso Mat. Lavado	g
PESO RETENIDO	g	4470.0	4235.0	7350.0	199.1	203.2	168.0	69.0	71.7	Peso Mat. Lav + Filtro	g
RETENIDO PARCIAL	%	11.2	10.6	10.7	15.7	15.4	15.1	5.5	5.8	Peso de Asfalto	g
RETENIDO ACUMULADO	%	11.2	21.8	41.5	57.2	73.6	88.7	94.2	100.0	Peso Inicial de Filtro	g
PASA	%	100.0	88.8	78.2	58.5	47.8	25.4	11.3	5.8	Peso Final de Filtro	g
ESPECIFICACIÓN	%	100	80-100	75-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	Peso en Filtro	g
ASFALTO LÍQUIDO										FRACCIÓN	%
TRAMO ASFALTADO										PESO TOTAL	g
											40000.0

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



Tamaño de grano en mm

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
BRQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1. C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0	6.0	
2. AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	39.00	39.00	39.00	39.00	
3. AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	54.08	54.08	54.08	54.08	
4. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.94	0.94	0.94	0.94	
5. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.017	1.017	1.017	1.017	
6. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.856	2.856	2.856	2.856	
7. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.908	2.908	2.908	2.908	
8. PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	
9. PESO DE LA BRQUETA AL AIRE	g	1213.4	1212.2	1212.8		
10. PESO DE BRQUETA AL AIRE (SATURADO)	g	1214.3	1212.9	1213.8		
11. PESO DE LA BRQUETA EN AGUA	g	701.8	703.8	701.4		
12. VOLUMEN DE LA BRQUETA (10-11)	c.c.	512.5	509.1	512.4		
13. PESO DE LA PARAFINA (10-9)	g	0.0	0.0	0.0		
14. VOLUMEN DE PARAFINA (13/9e parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15. VOLUMEN DE LA BRQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	c.c.	512.5	509.1	512.4		
16. PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRQUETA (9/15)	g/cc	2.388	2.381	2.387	2.372	
17. PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.470	2.470	2.478		
18. VACIOS (17-16)/(100/17)	%	4.4	3.8	4.4	4.2	3 - 5
19. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(20)+(37)+(4/9))		8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	
20. V.M.A. (2+3+4)/(19/19)	%	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	Mín. 14
21. VACIOS LLENOS CON C.A. 100/(20-18/20)	%	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	
22. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/17)+(1/6))		2.725	2.725	2.725		
23. C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*(5/22-19)/(52*19)	%	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	
24. CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23)/(2+3+4)/(19))	%	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	8.0E+1	
25. FLUJO	mm	4.1	3.9	3.9	3.9	2 - 4
26. ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	1478.2	1553	1531.7		
27. FACTOR DE ESTABILIDAD	%	1.00	1.00	1.00		
28. ESTABILIDAD CORREGIDA	kg	1478	1553	1531	1521	Mín. 915
29. ESTABILIDAD-FLUJO	kg/cm	3865	4087	4031	3868	1700 - 4000

OBSERVACIONES:

- Grava triturada 3/4" - cantera Río Mantaro) 41%
- Arena triturada 3/16" - cantera Río Mantaro) 33%
- Arena natural - Cantera RIVERA 23%
- Filler (Cal Hidratada) 1%
- Cemento asfáltico 6.0%
- Cemento asfáltico PEN 85 - 100

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Dany Nohmi Velasquez ESPECIALISTA EN PRUEBAS DE LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	 Anselmo Nahui Salvatierra PROFESIONAL RESPONSABLE GEOTECNISTA CIP: 113593	

Registrado en: **Indecopi** - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSJ-INDECOPI.

DIRECCIONES: JR. JOSE C. MARIATEGUI N° 109 - BARRIO YANANACO - HUANCAMELICA.
 PSJE. JOSÉ OLAYA N° 574 - LOS ANGELES - RÍMAC - LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
 RPM: #962950404 - CEL: 962950404
 TELEFONO FIJO - (067) - 480519.

95

Anexo 17.

Análisis granulométrico por tamizado diseño para 7.0%



DK GEOCONSTRUC
DK GEOTECNIA CONSTRUCCIONES Y NEGOCIACIONES S.A.C.

R.U.C.: 20600910028



SENIDIO

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS,
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO,
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS,
ENSAYO DE MATERIALES.

CONTROL DE CALIDAD		Fecha: 16/04/2019
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E204)		Página: 1 de 1
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
TESIS: DESEMPEÑO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CERIZAS VOLANTES DE LA TIPOLOGÍA DE J.C.		N° CERTIFICADO: N°00201-2019/DK.GEOCONSTRUC
ALUMNO: JUAN CARLOS PEÑA ANCCASTI		FECHA: 16/04/2019
DATOS DE LA MUESTRA		
Tramo:		
Cantera:	Ubicación:	
Material:		
Tamaño Máximo:		

Diseño C.A. 7.0 %

ENSAYO GRANULOMÉTRICO										LAVADO ASFÁLTICO	
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 60	N° 200	<N°200	Peso Mat. Lavado	gr
ABERTURA EN mm	19.050	12.700	9.525	4.760	2.000	0.425	0.58	0.074			
PESO RETENIDO	gr.	4470.0	4235.0	7890.0	196.1	203.9	188.0	69.0	71.7	Peso Mat. Lavado + Filtro	gr.
RETENIDO PARCIAL	%	11.2	10.8	19.7	15.7	18.4	15.1	3.5	2.8	Peso de Asfalto	gr.
RETENIDO ACUMULADO	%	11.2	21.8	41.5	57.2	73.6	88.7	94.2	100.0	Peso inicial de Filtro	gr.
PASA	%	100.0	88.8	78.2	58.5	42.8	28.4	11.3	5.8	Peso final de Filtro	gr.
ESPECIFICACIÓN	%	100	85-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	Peso de Filtro	gr.
ASFALTO LÍQUIDO										FRACCIÓN	%
TRAMO ASFALTADO										PESO TOTAL	gr.
											728.7
											40000.0

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



Tamaño de grano en mm

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
BRQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1. C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	7.0	7.0	7.0	7.0	
2. AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N°4	%	38.56	38.56	38.56	38.56	
3. AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA <N°4	%	53.49	53.49	53.49	53.49	
4. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.93	0.93	0.93	0.93	
5. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE	gr	1.017	1.017	1.017	1.017	
6. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK	gr	2.858	2.858	2.858	2.858	
7. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	gr	2.868	2.868	2.868	2.868	
8. PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
9. PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1204.4	1209.9	1207.2		
10. PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1205.0	1210.2	1207.5		
11. PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	895.7	700.9	897.5		
12. VOLUMEN DE LA BRIQUETA (18-11)	c.c.	509.3	510.2	510.0		
13. PESO DE LA PARAFINA (19-9)	gr					
14. VOLUMEN DE PARAFINA (13Fp parafina)	c.c.					
15. VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	c.c.	509.3	510.2	510.0		
16. PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (B15)	gr/c.c.	2.365	2.371	2.367	2.368	
17. PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041	gr/c.c.	2.458	2.456	2.456		
18. VACÍOS (17-18)*100/17	%	3.7	3.5	3.6	3.6	3 - 5
19. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(26)(37)(48)	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
20. V.M.A. 100-(2+3+4)(18/19)	%	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	Mín. 14
21. VACÍOS LLENOS CON C.A. 100(28-18)/20	%	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
22. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(100/17)(15)	gr	2.749	2.749	2.749	2.749	
23. C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*(9)(22-19)(22/19)	%	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
24. CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(22)(2+3+4)(10)	%	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
25. FLUJO	mm	4.8	4.8	4.6	4.7	2 - 4
26. ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1004.8	1148.3	1094.8		
27. FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00		
28. ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1085	1148	1085	1079	Mín. 815
29. ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/m	2083	2382	2358	2281	1700 - 4000

