



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado
con el Biopolímero Lignina, Lima 2019

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

AUTORES:

Atachagua Mauricio, Jharvis Paul (ORCID: 0000-0003-1549-9441)

Rosales Soto, Antony Manuel (ORCID: 0000-0001-8984-1102)

ASESOR:

Mg. Casusol Iberico, German Fernando (ORCID: 0000-0001-7143-5026)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Infraestructura Vial

Lima - Perú

2019

Dedicatoria

A Dios, por brindarme el conocimiento y fuerza durante toda la etapa universitaria a mis padres por su comprensión, amor y apoyo incondicional en todo momento, la fuerza y valores aprendidos son el rigor para seguir adelante de este camino de objetivos y logros.

Paul A.M

A dios por permitirme lograr mis objetivos trazados, a mi madre por su dedicación y a mi padre por ofrecerme su apoyo y confianza, a mi tío por darme consejos.

Antony R.S

Agradecimiento

Mi más sincero agradecimiento a nuestros padres así también a todas las personas que fueron partícipes en el proceso de esta investigación y toda la etapa universitaria.

Al Ingeniero German Casusol Iberico por brindarnos su apoyo y exigencia para obtener siempre nuevos conocimientos.

A la Dirección de Estudios Especiales del MTC en el cual se desarrolló la presente investigación en las áreas de suelos y asfalto.

Página del jurado

Página del jurado

	ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	Código : F07-PP-PR-02.02 Versión : 10 Fecha : 10-06-2019 Página : 1 de 38
--	---------------------------------------	--

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (a) ROSALES SOTO ANTONY MANUEL cuyo título es: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADO CON EL BIOPOLÍMERO LIGNINA, LIMA 2019

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: 14 CATORCE.

Lima, Ate 07 de diciembre del 2019



MG. CHOQUE FLORES, LEOPOLDO
PRESIDENTE



MG. TACZA ZEVALLOS, JOHN NELINHO
SECRETARIO



CASUSOL IBERICO, GERMAN FERNANDO
VOCAL

Revisó	Vicerrectorado de Investigación/ DEVAC / Responsable del SGC	Aprobó	Rectorado
--------	---	--------	------------------

NOTA: Cualquier documento impreso diferente del original, y cualquier archivo electrónico que se encuentren fuera del Campus Virtual Trilce serán considerados como COPIA NO CONTROLADA.

Declaratoria de autenticidad

Yo, Atachagua Mauricio Jharvis Paul con DNI N° 46830120, con la finalidad de cumplir con los requisitos vigentes estipuladas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo filial Ate de Escuela Profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento la presente investigación es de carácter autentico y veraz, así también que todo dato documentado es objetivo y resultado del proceso del desarrollo del proyecto de investigación.

Por ello, en el caso existiera falta, omisión o falsedad asumo los correspondientes procesos de investigación y sanciones de acuerdo a las normas internas de la Universidad.

En concordancia, acepto la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad, con los reglamentos académicos de la Universidad César Vallejo.

Lima, 07 de diciembre del 2019



.....
Atachagua Mauricio Jharvis Paul

DNI: N° 46830120

Declaratoria de autenticidad

Yo, Rosales Soto Antony Manuel, con DNI N° 72605847, con la finalidad de cumplir con los requisitos vigentes estipuladas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo filial Ate de Escuela Profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento la presente investigación es de carácter autentico y veraz, así también que todo dato documentado es objetivo y resultado del proceso del desarrollo del proyecto de investigación.

Por ello, en el caso existiera falta, omisión o falsedad asumo los correspondientes procesos de investigación y sanciones de acuerdo a las normas internas de la Universidad.

En concordancia, acepto la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad, con los reglamentos académicos de la Universidad César Vallejo.

Lima, 07 diciembre del 2019



.....
Rosales Soto Antony Manuel

DNI: N° 70605847

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad	vi
Índice	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	28
2.1 <i>Tipo y diseño de investigación</i>	28
2.2 Operacionalización de variables	29
2.3. Población, muestra y muestreo	31
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	33
2.5 Procedimiento	35
2.6. Métodos de análisis de datos	35
2.7. Aspectos éticos	38
III. RESULTADOS	39
IV. DISCUSIÓN	101
V. CONCLUSIONES	103
VI. RECOMEDACIONES	104
REFERENCIAS	105
ANEXOS	110

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general analizar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el biopolímero lignina. Se especifica el uso del cemento asfáltico PEN 60/70 y agregados de procedencia de la cantera Valcárcel – La quebrada la cual está ubicada en el Distrito de Ate, los cuales pasaron por ensayos según lo especifica el manual de Ensayo de materiales MTC 2016 y el manual EG - 2013.

Se desarrollo esta investigación la cual es de metodología de tipo aplicada y de enfoque cuantitativo debido a que se obtuvo datos numéricos mediante formatos en el laboratorio donde se realizaron los ensayos, es de nivel exploratorio ya que se pretende la búsqueda nuevos conocimientos, por lo que se empleó la observación como método y el diseño fue cuasi-experimental ya que no se obtuvo un control total de las variables, la población fue finita de 45 briquetas en total y de muestreo no probabilístico a criterio.

Al observar los resultados obtenidos, se analizó que la estabilidad más favorable de la mezcla asfáltica convencional fue de 1465.4 kg con el contenido óptimo de cemento asfáltico de 6% mientras que la mezcla asfáltica en caliente modificada con el 10 % del biopolímero de lignina fue de 1932.4 kg, por lo que existe un incremento porcentual de 31.87%. Se infiere que la mezcla modificada tiene como capacidad de soportar desplazamientos y deformaciones bajo tráfico pesado y cargas cíclicas.

De esta manera, se concluye que la adición del biopolímero de lignina mejora notablemente las propiedades mecánicas, así como disminuir fallas comunes en los pavimentos flexibles producidos por el clima y el tráfico pesado.

Por último, se recomienda aplicar el biopolímero de lignina en las mezclas asfálticas en caliente con la finalidad de mejorar su desempeño y así como dar un uso a dicho biopolímero que se encuentra inmerso dentro del licor negro y que en la actualidad es un insumo no aprovechable en el Perú.

Palabras claves: Comportamiento mecánico, mezclas asfálticas en caliente, biopolímero lignina, método Marshall.

ABSTRACT

The present research work has as a general objective to analyze the mechanical behavior of the hot asphalt mixture added with the lignin biopolymer. The use of PEN 60/70 asphalt cement and aggregates from the Valcárcel quarry is specified, which is located in the Ate District, which went through tests as specified in the 2016 MTC Materials Testing manual and the EG manual - 2013.

This research is carried out, the quality is of methodology of applied type and quantitative approach because it obtained numerical data through formats in the laboratory where the tests are carried out, it is exploratory level since the search for new knowledge is intended, so Observation was used as a method and the design was quasi-experimental since no total control of the variables was obtained, the population was finite of 45 briquettes in total and non-probabilistic sampling at criteria.

When observing the results obtained, it was analyzed that the most favorable stability of the conventional asphalt mixture was 1465.4 kg with the optimal asphalt cement content of 6% while the hot asphalt mixture modified with 10% of lignin biopolymer was of 1932.4 kg, so there is a percentage increase of 31.87%. It is inferred that the modified mixture has the capacity to withstand displacements and deformations under heavy traffic and cyclic loads.

In this way, it is concluded that the addition of the lignin biopolymer significantly improves the mechanical properties, as well as reducing common failures in flexible pavements produced by weather and heavy traffic.

Finally, it is recommended to apply the lignin biopolymer in hot asphalt mixtures in order to improve its performance and also give a use to said biopolymer that is immersed in the black liquor and which is currently an unusable input in Peru.

Keywords: Mechanical behavior, hot asphalt mixtures, lignin biopolymer, Marshall Method.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación comprende de un análisis del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el biopolímero lignina con fines de reducir el uso de asfalto en un diseño de mezclas para pavimentos flexibles, la característica principal de este material que es el biopolímero lignina es que es un recurso renovable y en abundancia, por otro lado tenemos la necesidad como estudiantes de ingeniería resolver la problemática del cambio climático que es un tema mundial, se define que el uso del petróleo y el proceso de refinación para obtener el asfalto genera mucho efecto sobre el Impacto ambiental, la necesidad de crear mejoras respecto a la infraestructura vial y hacerlas de un modo más ecológico podría llevar a que esta investigación contribuya en ese aspecto.

En el proceso de la elaboración del papel, la lignina se encuentra inmerso molecularmente en el bagazo de caña de azúcar, la cual mediante un proceso industrial es extraído, una vez extraída la lignina es enviada a depósitos, lo cual actualmente en el Perú no tiene utilización alguna por ello las empresas peruanas papeleras podrían brindar acceso a obtener esta sustancia para su uso en grandes cantidades. La característica principal de la lignina es impedir la infiltración del agua y rigidizar la corteza de los vegetales o plantas agrícolas.

Con ello nació esta investigación donde el uso de la lignina que es el segundo biopolímero más abundante en el planeta por detrás de la celulosa y que se encuentra presente en las paredes celulares de los vegetales o plantas agrícolas y es de fácil acceso debido a su origen natural y su bajo costo de obtención lo cual conlleva a explotar ese recurso que se estima potencialmente favorable.

Finalmente, con fines de un mejor entendimiento se realiza esta investigación de forma ordenada recolectando información actualizada referidos a este fenómeno y continuando con investigaciones anteriores las cuales dejaron temas abiertos respecto a la utilización de la lignina en el asfalto. Por ello esta investigación aplicará la metodología Marshall, en donde obtendremos resultados en cuanto a la estabilidad, flujo, densidad y vacíos. Para dicho ensayo se debe contar con los siguientes materiales los cuales son: la lignina (sustancia esencial), agregados (fino y grueso), asfalto (PEN 60-70) la cual al combinarlos generará una mezcla homogénea y compacta, lo cual brindará resultados mediante cuadros, gráficos y mediciones para un mejor entendimiento de cada objetivo

(general y específico) planteados referentes al efecto que traerá consigo sobre el uso en mezclas asfálticas.

Hoy en día el cambio climático es una problemática a nivel mundial, es por eso la necesidad de generar menos insumos tóxicos que alteren este rápido crecimiento de dicho fenómeno, uno de los principales recursos que aceleran el efecto climático al mundo es el consumo de petróleo que se ha incrementado más de doscientas veces durante el Siglo XX siendo Estados Unidos el mayor productor en el 2018 con 300 mil barriles diarios, seguido de Rusia con 200 mil barriles diarios en consecuencia hay un aumento de producción de petróleo por el cual la preocupación reducir para no afectar al cambio climático; el autor Valencia M. hace referencia a la *figura 1*. “Lo que está en juego en este momento es un parteaguas histórico con el tema del petróleo, los ecologistas creemos que o se disminuye el uso del petróleo o éste va acabar con la humanidad”

Figura 1. Efectos del Petróleo Sobre Nuestro Planeta



Recuperado de: <https://cambioclimatic.com/efectos-del-petroleo-sobre-nuestro-planeta/>

En el Perú produce alrededor de 36 millones de barriles anuales de petróleo crudo siendo la región selva la más productiva con casi el 70 % del petróleo crudo producido por el Perú según (Ministerio de Energía y Minas). Por ello es una problemática a nivel nacional el excesivo uso de esta materia indispensable para diversas industrias y sectores (carreteras y fuentes de energía).

Uno de los componentes derivados del petróleo que es el asfalto, betún o bitumen son empleadas para la elaboración de mezclas asfálticas, y estas a su vez utilizadas en la capa de rodadura para pavimentación de carreteras, sin embargo este material es un recurso no renovable lo cual no es bueno para el cambio climático, es por ello la necesidad de encontrar

un material que disminuya el uso del asfalto, así por ello encontramos la incorporación de la lignina en el asfalto la cual reduce la utilización de dicho material.

Por otro lado, los desechos agrícolas y forestales son recursos que no son explotados comercialmente pese a que presentan gran potencial, el porcentaje más alto en cuanto a los desechos agrícolas es el bagazo de caña de azúcar, que en su estructura se puede encontrar un 14% de lignina, seguido se presenta la paja de arroz con 6% como se aprecia en la *tabla 1*. Por ello la materia de esta investigación que es el biopolímero lignina presentes en estos desechos podrían ser reutilizados para reducir el uso de asfalto.

Por consiguiente, es necesario incorporar un nuevo componente al asfalto (biopolímero lignina) que reduzca parcialmente el asfalto y no alterar el comportamiento mecánico, y así contribuir al efecto del no cambio climático, hoy en día el uso de aditivos, polímeros, caucho reciclado se están llevando a ensayos para encontrar otro recurso que mejore o disminuya el uso del derivado del petróleo que es el asfalto.

Los Trabajos previos que realizamos para esta investigación fue la recopilación de diferentes fuentes que constituyen y aportan información al estudio. Así también el análisis de forma independiente de la mezcla asfáltica.

Por otra parte, es necesario comenzar el estudio con antecedentes que ayuden a tener un enfoque global y particular del tema en investigación, el asfalto forma parte vital en el comportamiento del pavimento (degradación, agrietamiento, resistencia y deformación).

Finalmente, para un mejor entendimiento se recopilaron fuentes de tipo (Tesis, artículos, revistas y libros en inglés) que se presentan de dos tipos antecedentes internacionales y nacionales que presentamos a continuación:

Las primeras investigaciones internacionales encontradas para esta investigación fueron presentadas en la 249 reunión y exposición nacional de la sociedad americana de química donde se ha presentado una idea innovadora y ecológica, la cual está basada en mezclar el asfalto con un compuesto orgánico procedente del bagazo de caña de azúcar llamado lignina.

Dave van Vliet, Ted Slaghek, Cecile Giezen, Ingrid Haaksman “lignina como una alternativa verde para el betún”. Países Bajos (2016) Estos investigadores plantearon una

alternativa sostenible mediante una molécula vegetal renovable y abundante lo cual se encuentra internamente dentro de las plantas leñosas tales como el bagazo de caña de azúcar, estas sustancias son conocida como lignina. Originariamente esta propuesta nació por medio de la compañía europea Icopal la cual busca una alternativa sostenible con referencia al asfalto. Por lo cual, Ted Slaghek y su equipo especializado realizaron ensayos con este material, llego a reemplazar hasta en un 50% es asfalto con lignina, finalmente llego a la conclusión que al reemplazar el 25% es el porcentaje más favorable y que les da mayor resistencia a factores climatológicos y le suma un par de años de vida útil a la carretera. Dicho material es proveniente del desecho de la fabricación del papel. Se hace énfasis que químicamente el asfalto tanto como la lignina son semejantes molecularmente debido a su contenido de carbono y sustancias aromáticas, la lignina es un material de fácil acceso y viablemente económico.

Rodríguez D, Rodríguez C, Ramírez S, Flórez C, “Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina”, Colombia (2016). Con la finalidad de encontrar un asfalto más resistente los investigadores realizaron 2 ensayos indispensables de asfalto adicionado con el biopolímero lignina, siendo este un biopolímero antioxidante por tener un gran porcentaje de fenol en su estructura, realizaron los ensayos de penetración y ensayo de punto de ablandamiento. Dichos ensayos emplearon las siguientes dosificaciones: 5%, 10%, 15%, 20% en 400 gr. de cemento asfáltico 80-100. La lignina fue llevado a la malla de 0.075mm con la finalidad de obtener una mezcla homogénea; el tiempo que se mantuvo la mezcla en el horno RTFO fue durante 30 minutos, la lignina fue sometida a una temperatura que está entre los rangos de 125 -135 °C para no generar la aparición de burbujas de aire. Para determinar la máxima resistencia de la lignina a altas temperaturas. Con ese ensayo demostraron la capacidad de la lignina para sobrevivir a 125 °C y 135 °C lo cual concluyeron que es adecuada para mezclas asfálticas en caliente ya que presenta buena adherencia. Finalmente concluyeron que el exceso porcentaje de lignina en la mezcla puede convertirse en un problema. Encontraron que porcentajes alrededor del 20% de lignina, rigidiza el material, lo cual perjudica las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, proporcionando facilidad a la fisuración térmica esencialmente en climas fríos. El porcentaje óptimo de adición de la lignina en su investigación fue de 15%, ya que en comparación con el asfalto convencional y con la mezcla asfáltica modificada se obtuvo un asfalto con una mejor conducta reológica, lo cual se reflejó

en el aumento de su consistencia en un 33.77% respecto al asfalto patrón y su poca susceptibilidad térmica con un punto de ablandamiento de 48,8 °C.

Huaxin Chen, Qinwu Xu, Shuanfa Chen y Zhengqi Zhang “Evaluación y diseño de mezclas asfálticas reforzadas con fibra” China. (2009). En ese estudio desarrollado en la Universidad Changan, China y cuyo objetivo principal fue establecer la influencia de diferentes fibras (poliéster, poliacrilonitrilo, asbesto y lignina) en el comportamiento de una mezcla asfáltica en caliente. Con respecto a fibras de Lignina, se ejecutó mediante la fabricación de probetas Marshall y la modificación con fibras entre 0.1% y 0.5%. Los resultados obtenidos determinaron un incremento en la estabilidad (5%) y vacíos (7%), así como un descenso en la densidad Bulk (4%), cada una de ellas presentan mejoras para la mezcla asfáltica. Adicionalmente, realizaron ensayos de deformación plástica y estabilidad dinámica, estableciendo con los ensayos Marshall, que el porcentaje óptimo es de 0.5% y que existen un comportamiento favorable en las dos propiedades enunciadas anteriormente.

Williams, R. Christopher y McCready, Nicolaus S. “La utilización de derivados de la agricultura lignina como un antioxidante en el asfalto” EE. UU (2008) En la industria del asfalto se ha estudiado sustancias antioxidantes, pero ninguno resulto ser tan efectiva como la lignina que es el segundo biopolímero biológico más abundante del planeta por detrás de la celulosa, dicho biopolímero se encuentra en maderas, hierbas, bagazo de caña de azúcar y maíz. Por otro lado, esta investigación se refiere a la oxidación, lo cual determina el fallo que sufre el pavimento flexible a largo plazo, por ello se emplea la lignina como un antioxidante efectivo para el asfalto, así también la lignina genera cambios reológicos relacionado a las propiedades del asfalto, mejorando su comportamiento mecánico cuando fueron sometidas a temperaturas altas las cuales están entre 130 a 150°C.

Kasthurirangan, G, Sunghwan, K, y Halil, C “Recuperación y utilización de la Lignina” (2010). En esta investigación se realizaron ensayos en suelos inestables para mejorar su estabilidad la cual va relacionada directamente con la resistencia, por ello la lignina mejora la cohesión de las partículas del suelo, por ende, los hace más impermeables y sirve como un material cementante. Concluyo que la adicción de la lignina en suelos arcillosos las cuales son muy inestables al ser modificadas incrementa su estabilidad debido a que conecta los vacíos, elimina los puntos blandos e incrementa el área superficial.

La lignina adicionada en el concreto hidráulico mejora la trabajabilidad y reduce el curado debido a que esta sustancia es un reductor de agua, en cuanto a su resistencia de concreto hidráulico incrementa. Se debe tomar en cuenta que las dosificaciones deben ser controladas para evitar que el concreto hidráulico sufra retrasos en su resistencia.

En cuanto al asfalto el envejecimiento prematuro se da debido a la temperatura lo cual el biopolímero lignina mejora la oxidación en alta y baja temperatura sin afectar las otras propiedades de rendimiento del asfalto. Así también definen que brinda un incremento en su viscosidad.

Batista KB, Padilha RPL, Castro A. et al. "Rendimiento a alta temperatura, baja temperatura y envejecimiento de los aglutinantes de asfalto modificado con lignina" Brasil (2018). El objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades físicas y químicas del asfalto modificados con lignina lo cual manejaron los porcentajes de 1% en peso %, 4 % en peso y 6% en peso. Donde la temperatura utilizada en el asfalto fue de 160°C durante 60 minutos a una velocidad de 5000 rpm, la medida de la viscosidad se llevó a cabo a una temperatura de 135, 155 y 177°C. según la norma ASTM D 4402/02, siendo así, que la viscosidad se elevó proporcionalmente a medidas de adición de la lignina, lo cual la temperatura de 135°C fue la más evaluada. Por otro lado, el porcentaje de 4% de lignina en el asfalto aumento la estabilidad térmica después de ser llevado al horno de película delgada (RTFO). Finalmente concluye que el asfalto modificado con lignina favorece al agrietamiento térmico a temperaturas de hasta -12°C.