OBSERVACIONES:

- Grava triturada 3/4" - cantera Río Mantaro) 41%
- Arena triturada 3/8" - cantera Río Mantaro) 33%
- Arena natural - Cantera RIVERA 25%
- Filler (Cal Hidratada) 1%
- Cemento asfáltico 8.0%
- Cemento asfáltico PEN 85 - 100

ELABORADO POR:



Dayu Nahui Velasquez
ESPECIALISTA EN ENSAYO DE MATERIALES LABORATORIA

REVISADO POR:



Aurelio Nahui Salvatierra
PROFESIONAL RESPONSABLE
GEOTECNISTA
CIP: 118300

APROBADO POR:

DIRECCIONES: JR. JOSE C. MARIATEGUI N° 109 - BARRIO YANANACO - HUANCAMELICA,
PSJE. JOSÉ OLAYA N° 574 - LOS ANGELES - RIMAC - LIMA.

E-MAIL: dkgeoconstruc@gmail.com
RPM: #962950404 - CEL: 962950404
TELÉFONO FIJO - (0671) - 480519.

Registrado en: Indecopi - RESOLUCIÓN-012122-2019/DSD-INDECOPI.

Anexo 18.

Fotografías del procedimiento de ensayo Marshall.



Fotografía 01, Mezcla de muestras calientes antes de compactar.

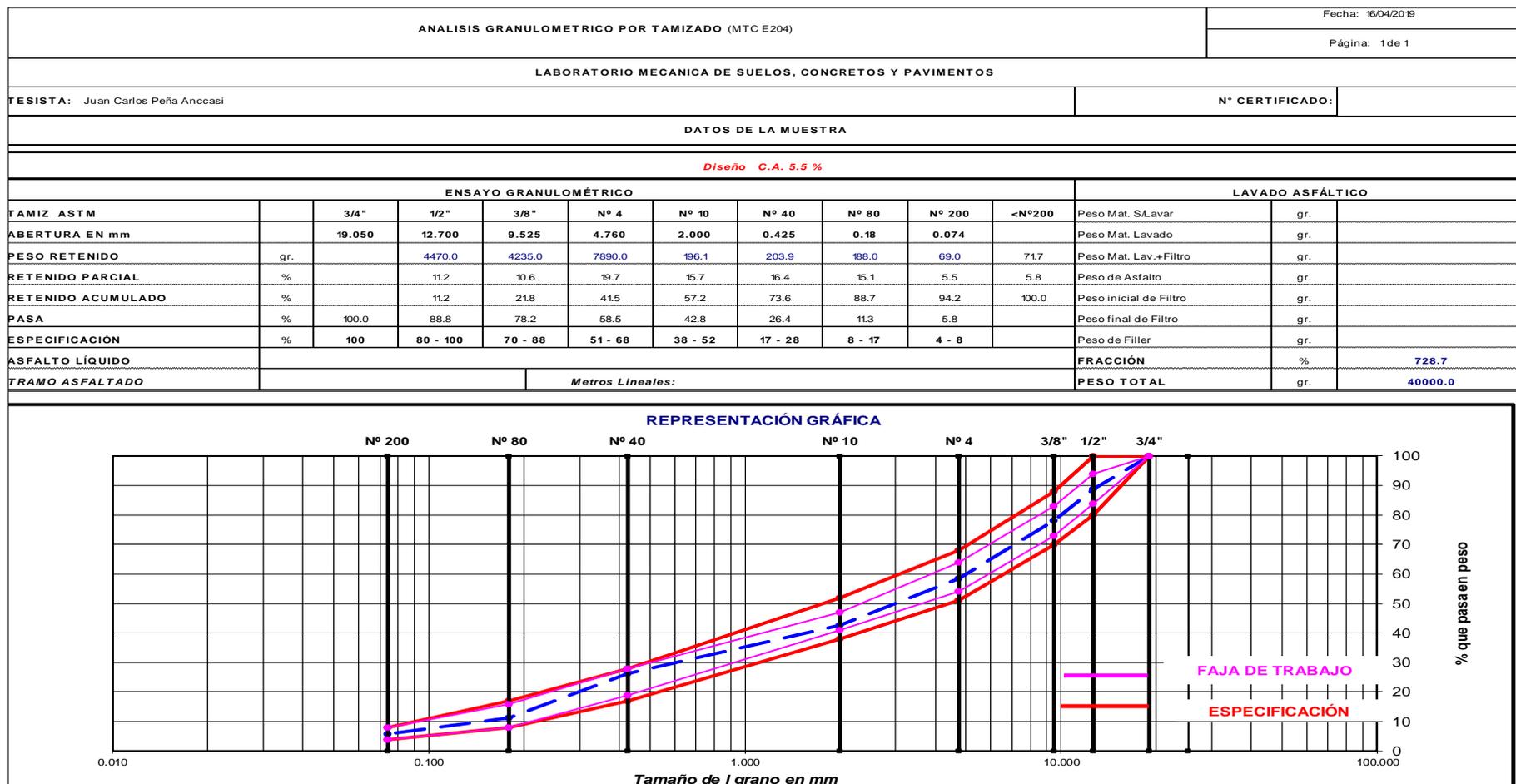


Fotografía 02, Compactado de la mezcla.



Fotografía 03, Rotura de briquetas, prensa Marshall.

Anexo 19.



Análisis granulométrico por tamizado de mezcla asfáltica tipo Mac 2

Fuente: Elaboración propia

Anexo 20.

Ensayo Marshall ASTM D-1559 porcentaje de asfalto 5.5%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.5	5.5	5.5	5.5
2	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	39.21	39.21	39.21	
3	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	54.35	54.35	54.35	
4	FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.95	0.95	0.95	
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.017	1.017	1.017	
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.656	2.656	2.656	
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.666	2.666	2.666	
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		2.268	2.268	2.268	
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1210.4	1214.0	1211.8	
10	PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1211.5	1215.1	1212.7	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	697.6	701.3	699.7	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	513.9	513.8	513.0	
13	PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.				
14	VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.				
15	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	513.9	513.8	513.0	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.355	2.363	2.362	2.360
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.484	2.484	2.484	
18	VACÍOS (17-16)*100/17	%	5.2	4.9	4.9	3 - 5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.657	2.657	2.657	
20	V.M.A. $100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.2	16.0	16.0	Min. 14
21	VACÍOS LLENOS CON C.A. $100 * (20-18) / 20$	%	68.1	69.5	69.3	69.0
22	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.711	2.711	2.711	
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL $(100 * 5 * (22-19)) / (22 * 19)$	%	0.77	0.77	0.77	
24	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO $1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	4.77	4.77	4.77	
25	FLUJO	mm	3.8	3.6	3.6	2 - 4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1724.9	1723.5	1576	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1725	1724	1576	Min. 815
29	ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	4539	4788	4378	1700 - 4000
OBSERVACIONES:						
Grava triturada 3/4" - cantera Río Mantaro)		41%				
Arena triturada 3/16" - cantera Río Mantaro)		33%				
Arena natural - Cantera RIVERA		25%				
Filler (Cal Hidratada)		1%				
Cemento asfáltico		6.0%				
Aditivo mejorador de adherencia		0.8%				
Cemento asfáltico		PEN 85 - 100				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 21.

Ensayo Marshall ASTM D-1559 para un porcentaje de asfalto del 6.0%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0	6.0
2	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	39.00	39.00	39.00	
3	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	54.06	54.06	54.06	
4	FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.94	0.94	0.94	
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.017	1.017	1.017	
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.656	2.656	2.656	
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.666	2.666	2.666	
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		2.268	2.268	2.268	
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1213.4	1212.2	1212.8	
10	PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1214.3	1212.9	1213.8	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	701.8	703.8	701.4	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	512.5	509.1	512.4	
13	PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0	
14	VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0	
15	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	512.5	509.1	512.4	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.368	2.381	2.367	2.372
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.476	2.476	2.476	
18	VACÍOS (17-16)*100/17	%	4.4	3.8	4.4	4.2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.657	2.657	2.657	
20	V.M.A. $100-(2+3+4)*(16/19)$	%	16.2	15.8	16.3	16.1
21	VACÍOS LLENOS CON C.A. $100*(20-18)/20$	%	73.1	75.7	72.9	73.9
22	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.725	2.725	2.725	
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/(22*19)	%	0.96	0.96	0.96	
24	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO $1-(23*(2+3+4)/100)$	%	5.10	5.10	5.10	
25	FLUJO	mm	4.1	3.8	3.8	3.9
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1478.2	1553	1531.7	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1478	1553	1532	1521
29	ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3605	4087	4031	3908
OBSERVACIONES:						
Grava triturada 3/4" - cantera Río Mantaro)		41%				
Arena triturada 3/16" - cantera Río Mantaro)		33%				
Arena natural - Cantera RIVERA		25%				
Filler (Cal Hidratada)		1%				
Cemento asfáltico		6.0%				
Aditivo mejorador de adherencia		0.8%				
Cemento asfáltico		PEN 85 - 100				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 22.

Ensayo Marshall ASTM D-1559 para un porcentaje de asfalto del 6.5%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							
BRIQUETAS		Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.5	6.5	6.5	6.5	
2	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	38.79	38.79	38.79		
3	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	53.77	53.77	53.77		
4	FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.94	0.94	0.94		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.017	1.017	1.017		
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.656	2.656	2.656		
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.666	2.666	2.666		
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		2.268	2.268	2.268		
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1211.4	1209.8	1212.3		
10	PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1212.4	1210.9	1212.8		
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	701.2	698.6	703.7		
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	511.2	512.3	509.1		
13	PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.					
14	VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.					
15	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	511.2	512.3	509.1		
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.370	2.362	2.381	2.371	
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.464	2.464	2.464		
18	VACÍOS (17-16)*100/17	%	3.8	4.2	3.4	3.8	3 - 5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.657	2.657	2.657		
20	V.M.A. $100-(2+3+4)/(16/19)$	%	16.6	16.9	16.2	16.6	Min. 14
21	VACÍOS LLENOS CON C.A. $100*(20-18)/20$	%	77.0	75.4	79.3	77.2	
22	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.734	2.734	2.734		
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL $(100*5*(22-19))/(22*19)$	%	1.09	1.09	1.09		
24	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO $1-(23*(2+3+4)/100)$	%	5.49	5.49	5.49		
25	FLUJO	mm	3.8	4.1	4.3	4.1	2 - 4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1442.7	1713.6	1383.6		
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	0.96	1.00		
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1443	1645	1384	1490	Min. 815
29	ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3797	4012	3218	3676	1700 - 4000

OBSERVACIONES:

Grava triturada 3/4" - cantera Río Mantaro)	41%
Arena triturada 3/16" - cantera Río Mantaro)	33%
Arena natural - Cantera RIVERA	25%
Filler (Cal Hidratada)	1%
Cemento asfáltico	6.0%
Aditivo mejorador de adherencia	0.8%
Cemento asfáltico	PEN 85 - 100

Fuente: Elaboración propia

Anexo 23.

Ensayo Marshall ASTM D-1559 para un porcentaje de asfalto del 7.0%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	7.0	7.0	7.0	7.0
2	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	38.58	38.58	38.58	
3	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	53.49	53.49	53.49	
4	FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.93	0.93	0.93	
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.017	1.017	1.017	
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.656	2.656	2.656	
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.666	2.666	2.666	
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		2.268	2.268	2.268	
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1204.4	1209.8	1207.2	
10	PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1205.0	1210.2	1207.5	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	695.7	700.0	697.5	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	509.3	510.2	510.0	
13	PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.				
14	VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.				
15	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	509.3	510.2	510.0	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.365	2.371	2.367	2.368
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.456	2.456	2.456	
18	VACÍOS (17-16)*100/17	%	3.7	3.5	3.6	3 - 5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.657	2.657	2.657	
20	V.M.A. $100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	17.2	17.0	17.1	17.1
21	VACÍOS LLENOS CON C.A. $100 * (20-18) / 20$	%	78.4	79.7	78.9	79.0
22	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.749	2.749	2.749	
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL $(100 * 5 * (22-19)) / (22 * 19)$	%	1.28	1.28	1.28	
24	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO $1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.81	5.81	5.81	
25	FLUJO	mm	4.8	4.8	4.6	4.7
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1004.6	1148.2	1084.8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1005	1148	1085	1079
29	ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	2093	2392	2358	2281
OBSERVACIONES:						
Grava triturada 3/4" - cantera Río Mantaro)		41%				
Arena triturada 3/16" - cantera Río Mantaro)		33%				
Arena natural - Cantera RIVERA		25%				
Filler (Cal Hidratada)		1%				
Cemento asfáltico		6.0%				
Aditivo mejorador de adherencia		0.8%				
Cemento asfáltico		PEN 85 - 100				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 24.

Ensayo Marshall ASTM D-1559 para el óptimo contenido 6.0%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFIC.
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.00	6.00	6.00	6.00
2	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	39.00	39.00	39.00	
3	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	54.06	54.06	54.06	
4	FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.94	0.94	0.94	
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.017	1.017	1.017	
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.656	2.656	2.656	
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.666	2.666	2.666	
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		2.268	2.268	2.268	
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1213.4	1212.2	1212.8	
10	PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1214.3	1212.9	1213.8	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	701.4	703.8	701.4	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	512.9	509.1	512.4	
13	PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.				
14	VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.				
15	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	512.9	509.1	512.4	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.366	2.381	2.367	2.371
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.476	2.476	2.476	
18	VACÍOS (17-16)*100/17	%	4.4	3.8	4.4	3 - 5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.657	2.657	2.657	
20	V.M.A. $100 - (2+3+4) * (16/19)$	%	16.3	15.8	16.3	Min. 14
21	VACÍOS LLENOS CON C.A. $100 * (20-18) / 20$	%	72.7	75.7	72.9	73.8
22	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.725	2.725	2.725	
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL $(100 * 5 * (22-19)) / (22 * 19)$	%	0.96	0.96	0.96	
24	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO $1 - (23 * (2+3+4) / 100)$	%	5.10	5.10	5.10	
25	FLUJO	mm	4.1	3.8	3.8	2 - 4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1478.2	1553	1531.7	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	0.96	1.00	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1478	1491	1532	1500
29	ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3605	3923	4031	3853
OBSERVACIONES:						
Grava triturada 3/4" - cantera Río Mantaro)		41%				
Arena triturada 3/16" - cantera Río Mantaro)		33%				
Arena natural - Cantera RIVERA		25%				
Filler (Cal Hidratada)		1%				
Cemento asfáltico		6.0%				
Aditivo mejorador de adherencia		0.8%				
Cemento asfáltico		PEN 85 - 100				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 25.