Barros, K. "Desarrollo de enlaces asfálticos modificados con lignina como aditivo de envejecimiento" Brasil (2017) En esta investigación se realizaron los ensayos estabilidad y flujo donde se adiciono los porcentajes de 1%, 4% y 6% de lignina al asfalto a una temperatura de 140° C y el número de golpes por cara en el martillo marshall fue de 75, lo cual se realizó el comparativo con las mezclas convencionales y modificadas con lignina los cuales fueron un total de 24 briquetas distribuidas para los 4 tipos de diseño, resultando el óptimo de cemento asfáltico de 5.2%. Concluyeron que para los porcentajes de 1% y 6% se obtuvo una mayor estabilidad de 6.1% y 0.5% para ambos casos, para la muestra de 4% su estabilidad mejoró en un 13% siendo esta la más favorable. Por otro lado, el flujo se decreció en 5.6%, 6.8% y 12.8% para las muestras de 1%, 4% y 6% respectivamente. Cabe mencionar que en la investigación infieren que el exceso de lignina podría generar un efecto de no dispersarse uniformemente o coagularse y formar puntos débiles.

Shangxian Xie, Qiang Li, Pravat Karki, Fujie, Joshua S. Yuan “Lignina como material renovable y modificador de la carpeta asfáltica” China (2017) En esta investigación infieren el potencial de la lignina para ser utilizado como modificador del asfalto, primero demostraron que la lignina modificada biológica y químicamente podría mejorar el rendimiento a altas temperaturas y bajas temperaturas del asfalto, lo que permite que la lignina modificada tiene características únicas así también resistencia de envejecimiento prematuro.

Reddy KTVK, Lakshmi KV, Bhawsar U. “Estudio experimental sobre el comportamiento de betún en reemplazo parcial con lignina”. India (2018) En esta investigación utilizaron la lignina en reemplazo del asfalto en porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%. De los cuales los ensayos realizados al asfalto demuestran que: la viscosidad aumenta a medida que se incrementa la adición de la lignina, ductilidad decrece, siendo que este valor tiene que ser por lo menos de 50 cm para ser utilizado en carreteras, la penetración disminuye y el punto de reblandecimiento crece, siendo esto último de beneficio donde la temperatura es mayor a 50°C. Finalmente concluye que el porcentaje más óptimo sería el 10% para soportar altas temperaturas y cargas pesadas. Así también recomienda para futuras investigaciones se realice los ensayos de estabilidad Marshall para ver el comportamiento de la lignina.

A nivel nacional, Matienzo, J. “Resistencia a la compresión de un concreto $f_c = 210$ kg/cm² sustituyendo al cemento por la combinación de un 8% por el polvo de la concha de abanico y 12% por las cenizas de la cascara de arroz” Perú (2018). Esta investigación empleo dos sustancias que son la concha de abanico y la cascara de arroz los cuales contienen lignina en su molécula interna la cual en sus resultados infieren que estos componentes analizados en reemplazo del cemento portland en porcentajes de 8% y 12%, lo cual concluyeron que la resistencia a compresión se mantiene en rangos similares, y que a los 28 días con un concreto patrón obtuvieron una resistencia de 225.46 kg/cm² mientras por otro lado con el concreto modificado obtuvieron una resistencia de 208.93 kg/cm², pero con la ventaja de sustituir parcialmente el cemento portland.

Alegre, C. “Resistencia a la flexión en vigas de concreto $f_c=210$ kg/cm², al adicionar en un 5% y 10% de fibra de agave lechuguilla” Perú (2018). Esta investigación donde utilizaron este vegetal de lechuguilla lo cual contiene porcentaje de lignina lo llevaron a los

ensayos de flexión en vigas lo cual sus resultados fueron favorables teniendo así que en un 10% de sustitución del volumen de concreto, obtuvieron 130 kg/cm² mientras que con la muestra patrón a 125.4 kg/cm² teniendo así una mejora.

Las teorías definidas en esta investigación tienen como finalidad describir todos los conceptos, procedimientos y definiciones.

La Lignina, para Candolle A. (1841) utilizó la expresión "lignina" (obtenida del latín *lignum* = madera) lo cual a considerado un biopolímero abundante ya que está disponible en todas las plantas vasculares, se enmarca a través del procedimiento de la fotosíntesis.

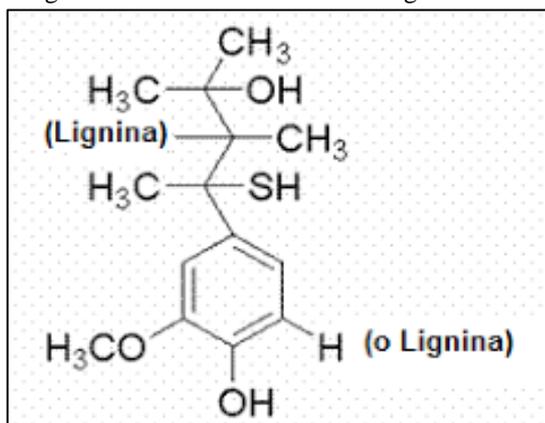
Por otra parte, Chávez, M. & Domine, M, (2013) define la lignina como “[...] es uno de los polímeros orgánicos más abundantes en la Tierra, compone el 30% de carbono orgánico no fósil y de un rango de 0.25 a 0.33 parte de la masa seca de la madera. La lignina está definida como un recurso renovable accesible y de potencial uso en la industria cuya producción por año se ha estimado alrededor de 40 y 50 millones de toneladas”.

Entonces podemos definir la lignina como un material que se extrae del proceso de la corteza del árbol, vegetal o de desechos agrícolas e incluso de algunas algas marinas, actualmente en el Perú en la industria papelera, la lignina es un rechazo en el proceso de la fabricación de papel lo cual se mantiene en depósitos.

La composición y estructura; podemos señalar que la lignina satisface una capacidad clave que se describe al brindar ayuda estructural, impermeabilidad y obstrucción contra los agentes microbiológicos y la presión oxidativa. Es un componente indefinido, ópticamente inerte y no disolvente en agua. Esto hace que la lignina se convierta en un biopolímero extremadamente sólido a la degradación (Medina, Fernández, Aguilar y Garza, 2011).

La pieza esencial de la lignina cambia entre 61% a 65% de carbono; 5% a 6.2% de hidrógeno, y el resto oxígeno. En cuanto a la estructura de la lignina no se hace referencia precisamente a el curso de acción tridimensional de esta, en cualquier caso, a través de investigaciones de asimilación UV se han reconocido anillos de benceno conectados a oxígeno, dos enlaces conjugados con el benceno anillo como se observa en la *figura 2*.

Figura 2. Unidad estructural de la lignina Kraft.



Fuente: Sigma Aldrich, La estructura química de la lignina es compleja.

Por otra parte, un núcleo de olor dulce ha sido reconocido en un rango infrarrojo y demuestra una alta proporción de reuniones alifáticas C-H inmersas. En la *tabla 1* se representan los porcentajes de lignina, en diversas plantas con mayor demanda en el mercado.

Tabla 1. Porcentaje de lignina en diferentes tipos de plantas.

Planta - Nombres Científico	Nombre común	Contenido de lignina (%)
<i>Picea abies</i>	Abeto Noruego	28-29
<i>Tsuga canadensis</i>	Abeto Oriental	31
<i>Panicum virgatum</i>	Pasto varilla	33
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Abeto de Douglas	29
<i>Pinus sylvestris</i>	Pino de Escocia	28
<i>Pinus radiata</i>	Pino de Monterrey	27
<i>Prunus amygdalus</i>	Almendro	26
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto rosa	25
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto de goma azul	22
<i>Acacia mollissima</i>	Acacia negra	21
<i>Betula verrucosa</i>	Abedul	20
<i>Populus tremula</i>	Álamo europeo	19
<i>Olea europaea</i>	Olivo	19
<i>Gossypium hirsutum</i>	Algodón	16
<i>Saccharum species</i>	Bagazo de caña	14
<i>Oryza species</i>	Paja de arroz	6,1

Fuente: Chávez, M. (2013), El porcentaje de lignina varía de acuerdo al vegetal.

Propiedades generales de la Lignina. Tejada et al. (2007) "Las ligninas son fuertes, generalmente polvos, no tienen una estructura cristalina. Dependiendo de su raíz, el grosor particular de la lignina difiere de 1.3 a 1.4 y la lista de refracción es 1.6. Su sombreado es típicamente de color oscuro." (p. 9)

La lignina es insoluble en la disolución cuando se separa de su fuente fundamental. Las ligninas de tipo comercial son disolventes en agua, en disposiciones básicas acuosas, algunas son mezclas naturales oxigenadas con disolventes; es insoluble en agua cuando todavía está en el material lignocelulósico de la raíz. Una de sus propiedades fundamental es su densidad 1.3g/ml así como otro que se puede apreciar en la *tabla 2*. Por otro lado, físicamente es un polvillo de color marrón y de partículas tan finas que al ser tamizadas por la malla N° 200 tienden a pasar sin ningún problema.

Tabla 2. Propiedades de la Lignina

PROPIEDADES	
Tensión superficial	43 mN/m (1% acuoso)
Impurezas	5% de humedad
Pérdida	13.4 wt. % pérdida de calefacción @ 316°C
PH	3.3 wt. % pérdida en calefacción @ 149°C
	5.7 wt. % pérdida en calefacción @ 204°C
	8.5 wt. Pérdida en calefacción @ 260°C
Transición de temperatura	6.5 (25°C, 5%, solución acuosa)
Solubilidad	punto de sinterización 180°C
	NaOH soluble 0.05% (caliente 5% acuoso)
	MEK: parcialmente soluble
	benceno: insoluble
	dioxano: soluble
	etilenglicol: soluble
	hexano: insoluble
metanol: parcialmente soluble	
Densidad	1.3g/ml a 25°C
Densidad Aparente	23 libras/pies cúbicos /suelto)
	32 libras/pies cúbicos(embalado)

Fuente:<http://sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/370959?lang=en®ion=CO>

Lignina Kraft (Alcalina). Para Márquez (2009) "Este tipo de lignina se adquiere a través del procedimiento llamado sulfato o Kraft, que se considera un destacado entre los procedimientos más utilizados, esto debido a la variedad de materiales crudos que pueden ofrecer." (p.20).

Para Sifontes (2010) "Las ligninas kraft no modificadas se representan con un alto nivel de virtud debido a su insolubilidad en el agua, es posible separarlas de los fragmentos. Las últimas pruebas demuestran que la división de la lignina es insoluble en soda caustica, aproximadamente el 90% y la parte del disolvente es del 3%, y la sustancia azucarada es inferior al 2,3% (en contraste con los segmentos de almidones subatómicos de alto peso). Estas ligninas, presentan bajos pesos moleculares (alrededor de 700 Da), son impenetrables en el agua y tienen diminutas cotas de impurificar en glucosa y cenizas (Bedia, Rosas & Márquez, 2009).

Utilización. "La lignina se considera un producto renovable, actualmente su utilización como materia prima para distintas industrias crece naturalmente. Su multifuncionalidad implica a usarlos también como adhesivos, usos veterinarios e incluso usos médicos". (El Mansouri, 2006).

Para Barrasa y Bustamante (2016)" La utilización de los materiales reciclados como los desechos agrícolas para el sector construcción o rehabilitación de una carretera es un plan para repotenciar o generar simbiosis de carácter nacional que permita aumentar en las empresas mayor competitividad y así poder reducir el impacto ambiental. El uso de la lignina, que es un material que deriva de la producción de etanol, la cual sustituirá el betún para obtener mejoras vista de dos maneras, ambiental y para el soporte de la carpeta de rodadura". (p. 15)

La utilización de la lignina sería muy beneficioso en el área de transportes debido a que se podría solucionar algunas propiedades que son la estabilidad, deformación sin dejar de lado la resistencia a la impermeabilidad y agentes climatológicos, ya sea como un material añadido en la mezcla asfáltica

Obtención de lignina a partir de la industria del papel. Según Gonzales (2016) "La producción del papel y derivados del papel asume que la industria se encuentre entre las más grandes del planeta. La fuente primordial de dicha fibra es esencial en la producción de esta pasta de la madera que es originaria de los bosques. La especificación química de la madera tiende a ser variable. Se constituye de celulosa, lignina, hemicelulosa, y de un 5% a un 10% de otros compuestos.

La lignina varía entre el 16% y el 33% del peso que depende del tipo de madera. La lignina es un polímero complejo de olor dulce relacionado con los polisacáridos del divisor de la célula vegetal, su estructura estereo esporádica y sin forma lo hace una partícula específica y difícil de desbastar. Modernamente, es importante expulsar la lignina de la madera para hacer papel u otros artículos inferidos.” (p. 14)

La lignina es un material indispensable en la industria, principalmente en la producción de papel y otros teniendo como uno de las principales empresas papeleras en Perú tales como (Trupal y Atlas) también se aplica como alternativas en diferentes áreas, en este caso se busca aplicar en la mezcla asfáltica en caliente para poder mejorar el comportamiento mecánico.

Mezcla asfáltica. Según Yepes (2014) “La mezcla asfáltica, también llamada aglomerado, es generalmente una composición de aglutinante de hidrocarburo y agregados minerales de piedra. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla, así como su rendimiento como mezcla terminada para un uso determinado en pavimentos flexibles.” (p. 1)

La mezcla asfáltica es una consecuencia de la fusión de los agregados finos y gruesos, también del asfalto. Se hace énfasis que los porcentajes son distintos (MAC 1, 2 y 3), para cada determinado lugar las proporciones de dicha mezcla asfáltica será diferente.

Mezclas asfálticas en caliente. Según Pineda y Julian (2009) “Las mezclas asfálticas se producen en plantas especiales, dicha mezclas asfálticas son calentadas a temperaturas altas, que se encuentran en un rango 150° a 180°C. Los agregados finos y gruesos se calientan a más de 100°C. Si no se encuentra a dicha temperatura, la mezcla comenzara a rigidizar, en esa condición no se puede extenderse y menos aún compactarse de una forma adecuada. (p. 3)

Para Artemio (2016) “Las mezclas asfálticas son aquellos que deben estar a altas temperaturas durante su proceso, colocación y compactación. El cemento asfáltico es llevado a un rango de temperatura de 135 a 160°C, para estas mezclas generalmente es inflexible a temperatura ambiente. Esa es la razón por la que, cuando la mezcla se enfría, las partículas con un enlace en la parte superior brindan inflexibilidad y protección para resistir el tráfico al que se encuentra la calle o avenida.” (p. 23)

En los resultados presentados los autores difieren de la temperatura de las mezclas asfálticas en calientes, y en caso de no cumplir, no tendrá el mismo comportamiento, por ende, la resistencia y rigidez no será la misma.

Diseño de mezclas asfálticas. Según Palma et al. (2010) “Para encontrar el óptimo contenido de asfalto va depender de varios criterios desde el porcentaje promedio de vacíos de aire, el cual es 4% (NORMA AASHTO T 245, ASTM D 1559). Todas las propiedades obtenidas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas.” (p. 87)

Para Chávez (2014) “Para obtener un diseño de mezclas asfáltica, se debe realizar varios ensayos en el laboratorio, ya sea para agregados gruesos y finos, también para la mezcla, la cual debe cumplir los parámetros establecidos por el ASTM D 1559” (p. 65)

En el Perú, el procedimiento más utilizado es el método Marshall. Por otra parte, en los EE. UU. Y Canadá, se han utilizado 3 estrategias durante los 60 años anteriores: la estrategia Marshall, la técnica Hveem y el Superpave.

Agregados. Según Rodríguez (1994) “Los agregados gruesos son materiales granulares rígidos e inertes que se aplican en los afirmados de las carreteras con o sin adición de aditivos y con gradaciones óptimas (p. 5)

Para Lizcano y Reyes (2015) “El agregado en los pavimentos hace mención a un conglomerado de partículas las cuales son gravas inertes, arenas, finos o fillers (naturales o triturados), empleando para la producción de la mezcla asfáltica, concretos hidráulicos y materiales estabilizados, terraplenes, afirmado, subbase. En la estructura de pavimento los agregados pétreos son más exigentes, las cuales tienen una granulometría adecuada y cumplen con los parámetros con respecto a la mezcla asfáltica.” (p. 120)

Los agregados son aquellos que se utilizan para ejecutar cualquier tratamiento de mezcla bituminosa que debe tener una naturaleza tal que, cuando se conecta una capa de material de asfalto, no se retira por la actividad del agua y el tráfico. Solo se admitirá la utilización de agregados con cualidades hidrófilas y requerimientos que se muestra en la *tabla 3*.

Tabla 3. Requerimientos para los agregados gruesos.

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTCE 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad de Agregados	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1.0% máx.	1.0 máx.

Fuente: (MTC 2013) Sección 42.

Propiedades de los agregados en granulometría del agregado grueso (MTC E 204). Según Franco (2012) “Se determina a granulometría mediante procedimientos sobre muestras de agregado grueso y fino las cuales consisten en pasar el total del material por una serie de mallas o tamices con aberturas de tamaño específico. Las partículas demás dimensión quedan atrapadas en las mallas superiores; las partículas de tamaño inferior pasan a través de los tamices medianos y las partículas finas pasan a través de los tamices los últimos tamices (p. 12)

Según Anguas et al. (2004) “El sistema Marshall utiliza un cuadro semilogarítmico para caracterizar la gradación permisible, en la cual la ordenada equivale al porcentaje de material que pasa cierta malla, en la abscisa las aberturas de las secciones transversales en mm, trazado logarítmicamente. Para elegir una curva granulométrica de una mezcla cerrada o gruesa está en función de 2 parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), Estas líneas condicionan su paso obligatorio para la gradación y curva de granulometría. Todo ello mencionado en la norma internacional ASTM D 3515.” (p. 15)

La granulometría del agregado se identifica directamente con la sustancia ideal del asfalto. Cuanto mejor contenga la gradación de la mezcla, más prominente será la zona de toda la superficie, y más notable será la medida del asfalto requerido para cubrir consistentemente cada una de las partículas. Por otra parte, para mezclas con contenido de agregados más gruesos requieren menos asfaltos, ya que tienen menor cantidad de partículas finas. De acuerdo con los requisitos del manual del MTC EG-2013 mostrado en la *tabla 4*,

para una mezcla en caliente, el asfalto reacciona a 3 tipos de ejes granulométricos ASTM D 3515.

Tabla 4. Granulometrías consideradas en la EG 2013.

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.º4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2.00 mm (N.º10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 mm (N.º40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 mm (N.º80)	8 - 17	8 - 17	9-19
75 mm (N.º200)	4 - 8	4 - 8	5-10

Fuente: (MTC, 2013) Sección 423.

Agregados finos. El agregado fino es la extensión que tiene un lugar a través de los tamices N° 4 y N° 200. Dicho agregado fino debe entregarse completamente en el triturador de cantera o roca, o principalmente de fuentes regulares de arena. La proporción de arena característica no puede superar el 25% de la masa total del total combinado. Como lo indica el EG 2013, la *Tabla 5* demuestra las necesidades para los totales finos:

Tabla 5. Requerimientos para los agregados finos.

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	4
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 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.º 200)	MTC E 111	4 máx.	4 máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción **	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: (MTC, 2013) Sección 423.

El tamaño de las partículas más grandes en el ejemplo debe resolverse, a la luz del hecho de que las determinaciones discuten una estimación de la molécula más grande para cada agregado utilizado. Hay dos formas diferentes de asignar los tamaños de molécula más grandes:

Mediante la molécula más representativa, asignada para la malla (tamiz) más grande que el filtro primario que contiene más del diez por ciento del total de partículas, en una disposición ordinaria de tamices.

Normalmente, este es el filtro más pequeño a través del cual pasa el 100% de las partículas totales. Una mezcla de pavimentación se clasifica según lo indicado por su tamaño más grande o su mayor tamaño representativo como se aprecia en la *tabla 6*.

Tabla 6. Ensayos para evaluar las propiedades de los agregados.

Propiedad	Ensayo	Norma
Graduación y Tamaño máximo	Análisis Granulométrico Por tamizado	ASTM D-421
Limpieza	Equivalente de Arena	ASTM D-2419
Dureza	Abrasión por la Maquina de Los Ángeles	ASTM C-131
Capacidad de absorción y Peso específico	Gravedad específica y Absorción	ASTM C-127 ASTM C-128
Afinidad con el Asfalto	Ensayo de adherencia Agregado Grueso	ASTM D-1664
Afinidad con el Asfalto	Riedel Weber (Agregado fino)	D.E.E.MA-8

Fuente: Procedimiento del Diseño de mezcla.

Textura (MTC E 210,221- 2016). La superficie es una propiedad que insinúa la condición de las partículas. Las más empleadas en las mezclas asfálticas quieren ser exactas y difíciles de contradecir los giros duraderos y la fatiga debido a la rotura. Estos atributos permiten un enlace superior entre las partículas de los agregados, manteniendo una distancia estratégica a las deformaciones plásticas en la mezcla (surcos o ahuellamiento). Lo que mejora las propiedades de fricción de las capas de asfalto.

Según Franco (2012) “La estructura superficial de las moléculas de los agregados es un agente que define la trabajabilidad, resistencia de la mezcla asfáltica, también define sus características de la resistencia al resbalamiento en la parte superior del pavimento. Otros creen que la textura es más relevante que la forma de la molécula, debido a que una molécula rugosa, un ejemplo la lija, incrementaría su soporte a cargas, debido a su alto coeficiente de fricción exterior lo cual hace que el flujo del tránsito sea más fiable. Las películas de cemento asfáltico son más adheribles a las superficies rugosas.” (p. 14)

El cemento asfáltico. El asfalto es un material de cubierta fuerte o semi-fuerte de sombreado oscuro u opaco, que se suaviza continuamente después del calentamiento y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos sustanciales, que se adquieren del refinado del petróleo. Se ha utilizado de manera efectiva en la pavimentación de calles, esencialmente

porque es un material excepcionalmente cementoso, termoplástico, repelente al agua y es impermeable al asalto de la mayoría de los ácidos, bases solubles y sales, que tiene una alta flexibilidad a altas temperaturas, una maleabilidad adecuada a bajas temperaturas, baja impotencia ante el cambio de temperatura, gran adherencia y con bajo contenido de parafina (alta protección contra el envejecimiento).

El cemento asfáltico tiene atributos físicos, que son los componentes que dan a cada uno de los detalles que lo convierten en un elemento básico. Este material contiene dos propiedades químicas significativas que son: consistencia, pureza.

Según Gerardo et al (p. 4, 2012) “El cemento asfáltico es un derivado del petróleo, los cuales están formados por componentes de un elevado peso molecular. Los componentes de esta estructura son muy complicados, siendo hidrocarburos y hetero componentes formados por carbono e hidrogeno asociados de diminutas fracciones de nitrógeno, azufre y oxígeno.”

Composición química del cemento asfáltico. Según Vallejo (2011) “Los componentes químicos del cemento asfáltico son mezclas compuestas de hidrocarburos, que contengan dentro de sus moléculas incluyendo el azufre, oxígeno, nitrógeno, compuestos metálicos, adquiridos como subproductos de la refinería del petróleo.” (p. 2) En la siguiente *tabla 7* se puede apreciar la composición química de los asfaltos.

Tabla 7. Composición química del cemento asfáltico.

Elemento	Porcentaje (%)
Carbono	80 - 88
Hidrógeno	9 - 12
Nitrógeno	0 - 2
Azufre	0 - 3
Oxígeno	0 - 12

Fuente: Martínez Dongo.

Clasificación del cemento asfáltico. El asfalto que se empleará en las mezclas asfálticas procesadas en caliente se clasificará por su grado de penetración y consistencia como se observa en la *tabla 8*; por lo cual, la inflexibilidad o deformabilidad de la misma.

La solidez del cemento asfáltico cambia en temperaturas a la que es expuesta el cemento asfáltico, será elegido por las cualidades climáticas del lugar donde se realizará la mezcla.

Tabla 8. Selección del tipo de cemento asfáltico.

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

Fuente: Sección 415 EG 2013.

Propiedades del cemento asfáltico. Según Franco (2012) "Las propiedades físicas del cemento asfáltico, brindan mayor importancia para la estructura. Las cuales son: resistencia, viscosidad, adherencia, debilidad a la temperatura, maduración y solidificación". (p.5).

Para esta investigación se va utilizar el PEN 60 – 70 debido a que es más convencional en el Perú de la refinería Repsol para fines de uso en mezclas asfálticas en caliente algunas de las especificaciones se detallan en la *tabla 9*.

Tabla 9. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.

Tipo		GRADO DE PENETRACIÓN							
Grado	Ensayo	PEN 40 - 50		PEN 60 - 70		PEN 85 -100		PEN 120 -150	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Penetración a 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218	
Ductibilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99		99		99		99	
Solvente Nafta - Estándar	AASHTO M 20	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Fuente sección 415-EG 2013 (MTC 2013).

Por consiguiente, es de vital importancia el conocimiento de dichas propiedades presentadas a continuación:

La Durabilidad. Según Martínez (2000) “La durabilidad es la capacidad del asfalto para oponerse a diferentes desintegraciones, por ejemplo, baches, peladuras, provocados por la actividad del tráfico u otras hostilidades externas, por ejemplo, la radiación solar, la oxidación de la cubierta creado a través del aire y el agua, el impacto del hielo, la utilización de sales de transición, el derrame de aceites” (p. 13).

Para Franco (2012) "La durabilidad y tiempo de servicio de un pavimento flexible es su capacidad para oponerse a factores, por ejemplo, la descomposición del total del agregado, los cambios en las propiedades del pavimento asfáltico (polimerización y oxidación) y la partición de las películas de cemento asfáltico. Estos componentes pueden ser la consecuencia de la actividad de la atmósfera, el tráfico o una combinación de ambos "(p.38).

La durabilidad es una de las propiedades físicas del asfalto que varían de años (de vez en cuando se denomina solidificación de maduración). A medida que la cubierta del cemento asfáltico envejece, su consistencia aumenta y se vuelve más rígida y frágil. La maduración también ocurre cuando el cemento asfáltico está expuesto a temperaturas elevadas.

La Reología. Según Morea (2011) “La reología del pavimento es el estudio del flujo y la deformación de los materiales que lo componen en función al tiempo, las deformaciones permanentes(ahuellamiento) en la capa asfáltica son problemas de flujo, por consiguiente, es importante realizar la elección del asfalto según los parámetros y resultados reológicas del mismo” (p. 2)

Según Paredes (2009) “La reología es el estudio de la respuesta con respecto a la mecánica de un material, dichas propiedades cambian en función a temperatura y a las aplicaciones de las cargas, no tomando en cuenta los fenómenos por rotura. El asfalto es un material viscoelástico presenta una conducta complicada, por lo cual, los asfaltos son materiales de comportamiento reológico los cuales dependen esencialmente del grado de temperatura y velocidad de carga.” (p. 57)

La Pureza. El cemento asfáltico, debe cumplir con ciertos parámetros de pureza en la mezcla asfáltica en caliente, estas deben comprender que el asfalto este libre de sustancias que afecten a la mezcla. Las influencias contaminantes no son componentes dinámicos de la mezcla y pueden ser negativas en la presencia del asfalto.

Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica. Según Franco (2012) “No es otra cosa que conducta de las propiedades propiamente dichas al someterlas a pruebas o ensayos. Un ejemplo de pavimentación elaborada en el laboratorio puede ser estudiada para determinar su posible comportamiento en situ en la carretera. El examen se centra en cuatro cualidades de la mezcla y el impacto que pueda tener en la conducta de la mezcla.” (p. 35) Las 4 características son:

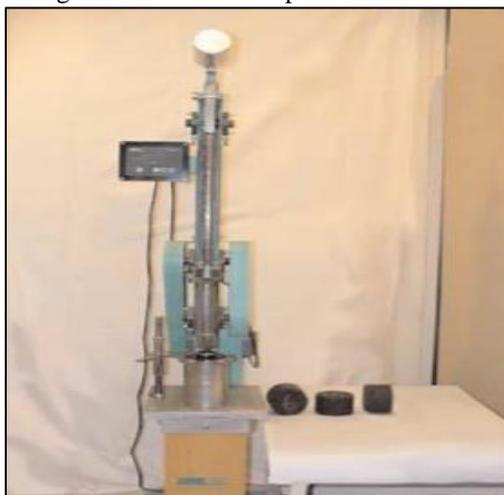
- Peso específico
- Estabilidad y flujo
- Vacíos de aires
- Vacíos del agregado mineral

En algunos textos se concluyen que la mezcla asfáltica es la solidez de Marshall y se puede comprender físicamente, por su calidad mecánica evaluada en la condición de desprendimiento de las mezclas, bajo carga monótonica en una prueba de estabilidad y flujo.

El Método Marshall. Según Palma et al. (2010) “La definición del método Marshall en el diseño de las mezclas asfálticas para pavimentos fue formulada por el Ing. Bruce Marshall. El equipo de ingenieros de los Estados Unidos Americanos, realizó muchas investigaciones, estudios, con una la finalidad de mejorar y adicionar nuevos aspectos al proceso de la prueba Marshall, y finalmente se generó un criterio de diseños de mezclas. El método originariamente fue empleado para mezclas asfálticas en caliente” (p. 47).

Para Padilla (2004) “El método para obtener una mezcla asfáltica óptima debe cumplir con requisitos mínimos las cuales son, estabilidad, densidad, fluencia y porcentajes de vacíos. Por consiguiente, el método Marshall determina el procedimiento de las mezclas asfálticas en caliente, empleando el equipo Marshall como se aprecia en la *figura 3*, la cual indica sus características mecánicas de la mezcla y analiza sus parámetros del contenido del asfalto óptimo.” (p. 48).

Figura 3. Martillo Compactador Marshall.



Fuente: (Harrigan, 2011 p. 102).

El Requerimientos del método. Para determinar las propiedades en el Diseño Marshall se consideran los parámetros internacionales establecidos por el Instituto de Asfalto, las cuales deben cumplir con los requisitos de las especificaciones técnicas para la Construcción de Carreteras EG-2018 en la Sección 423. La *tabla 10* adjuntada se muestra el resumen:

Tabla 10. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
3. Flujo 0.01* (0.25 mm)	8 - 14	8 -16	8 - 20
4. Porcentajes de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia retenida% (mín.)	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)	1.700-4000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 mín.		

Fuente: Tabla 423-06 (MTC 2013).

La Estabilidad. Según Martínez (2000) “Se denomina estabilidad a la disposición para soportar las tensiones, las cuales son provocadas por el tráfico y estas ocasionan una

distorsión. Si una mezcla es estable, significa que es capaz de mantener su forma y que estas soportarán cargas cíclicas, en caso de no ser estable se generará ahuellamientos u otras deficiencias por lo que se necesitará cambios en la mezcla. La resistencia a la distorsión es una propiedad complicada y principalmente depende de la cohesión y fricción que tiene la mezcla en su interior.” (p. 12)

Según Franco (2012) “Un pavimento estable es capaz de mantener su forma bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (surcos), ondulaciones (corrugación). La estabilidad de un asfalto es su capacidad para oponerse a desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito.” (p. 38)

Las cualidades de estabilidad excepcionalmente altas producen un pavimento excesivamente inflexible y, de esta manera, menos resistente de lo deseado.

El procedimiento del ensayo Marshall. Hay tres metodologías de prueba en la técnica de prueba Marshall. Estos son: la definición de todo el peso específico, la estimación del flujo y estabilidad Marshall, y del porcentaje de vacíos de las briquetas.

A continuación, presentamos una descripción general de los marcos requeridos por el Diseño Marshall en mezclas asfálticas. La metodología normada del procedimiento a seguir se encuentra en el ASTM D 1559.

La preparación del agregado. El Método Marshall requiere un agregado seco, dicho agregado al pasar por el ensayo debe estar libre de humedad. Esto evita que la humedad influya en los resultados de las pruebas.

Para su mezcla los materiales se colocan en un recipiente independientemente y se calienta en un horno a una temperatura que se encuentra en un rango de 130 hasta 160 ° C. Después el espécimen se pesa en la balanza electrónica para medir y registrar su valor.

El análisis granulométrico por vía húmeda. El estudio granulométrico húmedo es un sistema para distinguir los diámetros de partículas de varios tamaños en la muestra del agregado. Este dato es significativo a la luz del hecho de que los detalles de la mezcla deben estipular los diámetros importantes de partículas totales de varios tamaños, para crear una última mezcla en caliente con los atributos ideales.

Según Crespin (2012) “En este caso las muestras que son tamizadas serán lavadas al mínimo para extraer todo tipo de impurezas, ya sea polvo o algún mineral, luego son separadas y secadas. Después de ser lavadas, las muestras se secan y se pesan nuevamente. La diferencia de pesos antes y después del lavado indican la cantidad de polvo, material arcilloso y limo en la muestra original.” (p.53).

La determinación del peso específico-total. Según Guevara (2010) “El peso específico es el porcentaje del peso de cualquier volumen de la sustancia equivalente al agua, los dos deben estar a una temperatura indicada, por ejemplo, la sustancia tiene un peso específico de 1.6 la cual la hace 1.6 veces más pesada que el agua. A diferencia del cemento asfáltico no se especifica, usualmente existen dos razones importantes porque conocer el peso específico del cemento asfáltico, las cuales son: el asfalto se expande cuando está a temperaturas altas y cuando está en temperaturas bajas se comprime; el peso específico del cemento asfáltico es esencial porque calcula el porcentaje de vacíos o espacios libres.” (p. 55)

El peso específico de todas las muestras se resuelve cuando los especímenes compactados naturalmente se enfrían a una temperatura natural (ambiente). Este medidor de peso específico es esencial para un estudio de vacíos, el peso específico se entiende empleando el procedimiento representada en la norma estándar AASHTO T 166.

La temperatura. Según Guevara (2010) “Las mezclas asfálticas en caliente son procesadas a temperaturas altas las cuales están en el rango de 135 a 150 °C, dependiendo de la viscosidad de ligante, también se calienta los agregados, para que el asfalto no sufra un enfriamiento al entrar en contactos con ellos, debido a que estos materiales no son expansibles; las mezclas compactadas tienen ciertas limitaciones que no pueden estar expuestas a lluvias o alguna anomalía de efecto climático” (p. 25).

La preparación de las briquetas de ensayo. Las briquetas de prueba de las mezclas asfálticas se configuran haciendo que cada una contenga diferentes contenidos de asfalto. El asfalto utilizado en las briquetas de prueba se determina dependiendo de la experiencia del técnico en referencia a los agregados del diseño de mezcla. Este parámetro le brinda al laboratorio un punto de partida para decidir el contenido óptimo de asfalto. La dosificación del agregado en la mezcla asfáltica determinado por el análisis granulométrico.

El ensayo de estabilidad y fluencia. El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia ejercida en la mezcla compactada y la fluencia mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.

El valor de estabilidad Marshall. Para Suriano (2018) “El valor de la estabilidad Marshall es el valor la cual el espécimen tiene resistencia, en el instante de experimentar el cabezal tanto superior como inferior del instrumento Marshall, la carga superior del instrumento incrementa y se paraliza al obtener la carga máxima.” (p. 66)

Según López (2014) “El valor de la estabilidad son establecidas después de un análisis total del tránsito, por esto, las definiciones de la estabilidad deben ser elevadas para soportar el tránsito esperado, por ello se exige un rango de limitaciones de tránsito. Si el valor de la estabilidad es muy elevado esto genera una rigidización del pavimento, lo cual lo hace menos durable. El valor de la estabilidad Marshall es una condición donde el espécimen bajo carga tiende a fallar” (p. 73).

El valor de fluencia Marshall. Según López (2014) “Las mezclas que contienen bajos valores de fluencia y elevados valores de la estabilidad Marshall, se estiman que son demasiados frágiles y rígidas para un uso de pavimentación, los valores elevados de fluencia son considerados demasiados plásticos, lo cual no sirve bajo cargas cíclicas de tránsito vehicular.” (p. 106)

Para Suriano (2018) “La fluencia es el valor de la distorsión del espécimen, este valor esta adecuado en función al diámetro perpendicular del espécimen el cual se mide en centésimas de pulgadas. Las mezclas que contengan valores diminutos de fluencia y valores elevados de estabilidad son considerados vulnerables para un pavimento debido a su fragilidad y rigidez.” (p. 68)

La densidad. Según Garnica (2005) “La densidad del espécimen se determina de la desigualdad en masas, la cual se convierte a volumen empleando la gravedad específica del agua, el volumen de espécimen se resuelve mediante la masa del espécimen saturado y suficientemente deshidratado” (p. 47).

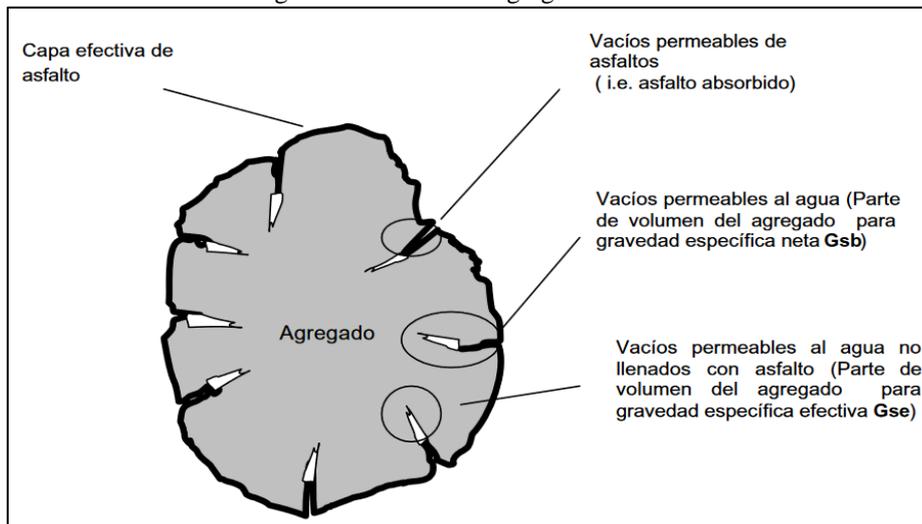
Según Franco (2012) “La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica

muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.” (36)

Por consiguiente, la densidad no es más que el peso específico y que es fundamental saber su unidad para lograr un pavimento de mayor duración.

Los vacíos. Según Crespi (2012) “Los vacíos de aire son extensiones pequeñas de aire, que se encuentra en los agregados de la mezcla como se puede apreciar en la *figura 4*. Es indispensable que las mezclas densamente graduada cuenten con cierta proporción de vacíos que accedan compactación complementaria bajo tráfico, proporcione espacios la cual deje fluir el asfalto en el lapso de la compactación complementaria. Una proporción de vacíos en la mezcla compactada, cuyo diseño debe estar entre 3% y 5 %.

Figura 4. Vacíos en el agregado mineral.



Fuente: Martínez Dongo.

Problema general. ¿Cuál es el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente adicionado en biopolímero lignina?

Problemas específicos. ¿Cuál es la variación en la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina? ¿Cuál es la variación en la densidad de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina? ¿Cuál es la variación del contenido de V.A y V.M.A, de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina?

Justificación de la investigación. El organismo del estado MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú, 2019) emite “Para el Año Fiscal 2019 se cuenta con un presupuesto asignado de S/ 7,836.6 millones, que representa el 63% del presupuesto total asignado al Sector Transportes y Comunicaciones” (p. 2, El Comercio). Lo cual quiere decir que se avecina en el futuro cercano un volumen muy importante de obras para el mantenimiento, mejoramiento y construcción de carreteras.

Teniendo en cuenta esas proyecciones, se considera importante evaluar materiales alternativos en la producción de mezclas asfálticas, lo cual esta investigación se basa en reducir el uso del asfalto hasta en un 15 % y que puedan proporcionar desempeños durante su vida útil, similar o mejor a las mezclas convencionales, y que adicionalmente ofrezcan ventajas de carácter ambiental.

Por otro lado, tenemos el material lignina inmerso en algunos vegetales y desechos agrícolas. En el Perú este material no es debidamente explotado pese aún que es abundante, lo cual se considera potencialmente beneficioso siendo así que la Empresa Trupal S.A. (ex Paramonga) tiene grandes depósitos de almacenamiento de dicho material sin ningún tipo de uso y buscando la viabilidad, por ello en la investigación se pretende sustituir parcialmente el asfalto con lignina. La elaboración de este proyecto de investigación pretende un conocimiento más amplio de las mezclas asfálticas en caliente adicionado con el biopolímero lignina, por otro lado, el hacer conciencia del impacto ambiental que tiene el uso del asfalto (derivado de petróleo), ya que es un tema que interesa y beneficia a todos.

Por consiguiente, esta investigación nació debido a nuevas alternativas de solución adicionando un biopolímero que pueda mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica y por ello se cree necesario experimentar este nuevo material y su reacción incorporando en la mezcla asfáltica. Debido a ello nació esta propuesta de título denominado: “Análisis del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el biopolímero lignina, lima 2019”.