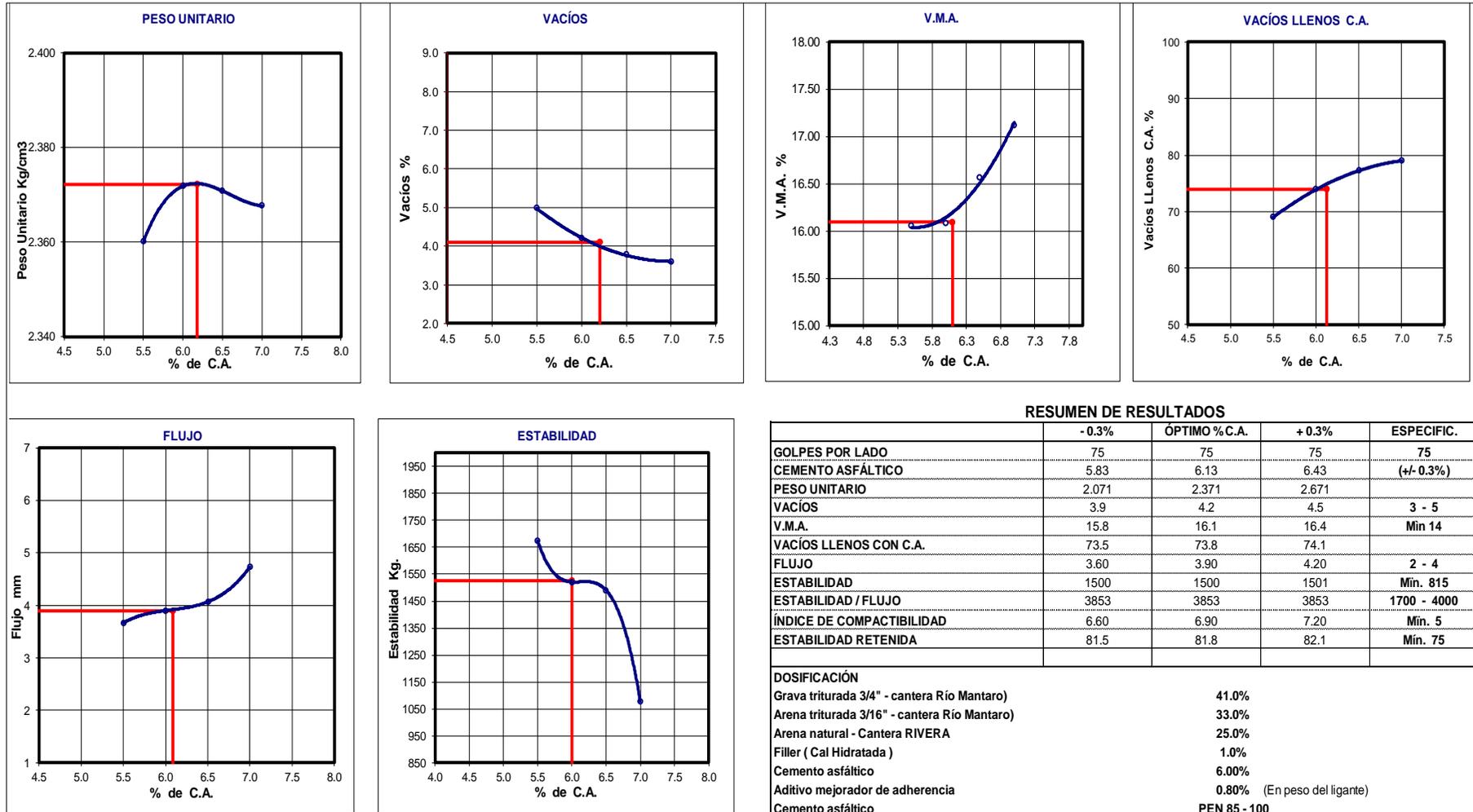
Resultados de estabilidad retenida e índice de compactibilidad.

ESTABILIDAD RETENIDA									
BRIQUETA	Nº	1	2	3	PROMEDIO	1	2	3	PROMEDIO
Golpes	Nº	75	75	75		75	75	75	
Cemento asfáltico	%	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00	6.00	
Peso de la briqueta al aire	gr	1213.4	1212.2	1212.8		1208.9	1208.1	1205.4	
Peso de la briqueta	gr	1214.3	1212.9	1213.8		1210.6	1210.5	1207.7	
Peso de briqueta	gr	701.4	703.8	701.4		684.9	685.4	682.9	
Volumen de la briqueta	cc	512.9	509.1	512.4		525.7	525.1	524.8	
Peso de la parafina	gr	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
Volumen de la parafina	cc	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
Volumen de la briqueta	cc	512.9	509.1	512.4		525.7	525.1	524.8	
Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.366	2.381	2.367		2.300	2.301	2.297	
Flujo	mm	4.10	3.80	3.80	3.9				
Estabilidad sin corregir	kg	1478.2	1553	1531.7		1256.47	1320.05	1256.47	
Factor de corrección		1.00	0.96	1.00		0.96	0.96	0.96	
Estabilidad corregida	kg	1478	1491	1532	1500	1206	1267	1206	1227
ESTABILIDAD CORREGIDA	%	81.8							
INDICE DE COMPACTIBILIDAD									
BRIQUETA	Nº	1	2	3	PROMEDIO	1a	2a	3a	PROMEDIO
Golpes	Nº	50	50	50		5	5	5	
Cemento Asfáltico	%	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00	6.00	
Peso de la briqueta al aire	gr	1211.1	1206.3	1207.6		1197.6	1203.6	1205.5	
Peso de la briqueta	gr	1214.1	1209.6	1210.5		1205.4	1211.1	1213.4	
Peso de la briqueta	gr	680.4	676.9	678.1		639.7	644.6	646.3	
Volumen de la briqueta	cc	533.7	532.7	532.4		565.7	566.5	567.1	
Peso de la parafina	gr	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
Volumen de la p	cc	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
Volumen de la briqueta	cc	533.7	532.7	532.4		565.7	566.5	567.1	
Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.269	2.265	2.268	2.267	2.117	2.125	2.126	2.122
INDICE DE COMPACTIBILIDAD	%	6.90							

Fuente: Elaboración propia

Anexo 26.

Resultados de parámetros Marshall para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 27.

Resultados de estabilidad y flujo con adición de 0.25% de ceniza volante y 0.75% de cal hidratada para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.

		ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						Fecha: 16/04/2019	
								Página: 1 de 1	
DATOS DE LA MUESTRA									
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559								CONVERSIÓN DE FLUJO	
	BRIQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFI.	10	2.54
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0			11	2.8
2	CENIZA VOLANTE	%	0.25	0.25	0.25			11	2.8
3	CAL HIDRATADA	%	0.75	0.75	0.75			12	3.0
4	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1214.6	1206.7	1208.4	1209.90		13	3.3
5	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr.	1215.8	1207.9	1209.6	1211.1		14	3.6
6	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr.	705.0	700.6	701.4	702.35		15	3.8
7	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	c.c	510.8	507.3	508.2	508.75		16	4.1
8	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	gr/c.c	2.378	2.379	2.378	2.378		17	4.3
9	FLUJO	mm.	4.1	3.0	3.8	3.80		18	4.6
10	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1200.5	1182.6	1223.5	1202.2		19	4.8
11	FACTOR DE ESTABILIDAD	k.	1.0	1.0	1.0	1.0		20	5.1
12	ESTABILIDAD CORREGIDA	kg.	1200.5	1182.6	1223.5	1202.2		21	5.3
13	ESTABILIDAD-FLUJO	kg/cm.	2928.0	3942.0	3219.7	3164	1700-4000	22	5.6

Fuente: Elaboración propia

Anexo 28.

Resultados de estabilidad y flujo con adición de 0.35% de ceniza volante y 0.65% de cal hidratada para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							Fecha: 16/04/2019		
							Página: 1 de 1		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS									
DATOS DE LA MUESTRA									
	ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							COMVERCION DE FLUJO	
	BRIQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFI.	10	2.54
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0			11	2.8
2	CENIZA VOLANTE	%	0.35	0.35	0.35			11	2.8
3	CAL HIDRATADA	%	0.65	0.65	0.65			12	3.0
4	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1209.7	1208.2	1210	1209.30		13	3.3
5	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr.	1210.7	1209.2	1211	1210.30		14	3.6
6	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr.	702.6	701.3	703.0	702		15	3.8
7	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	c.c	508.1	507.9	508.0	507.98		16	4.1
8	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	gr/c.c	2.381	2.379	2.382	2.381		17	4.3
9	FLUJO	mm.	4.1	4.1	4.3	4.30		18	4.6
10	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1321.7	1342.7	1350.4	1300.1		19	4.8
11	FACTOR DE ESTABILIDAD	k.	1.04	1.04	1.04			20	5.1
12	ESTABILIDAD CORREGIDA	kg.	1374.6	1396.4	1404.4	1391.8		21	5.3
13	ESTABILIDAD-FLUJO	kg/cm.	3352.6	3405.9	3266.1	3237	1700-4000	22	5.6

Fuente: Elaboración propia

Anexo 29.

Resultados de estabilidad y flujo con adición de 0.50% de ceniza volante y 0.50% de cal hidratada para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							Fecha: 16/04/2019		
							Página: 1 de 1		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS									
DATOS DE LA MUESTRA									
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							CONVERSION DEL FLUJO		
	BRIQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFI.	10	2.54
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0			11	2.8
2	CENIZA VOLANTE	%	0.50	0.50	0.50			11	2.8
3	CAL HIDRATADA	%	0.50	0.50	0.50			12	3.0
4	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1212.6	1210.4	1211.7	1211.57		13	3.3
5	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr.	1213.7	1211.5	1212.8	1212.67		14	3.6
6	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr.	705.3	704.4	704.3	704.66		15	3.8
7	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	c.c	508.4	507.1	508.5	508.01		16	4.1
8	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	gr/c.c	2.385	2.387	2.383	2.385		17	4.3
9	FLUJO	mm.	4.6	4.6	4.3	4.60		18	4.6
10	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1446.7	1407.2	1459.5	1437.8		19	4.8
11	FACTOR DE ESTABILIDAD	k.	1.04	1.04	1.04			20	5.1
12	ESTABILIDAD CORREGIDA	kg.	1504.6	1463.5	1517.9	1495.3		21	5.3
13	ESTABILIDAD-FLUJO	kg/cm.	3270.8	3181.5	3530.0	3251	1700-4000	22	5.6

Fuente: Elaboración propia

Anexo 30.

Resultados de estabilidad y flujo con adición de 0.75% de ceniza volante y 0.25% de cal hidratada para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							Fecha: 16/04/2019		
							Página: 1 de 1		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS									
DATOS DE LA MUESTRA									
	ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							CONVERSION DEL FLUJO	
	BRIQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFI.	10	2.54
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0			11	2.8
2	CENIZA VOLANTE	%	0.75	0.75	0.75			11	2.8
3	CAL HIDRATADA	%	0.25	0.25	0.25			12	3.0
4	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1208.9	1207.4	1213.1	1209.8		13	3.3
5	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr.	1209.7	1208.2	1213.9	1210.6		14	3.6
6	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr.	704.7	704.3	706.7	705.2		15	3.8
7	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	c.c	505.0	503.9	507.2	505.4		16	4.1
8	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	gr/c.c	2.394	2.396	2.392	2.394		17	4.3
9	FLUJO	mm.	4	3.9	4.1	4.0		18	4.6
10	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1467	1470	1479	1472.0		19	4.8
11	FACTOR DE ESTABILIDAD	k.	1.04	1.04	1.04			20	5.1
12	ESTABILIDAD CORREGIDA	kg.	1525.7	1528.8	1538.2	1530.9		21	5.3
13	ESTABILIDAD-FLUJO	kg/cm.	3814.2	3920.0	3751.6	3827	1700-4000	22	5.6

Fuente: Elaboración propia

Anexo 31.

Resultados de estabilidad y flujo con adición de 0.85% de ceniza volante y 0.15% de cal hidratada para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							Fecha: 16/04/2019		
							Página: 1 de 1		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS									
DATOS DE LA MUESTRA									
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							CONVERSION DEL FLUJO		
BRIQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFI.	10	2.54	
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0		11	2.8	
2	CENIZA VOLANTE	%	0.85	0.85	0.85		11	2.8	
3	CAL HIDRATADA	%	0.15	0.15	0.15		12	3.0	
4	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1205.8	1209	1207.1	1207.3	13	3.3	
5	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr.	1206.6	1209.8	1207.9	1208.1	14	3.6	
6	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr.	703.9	705.4	705.1	704.8	15	3.8	
7	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	c.c	502.7	504.4	502.8	503.3	16	4.1	
8	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	gr/c.c	2.399	2.397	2.401	2.399	17	4.3	
9	FLUJO	mm.	3.6	4.1	4.1	3.93	18	4.6	
10	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1420.8	1440.8	1410.7	1424.1	19	4.8	
11	FACTOR DE ESTABILIDAD	k.	1.04	1.04	1.04		20	5.1	
12	ESTABILIDAD CORREGIDA	kg.	1477.6	1498.4	1467.1	1481.1	21	5.3	
13	ESTABILIDAD-FLUJO	kg/cm.	4104.5	3654.7	3578.4	3765	1700-4000	22	5.6

Fuente: Elaboración propia

Anexo 32.

Resultados de estabilidad y flujo con adición de 1.0% de ceniza volante y 0.0% de cal hidratada para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							Fecha: 16/04/2019		
							Página: 1 de 1		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS									
DATOS DE LA MUESTRA									
	ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559							CORRECCION DE FL	
	BRIQUETAS	N°	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFI.	10	2.54
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0			11	2.8
	CENIZA VOLANTE	%	1.0	1.0	1.0			11	2.8
2	CAL HIDRATADA	%	0.0	0.0	0.0			12	3.0
3	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1212.9	1207.8	1208.7	1209.8		13	3.3
4	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr.	1213.6	1208.5	1209.4	1210.5		14	3.6
5	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr.	710.1	707.5	707.2	708.3		15	3.8
6	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	c.c	503.5	501.0	502.2	502.2		16	4.1
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	gr/c.c	2.409	2.411	2.407	2.409		17	4.3
8	FLUJO	mm.	4	3.9	4.3	4.07		18	4.6
9	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1495.2	1517.2	1556.6	1523.0		19	4.8
10	FACTOR DE ESTABILIDAD	k.	1.04	1.04	1.04			20	5.1
11	ESTABILIDAD CORREGIDA	kg.	1555.0	1577.9	1618.9	1583.9		21	5.3
12	ESTABILIDAD-FLUJO	kg/cm.	3887.5	4045.9	3764.8	3892	1700-4000	22	5.6

Fuente: Elaboración propia

Anexo 33.