Esta investigación tiene como finalidad conseguir una disminución del porcentaje de asfalto utilizado en la mezcla y así aportar al no efecto del cambio climático; no se debe olvidar que en la actualidad gran parte de los avances e innovaciones están dirigidos a la búsqueda de nuevos materiales y tecnologías amigables con el medio ambiente.

Justificación práctica. Según Borja, M. (2012) “Se da cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o por lo menos propone estrategias que al aplicarse contribuye a resolverlo. Es necesario tener en cuenta que la justificación puede ser relevante para algunos investigadores y para otros puede no serlo” (p.19).

La presente investigación intenta mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente. La adición del biopolímero lignina ayuda a resolver por un lado la baja capacidad de soporte de la carpeta de rodadura y por otro lado dando mejoras respecto al efecto del cambio climático reduciendo el asfalto y sustituyéndolo en porcentajes de 10% y 15% mediante ensayos en laboratorio mediante el método internacional ASTM.

Hipótesis general. El comportamiento mecánico tendrá mejora con la adición del biopolímero lignina en la mezcla asfáltica en caliente.

Hipótesis específicas. La estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina. La densidad de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina. El contenido de V.A y V.M.A de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina.

Objetivo general. Analizar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el biopolímero lignina.

Objetivo específico. Determinar la variación en la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina. Determinar la variación en la densidad de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina. Analizar la variación del contenido de V.A y V.M.A de la mezcla asfáltica en adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina.

II. MÉTODO

2.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Rodríguez, F. (2008) “Los tipos de investigación obedecen a distintos criterios de clasificación, un mismo estudio puede clasificarse en distintas categorías según la elección que se asuma los cuales están divididas en dos partes: Según su finalidad y según su enfoque” (p. 1).

Finalidad: Aplicada ya que se pretende la búsqueda de nuevos conocimientos del fenómeno ocurrido adicionando el biopolímero a la mezcla asfáltica como un material renovable o potenciador de estabilidad y aplicarla para la solución inmediata de bajo soporte estructural de las carreteras.

Enfoque: Cuantitativo Debido que se pretende ser objetivo mediante recolección de datos, gráficos comparativos y estadísticos.

Diseño: Cuasiexperimental – Transversal

Según Ramírez, A “El diseño cuasi experimental no tiene tan alto grado de control como el experimental puro debido a que los elementos que se estudian se preasignan a clases particulares” (p. 48).

Por lado el autor Cabezas, E. (2018) menciona “Se denomina diseño cuasiexperimental debido a que no es factible emplear el diseño experimental o experimental puro. La cual estas se manipulan deliberadamente al menos una variable independiente para ver su efecto y relación con una o más variables dependientes, solamente difieren de los experimentos puros en el grado de seguridad o confiabilidad debido a la exigencia de rigurosidad al manipular las variables en su totalidad.” (p. 77).

El presente proyecto de investigación es de diseño cuasiexperimental – transversal lo cual se va a pretender tener un control sobre la variable independiente, así mismo esta investigación está basada en obtener datos y su relación entre variables en un determinado momento mediante ensayos con la adición del biopolímero lignina con la finalidad de mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica.

Nivel: Exploratorio

Según Sampieri, H. (2018) menciona que: “Un estudio puede optar por el nivel exploratorio, si solo cumple con las características de que la investigación realizada es poco o vagamente estudiada y que generalmente cuenta con pocos antecedentes” (p.81).

Esta investigación es de nivel exploratorio ya que se pretende la búsqueda de nuevos de la materia aun poca estudiada partiendo de lo practico a lo específico del fenómeno y su validez en general. Así también los cambios que podrían ocurrir incorporando el biopolímero lignina a la mezcla asfáltica en caliente.

2.2 Operacionalización de variables

Variable independiente:

V1: Mezcla asfálticas en caliente adicionado con lignina.

Variable dependiente:

V2: Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con lignina.

Tabla 11. Operacionalización de las variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD
Variable Independiente: MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADO CON LIGNINA	Las Mezclas Asfálticas o Bituminosas en Caliente son aquellas combinaciones de áridos, incluyendo el polvo mineral, más un ligante hidro-carbonato con el objetivo de que todas las partículas del árido queden cubiertas por una película ligante homogénea; actualmente se busca utilizar aditivos que reduzcan el asfalto y mantengan el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente; el biopolímero lignina es una alternativa utilizado en el asfalto debido a su similitud de moléculas, adherencia y comportamiento, se considera que podría ser de utilidad para reducir el uso del asfalto. Por otro lado, el método estándar y más utilizado el Marshall donde en función de los resultados se selecciona el contenido óptimo de asfalto. (p. 1, Art. Asfalto).	Se elaboró 15 briquetas de diseño de mezcla convencional con el asfalto (PEN 60 -70) lo cual establece la norma ASTM D 1559 que sirvió de patrón para realizar un análisis comparativo respecto a las briquetas modificadas. Previamente se realizó la granulometría de agregado grueso y fino para determinar los parámetros según la norma AASHTO T110. La dosificación de la lignina se adicionó de forma que no se modifique el peso de asfalto (%) referido en el método MARSHALL, se sustituyó en 10% y 15% del total de asfalto utilizado para cada porcentaje, el cual se preparó un total de 45 briquetas adicionado con el biopolímero lignina, 15 briquetas para cada porcentaje, todo ello utilizando el asfalto (PEN 60-70).	DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA	Granulometría de los agregados	Porcentaje (%)
				Contenido de asfalto	Porcentaje (%)
				Dosificación de lignina	Sustitución parcial en Peso (10%, 15%)
Variable: Dependiente COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	El comportamiento mecánico está definido por valores de estabilidad y deformación. (Algunos investigadores lo denominan rigidez Marshall y físicamente puede ser entendida como una resistencia mecánica evaluada en el estado de falla de las mezclas). Las mezclas asfálticas más utilizadas en Perú son el PEN 60-70 (MAC 2). Por otro lado, una de la parte fundamental del procedimiento Marshall es la densidad e Índice de Vacíos que está relacionado directamente con la permeabilidad de la mezcla compactada. (p. 50, 2016 Velazco L.)	Ya elaborado las briquetas con distintos porcentajes de lignina el siguiente paso fue realizar el ensayo de estabilidad (kg) y flujo (mm) así también determinar la densidad y los vacíos de cada briqueta de la muestra compactada siguiendo los procedimientos establecidos en la norma internacional ASTM D 1559. Se realizó el ensayo para el total de 45 briquetas incluidas el patrón y las briquetas adicionado el biopolímero LIGNINA.	MÉTODO MARSHAL	Estabilidad	Kg.
				Flujo	mm.
				Densidad	gr/cm3
				(V.A)	Porcentaje (%)
				(V.M.A)	Porcentaje (%)

Fuente: Propia

2.3. Población, muestra y muestreo

Población

Según Borja Manuel (2012) “Desde un punto de vista estadístico, se denomina población o universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio” (p.30).

Ramírez, A. “[..] La población la define el objetivo o propósito central del estudio y no estrictamente su ubicación o límites geográficos, u otras características particulares a interior de ella” (p.53)

Para este proyecto de investigación la población está compuesta por las **muestras de mezcla asfáltica en caliente adicionado con el biopolímero lignina**, sueltas y compactadas de las cuales estarán en función a los porcentajes de adición del biopolímero lignina 10% y 15%, siendo un total de 45 muestras tomados para la población, resaltando que la población está definida a **criterio** referente a los antecedentes y al muestreo **no probabilístico**.

Muestra

Según Hernández Sampieri (2010), determina “Que la muestra es un subgrupo de la población que se encarga de la recolección de datos para una delimitación y que deberá ser representativa para la población.

Por otra parte, para delimitar la muestra de cantidad “n” de **briquetas** es fundamental tener apoyo en la ciencia de la estadística para una población cuantitativa y desconocida utilizando un margen de error del 0.05%, y por ende conlleva una confiabilidad del 95% ($Z_{\alpha} = 1.96$) debido a que consideramos que el resultado va a ser **significativo** asumidas para esta investigación.

Tabla 12. Parámetros Z_{α} en función del nivel de confianza

Valor Z_{α} .	1.28	1.65	1.69	1.75	1.81	1.88	1.96
Nivel de confianza	80	90	91	92	93	94	95

Fuente: Jay. L Devore (2018)

Muestreo

Cuantificando por muestreo probabilístico. Para determinar mediante la estadística mediante el método probabilístico para una investigación cuantitativa y población desconocida es necesario emplear la fórmula de la cantidad “n” de briquetas a utilizar.

$$n = \frac{Z^2 \cdot P \cdot Q}{E^2}$$

En donde: n = Tamaño de muestra
 Z = Valor Z curva normal (1.96)
 P = Probabilidad de éxito (0.50)
 Q = Probabilidad de fracaso (0.50)
 E = Error muestral (0.05)

Reemplazando: $n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2}$ **n = 384.16 = 384 muestras**

En consecuencia, esta investigación no estaría centrado en el muestreo probabilístico debido a que genera un alto costo por los ensayos, estableciendo así que se utilizará el muestreo **No probabilístico y a Criterio** con ello resaltamos que esta investigación va a servir para llegar una conclusión del fenómeno ocurrido, lo cual no puede ser generalizada con otros tipos de materiales, sino servir como base para futuras investigaciones del uso de la lignina como adición en la mezcla asfáltica en caliente.

El criterio utilizado para esta investigación es seleccionar las briquetas más representativas de lo cual se descartará las que resultan con alguna anomalía o falla en el proceso de elaboración para llegar a resultados certeros y válidos y confiables.

De los cuales previamente se elaborará 15 briquetas por diseño, para determinar un patrón de mezcla asfáltica convencional, lo cual servirá como base para hacer el comparativo. Para la investigación se utilizará 15 briquetas de muestra para los porcentajes de 10% y 15% de sustitución del asfalto con lignina dando un total de 45 muestras lo cual la distribución de cantidades se muestra en la *tabla 12*; tomando como base 3 muestras como mínimo para cada porcentaje referido a la norma del MTC E 504 y AASHTO T110.

Tabla 13. Total de briquetas para ensayo de mezclas asfáltica en laboratorio.

VARIABLE	NOMBRE DEL ENSAYO	Nº BRIQUETAS	NORMA
V1. Mezcla Asfáltica Adicionado Con Lignina	Ensayo Marshall convencional	15	ASTM D 1559
	Ensayo Marshall incorporando 10%	15	ASTM D 1559
V2. Comportamiento Mecánico De La Mezcla Asfáltica En Caliente	Ensayo Marshall incorporando 15%	15	ASTM D 1559
	Total	45	ASTM D 1559

Fuente: Propia.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnica de recolección de datos

“Las técnicas utilizadas en la investigación son específicas que complementan al método científico. La aplicación de la técnica conduce a la correcta obtención de datos, la cual tiene que ser guardada u escrita para su posterior análisis e interpretación” (Arias, 2006, p.67).

Por otro lado, Carrasco, S. (2006). Menciona: “La técnica recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de formas que sirven de apoyo directo a la obtención de datos que pueden ser la observación directa (p.174).

La técnica utilizada para esta investigación será la **observación directa y toma de datos** puesto que es de diseño cuasi-experimental. Ya que se analizará el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el biopolímero lignina, las descripciones y guías a utilizar se muestran en la *tabla 13* según el AASHTO y ASTM

Tabla 14. Técnicas y Guías para utilizar.

Graduación De Los Agregados	AASHTO T30 y T 308
Contenido De Asfalto	AASHTO T308
Ensayo De Densidad De La Mezcla	ASTM, D 2726 – D 2041 / AASHTO 245 – 209
Estabilidad Y Flujo	ASTM, D 6977 / AASHTO 245
Ensayo De Densidad De La Mezcla	ASTM, D 4123 / AASHTO 283

Fuente: Propia.

Instrumento de recolección de datos

Según Schiffman (2001) “menciona que el instrumento de recolección de datos pueden ser cualquier tipo de recurso que utiliza el investigador para obtener la información y datos con relación al tema, estos instrumentos servirán para interpretar los resultados con relación al marco teórico”.

Por otro lado (Hernández et al.) precisa que, “Un eficaz instrumento de recolección de datos es aquel que registra de forma ordenada y entendible y estas representan los conceptos y resultados que el investigador tiene en mente.” (2006, p. 312)

Por lo cual la recolección de datos para la presente investigación será mediante fichas, normadas y documentadas así también cuadros y cálculos en el Excel para lo cual

nos apoyaremos en las normas y procedimientos Internacionales ASTM y AASHTO así también la guía peruana del MTC y el dónde están establecidos los métodos apropiados para el desarrollo de los ensayos en el laboratorio.

Validez

Valarino et al indican que: “La validez infiere a tener una relevancia en cuanto al nivel de seguridad, así también que se puede definir como una técnica clara, precisa y con un alto nivel de autenticidad lo cual se emplea para medir los fenómenos o un comportamiento referente al observador (2012, p. 27).”

Por otro lado, Hernández S. 2016 menciona: “Cuanta más evidencia exista, la validez será mayor, la validez de los instrumentos de medición representa las variables que se pretende medir y estas llevaran a resultados más válidos. (p. 208).

Para tener una mejor veracidad y validez los procedimientos y ensayos en el laboratorio serán con la asistencia de un técnico experto y calificado así también las fichas y documentos serán firmados por personas profesionales.

Por otra parte, todo material se documentará las especificaciones técnicas de las mismas características y parámetros para llegar a una validez (material grueso y fino, asfalto 60–70 PEN), por ejemplo, granulometría, módulo de finura.

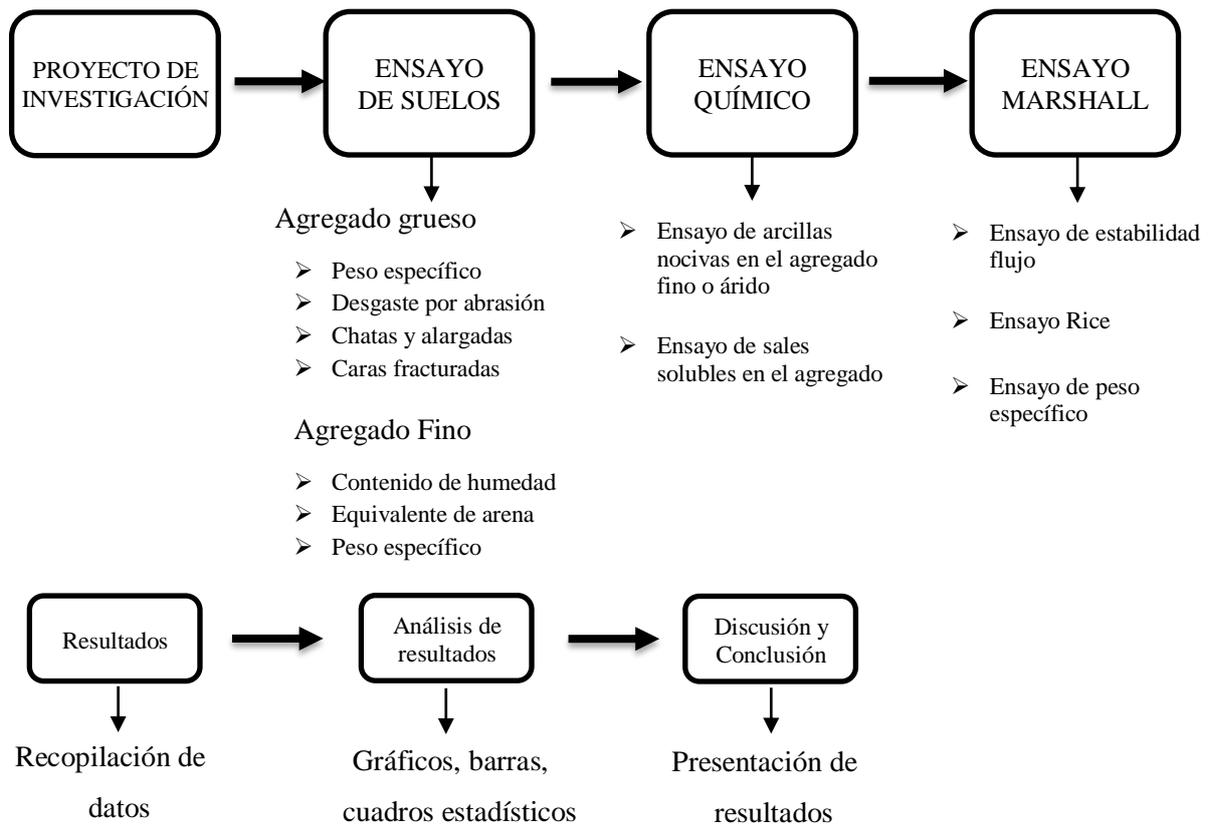
Para una mejor evidencia de los procedimientos se llevará a su debida grabación mediante cámaras y/o celulares.

Confiabilidad

Hernández S. et al, 2016 menciona: “La confiabilidad de una escala de medición se define como al grado de aplicación repetida al mismo objeto de tal modo produzca resultados iguales. Para calcular la confiabilidad de un instrumento de medición se basa en distintos procedimiento y fórmulas que producen coeficientes de fiabilidad que oscila entre 0 y 1, donde un coeficiente de cero significa nula confiabilidad y uno representa un máximo de confiabilidad” (p. 200).

Para tener una mejora confiabilidad de los instrumentos del laboratorio los equipos a utilizar serán certificados cumpliendo estándares de pesos y medidas internacionales para lo cual serán calibrados para la obtención de resultados reales.

2.5 Procedimiento. - El procedimiento se llevó mediante las siguientes etapas:



2.6. Métodos de análisis de datos

Los métodos de análisis de datos comprenden de medios donde el cual se va a obtener las mediciones, por el cual está presente investigación utilizaremos el método Marshall que tiene una validez y confiabilidad internacional ASTM para la obtención de datos estadísticos y numéricos.

La Metodología Marshall. El método original de Marshall tiene una restricción de uso que lleva a experimentación y aplicación solo a mezclas asfálticas en caliente que el contenido de agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método alterado y modificado se lleva para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5”).

Estos modelos experimentales están pensados para el diseño de laboratorio de mezclas asfálticas en caliente con una gradación densa. Los parámetros permisibles se detallan en la *tabla 14*. El método Marshall se basa en briquetas de prueba de dimensiones de 64 mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro. Se preparan siguiendo la metodología y procedimientos (ASTM D 1559). Los dos métodos principales de diseño son, la densidad,

análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de las briquetas compactadas.

Tabla 15. Parámetros permisibles para mezclas asfálticas en caliente

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

Fuente: MTC 2013.

La estabilidad y Flujo. El procedimiento del ensayo está descrito en la norma MTC E 504 “Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el Aparato Marshall”. El ensayo se refiere a someter a una carga de compresión diametral a las briquetas moldeadas en laboratorio, luego de ser sumergidos en agua durante un tiempo de 30 a 40 min. A una escala de temperatura de $60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}$.

La falla se presenta cuando alcanza su máxima resistencia es decir cuando la muestra falle esta debe ser aplicada a razón de 50 mm/min. En este mismo instante, también se toma el valor del flujo que es la deformación o movimiento total, en unidades de 0.25 mm (1/100”) que ocurre en la briketa, entre su punto máximo de cargar y sin carga durante el ensayo de estabilidad.

El peso específico o gravedad específica. Para determinar la densidad efectiva se realiza el peso específico de cada briketa compactada con la siguiente formula:

$$\text{Peso específico bulk} = \frac{A}{B}$$

Dónde:

A = Peso del espécimen seco en aire (gr)

B = Volumen de la briketa saturada superficialmente seca (cm³)

La densidad efectiva se calcula una vez obtenido el peso específico mediante la siguiente formula:

$$pE = (\text{Peso específico}) \times (\gamma)$$

Dónde: γ = densidad del agua a 25 °C (1000 kg/m³)

El contenido de asfalto efectivo de una mezcla de pavimento es el volumen total de asfalto, menos la cantidad de asfalto perdido por absorción dentro de las partículas del agregado. Es la porción del contenido total de asfalto que se queda como una capa en el exterior de la partícula del agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica. La fórmula es:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s$$

Dónde:

P_{be} = contenido de asfalto efectivo, porcentaje de la masa total de la mezcla

P_b = contenido de asfalto, porcentaje de la masa total de la mezcla

P_{ba} = asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado

P_s = contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total. El VMA puede calcularse sobre la base de la gravedad específica neta del agregado y expresado como un porcentaje del volumen mezcla asfáltica compactada y se clasifican como se aprecia en la *tabla 15*. Por lo tanto, el VMA puede estimarse restando el volumen del agregado determinado por su gravedad específica neta del volumen neto de la mezcla asfáltica compactada que se determina mediante la siguiente fórmula:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Dónde:

VMA = vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto)

G_{sb} = gravedad específica neta del total de agregado

G_{mb} = gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada (ASTM D 1188 O D 2726/AASHTO T 166)

P_s = contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica

O, si la composición de la mezcla es determinada como el porcentaje de la masa del

agregado:

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_b} \times 100$$

Dónde: P_b = contenido de asfalto, porcentaje de la masa del agregado

Tabla 16. Requerimientos de vacíos mínimos en el agregado mineral.