Fotografías del ensayo TSR.



Fotografía 04, Ciclo de congelamiento de briquetas a -18 °C, 16 horas.



Fotografía 05, Ciclo de inmersión en agua a 60 °C, 24 horas.



Fotografía 06, Rotura de briquetas, prensa Marshall.

Anexo 34.

Resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta de mezcla asfáltica en caliente convencional - AAHTO T-283 para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.

LOTTMAN - EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS NORMA ASTM D-4867 AASHTO T-283										
ADITIVO RICOT Z AL 0.8 %								FECHA 2/05/2019		
CEMENTO ASFALTICO								PEN 85/100		
								% 6.0		
* DATOS			GRUP. BRIQ. SATURADAS			PROMEDIO	GRUP. BRIQ. SECAS			PROMEDIO
* NUMERO DE BRIQUETAS	Nº		1	2	3		4	5	6	
1 DIAMETRO	cm		10.20	10.18	10.19	10.2	10.18	10.20	10.19	10.2
2 ESPESOR	cm		6.89	6.94	6.91	6.9	6.95	6.97	7.09	7.0
3 PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	gr.		1210.6	1209.4	1211.1		1207.5	1209.7	1211.4	
4 SSS DE LA MUESTRA	gr.		1211.4	1210.6	1212.3		1208.2	1210.4	1212.3	
5 PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr.		699.8	701.5	701.6		698.9	700.6	699.4	
6 VOLUMEN (4)-(5)	cc		511.6	509.1	510.7		509.3	509.8	512.9	
7 P.E.BULK DE LA MUESTRA (3)/(6)	gr/cc		2.366	2.376	2.371		2.371	2.373	2.362	
8 RICE			2.476	2.476	2.476		2.476	2.476	2.476	
9 VACIOS (100(8-7)/8)	%		4.43	4.06	4.22		4.24	4.16	4.61	
10 VOLUMEN DE VACIOS (9*6/100)	cc		22.67	20.65	21.56					
OBSERVACIONES : ENSAYO EJECUTADO CON EL CICLO DE CONGELAMIENTO A -19 °C DURANTE 16 Horas.										
CONDICIÓN DE SATURACIÓN A 24 HR. A 60°C BAÑO MARIA										PROMEDIO
17 ESPESOR	cm		6.91	6.99	6.93	6.9	NO SATURADO			
18 SSS DE LA MUESTRA	gr		1246.1	1248.9	1243.8					
19 PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr		694.5	696.1	693.2					
20 VOLUMEN (18-19)	cc		551.6	552.8	550.6					
21 VOLUM-AGUA ABS.(18-3)	cc		35.50	39.50	32.70					
22 SATURACIÓN ((100*21)/10)	%		156.62	191.28	151.64					
23 HINCHAMIENTO (100(20-6)/6)	%		7.82	8.58	7.81		1147	1208	1098	1150.8
24 CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA	Kg		917	966	877	919.9				
25 RESISTENCIA SECA	Kg/cm2						10.27			
26 RESISTENCIA HUMEDA	Kg/cm2		8.28							
27 RESIST.RETENIDA (26/25)100	%		80.6			TSR				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 35.

Resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta - AAHTO T-283 (Cal 0.75% - CV 0.25%) para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.

LOTTMAN - EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS NORMA ASTM D-4867 AASHTO T-283						FECHA 2/05/2019				
ADITIVO		RICOT Z AL 0.8 %		CEMENTO ASFALTICO		PEN 85/100				
FILLER 1		CAL 0.75%		%		6.0				
FILLER 2		CENIZA VOLANTE 0.25%								
*	DATOS		GRUP. BRIQ. SATURADAS			PROMEDIO	GRUP. BRIQ. SECAS			PROMEDIO
*	CODIGO DE BRIQUETAS	N°	A	B	C		A	B	C	
1	DIAMETRO	cm	10.21	10.22	10.19	10.2	10.18	10.21	10.19	10.2
2	ESPEJOR	cm	6.50	6.25	6.25	6.3	6.35	6.40	6.35	6.4
3	PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	gr.	1208.2	1209.7	1209.5		1210.8	1208.1	1210.0	
4	SSS DE LA MUESTRA	gr.	1209.3	1210.5	1210.6		1211.7	1209.2	1211.1	
5	PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr.	701.2	701.9	701.9		702.8	700.9	702.1	
6	VOLUMEN (4)-(5)	cc	508.1	508.6	508.7		508.9	508.3	509.0	
7	P.E.BULK DE LA MUESTRA (3)/(6)	gr/cc	2.378	2.378	2.377		2.379	2.377	2.377	
8	RICE		2.477	2.477	2.477		2.477	2.477	2.477	
9	VACIOS (100(8-7)/8)	%	4.00	3.98	4.02	4.00	3.95	4.05	4.02	4.01
10	VOLUMEN DE VACIOS (9*6/100)	cc	20.32	20.24	20.45					
OBSERVACIONES : ENSAYO EJECUTADO CON EL CICLO DE CONGELAMIENTO A -19 °C DURANTE 16 Horas.										
CONDICIÓN DE SATURACIÓN A 24 HR. A 60°C BAÑO MARIA						PROMEDIO	PROMEDIO			
17	ESPEJOR	cm	6.70	6.45	6.45	6.5	NO SATURADO			
18	SSS DE LA MUESTRA	gr	1212.2	1213.7	1213.5					
19	PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr	693.7	695.0	694.6					
20	VOLUMEN (18-19)	cc	518.5	518.7	518.9					
21	VOLUM-AGUA ABS.(18-3)	cc	4.00	4.00	4.00					
22	SATURACIÓN ((100*21)/10)	%	19.68	19.76	19.56					
23	HINCHAMIENTO (100(20-6)/6)	%	2.05	1.99	2.00	2.01				
24	CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA	Kg	987	984	983	984.2	1159	1191	1184	1177.9
25	RESISTENCIA SECA	Kg/cm ²					11.55			
26	RESISTENCIA HUMEDA	Kg/cm ²	9.40							
27	RESIST.RETENIDA (26/25)100	%	81.3			TSR				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 36.

Resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta - AAHTO T-283 (Cal 0.65% - CV 0.35%) para el óptimo contenido de asfalto 6.0%.

LOTTMAN - EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS						NORMA ASTM D-4867		AASHTO T-283	
ADITIVO		RICOT Z AL 0.8 %		CEMENTO ASFALTICO		PEN 85/100			
FILLER 1		CAL 0.75%							
FILLER 2		CENIZA VOLANTE 0.25%							
* DATOS			GRUP. BRIQ. SATURADAS			PROMEDIO			
* CODIGO DE BRIQUETAS	N°	A	B	C					
1	DIAMETRO	cm	10.21	10.22	10.19	10.2			
2	ESPESOR	cm	6.50	6.25	6.25	6.3			
3	PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	gr.	1208.2	1209.7	1209.5				
4	SSS DE LA MUESTRA	gr.	1209.3	1210.5	1210.6				
5	PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr.	703.0	703.4	703.8				
6	VOLUMEN (4)-(5)	cc	506.3	507.1	506.8				
7	P.E.BULK DE LA MUESTRA (3)/(6)	gr/cc	2.386	2.386	2.386				
8	RICE		2.483	2.483	2.483				
9	VACIOS (100(8-7)/8)	%	3.90	3.92	3.89	3.90			
10	VOLUMEN DE VACIOS (9*6/100)	cc	19.75	19.88	19.72				
OBSERVACIONES : ENSAYO EJECUTADO CON EL CICLO DE CONGELAMIENTO A -19 °C DURANTE 16 Horas.									
CONDICIÓN DE SATURACIÓN A 24 HR. A 60°C BAÑO MARIA						PROMEDIO			
17	ESPESOR	cm	6.70	6.45	6.45	6.5			
18	SSS DE LA MUESTRA	gr	1212.2	1213.7	1213.5				
19	PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr	693.7	695.0	694.6				
20	VOLUMEN (18-19)	cc	518.5	518.7	518.9				
21	VOLUM-AGUA ABS.(18-3)	cc	4.00	4.00	4.00				
22	SATURACIÓN ((100*21)/10)	%	20.26	20.12	20.29				
23	HINCHAMIENTO (100(20-6)/6)	%	2.40	2.30	2.39	2.36			
24	CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA	Kg	1042	1047	1033	1040.8			
25	RESISTENCIA SECA	Kg/cm ²							
26	RESISTENCIA HUMEDA	Kg/cm ²	9.94						
27	RESIST.RETENIDA (26/25)100	%	83.4			TSR			

GRUP. BRIQ.SECAS				PROMEDIO
A	B	C		
10.18	10.21	10.19	10.2	
6.35	6.40	6.35	6.4	
1210.8	1208.1	1210.0		
1211.7	1209.2	1211.1		
702.8	701.2	702.8		
508.9	508.0	508.3		
2.379	2.378	2.380		
2.477	2.477	2.477		
3.95	3.99	3.90	3.95	

NO SATURADO				PROMEDIO
1217	1215	1213	1215.1	
11.92				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 37.

Resultados de TSR - AAHTO T-283 (Cal 0.50% - CV 0.50%)

ADITIVO		LOTTMAN - EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS			NORMA ASTM D-4867		AASHTO T-283		
FILLER 1		RICOT Z AL 0.8 %			CEMENTO ASFALTICO		PEN 85/100		
FILLER 2		CAL 0.50%			%		6.0		
		CENIZA VOLANTE 0.50%							
*	DATOS		GRUP. BRIQ. SATURADAS			PROMEDIO			
*	NUMERO DE BRIQUETAS	Nº	A	B	C				
1	DIAMETRO	cm	10.19	10.20	10.18	10.2			
2	ESPESOR	cm	6.40	6.20	6.30	6.3			
3	PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	gr.	1214.7	1210.4	1206.9				
4	SSS DE LA MUESTRA	gr.	1215.8	1211.5	1208.0				
5	PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr.	706.4	704.4	702.1				
6	VOLUMEN (4)-(5)	cc	509.4	507.1	505.9				
7	P.E.BULK DE LA MUESTRA (3)/(6)	gr/cc	2.385	2.387	2.386				
8	RICE		2.480	2.480	2.480				
9	VACIOS (100(8-7)/8)	%	3.85	3.75	3.80	3.80			
10	VOLUMEN DE VACIOS (9*6/100)	cc	19.61	19.02	19.22				
OBSERVACIONES : ENSAYO EJECUTADO CON EL CICLO DE CONGELAMIENTO A -19 °C DURANTE 16 Horas.									
		CONDICIÓN DE SATURACIÓN A 24 HR. A 60°C BAÑO MARIA				PROMEDIO			
17	ESPESOR	cm	6.65	6.45	6.55	6.6			
18	SSS DE LA MUESTRA	gr	1217.7	1213.4	1209.9				
19	PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr	699.9	697.7	695.3				
20	VOLUMEN (18-19)	cc	517.8	515.7	514.6				
21	VOLUM-AGUA ABS.(18-3)	cc	3.00	3.00	3.00				
22	SATURACIÓN ((100*21)/10)	%	15.30	15.78	15.61				
23	HINCHAMIENTO (100(20-6)/6)	%	1.65	1.70	1.72	1.69			
24	CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA	Kg	1145	1127	1151	1140.9			
NO SATURADO									
						1287	1257	1269	1270.9
						12.73			
25	RESISTENCIA SECA	Kg/cm 2							
26	RESISTENCIA HUMEDA	Kg/cm 2	10.88						
27	RESIST.RETENIDA (26/25)100	%	85.5			TSR			

Fuente: Elaboración propia

Anexo 38.

Resultados de TSR - AAHTO T-283 (Cal 0.35% - CV 0.75%)

LOTTMAN - EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS NORMA ASTM D-4867 AASHTO T-283									
ADITIVO		RICOT Z AL 0.8 %			CEMENTO ASFALTICO			PEN 85/100	
FILLER 1		CAL 0.25%			%			6.0	
FILLER 2		CENIZA VOLANTE 0.75%							
*	DATOS		GRUP. BRIQ. SATURADAS			PROMEDIO			
*	NUMERO DE BRIQUETAS	N°	A	B	C				
1	DIAMETRO	cm	10.15	10.17	10.18	10.2			
2	ESPESOR	cm	6.30	6.33	6.16	6.3			
3	PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	gr.	1210.1	1210.4	1206.3				
4	SSS DE LA MUESTRA	gr.	1211.2	1211.5	1207.4				
5	PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr.	706.4	706.1	703.4				
6	VOLUMEN (4)-(5)	cc	504.8	505.4	504.0				
7	P.E.BULK DE LA MUESTRA (3)/(6)	gr/cc	2.397	2.395	2.393				
8	RICE		2.482	2.482	2.482				
9	VACIOS (100(8-7)/8)	%	3.42	3.51	3.57	3.50			
10	VOLUMEN DE VACIOS (9*6/100)	cc	17.26	17.74	17.99				
OBSERVACIONES : ENSAYO EJECUTADO CON EL CICLO DE CONGELAMIENTO A -19 °C DURANTE 16 Horas.									
	CONDICIÓN DE SATURACIÓN A 24 HR. A 60°C BAÑO MARIA					PROMEDIO			
17	ESPESOR	cm	6.55	6.58	6.41	6.5			
18	SSS DE LA MUESTRA	gr	1212.1	1212.4	1208.3				
19	PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr	699.9	699.2	696.2				
20	VOLUMEN (18-19)	cc	512.2	513.2	512.1				
21	VOLUM-AGUA ABS.(18-3)	cc	2.00	2.00	2.00				
22	SATURACIÓN ((100*21)/10)	%	11.59	11.27	11.12				
23	HINCHAMIENTO (100(20-6)/6)	%	1.47	1.55	1.60	1.54			
24	CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA	Kg	1098	1007	1160	1088.3			
25	RESISTENCIA SECA	Kg/cm2							
26	RESISTENCIA HUMEDA	Kg/cm2	10.46						
27	RESIST.RETENIDA (26/25)100	%	86.5			TSR			

GRUP. BRIQ.SECAS			PROMEDIO
A	B	C	
10.18	10.20	10.19	10.2
6.36	6.33	6.23	6.3
1209.6	1211.4	1212	
1210.6	1212.4	1213.0	
705.7	706.2	706.5	
504.9	506.2	506.6	
2.396	2.393	2.393	
2.482	2.482	2.482	
3.48	3.59	3.60	3.56

CONDICIÓN DE SATURACIÓN A 24 HR. A 60°C BAÑO MARIA			PROMEDIO
NO SATURADO			
1230	1200	1233	1221.1
12.10			

Fuente: Elaboración propia

Anexo 40.