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %
	Marshall
2.36 mm (N.º8)	21
4.75 mm (N.º4)	18
9.50 mm (3/8")	16
12.5 mm (1/2")	15
19.0 mm (3/4")	14
25.0 (1")	13
37.5 mm (1 1/2")	12
50.0 mm (2")	11.5

Fuente: Tabla 423-06 (MTC 2013).

Los vacíos de aire, V_a , en la mezcla asfáltica compactada consiste en los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado. El porcentaje del volumen de vacíos de aire en una mezcla compactada puede determinarse usando:

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Dónde:

V_a = vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total

G_{mm} = Peso específica teórico máximo de la mezcla asfáltica

G_{mb} = Peso específico bulk de la mezcla asfáltica compactada

2.7. Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación fue citado con la norma ISO 690 respetando los autores y las fuentes referenciadas tanto en las imágenes, cuadros, bibliografía y anexos, Lo cual nos permite cumplir y respetar los pensamientos de otros autores e investigaciones dando así un correcto aspecto éticos como profesional.

III. RESULTADOS

Obtención de los materiales para la investigación

Cantera Valcárcel - La Quebrada

Cantera con años de experiencia extrayendo agregados minerales así también producción de asfalto en caliente, lo cual para la presente investigación proporciono el agregado grueso (162.4 kg) y finos (168 kg), esta cantera está ubicado en la Av. Roncadora de Santa Clara. Con coordenadas UTM -12.038361, -76.873556 como se aprecia en la *figura 5*.

Figura 5. Ubicación geográfica de la cantera



Fuente: Google maps

En *fig. 6* se puede observar la entrada de la cantera donde se puede apreciar los procesos de extracción y planta de tratamiento de asfalto.

Figura 6. Entrada de la cantera “La Valcárcel la Quebrada”



Fuente: Google maps

Asfalto

El asfalto a utilizar para todas las muestras se obtuvo de la empresa REPSOL PERU, el cemento asfáltico a utilizar es el PEN 60-70 la cual se aprecia en la *fig. 7* sus siglas “PEN” es debido a su grado de penetración del asfalto y el clima definida entre 12° a 28° C

especificada la ficha técnica siendo la más utilizada en el Perú, La refinería “La Pampilla” se ubica por la avenida Néstor Gambetta en Ventanilla, provincia del Callao.

Figura 7: Pen 60 - 70

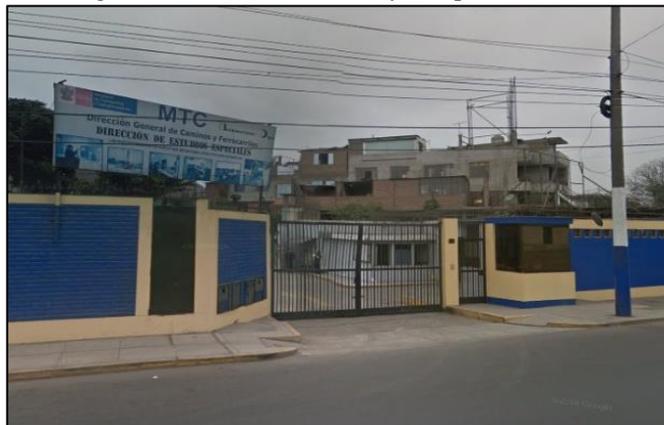


Fuente: Propia

Laboratorio

Entidad pública de Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC). Laboratorio con años de experiencia y técnicos calificados para los ensayos de materiales (concreto y asfalto) los equipos con los que cuentan presentan certificación y calibración y se rigen a las normas estándares internacional como la ASTM y AASHTO, se ubica en la avenida Túpac Amaru 180, Cercado de Lima 15094.

Figura 8. Laboratorio de ensayos especiales MTC



Fuente: Propia

Lignina

Para el proyecto de investigación y como materia fundamental para el ensayo de la mezcla asfáltica y agente modificador se utilizó la lignina extraído del licor negro proporcionado por la empresa papelera TRUPAL S.A.C en una cantidad 50 kg como se aprecia en la *fig. 9*.

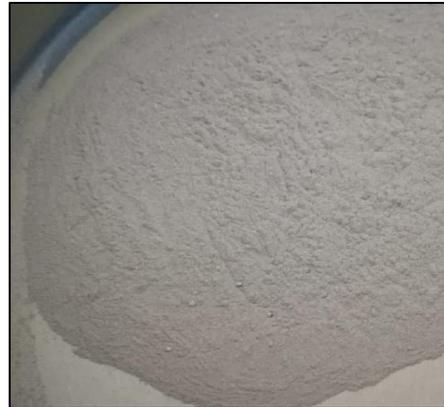
Para la investigación se realizó el tamizado de todo el material como se muestra en la *fig. 10* y como se indica en los antecedentes para el uso y combinación con el asfalto a temperaturas de 140° C - 145° C.

Figura 9. Lignina



Fuente: Propia

Figura 10. Lignina pasante en la malla N° 200



Fuente: Propia

Agregado Grueso

Para el agregado grueso de 162.4 kg se llevó a la malla serie americana de 3/4” lo cual el pasante fue el 100% del agregado, en la malla de 3/8” se retuvo 100 kg lo cual representa el 61% del total, en la malla N° 4 se retuvo 59.800 kg que representa el 37% y finalmente en la malla menor a N° 4 se retuvo 3.0 kg que representa el 2 % del total, Para los ensayos se realiza el procedimiento para todo el material y posterior a eso se separa en pequeñas taras ambos procedimientos se puede observar en la *fig. 11* y *12* para ser llevado a los distintos ensayos a realizar

Figura 11: muestras de agregado grueso



Fuente: Propia

Figura 12: Muestras para los distintos ensayos



Fuente: Propia

Parámetros Físicos y Químicos de los Materiales

Ensayos del agregado grueso

Los ensayos del agregado grueso se siguió el procedimiento de las normas estándares internacionales ASTM, así también, el mínimo y máximo requerido para el ensayo Marshall establecidos en el manual de ensayos del MTC EG 2013. Para realizar los ensayos se separó muestras representativas de material para cada ensayo como se puede apreciar e la *fig. 13*.

Figura 13. Taras de muestras para los ensayos



Fuente: Propia

Ensayo para determinar el contenido de humedad

El contenido de humedad es igual a la diferencia del contenido de humedad a la intemperie del agregado grueso y absorción sometido al secado en horno. La absorción puede determinarse de acuerdo con el método MTC E 206. Para determinar el contenido de humedad se procede a ingresar la muestra al horno de la *fig. 14*. por un tiempo de 24 horas.

Figura 14. Horno Eléctrico



Fuente: Propia

Resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión

Para la abrasión se determinó según la granulometría de los agregados y se clasifico en el Tipo B, debido a que los agregados se encuentran entre la malla 1/2" y 3/8", se separó para cada malla 2500 gr dando un total de 5000 gr. \pm 5. Se efectuó en ensayo en la máquina de los ángeles como se aprecia en la *figura 15*.

Figura 15. Máquina de los Ángeles



Fuente: Propia

Para el ensayo se llevó la muestra a la máquina de los ángeles y se empleó 11 esferas de acero como se aprecia en la *figura 16* de 445 gr y se programó para que diera 500 vueltas a 30 a 33 rpm.

Figura 16: Esferas de Acero



Fuente: Propia

El ensayo se realiza en cámaras o cuartos especiales donde en el tiempo del ensayo permanece completamente cerrado.

Cálculo del % de desgaste del material grueso y los resultados del ensayo se presenta en la *tabla 17*.

$$\% \text{ desgaste} = \frac{928}{5000.5} \times 100 = 18.56\%$$

Figura 17: Tabla de resultados de abrasión

Identificación	
Pozo N°	1
Profundidad	5000.5
Gradación	B
Peso mat/ret en la N° 12 gr	4072.5
Peso mat. pasa malla N° 12 gr	928
Porcentaje de desgaste	19%

Fuente: MTC

Interpretación: De acuerdo con el manual del MTC E 207, para el Ensayo Abrasión de los Ángeles al desgaste de los agregados el requerimiento se clasifica según la altitud a emplearse; para menor de 3000 m.s.n.m el rango establecido es como máximo el 40 % lo cual el resultado obtenido se encuentra en el rango.

Peso Específico y absorción del agregado grueso

El ensayo consiste en determinar el peso de la muestra representativa lo cual fue 4059.6 gr secado superficialmente y sumergido en agua; para determinar su peso seco se lleva al horno a 110°C por un tiempo de 24 horas. La *tabla 18* se muestra los datos específicos para llegar al porcentaje de absorción del agregado.

Tabla 18. Resultados de peso específico y absorción

DESCRIPCIÓN		AGREGADO GRUESO	
Peso del material saturado y superficialmente seca (en aire)	(gr)	A	4059.6
Peso del material saturado y superficialmente seco (sumergido)	(gr)	B	2653.8
Volumen masa + volumen de vacíos	(cm3)	C=(A-B)	1405.8
Peso del material seco a 105°C	(gr)	D	4037.2
Volumen de la masa	(cm3)	E=C-(A-D)	1383.4
Peso Específico Bulk (Base seca)	(gr/cm3)	D/C	2.872
Peso Específico Bulk (base saturada)	(gr/cm3)	A/C	2.888
Peso Aparente (base seca)	(gr/cm3)	D/E	2.918
Absorción	(%)	((A-D) / D) * 100	0.55

Fuente: MTC

Interpretación: El peso específico bulk de base seca se determinó 2.872 gr/cm³ como se aprecia en la *tabla 18* para la muestra representativa indicada y la absorción del material se estableció con 0.55% lo cual está en el rango establecido como máximo 1% según la norma MTC E 206.

Ensayo de partículas con cara de fractura

Se desarrolló según la norma internacional establecida por el ASTM D 5821 partiendo de seleccionar el tamaño máximo nominal pasante y retenido como se muestra en la *tabla 19*.

La selección de los materiales con 1 y 2 caras de fractura se efectuó mediante la visualización y el tacto para distribuir los materiales.

Tabla 19. Tabla de los tamices permisibles para el ensayo

Tamaño máximo nominal del agregado	Muestra en gr
1" (25.0 mm)	0
3/4" (19.0 mm)	0
1/2" (12.5 mm)	1143
3/8" (9.5 mm)	1000

Fuente: MTC

Resultado de partículas con caras de fractura de 1 a más se muestra en la *tabla 20*. Dando como resultado en porcentaje de 92.79.

Tabla 20. Resultado de ensayo

Tamices		Peso total retenido en mallas (A)	Peso de material (B)	% de caras fracturadas (C=B/A*100)	Escala original % (D)	% de caras fracturadas (E= C*D)
Pasa	Retiene		1 a más	1 más		1
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1143	1033.5	90.4	34	3073.6
1/2"	3/8"	1000	957.5	95.8	27	2586.6
Sumatoria		2143	1991	186.2	61	5660.2
% de caras fracturadas de 1 a más:						92.79

Fuente: MTC

Resultado de partículas con caras de fractura de 2 a más se muestra en la *tabla 21*.

Tabla 21. Resultado de ensayo

Tamices		Peso total retenido en mallas (A)	Peso de material (B)	% de caras fracturadas (C=B/A*100)	Escala original % (D)	% de caras fracturadas (E= C*D)
Pasa	Retiene		1 a más	1 más		1
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1143	523.5	45.8	34	1557.2
1/2"	3/8"	1000	606	60.6	27	1636.2
Sumatoria		2143	1129.5	106.4	61	3193.4
% de caras fracturadas de 2 a más:						52.35

Fuente: MTC

Interpretación: En el manual del MTC E 210, para el ensayo de caras fracturadas y de los agregados gruesos, existe un valor máximo de 85/50 para ambos casos lo cual para 1 o 2 caras de fractura para la altitud menor de 3000 m.s.n.m. por lo que el resultado no cumple para ambos casos siendo estos en exceso de 92.79% y 52.35%

Ensayo de partículas chatas y alargadas

Para determinar un óptimo desempeño del agregado grueso en el asfalto existe un mínimo porcentaje permisibles de partículas chatas y alargadas considerando el tamaño máximo nominal, para el ensayo se considera el retenido de la malla 3/4" (19 mm) y el mínimo 3/8" (9.5 mm) según el manual ASTM 4791 y los resultados se muestran en la siguiente *tabla 22*.

Tabla 22. Tamaño de tamices y retenido para el ensayo

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (PULGADAS)	MÍNIMO DE MUESTRA (gr)	Peso. B	% C	Esc. D	Parci. E	RESUL TADO
3/4 a 1/2"	1143.0	74.5	6.5	34	221.0	
1/2" – 3/8	1000.0	89.0	8.9	27	240.3	
				61	461.3	7.6%

Fuente: MTC

Interpretación: En el manual del ASTM 4791, para el ensayo de partículas chatas y alargadas de los agregados gruesos, existe un valor máximo de 10% de la muestra para la altitud menor de 3000 m.s.n.m como se aprecia en la *tabla 23*, por lo que el resultado fue de 7.6% que se encuentra dentro del parámetro establecido.

Tabla 23. Tamaño de tamices y retenido para el ensayo

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		> 3,000	≤3,000
Partículas chatas y alargadas	MTC E 219	10% máx.	10% máx.

Fuente: MTC

Granulometría del agregado grueso

Para determinar la granulometría del material grueso se llevó la muestra y se realizó procedimiento de vibración para todas las mallas desde 1/2" hasta la N° 200 con la finalidad de encontrar la proporción adecuada para el diseño de mezcla asfáltica como se aprecia en la *tabla 24*. que como resultado para la mezcla asfáltica fue de agregado grueso (35%) y fino (65%).

Tabla 24. Resultados de Análisis Granulométrico del agregado grueso

MALLAS		Peso (Gr.)	AGREGADO GRUESO	
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	Ret. en Malla	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200		-	-
2"	50.800		-	-
1 1/2"	38.100		-	-
1"	25.400		-	-
3/4"	19.050		-	100
1/2"	12.700	1269.4	34	66
3/8"	9.525	1027.0	27	39
1/4"	6.350	1580.3	32	7
N° 4	4.760	260.1	5	2
N° 6	3.360	374.9	2	-
N° 8	2.380	71.1	-	-
N° 10	2.000	14.8	-	-
N° 16	1.190	25.2	-	-
N° 20	0.840	6.7	-	-
N° 30	0.590	5.0	-	-
N° 40	0.426	3.8	-	-
N° 50	0.297	2.8	-	-
N° 80	0.177	4.3	-	-
N° 100	0.149	1.8	-	-
N° 200	0.074	12.5	-	-
-200	-	-	-	-

Fuente Propia

Agregado Fino

Se cuenta con un total de 168.00 Kg de arena la cual fue tamizada por la malla N° 4, en dicho tamizado el 6% fue retenido lo cual hace equivalente a 10 kg y la pasante fue un 94% la cual la hace equivalente a 158 kg.

Granulometría

En este ensayo se realizó la granulometría del agregado fino, las cuales fueron tamizados. Se peso en cada tamiz el material retenido, para realizar el diseño en la Marshall se requiere del porcentaje de retenido para ingresar los datos y establecer la gradación MAC de acuerdo a los tamaños máximo nominal los resultados se muestran en la *tabla 25*.

Tabla 25: Resultados de Análisis Granulométrico del agregado fino

MALLAS		Peso (gr.)	AGREGADO FINO	
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	Ret. en malla	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200		-	-
2"	50.800		-	-
1 1/2"	38.100		-	-
1"	25.400	64.2	-	100
3/4"	19.050	39.5	1	99
1/2"	12.700	122.5	1	98
3/8"	9.525	128.9	1	97
1/4"	6.350	221.7	1	96
N° 4	4.760	341.5	2	94
N° 6	3.360	51.5	12	82
N° 8	2.380	62.8	14	68
N° 10	2.000	27	6	62
N° 16	1.190	66.4	15	47
N° 20	0.840	28.7	7	40
N° 30	0.590	26.2	6	34
N° 40	0.426	21.2	5	29
N° 50	0.297	15.1	3	26
N° 80	0.177	19.3	4	22
N° 100	0.149	6.8	6	16
N° 200	0.074	21.6	5	11
-200	-	70.1	11	0

Fuente: Propia

Equivalente de Arena

Para realizar este ensayo se tomó una muestra de 1500 gr la cual paso por el tamiz N°4, siguiendo las indicaciones del manual de los ensayos de materiales (MTC E 114), es indispensable tener cuidado para obtener buenos resultados y confiables. La *tabla 26* se muestran los datos de los procedimientos.

Tabla 26: Resultado de Equivalente de Arena

Muestra		1	2	3
A	Hora entrada de saturación	2:46	2:48	2:50
2	Salida de saturación	2:56	2:58	3:00
B	Hora entrada a decantación	2:57:30	2:59:30	3:01:30
4	Salida decantación	3:17:30	3:19:30	3:21:30
5	Altura material fino (Pulg)	5.6	5.1	5.4
6	Altura arena (Pulg)	3.2	3.2	3.2
7	Equivalente de Arena	57	63	59
8	% Promedio de equivalente de arena (%)		60	

Fuente: Propia

Según el manual del MTC (DG - 2013) sección 423 indica que se debe consistir como valor mínimo 60% lo cual el resultado es aceptable. Las *fig. 17 y 18* demuestran el procedimiento de efectuar el equivalente de arena y el equipo utilizado respectivamente.

Figura 17. Equivalente de Arena



Fuente: Propia

Figura 18. Agitador Mecánico



Fuente: Propia

Contenido de Humedad

En este ensayo se pesó del material el cual fue 1133.2 gr, el cual se llevó al horno el cual se encuentra en 110°C, estuvo por 16 horas dentro del horno. Al extraer la tara más la muestra será nuevamente pesada en la balanza y así determinar mediante formula de peso

del agua entre el peso seco por cien para obtener el resultado en porcentaje y así por determinar el contenido de humedad es de 1.21 %. La *tabla 27* muestra los resultados obtenidos tras realizar el ensayo.

Tabla 27: Resultado del Contenido de Humedad

Peso del Tarro + Peso del Suelo Húmedo (g)	1133.2
Peso constante del suelo + Peso del Tarro (g)	1119.6
	1119.6
Peso del Tarro (g)	150
Peso del agua (g)	13.6
Peso Suelo Seco (g)	1119.6
Contenido de Humedad (%)	1.2

Fuente: Propia

Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

Se seleccionó el material según la norma (MTC E 201). El agregado fino se obtuvo por cuarteo, fue secado en un horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. La *tabla 28* muestra los datos del resultado del ensayo para el procedimiento la otra muestra se colocó en un frasco y se llenó con agua ($23 \pm 2^{\circ}\text{C}$) hasta 500 cm^3 para posteriormente eliminar sus vacíos una bomba de aire y posteriormente se hizo el cálculo para determinar su absorción del agregado fino.

Tabla 28: Resultados del peso específico y absorción del agregado fino

Peso de la Fiola (calibrada con agua)	669.2
Peso de la Fiola (calibrada con agua) + Peso de material	969.2
Peso de Fiola + agua + material S.S.S. (extraído el aire)	860
Volumen de masa + Volumen de vacíos	110.5
Peso de material Seco	294.8
Volumen de masa	105.3
Peso Específico Bulk (base seca)	2.668
Peso Específico Bulk (base saturada)	2.715
Peso Aparente (base seca)	2.800
Absorción (%)	1.76

Fuente: Propia

Según el manual del MTC (EG-2013) sección 423 indica que, para el Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino existe un valor máximo de 0.50 %, existiendo un mayor porcentaje de lo permisible.

Índice de Plasticidad

Este ensayo se realizó al agregado fino que la cual paso la malla N° 40 y N°200 según

lo especifica el manual de Ensayos de Materiales (MTC E 111), por ello dicho ensayo es para hallar el índice de plasticidad. Para hallar el límite líquido se tomó una muestra de 20 gr. la cual paso por el tamiz N.º 40, se preparó dicha muestra se le añadió agua destilada hasta formar una masa de las cuales se tomará una cantidad que este entre 1.5gr. – 2.0 gr.

Este ensayo debe cumplir con los parámetros establecidos en el manual de carreteras DG-2013 como se muestra en la *tabla 29*, el índice de plasticidad se determina mediante la resta del límite líquido menos el límite plástico como se aprecia en la *tabla 30*.

Tabla 29: Datos de los ensayos de Limite Liquido y Plástico

Malla	Nº 40	Nº 200
LIMITE LIQUIDO		
Nº de Tarro	D-5	N-1
P. Tarro + S. Húmedo	28.7	23.86
P. Taro + S. Seco	25.98	21.48
Agua	2.72	2.38
Peso del Tarro	11.91	11.9
Suelo Seco	14.07	9.58
% Humedad	19.8	24.84
Nº de Golpes	15	26
LIMITE PLASTICO		
Nº de Tarro		C-B
P. Tarro + S. Húmedo		21.07
P. Taro + S. Seco	N.P.	19.5
Agua		1.57
Peso del Tarro		11.9
Suelo Seco		7.6
% Humedad		20.66

Fuente: Propia

Cuando se realiza un solo punto, se toma en consideración la siguiente formula:

$$\left(\frac{\text{Nº de golpes}}{25}\right)^{0.121} H$$

Tabla 30: Resultados de los ensayos de Limite Liquido y Plástico

Malla	Nº 40	Nº 200
Límite Liquido	19	25
Límite Plástico	-	21
Índice Plástico	-	4

Fuente: Propia

Conforme con los resultados del Límite Plástico y Liquido, No Presenta Índice Plástico en la malla Nº 40 pero en la malla Nº 200 presenta un 4% la cual está dentro del

parámetro establecido tal como indica el manual del MTC (EG-2013) sección 423.

Ensayo de sales solubles de los agregado grueso y fino

El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de sulfatos, solventes en el agua, de los agregados pétreos los cuales serán empleados en mezclas asfálticas.

Este ensayo consiste en determinar las sales solubles en agregados para pavimentos flexibles mediante un método gravimétrico, fue un proceso para la extracción de sales, cuando se trata de una grava se realiza una extracción de 1 en 1, es decir se toma 500 gr de material y 500 ml de agua químicamente pura es decir de grado analítico, con un PH neutro, sin sales, sin iones ni aniones que pudieron sumarle al que se va a extraer. Para dicho se ensayó se emplearán balanzas calibradas, así como certificado de calidad del agua; se agita la muestra y se deja en reposo durante toda la noche a condiciones ambientales, para que se dé el proceso de extracción de sales de dicha grava así mismo del fino(separados), se pasa las sales del material solido al agua. Al día siguiente se filtra en un filtro de 0.45 nitrones utilizando una bomba, del cual salió un extracto donde se tomó 50 ml por pipeta volumétrica calibrada y luego por duplicado (se realizan dos ensayos) se pone a secar y por diferencia de pesos en vaso al que luego echamos el cual está pesado en la campana, dicha campana debe estar limpia y libre de impurezas. La diferencia de pesos nos da el peso por cada 50 ml, luego eso dividimos y se debe expresar en mg/kg de suelo los datos se muestran en la *tabla 31*.

Tabla 31. Resultados del ensayo de Sales Solubles en Agregados para Pavimentos Flexibles

Identificación	Resultado (mg/kg)
Agregado; Arena Procesada; Cantera Valcárcel, La Quebrada - Santa Clara	112
Agregado; Fino; Cantera Valcárcel, La Quebrada - Santa Clara	702
Agregado; confitillo; Cantera Valcárcel, La Quebrada - Santa Clara	129

Fuente: Propia

Interpretación: Se puede apreciar en la *tabla 31* los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados los cuales están en unidades de (mg/kg), por ello fueron convertidos a porcentaje en la *tabla 32*.

Tabla 32. Resultados de sales solubles en agregados en porcentajes

Resultados en porcentajes	
Resultado (mg/kg)	Porcentaje (%)
112	0.0112
702	0.0702
129	0.0129

Fuente: Propia

Interpretación: Según el manual MTC E 219, para el ensayo de sales solubles en agregados para pavimentos flexibles, existe un valor permitido el cual no debe exceder del 0.5%, como se puede apreciar en la *tabla 32* los valores son inferiores al valor permisible, los agregados se encuentran dentro de los parámetros, por ende, el material es excelente.

Detección cualitativa de arcillas nocivas utilizando el azul de metileno

El objetivo de este ensayo es determinar el grado de reactividad de los agregados finos los cuales son empleados para la producción de mezclas asfálticas las cuales pueden tener una influencia nociva en su desempeño empleando como material de medición el azul de metileno. El azul de metileno es un material que se encuentra en polvo, se comporta como un colorante catiónico al mezclarse con el agua.

Este ensayo consiste en tamizar los agregados pétreos, por lo cual el material con el que se trabajo fue el pasante la malla N° 200, la cual fue secado a peso constante. La preparación del azul de metileno es mezclar 5gr de azul de metileno por 1 litro de agua. Dicha mezcla fue colocada en una bureta de 50 ml. Se empleó 10 gr de material seco la cual fue mezclada con el azul de metileno, se empleó un papel filtro en donde se colocó las gotas de la mezcla del material fino más el azul metileno, dicha prueba se basa en la transformación de un halo de color azul que se establece conforme al tiempo transcurrido, por consiguiente, indicara la saturación del filler con el colorante, en la siguiente *tabla 33* se puede apreciar los resultados de dicho ensayo.

Tabla 33. Resultados de Detección cualitativa de arcillas nocivas utilizando el azul de metileno

Identificación	Resultado (mg/g)
Agregado; Arena Procesada; Cantera Valcárcel, La Quebrada - Santa Clara	> 20

Fuente: Propia

Interpretación: En la *tabla 34* se aprecia el resultado obtenido del ensayo empleando el azul de metileno, dicho ensayo es para determinar arcillas dañinas y materia orgánica.

Tabla 34. Eficiencia o rendimiento esperado del azul de Metileno

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.

Fuente: Propia

Interpretación: Según la norma ASSHTO TP 57 específica para el ensayo de Detección cualitativa de arcillas nocivas del grupo de esmética en agregados, utilizando el azul de metileno el valor no debe ser superior a 8% como se puede apreciar en la *tabla 34*, el resultado está dentro de los permisible.

Granulometría de mezclas asfálticas en caliente (MAC 2)

Para determinar la gradación de los agregados y definir que MAC (mezcla asfáltica en caliente) es importante ingresar los valores en porcentaje pasante de los tamices para lo cual esta investigación se determinó a utilizar la gradación de tipo MAC 2. Los resultados de gradación de los agregados se muestran en la *tabla 35*.

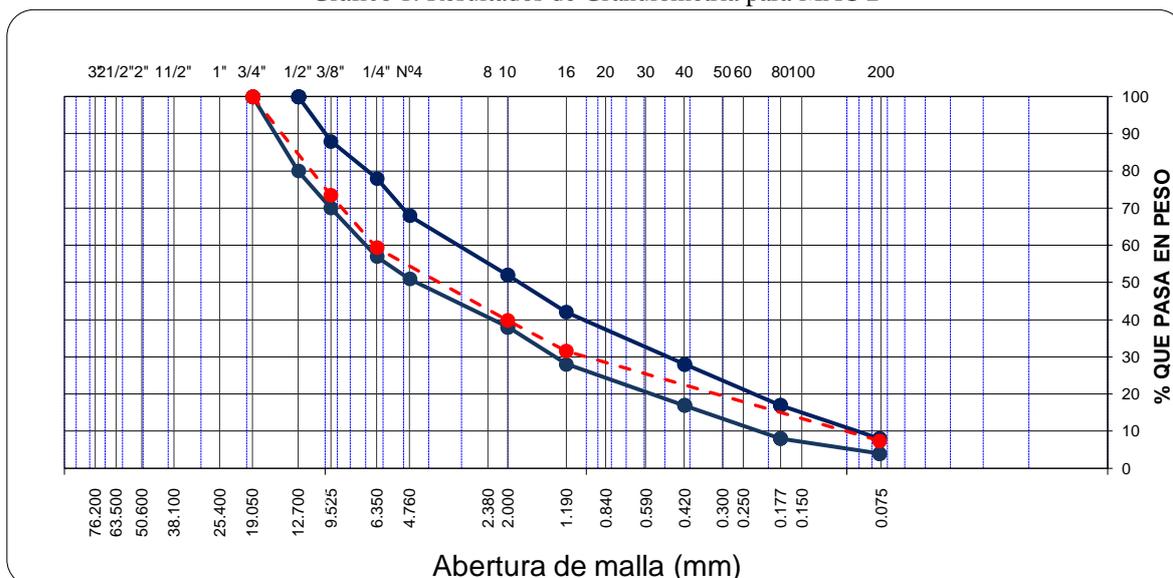
Tabla 35 Resultados de Granulometría para MAC 2

TAMI Z	ABERTUR A	GRANULOMETRÍA RESULTANTE		
		RETIENE %	% PASA	GRADACIÓN MAC - 2
(1")	25,0			
(3/4")	19,0		100	100
(1/2")	12,5	14.97	85.03	80 - 100
(3/8")	9,5	11.57	73.46	70 - 88
(1/4")	6.35	14.07	59.39	
(N°4)	4,75	2.17	57.22	51 - 68
(N°6)	3.36	7.27	49.95	
(N°8)	2.38	7.67	42.28	
(N°10)	2,00	2.47	39.81	38 - 52
(N°16)	1.19	8.27	31.54	
(N°20)	0.84	3.17	28.37	
(N°30)	0.59	2.47	25.9	
(N°40)	0.425	1.77	24.13	17 - 28
(N°50)	0.297	2	22.13	
(N°80)	0.18	5.6	16.53	8 - 17
(N°100)	0.149	4.9	11.63	
(N°200)	0.075	4.2	7.43	4 - 8
- (N°200)		7.43		

Fuente: Propia

Interpretación: La *tabla 35* se puede apreciar que el uso granulométrico es de MAC-2 debido al tamaño nominal el cual fue 3/4".

Gráfico 1. Resultados de Granulometría para MAC 2



Fuente: Propia

Interpretación: Los resultados de la curva nos permiten saber la clasificación y que los porcentajes pasantes se encuentren dentro de los parámetros del MAC-2, en la *Gráfico 1* se puede apreciar la gráfica la cual está dentro de la curva de gradación.

Los resultados obtenidos de la granulometría de los agregados fino y grueso de ingreso para el diseño fueron los datos de la *tabla 36*.

Tabla 36 Porcentajes de agregados para el diseño Marshall

PROPORCIONES DE MEZCLAS RESULTANTES			
1	Agregado grueso	=	35%
2	Agregado fino	=	65%
Nota: - No se empleará > 3/4"			

Fuente: Propia

Interpretación: En la tabla se puede apreciar los porcentajes de agregados, los cuales deben cumplir un porcentaje de 100%, el cual en gramos fue 1160 g.

Ensayo de adherencia al agregado grueso

El objetivo de este ensayo consistió en explicar el recubrimiento del agregado grueso tanto como las técnicas para determinar la retención de una película bituminosa en la superficie de agregado en presencia del agua.

El procedimiento inicio tomando 100 gr de material, así como 5.0 gr de cemento asfáltico (Pen 60/70), el agregado grueso fue lavado con agua destilada para que el material no cuente

con finos, luego fue llevado al horno para su secado, la temperatura del horno es de 149°C, el cemento asfáltico es calentado a una temperatura de 150°C, la cual fue mezclada con el agregado por un lapso de 2 minutos.

Después fue llevado al horno la piedra revestida con el cemento asfáltico a una temperatura de 60°C por un tiempo de 2 horas. Seguido a eso se retiró el material y fue depositado en un recipiente de vidrio, dicho recipiente de vidrio de capacidad de 600 ml el cual fue llenado con 400 ml de agua destilada la cual se encuentra a una temperatura ambiente (25°C). Luego se dejó el agregado revestido inmerso en el baño maría por un lapso de 18 horas. En la siguiente *tabla 37* se puede apreciar los resultados del ensayo de adherencia.

Tabla 37. Resultados de Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos

IDENTIFICACIÓN	REVESTIMIENTO (%)	CUBRIMIENTO (%)
Cantera Valcárcel, La Quebrada - Santa Clara (Piedra Chancada)	100	+95

Fuente: Propia

Interpretación: Los resultados obtenidos se puede presenciar que no hubo desprendimiento del revestimiento de cemento asfáltico sobre el agregado por lo que se determinó que la adherencia del agregado grueso cumple los parámetros, ya que según las especificaciones de la norma MTC E 517, mencionan que la adherencia del agregado debe ser +95%, como se puede apreciar en la *tabla 37* el resultado del ensayo fue de +95%.

Ensayo de adherencia al agregado fino (Riedel Weber)

El ensayo tiene por finalidad determinar el grado de adhesividad del agregado fino – asfalto, lo cual va determinar si se tiene que utilizar algún aditivo mejorador de adherencia. Los materiales utilizados para el ensayo son: tamices, mechero, tubo de ensayos, balanza, cronometro.

El procedimiento comienza separando 200 gr. de agregado fino para posterior a eso hacer un lavado hasta presenciar que no exista entubamiento oscuro en el agua; luego se procede a llevar al horno la muestra a 145° C durante una hora aproximadamente.

Para determinar el ensayo se realiza la mezcla con el asfalto y luego se deja enfriar a temperatura ambiente; luego se separa 0.5 gramos de para llevarlo al tubo de ensayo con

agua destilada y carbonato sódico anhidro, la muestra de 0.5 gramos se procede a ingresar al compuesto una vez presenciada la ebullición del agua por un tiempo de 60 seg.

El resultado se verifica de modo visual el desprendimiento de partículas en la solución de agua destilada y carbonato sódico anhidro Las cuales fueron como se muestra en la *tabla 38*.

Tabla 38. Resultados de Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (Grado)
	Desprendimiento Parcial - Desprendimiento Total
Cantera Valcárcel La Quebrada - Santa clara (Arena chancada)	0 - 8

Fuente: Propia

Interpretación: Los resultados obtenidos se pudo presenciar el desprendimiento de las partículas de la muestra de 0.5 gr. por lo que se determinó emplear un mejorador de adherencia de asfalto. Según las especificaciones del MTC E 220 el valor de adherencia debió ser ≥ 4 los parámetros del ensayo se pueden ver en la *tabla 39*.

Tabla 39. Clasificación y solución para ensayos

Solución de ensayo	Índice de adhesividad Riedel - Weber
Desplazamiento total con agua destilada	0
Carbonato sódico	
M/256	1
M/128	2
M/64	3
M/32	4
M/16	5
M/8	6
M/4	7
M/2	8
M/1	9

Fuente: Propia

Interpretación: La tabla anterior indica las soluciones y contenidos referente al manual de ensayos de materiales en el ítem MTC E 220.

Ensayo de mezclas asfálticas convencional

Elaboración de briquetas

Se elaboraron un total de 15 briquetas con distintos porcentajes de asfalto 3 briquetas para cada punto como mínimo, según el método MTC E-504 partiendo de 5% 5.5%, 6%, 6.5% y 7 %. Cada briketa debe tener un peso aproximado de 1200 gr y los agregados deben ser distribuidos en porcentajes para cumplir el peso especificado, el cuadro resumen se puede apreciar en la *tabla 40*. La cantidad de asfalto utilizado para esta investigación fue de aproximadamente 3 galón. El procedimiento parte de calentar las muestras de agregado y el asfalto a temperaturas de 145° para que en el momento del impacto briketa-agregados no cause un choque de frio-calor que podría afectar el comportamiento.

Tabla 40 Proporción de agregados para la mezcla asfáltica

RESUMEN DE ENSAYOS			
	AGREGADOS		PROPORCIÓN
1	Piedra 1/2"	=	20%
2	Piedra 3/8"	=	15%
3	Arena Chancada	=	35%
4	Arena Zarandeada	=	30%

Fuente: Propia

Interpretación: Se puede apreciar que los porcentajes de los agregados ira en función del tamizado, cuya sumatoria fue de 100%.

Gravedad específica aparente y peso unitario

El objetivo del ensayo es para determinar la gravedad específica y el peso unitario de cada briketa de mezclas asfálticas compactadas mediante la norma MTC E 514.

Una vez realizada la compactación en el martillo de compactación Marshall de cada briketa, la cual fue dejada en el molde por un lapso de 16 horas. Al día siguiente se anotó el código en cada briketa con una tiza húmeda por ejemplo (1, 1A, 1B) así como el porcentaje de asfalto empleado. Los materiales esenciales para realizar el ensayo son (balanza electrónica, balanza hidrostática, termómetro, cronometro, agua a temperatura de 25° C). Seguidamente de procedimiento se toma anota 3 tipos de pesos como se aprecia en la *tabla 41* (peso de la briketa seco, peso saturado superficialmente seco y peso de la briketa sumergido en el agua). La briketa superficialmente seca fue sumergida en un baño maría a 25°C por un tiempo de 4 minutos.

Tabla 41 Resultado de pesos específico y unitarios de las briquetas

Porcentaje de C.A.	Nº de briketa	Peso de la briketa (gr) al aire	Peso de la briketa (gr.) superficialmente seca	Peso de la briketa en agua (gr.)
5	1	1202.0	1202.8	705.0
	2	1207.2	1208.6	708.2
	3	1213.0	1213.8	709.5
5.5	1	1218.6	1218.8	715
	2	1218.2	1218.8	714
	3	1219.6	1219.8	713.0
6	1	1224.0	1224.0	717.0
	2	1223.4	1223.6	718.2
	3	1223.2	1223.6	719.2
6.5	1	1226.6	1226.9	725.0
	2	1204.8	1205.0	711.5
	3	1199.2	1199.6	709.5
7%	1	1200.8	1201.4	714.6
	2	1201.0	1201.6	716.0
	3	1213.6	1214.6	723.0

Fuente: Propia

Interpretación: En la tabla se puede apreciar los pesos de las briquetas las cuales fueron pesadas una vez extraídas del molde, así como los pesos de la briketa superficialmente seca y el peso de las briquetas sumergidas al agua. Lo cual representa que la gravedad específica y el peso unitario es variable respecto a las briquetas compactas.

Tabla 42 Resultados de gravedad específica

Porcentajes de cemento asfáltico	Gravedad específica en gr/ cm ³			
	1	2	3	Promedio
5 % C.A.	2.415	2.412	2.405	2.411
5.5 % C.A.	2.419	2.413	2.406	2.413
6 % C.A.	2.414	2.421	2.425	2.420
6.5 % C.A.	2.444	2.441	2.447	2.444
7 % C.A.	2.467	2.473	2.469	2.470

Fuente: Propia

Interpretación: En la *tabla 42* se puede apreciar los cálculos de la gravedad específica de las 3 briquetas de cada porcentaje de asfalto, las cuales fueron promediadas. Los valores indican que existe un ascenso de datos numéricos que a más contenido de asfalto la gravedad específica aumenta.

Peso específico teórico máximo (Rice)

El objetivo del ensayo es encontrar el peso específico de la mezcla asfáltica no compacta donde se determinó el peso específico teórico máximo, por lo cual para el ensayo se utilizó los equipos (Fiolas calibradas, balanza electrónica, extractor de aire, cacerolas para la mezcla asfáltica).

Se realizó los siguientes pasos, el primer paso fue el peso de la muestra la cual debe estar entre 800 y 1000 gr en el aire una vez dentro del matras vacío. El segundo paso fue el peso del matras (fiola) el cual está calibrado. El tercer paso fue llenar agua destilada en el matras, el agua debe cubrir todo el material, continuando se realizó el cuarto paso el cual fue extraer los vacíos de aire que hay en mezcla sin compactar, se empleó una bomba extractora de aire la cual tenía una capacidad de ¼ de HP, el quinto paso fue extraer el aire con la bomba por un tiempo de 17 minutos y finalmente se pesa el matras con la mezcla no compacta. Los resultados se presentan en la *tabla 43*. Los cuales están clasificados por la cantidad de contenido de asfalto.

Tabla 43 Resultados del peso específico teórico máximo

Porcentaje de cemento asfáltico	Peso específico Max. en (gramos)
5	2.573
5.5	2.552
6	2.525
6.5	2.504
7	2.495

Fuente: Propia

Interpretación: El resultado obtenido es el peso máximo de obtenido de una mezcla suelta, los cuales se presenta que a niveles más altos de contenido de asfalto el peso teórico va en aumento, Estos resultados son de importancia para encontrar los porcentajes de vacíos totales en la mezcla asfáltica.