Resultados de TSR - AAHTO T-283 (Cal 0.0% - CV 1.0%)

LOTTMAN - EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS NORMA ASTM D-4867 AASHTO T-283											
ADITIVO		RICOT Z AL 0.8 %		CEMENTO ASFALTICO		PEN 85/100		AASHTO T-283			
FILLER 1		CAL 0.00%		%		6.0					
FILLER 2		CENIZA VOLANTE 1.00%									
* DATOS			GRUP. BRIQ. SATURADAS			PROMEDIO					
* NUMERO DE BRIQUETAS	N°		A	B	C	GRUP. BRIQ. SECAS			PROMEDIO		
1 DIAMETRO	cm		10.19	10.16	10.18	10.17	10.22	10.19	10.2		
2 ESPESOR	cm		6.30	6.36	6.36	6.40	6.41	6.42	6.4		
3 PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	gr.		1206.7	1213.7	1201.7	1212.5	1212.9	1211.9	3.00		
4 SSS DE LA MUESTRA	gr.		1207.8	1214.8	1202.8	1213.5	1213.9	1212.9			
5 PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr.		706.4	711.6	704.0	711.3	709.8	709.7			
6 VOLUMEN (4)-(5)	cc		501.4	503.2	498.8	502.2	504.2	503.2			
7 P.E.BULK DE LA MUESTRA (3)/(6)	gr/cc		2.407	2.412	2.409	2.414	2.406	2.408			
8 RICE			2.484	2.484	2.484	2.484	2.484	2.484			
9 VACIOS (100(8-7)/8)	%		3.12	2.90	3.02	2.80	3.15	3.05			
10 VOLUMEN DE VACIOS (9*6/100)	cc		15.62	14.59	15.07						
OBSERVACIONES : ENSAYO EJECUTADO CON EL CICLO DE CONGELAMIENTO A -19 °C DURANTE 16 Horas.											
CONDICIÓN DE SATURACIÓN A 24 HR. A 60°C BAÑO MARIA						PROMEDIO					
17 ESPESOR	cm		6.55	6.61	6.61	NO SATURADO			PROMEDIO		
18 SSS DE LA MUESTRA	gr		1207.7	1214.7	1202.7						
19 PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	gr		699.9	704.7	697.4						
20 VOLUMEN (18-19)	cc		507.8	510.0	505.3						
21 VOLUM-AGUA ABS.(18-3)	cc		1.00	1.00	1.00						
22 SATURACIÓN ((100*21)/10)	%		6.40	6.85	6.64						
23 HINCHAMIENTO (100(20-6)/6)	%		1.28	1.35	1.30				1.31		
24 CARGA DE TRACCIÓN INDIRECTA	kg		1033	1103	1074				1070.0		
25 RESISTENCIA SECA	Kg/cm ²		10.16			1287			1257	1269	1270.9
26 RESISTENCIA HUMEDA	Kg/cm ²										
27 RESIST.RETENIDA (26/25)100	%		82.0			12.38			TSR		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 41.

Fotografías del ensayo de Rueda de Hamburgo



Fotografía 07, Preparado y calentamiento de los agregados.



Fotografía 08, Muestra compactada en el compactador superpave.



Fotografía 09, Maquina de Rueda de Hamburgo.

Anexo 42.

Resultado de ensayo de Rueda de Hamburgo



EXPEDIENTE R.H. / LMA
110-2019-LAB TDM ASFALTOS

REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS AASHTO T - 324

PROYECTO : DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CENZAS VOLANTES PROCEDENTES DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA DE ILO.
UBICACIÓN : HUANCAYO
SOLICITANTE : JUAN CARLOS PEÑA ANCCASI
REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA ENVIADA POR EL CLIENTE.
F. DE RECEPCIÓN : 20/05/2019

DETALLE DE LA MEZCLA

CANTERA	: CANTERA RIO MANTARO	TIPO DE COMPACTACIÓN	: COMPACTADOR GIRATORIO
AGREGADO	: GRAVA CHANCADA(41.0%), ARENA TRITURADA(33.0%), ARENA NATURAL(25.0%), CENIZA VOLANTE(0.75%)	PORCENTAJE DE VACÍOS	: 7.5 %
FILLER	: CAL HIDRATADA (0.25%)	CONTENIDO DE ASFALTO	: 6.0 %
ASFALTO	: PEN 85/100	DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA	: 2476 Kg/m ³
ADITIVO	: --		

DATOS INICIALES DE LA PRUEBA

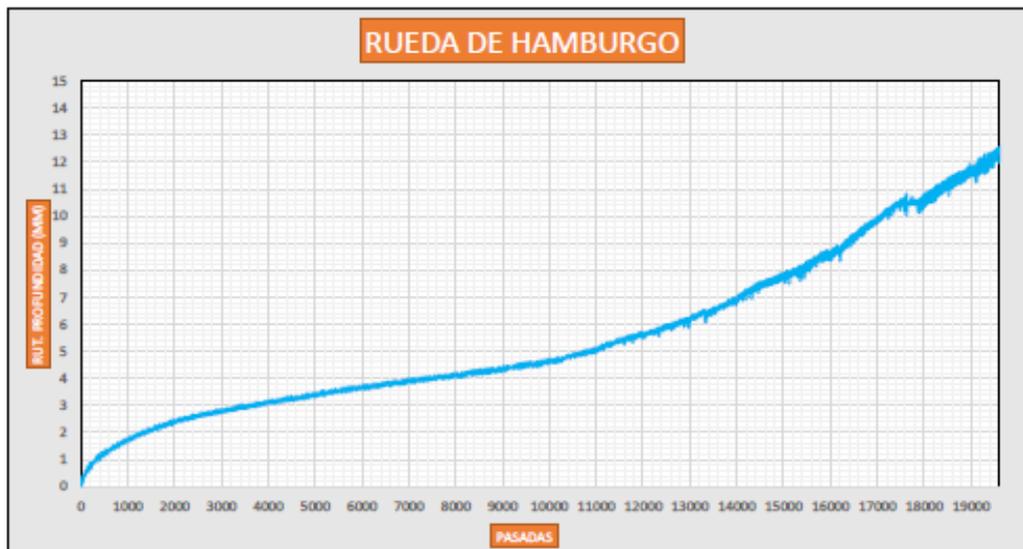
PRUEBA	: 110	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 50 °C
TIPO DE MUESTRA	: Doble Nucleo	NÚMERO MAX. PASADAS	: 20000 pasadas
NOMBRE DE LA MUESTRA	: ---	PROFUNDIDAD MÁXIMA	: 12.5 mm
DIÁMETRO	: 150.0 mm	VELOCIDAD DE LA RUEDA	: 52 pasadas / min
ESPESOR	: 60.0 mm	OPERADOR	: R.E.

RESULTADOS FINALES

PROFUNDIDAD FINAL RUT.	: 12.50 mm		
TIPO DE MEDIO TÉRMICO	: AGUA		
FEEDBACK UTILIZADO	: EN EL TANQUE		
TEMPERATURA MÁXIMA	: 50.6 °C	PASADAS	: 19600
TEMPERATURA MÍNIMA	: 50.0 °C		

OBSERVACIONES

- ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.
- LA PRUEBA SE DETUVO AUTOMÁTICAMENTE EN LAS 19600 PASADAS DE LA RUEDA.
- LA CONDICIÓN DE PROFUNDIDAD MÁXIMA DE AHUELLAMIENTO FUE ALCANZADA.



Rafael Estrada Escalante
Ingeniero Técnico

Wendy Herencia
Jefe del Área Técnica

Fecha de reporte: Lima, 29 de mayo del 2019