Vacíos de Aire en la mezcla (V.A)

Los vacíos de aire en la mezcla no se determinaron por ningún tipo de ensayo; lo cual, se puede obtener el valor teniendo los datos de peso específico y el peso específico teórico máximo. Los parámetros aceptables de vacíos están mencionados en la *tabla 44* y

estas especificados en los parámetros del manual del MTC.

Tabla 44 Parámetros de vacíos de aire

Especificación	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
Porcentajes de vacíos	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
		3	5	3	5	3

Fuente: Propia

Los vacíos de aire en la mezcla compacta se rigen a la cantidad de golpes efectuados con el aparato Marshall y estas suponen que están relacionados al tráfico esperado para lo cual para mayor confiabilidad se debe tener cuidado con la cantidad de golpes para la compactación. Por otra parte, los vacíos se relacionan directamente a la permeabilidad que la mezcla compacta sobre agentes climatológicos siendo así que a mayor vacío tiende a ser más susceptible a la infiltración del agua. Los resultados se presentan en la *tabla 45*.

Tabla 45 Resultados de porcentaje de vacíos de aire

% Cemento asfáltico	Porcentaje de Vacíos			
	1	2	3	Promedio
5	6.2	6.2	6.5	6.3
5.5	5.2	5.4	5.7	5.5
6	4.4	4.1	4	4.2
6.5	2.4	2.5	2.3	2.4
7	1.1	0.9	1.1	1

Fuente: Propia

Interpretación: La tabla anterior muestra el promedio realizado para la cantidad de asfalto ingresado y la cantidad de repeticiones de mezclas compactas que fueron 3 para cada porcentaje de asfalto, lo cual, el valor más aproximado y favorable se da con el contenido de asfalto del 6%.

Densidad

La densidad de la mezcla compacta tiene un valor muy importante para tener una obra vial durable y su peso está relacionado directamente con su peso unitario y sus unidades están en kg/cm³, estos datos se pueden obtener de multiplicar los resultados de gravedad específica de la briqueta compacta por la densidad del agua a cierta temperatura, los cálculos se presentan en la *tabla 46*, para tal caso el agua donde se realiza el ensayo está a una

temperatura 25° C. La cual su densidad del agua es de 1 gr/cm³.

Tabla 46 Relación de peso específico y densidad

Porcentajes de cemento asfáltico	PESO ESPECÍFICO	DENSIDAD
	gr/cm ³	Kg/m ³
5 % C.A.	2.411	2.411
5.5 % C.A.	2.413	2.413
6 % C.A.	2.42	2.42
6.5 % C.A.	2.444	2.444
7 % C.A.	2.47	2.47

Fuente: Propia

Vacíos de aire en el agregado mineral (V.M.A)

El objetivo es calcular los vacíos del agregado grueso presentes en una mezcla compacta más los vacíos restantes una vez hecho la mezcla con el asfalto. Los parámetros permisibles para la gradación de los agregados grueso utilizado nos menciona que para el valor máximo nominal de 19.0 mm, en la cual se clasifica los agregados utilizados deberían de ser como mínimo 14% de vacíos, estas especificaciones están en la *tabla 47*.

Tabla 47 Requerimientos de vacíos mínimos en el agregado mineral

Tamiz	Vacíos mínimos del agregado mineral
	Marshall
2.36 mm (N.º 8)	21
4.75 mm (N.º 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: MTC 423-08

El procedimiento para efectuar los cálculos y formular están en la parte de método de análisis de datos, lo cual en la *tabla 48*, solo se aprecian los resultados de los vacíos del agregado mineral (V.M.A) y el promedio obtenido en la mezcla convencional y el número de repeticiones por cantidad de cemento asfáltico.

Tabla 48 Resultados de los vacíos de agregado mineral en las briquetas

% Cemento asfáltico	Vacíos de Aire en el agregado mineral (%)			
	1	2	3	Promedio
5	16	16.1	16.3	16.1
5.5	16.3	16.5	16.7	16.5
6	16.9	16.7	16.5	16.7
6.5	16.3	16.4	16.2	16.3
7	16	15.8	15.9	15.9

Fuente: Propia

Interpretación: Los resultados obtenidos infieren que los valores obtenidos no se relacionan con los valores mínimos permitidos para ningún caso de porcentaje de cemento asfáltico. Para lograr la durabilidad del espesor de película de asfalto y agregado es recomendable que los porcentajes de VMA sea por debajo de los permisible, entonces a valores altos se puede definir que se tendrá más vacíos y por ende se utilizaría más cantidad de asfalto que podría generar más costos.

Vacíos de aire llenos de asfalto (V.F.A)

El objetivo es determinar los porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica compactada, estos vacíos están relacionado con el VMA, debido a que, si tenemos una mezcla con pocos vacíos de agregado mineral, se tiene un mayor vacío llenos de asfalto y viceversa. Las relaciones y especificaciones mínimas permitidas están en el Manual de diseño de carreteras del MTC, la cual se tomó la *tabla 49* la cual nos señalan el rango permisible.

Tabla 49 Valores permisibles del V.F.A

Especificación	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
Porcentajes de vacíos rellenos de asfalto	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
		70	80	65	78	65

Fuente: Propia

El procedimiento de efectuar los resultados de la *tabla 50* se llevó mediante fórmulas establecidas, lo cual para tener resultados confiables y certeros se realizó el promedio total por cada porcentaje de asfalto.

Tabla 50 Resultados de Vacíos Llenos de Asfalto en las briquetas

% Cemento asfáltico	Vacíos de Aire llenos de asfalto (%)			
	1	2	3	Promedio
5	61.5	61.2	60	60.9
5.5	68	67	65.5	67
6	74	75.3	76	75.1
6.5	85.3	84.8	85.9	85.3
7	92.9	94.5	93.3	93.6

Fuente: Propia

Interpretación: Los resultados obtenidos infieren que el valor más cercano permisible se encuentra respecto al porcentaje de 6% de asfalto con relación a los agregados utilizados. Por otra parte, el efecto principal de los vacíos llenos de asfalto (V.F.A) limita los niveles máximos del VMA y por consecuente un alto nivel de contenido de asfalto. Los rangos permisibles para el tránsito pesado describen que el porcentaje de vacíos deben ser bajos para no crear alguna falla, siendo así la principal el de deformaciones permanentes; el criterio de VFA ayuda a evitar que las mezclas compactas puedan ser susceptibles a roderas en situaciones de alto tránsito.

Estabilidad y Flujo

El objetivo del ensayo es determinar la resistencia máxima y la deformación en el punto máximo de carga, en briquetas a 60° C. Se puede definir que un pavimento es estable cuando en condiciones de obra es capaz de mantener su forma y rugosidad bajo cargas repetidas de tránsito. Los valores de estabilidad y flujo se obtienen a partir de las mezclas compactas que finalizan con la rotura de las briquetas con el aparato Marshall. Lo parámetros mínimos de estabilidad se presentan en la siguiente *tabla 51*, por otra parte, no menciona la estabilidad máxima permisible lo cual esta debe estar en relación de estabilidad- flujo.

Tabla 51. Valores permisibles de Estabilidad y Flujo

Especificación	Tráfico pesado	
	Carpeta y base	
Compactación, números de golpes en cada	Mín.	Máx.
		75
Estabilidad, (N) (kg)	8006	
	800	---
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	14

Fuente: Propia

El procedimiento comienza llevando la mezcla compacta a una temperatura de 60°

C. (baño maría) para simular la temperatura máxima del pavimento en condiciones de ambiente durante 30 minutos, seguido a eso se procede a secar cada briqueta superficialmente, este procedimiento debe durar aproximadamente 10 segundos. Posterior a eso se lleva a la rotura final y obtención de datos que se presenta en la *tabla 52*.

Tabla 52 Resultados generales para cada briqueta Estabilidad - Flujo

% C.A.	N° Briquetas	Estabilidad sin corregir	factor de estabilidad	estabilidad corregida	Flujo
5	1	1285.7	1.04	1337	3.8
	2	1262.1	1.04	1313	3.8
	3	1285.7	1.04	1337	4.1
	Promedio			1329	3.9
5.5	1	1345	1.04	1399	4.1
	2	1358.9	1.04	1413	4.3
	3	1363.5	1.04	1418	4.1
	Promedio			1410	4.1
6	1	1403.4	1.04	1460	5.1
	2	1497.7	1.04	1558	5.1
	3	1450.6	1.04	1509	5.1
	Promedio			1509	5.1
6.5	1	1295.1	1.04	1347	5.3
	2	1191.5	1.09	1299	5.3
	3	1243.3	1.09	1355	5.3
	Promedio			1334	5.3
7	1	1041	1.09	1135	5.6
	2	1073.9	1.09	1171	5.6
	3	1050.4	1.09	1145	5.8
	Promedio			1150	5.7

Fuente: Propia

Interpretación: La tabla anterior muestra los resultados y el factor de corrección de estabilidad que va en relación a las alturas promedio de cada briqueta, lo cuales indican que a mayor porcentaje de contenido de asfalto la estabilidad tiene inicialmente un valor bajo, luego se presenta un incremento con el 6 % lo cual indica que es el punto más alto donde el contenido de asfalto rigidiza parcialmente la briqueta; seguidamente vuelve a caer; por otra parte, los valores de flujo presentan valores por encima de los permisibles.

Relación de estabilidad – flujo

Podemos definir que la relación de estabilidad – flujo es el parámetro en el cual se pretende llegar y la cual está en un rango de 1700 – 4000 kg/cm; por otra parte, se puede dar un valor aproximado de la estabilidad máxima permisible respecto a mezclas asfálticas en caliente. Los resultados se pueden apreciar en la siguiente *tabla 53*.

Tabla 53. Resultados de relación Estabilidad - Flujo

Especificación	% C.A.	Número de repeticiones			Promedio
		1	2	3	
Relación estabilidad - Flujo	5	3509.2	3446.2	3289.2	3415
	5.5	3442.4	3272.3	3479.2	3401
	6	2874	3066.9	2970.5	2970
	6.5	2525.3	2435.3	2540.3	2500
	7	2031.1	2095.6	1959.9	2029

Fuente: Propia

Interpretación: Los resultados obtenidos indican que a mayor porcentaje de contenido de asfalto la relación de estabilidad-flujo descende, lo cual para tener el óptimo desempeño del de la briqueta se debe elegir el porcentaje en el cual las características se acerquen a los parámetros óptimos respecto a todos los parámetros permisibles descritos en el manual de ensayo de materiales del MTC.

Parámetros óptimos de la mezcla asfáltica convencional

El método Marshall determina el resultado del parámetro óptimo de contenido de asfalto la cual está en relación respecto a todos los ensayos realizados. Todo ellos referente a la mezcla asfáltica convencional lo cual va servir para hacer una comparación respecto a los resultados de la mezcla asfáltica modificada con lignina, En la tabla 54 Se aprecia todos los parámetros a considerar.

Tabla 54. Resumen del contenido óptimo de asfalto convencional

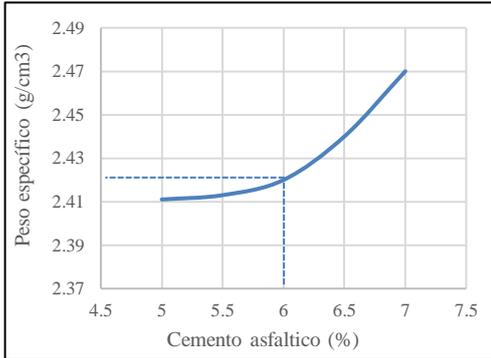
Características de la Mezcla	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL					
- N° de golpes por cara			75			
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	5.8		6.0		6.2	
- Peso Específico bulk, g/cm ³	2.416		2.421		2.427	
- Vacíos, %	4.7		4.0		3.7	
- Vacíos llenos con Cemento Asfáltico, %	71.4		74.6		78.0	
- V.M.A., %	16.6		16.6		16.6	
- Estabilidad, kg (KN)	1468.6	14.40	1465.4	14.37	1443.1	14.15
- Flujo, mm (10 ⁻² pulg)	4.7	18.3	4.8	18.9	5.0	19.8
- Absorción de Asfalto, %			0.89			
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	3157.0	8.0	3050.0	8.0	2865	7.0
- Temperatura de la mezcla, °C			140 - 145			

Fuente: Propia

Interpretación: El resultado define el parámetro óptimo para cada especificación y así también para fines de utilizarlo en obra se tendrá que considerar del contenido óptimo de cemento asfáltico un porcentaje ± 2 .

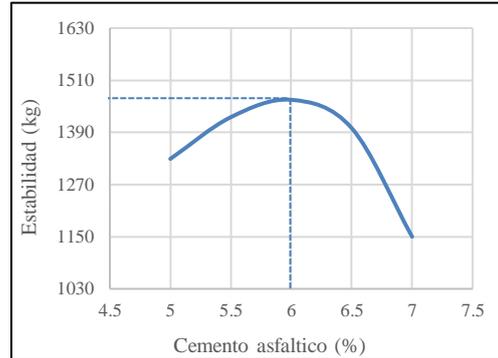
Ensayo para medir la resistencia de mezclas bituminosas usando el método Marshall

Gráfico 2. Porcentaje de C.A. vs Peso específico



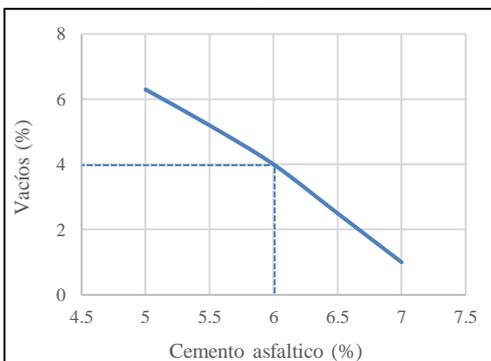
Fuente: Propia

Gráfico 3. Porcentaje de C.A. vs Estabilidad



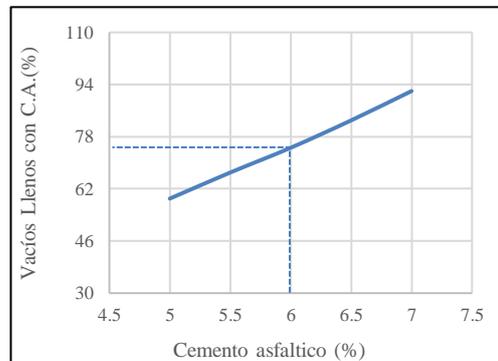
Fuente: Propia

Gráfico 4. Porcentaje de C.A. vs Vacíos



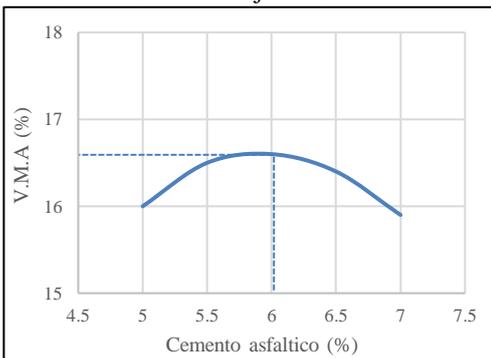
Fuente: Propia

Gráfico 5. Porcentaje de C.A. vs V.F.A.



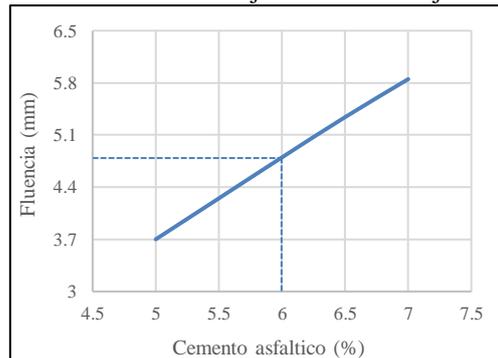
Fuente: Propia

Gráfico 6. Porcentaje de C.A. vs VMA



Fuente: Propia

Gráfico 7. Porcentaje de C.A. vs Flujo.



Fuente: Propia

Interpretación: Los gráficos mostrados resultan de los parámetros óptimos respecto al contenido de asfalto y la varianza de los valores de estabilidad, flujo y vacíos referente a los ensayos de mezclas asfálticas convencionales con el contenido óptimo de C.A. de 6%.

Ensayo de mezclas asfálticas modificadas con lignina (10% y 15%)

Dosificación de lignina - cemento asfáltico

Para realizar los ensayos se elaboró 1 tarro de cemento asfáltico sin modificar y 2 tarros de cemento asfáltico con distintos porcentajes de lignina (10% y 15%). Los cálculos y resultados de adición de lignina se muestran en la *tabla 55*.

Tabla 55 Dosificación de lignina inmerso con el cemento asfáltico

Pesos en (gr)	ORIGINAL	LIGNINA AL 10%	LIGNINA AL 15%
Peso de Lata	235.9	233.1	251.3
Peso asfalto	2062.7	2065.5	2116.2
Peso Lignina entrante		206.55	317.43
Peso total teórico	2298.6	2505.15	2684.93
Peso Total modificado		2501.8	2681.23
PERDIDA LIGNINA		3.35	3.7

Fuente: Propia

Interpretación: Para realizar las briquetas se realizó previamente la adición del biopolímero lignina con el cemento asfáltico, los datos numéricos representados en gramos muestra que el peso teórico difiere del peso real modificado dando como una pérdida mínima de lignina de 3.35gr. y 3.7gr para los porcentajes de 10% y 15% respectivamente.

Elaboración de briquetas modificadas con lignina

Una vez obtenido el asfalto modificado con los porcentajes de 10% y 15%. El procedimiento de elaboración de mezclas se dio idénticamente como para las mezclas asfálticas convencionales. Se elaboraron un total de 15 briquetas con distintos porcentajes

Fig. 19. Taras de mezcla de agregados



Fuente: Propia

Fig. 20 Briquetas con lignina



Fuente: Propia

Gravedad específica aparente y peso unitario

Una vez tenido el procedimiento referente al convencional el cual está en el punto 56, se repite los mismos procedimientos para las mezclas asfálticas en caliente adicionando el biopolímero lignina 10% y 15%, cabe mencionar que el asfalto se ha modificado, en la siguiente *tabla 56* se puede apreciar resultados de la gravedad específica y peso unitario de ambas mezclas asfálticas modificadas.

Tabla 56. Resultados de la Gravedad específica y peso unitario de la mezcla asfáltica 10% y 15%.

Porcentaje de C.A.	N° de briqueta	Briquetas + 10 % de lignina			Briquetas + 15 % de lignina		
		Peso de la briqueta (gr) al aire	Peso de la briqueta (gr.) superficialmente seca	Peso de la briqueta en agua (gr.)	Peso de la briqueta (gr) al aire	Peso de la briqueta (gr.) superficialmente seca	Peso de la briqueta en agua (gr.)
5.0	1	1211.4	1213.8	718	1210.6	1213.2	712
	2	1208.4	1211.6	714.6	1207.6	1209.6	710
	3	1208.2	1211.6	716	1207.5	1210.5	709
5.5	1	1216.8	1217.6	720	1209.6	1211	714
	2	1217.8	1219.4	720	1216.2	1218.6	719.6
	3	1219.6	1219.8	718	1219.6	1219.8	718
6.0	1	1216.8	1224	730	1225.2	1226.8	725
	2	1221.6	1223	726.8	1228.1	1228.6	726
	3	1223.2	1223.6	725	1228.5	1229.5	725
6.5	1	1226.6	1226.9	730	1230.6	1231.4	731
	2	1204.8	1205	718	1228.8	1229.8	728.8
	3	1199.2	1199.6	713.2	1228.9	1230.1	729
7.0	1	1236.4	1236.8	737	1235.4	1235.4	737.6
	2	1236	1236.4	736.2	1235	1235.2	736.4
	3	1236	1236.5	737	1235	1235.2	736.4

Fuente: Propia

Interpretación: En la tabla se puede apreciar los pesos de las briquetas modificadas a las cuales se les añadió 10% y 15% de lignina en el cemento asfáltico las cuales fueron pesadas una vez extraídas del molde con el extractor de briquetas, así como los pesos de la briqueta superficialmente seca y el peso de las briquetas sumergidas al agua.

En la *tabla 57* se aprecia los resultados obtenidos de los ensayos para cada contenido de cemento asfáltico.

Tabla 57. Peso específico de briquetas 10% y 15%.

Porcentajes de cemento asfáltico	briquetas + 10% de lignina				briquetas + 15% de lignina			
	Gravedad específica en gr/cm ³				Gravedad específica en gr/cm ³			
	1	2	3	promedio	1	2	3	promedio
5 % C.A.	2.443	2.431	2.438	2.438	2.415	2.417	2.408	2.413
5.5 % C.A.	2.445	2.439	2.430	2.438	2.434	2.437	2.430	2.434
6 % C.A.	2.463	2.462	2.453	2.459	2.442	2.443	2.435	2.440
6.5 % C.A.	2.469	2.474	2.465	2.469	2.459	2.453	2.452	2.455
7 % C.A.	2.474	2.471	2.474	2.473	2.482	2.476	2.476	2.478

Fuente: Propia

Interpretación: Los datos anteriores muestran los resultados promedios indican que existe una varianza; lo cuales se puede interpretar que a medida que el contenido de cemento asfáltico asciende los resultados de peso específico aumenta para ambos casos de mezcla asfáltica con 10% y 15%; siendo así, que el en contenido óptimo de 6 % existe una diferencia favorable respecto al 10%.

Peso específico teórico máximo (Rice)

Para tener una comparativa de resultados y graficar la curva de cómo es el comportamiento de la mezcla asfáltica modificado con lignina en 10% y 15% se presenta la *tabla 58* los pesos específicos teóricos máximos de la mezcla suelta con cada contenido de asfalto.

Tabla 58. Resultado de Peso específico teórico máximo

Porcentaje de cemento asfáltico	Mezcla suelta + 10 lignina	Mezcla suelta + 15 lignina
	Peso específico Max. en (gramos)	Peso específico Max. en (gramos)
5	2.611	2.599
5.5	2.568	2.571
6	2.552	2.549
6.5	2.531	2.540
7	2.497	2.507

Fuente: Propia

Interpretación: Lo datos obtenidos infieren que los resultados disminuyen a medida que el contenido de cemento asfáltico es a mayor proporción para los dos tipos de mezcla asfáltica modificada con lignina (10% y 15%). Teniendo así que para el porcentaje de 6% de C.A el más favorable respecta a la mezcla adicionado con 10% de lignina.

Vacíos de Aire en la mezcla (V.A)

Una vez obtenidos el peso específico y peso unitario, así como el peso específico máximo teórico de la mezcla asfáltica modifica los cuales determinaron los porcentajes de vacíos, se puede observar los resultados en la siguiente *tabla 59*.

Tabla 59. Resultados de vacíos de aire en las briquetas.

% Cemento asfáltico	Briquetas + 10 % de lignina				Briquetas + 15 % de lignina			
	Porcentaje de Vacíos				Porcentaje de Vacíos			
	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio
5	6.2	6.2	6.5	6.3	6.4	6.9	6.6	6.6
5.5	5.2	5.4	5.7	5.5	4.8	5.0	5.1	5.1
6	4.4	4.1	4.0	4.2	3.5	3.5	3.9	3.6
6.5	2.4	2.5	2.3	2.4	2.5	2.3	2.6	2.4
7	1.1	0.9	1.1	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0

Fuente: Propia

Interpretación: En la tabla 59 se pueden apreciar el promedio realizado por cada porcentaje de cemento asfáltico adicionado con 10% y 15% de lignina, de las cuales el porcentaje óptimo fue 6% de cemento asfáltico para ambos porcentajes (10% y 15% de lignina), así también que el promedio de porcentajes de vacíos es el que se encuentra dentro de los rangos.

Densidad

La *tabla 60* representan los valores del peso específico del cual se obtiene la densidad.

Tabla 60 Relación de peso específico y densidad

Porcentajes de cemento asfáltico	Asfalto + 10 lignina		Asfalto + 15 lignina	
	Peso específico	Densidad	Peso específico	Densidad
	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
5 % C.A.	2.438	2.438	2.413	2.413
5.5 % C.A.	2.438	2.438	2.434	2.434
6 % C.A.	2.459	2.459	2.440	2.440
6.5 % C.A.	2.469	2.469	2.455	2.455
7 % C.A.	2.473	2.473	2.478	2.478

Fuente: Propia

Interpretación: La durabilidad del pavimento está relacionada directamente con la densidad que pueda tener la briketa, entonces los resultados que se muestran indica que la mezcla asfáltica aumenta a medida de adición del contenido de asfalto para ambos casos de adición (10% y 15%). Los valores más altos se presentan con el asfalto + 10 % de lignina siendo así el más favorable respecto al 6% de C.A.

Vacíos de aire en el agregado mineral (V.M.A)

Una vez obtenido los vacíos de aire en la mezcla compacta se pueden calcular mediante formula el V.M.A los cuales están indicados en la *tabla 61*, Los resultados se presentan en la *tabla 61*.

Tabla 61 Resultados de V.M.A

% Cemento asfáltico	Mezcla asfáltica + 10 % Lignina				Mezcla asfáltica + 15 % Lignina			
	Vacíos de Aire en el agregado mineral (%)				Vacíos de Aire en el agregado mineral (%)			
	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio
5	15	15.4	15.2	15.2	16	15.9	16.2	16
5.5	15.4	15.6	15.9	15.6	15.8	15.7	15.9	15.8
6	15.2	15.3	15.6	15.4	16	15.9	16.2	16
6.5	15.5	15.3	15.6	15.5	15.8	16	16	15.9
7	15.8	15.9	15.7	15.8	15.5	15.7	15.7	15.6

Fuente: Propia

Interpretación: El número de repeticiones por contenido de asfalto modificado con lignina al 10% y 15% indican que existe promedios diferentes y cercanos en valor numérico, entonces para el porcentaje optimo del 6% que es el más favorable se da con la mezcla asfáltica + 10 % de lignina. Señalando que los V.A.M deben ser menores para tener una buena estabilidad.

Vacíos de aire llenos de asfalto (V.F.A)

El objetivo es determinar los porcentajes de vacíos llenos con asfalto en la mezcla asfáltica modificada compactada, en la *tabla 62* se puede apreciar los resultados.

Tabla 62 Resultado de V.F.A de las briquetas con 10% y 15% de lignina

% Cemento asfáltico	Briquetas + 10 % de lignina				Briquetas + 15 % de lignina			
	Vacíos de Aire llenos de asfalto (%)				Vacíos de Aire llenos de asfalto (%)			
	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio
5	57.2	55.3	56.4	56.3	55.9	56.0	54.6	55.5
5.5	69.0	67.7	66.3	67.7	66.2	66.9	65.6	66.2
6	77.1	76.9	75.2	76.4	73.7	74.0	72.4	73.4
6.5	84.1	85.2	83.4	84.2	79.9	78.5	78.4	78.9
7	94.1	93.5	94.3	94.0	93.5	92.1	92.1	92.6

Fuente: Propia

Interpretación: Se puede apreciar los resultados obtenidos del porcentaje de porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico, los cuales deben estar en un rango de 65 y 75%.

Estabilidad y Flujo

Los resultados de estabilidad y flujo nos indican el comportamiento y control para mezclas asfálticas en caliente. Lo cual la *tabla 63* presenta los datos obtenidos al realizar el ensayo con el aparato Marshall el cual indica los resultados de estabilidad y flujo respecto a la mezcla asfáltica adicionado con el biopolímero para el porcentaje de 10%.

Tabla 63 Resultados de estabilidad y flujo para las mezclas asfálticas con 10% de lignina

Porcentaje de cemento asfáltico	Mezcla asfáltica adicionado con 10 % de lignina				
	N° Briquetas	Estabilidad sin corregir (kg)	factor de estabilidad	estabilidad corregida (kg)	Flujo (mm)
5	1	1535.4	1.09	1674.0	4.1
	2	1535.4	1.04	1597.0	4.1
	3	1544.8	1.09	1684.0	3.8
	Promedio			1652.0	4.0
5.5	1	1960.0	1.04	2038.0	4.3
	2	1853.8	1.04	1928.0	4.6
	3	1853.8	1.04	1928.0	4.3
	Promedio			1965.0	4.4
6	1	1757.2	1.09	1915.0	4.6
	2	1733.6	1.04	1803.0	4.6
	3	1757.2	1.04	1828.0	4.8
	Promedio			1849.0	4.7
6.5	1	1639.2	1.04	1705.0	5.3
	2	1639.2	1.09	1787.0	5.1
	3	1639.2	1.09	1787.0	5.3
	Promedio			1760.0	5.2
7	1	1356.3	1.04	1356.3	5.6
	2	1.04	1.04	1.04	5.6
	3	1411.0	1.04	1411.0	5.8
	Promedio			1408.0	5.7

Fuente: Propia

Interpretación: Para la *tabla 63* con el porcentaje de adición de 10 % de lignina con el cemento asfáltico, se puede concluir que la varianza de estabilidad es ascendente hasta el valor más alto de estabilidad con el C.A del 5.5%, por otro lado, la deformación (flujo), se nota un incremento para todo respecto a la adición en mayor proporción del contenido de asfalto. Los datos obtenidos del aparato marshall se le debe multiplicar por un factor de estabilidad que están relacionadas con la altura de cada briqueta.

Fig. 21 Aparato Marshall



Fuente: Propia

Fig. 22 Compactación con el martillo Marshall



Fuente: Propia

La *tabla 64* siguiente se presenta los resultados obtenidos de realizar en el ensayo de estabilidad y flujo respecto a las briquetas adicionadas con 15 % de Lignina.

Tabla 64 Resultados de estabilidad y flujo para las mezclas asfálticas con 15% de lignina

Porcentaje de cemento asfáltico	Mezcla asfáltica adicionado con 15 % de lignina				
	N° Briquetas	Estabilidad sin corregir	factor de estabilidad	estabilidad corregida	Flujo
5	1	1205.6	1.04	1254.0	3.8
	2	1215.0	1.04	1264.0	4.1
	3	1205.6	1.04	1254.0	4.4
	Promedio			1257.0	4
5.5	1	1423.8	1.04	1481.0	4.6
	2	1391.3	1.04	1447.0	4.6
	3	1414.5	1.04	1471.0	4.6
	Promedio			1466.0	4.6
6	1	1544.8	1.04	1607.0	4.6
	2	1592.0	1.04	1656.0	4.6
	3	1568.4	1.04	1631.0	4.8
	Promedio			1631.0	4.7
6.5	1	1530.7	1.04	1592.0	5.3
	2	1530.7	1.04	1592.0	5.1
	3	1530.7	1.04	1592.0	5.3
	Promedio			1592.0	5.2
7	1	1309.2	1.04	1362.0	5.6
	2	1309.2	1.04	1362.0	5.6
	3	1309.2	1.04	1362.0	5.6
	Promedio			1362.0	5.6

Fuente: Propia

Interpretación: Los datos indican que el promedio de estabilidad corregida alcanza un punto más alto que se da con el porcentaje de 6 % C.A, por otro lado, el flujo es directamente

proporcional que a medida que el cemento asfalto es en mayor proporción el flujo aumentan en valor numérico. Haciendo un análisis la relación respecto a los porcentajes de adición de lignina de 10% y 15% alcanzan niveles más altos en distintos porcentajes de contenido de asfalto, siendo así que el valor más alto es respecto a la briqueta con el 10 % se alcanza un comportamiento más estable con un valor de 1965 kg y deformación de 4.4.

Relación de estabilidad – flujo

La relación que existe entre estabilidad - flujo es el nivel de fragilidad o maleabilidad de la mezcla asfáltica en caliente, la cual se puede representar en grietas precipitadas o hundimientos precoces respectivamente, a continuación, se apreciara la *tabla 65*.

Tabla 65. Resultados de la Relación estabilidad-flujo de las mezclas modificadas

Porcentaje de cemento asfáltico	Nº Briquetas	Briquetas + 10 % de lignina		Briquetas + 15 % de lignina	
		Relación estabilidad - Flujo	Promedio	Relación estabilidad - Flujo	Promedio
5.0	1	4119.1	4156.0	3291.3	3162.0
	2	3929.6		3110.2	
	3	4419.9		3085.6	
5.5	1	4719.8	4467.0	3239.3	3207.0
	2	4217.0		3164.9	
	3	4465.0		3217.4	
6	1	4188.5	3973.0	3514.9	3506.0
	2	3934.6		3622.0	
	3	3787.8		3379.6	
6.5	1	3196.5	3355.0	2984.6	3034.0
	2	3517.7		3133.9	
	3	3350.2		2984.6	
7.0	1	2525.1	2482.0	2437.4	2437.0
	2	2507.2		2437.4	
	3	2415.3		2437.4	

Fuente: Propia

Interpretación: En la tabla 65 se puede apreciar los resultados obtenidos de la relación estabilidad - flujo de la mezcla asfáltica modificada (10% y 15%), cabe resaltar que la relación de ambos debe estar dentro de los parámetros específicos en la tabla 10, el contenido óptimo de cemento asfáltico asfalto es de 6% para ambas mezclas modificadas (10% y 15%).

Parámetros óptimos de la mezcla asfáltica modificada con 10% y 15% de lignina

Tabla 66. Resumen del contenido óptimo de asfalto modificado + 10% de lignina

Características de la Mezcla	MEZCLA ASFÁLTICA + ASFALTO CON 10% LIGNINA					
- N° de golpes por cara			75			
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	5.8		6.0		6.2	
- Peso Específico bulk, g/cm ³	2.451		2.455		2.459	
- Vacíos, %	4.4		4		3.3	
- Vacíos llenos con Cemento Asfáltico, %	71.6		75.4		79.0	
- V.M.A., %	15.4		15.5		15.5	
- Estabilidad, kg (KN)	1923.3	18.87	1932.4	18.95	1883.8	18.47
- Flujo, mm (10 ⁻² pulg)	4.5	17.9	4.8	18.8	4.9	19.2
- Absorción de Asfalto, %			1.25			
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	4240.0	11.0	3990.0	10.0	3866.0	10.0
- Temperatura de la mezcla, °C			140 - 145			

Fuente: Propia

Interpretación: La *tabla 66* muestra los resultados de datos numéricos óptimos para uso y control en obra respecto al asfalto modificado con 10 % de lignina, lo cual la temperatura general de uso fue de 140° a 150° C.

Tabla 67. Resumen del contenido óptimo de asfalto modificado + 15% de lignina

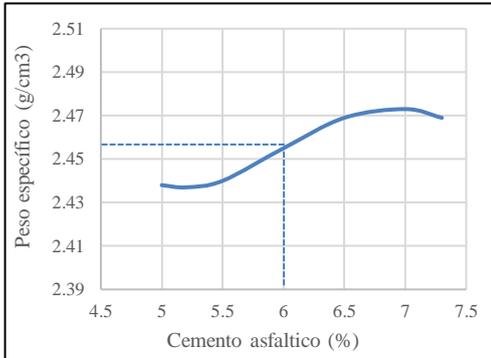
Características de la Mezcla	MEZCLA ASFÁLTICA + ASFALTO CON 15% LIGNINA					
- N° de golpes por cara			75			
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	5.9		6.1		6.3	
- Peso Específico bulk, g/cm ³	2.439		2.445		2.451	
- Vacíos, %	4.6		4		3.5	
- Vacíos llenos con Cemento Asfáltico, %	71.0		74.5		78.0	
- V.M.A., %	16.0		15.9		15.9	
- Estabilidad, kg (KN)	1606.4	15.75	1632.4	16.01	1608.5	15.77
- Flujo, mm (10 ⁻² pulg)	4.7	18.6	4.9	19.3	5.0	19.9
- Absorción de Asfalto, %			1.28			
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	3395.0	8.0	3328	8.0	3190	8.0
- Temperatura de la mezcla, °C			140 - 145			
Proporciones de mezcla						
(1) Agregado grueso, % **			35.0			
(2) Agregado fino, % **			65.0			
(3) Aditivo, % **			0.5			

Fuente: Propia

Interpretación: En la *tabla 67* se puede apreciar el resultado de contenido óptimo de cemento asfáltico el cual fue de 6.1 %, existe un $\pm 0.2\%$ para un control en obra.

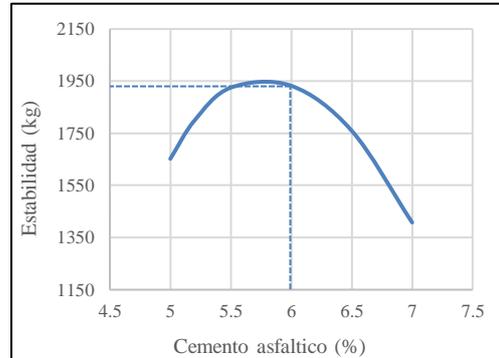
Ensayo para medir la resistencia de mezclas bituminosas adicionando el 10 % de lignina usando el método Marshall.

Gráfico 8. Porcentaje de C.A. vs Vacíos



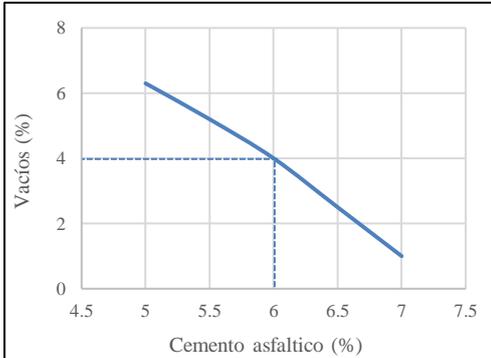
Fuente: Propia

Gráfico 9. Porcentaje de C.A. vs V.F.A



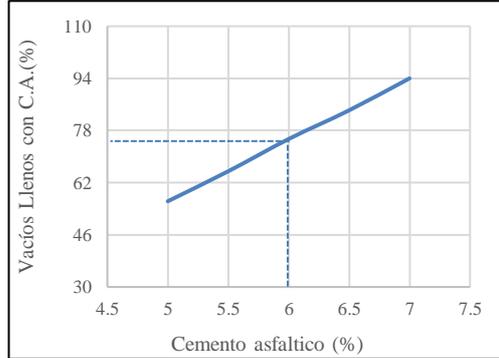
Fuente: Propia

Gráfico 10. Porcentaje de C.A. vs Vacíos



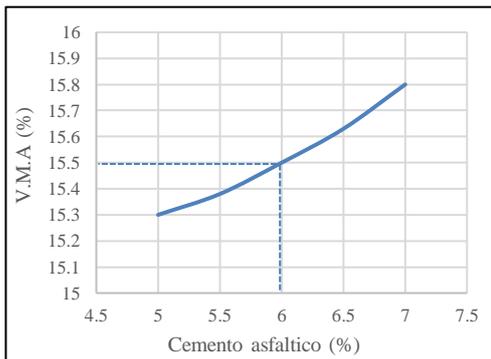
Fuente: Propia

Gráfico 11. Porcentaje de C.A. vs V.F.A



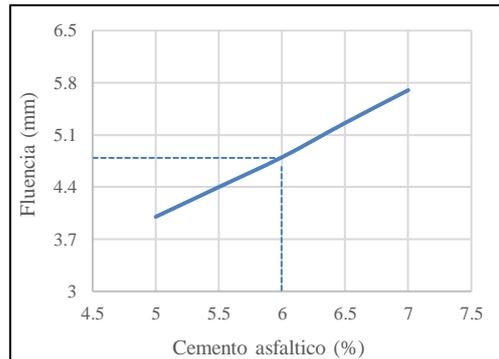
Fuente: Propia

Gráfico 12. Porcentaje de C.A. vs Vacíos



Fuente: Propia

Gráfico 13. Porcentaje de C.A. vs V.F.A

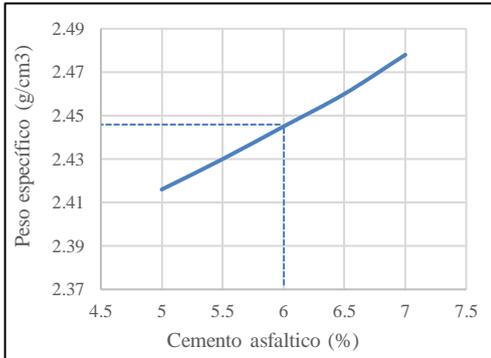


Fuente: Propia

Interpretación: Los gráficos mostrados resultan de las curvas referente a los ensayos de mezclas asfálticas adicionando el 10% de lignina las cuales presentan mejoras respecto al convencional las cuales son descritas anteriormente.

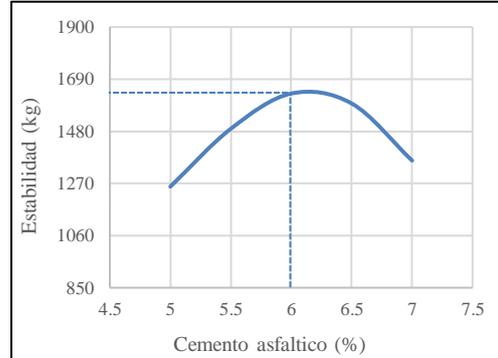
Ensayo para medir la resistencia de mezclas bituminosas adicionando el 15 % de lignina usando el método Marshall.

Gráfico 14. Porcentaje de C.A. vs Vacíos



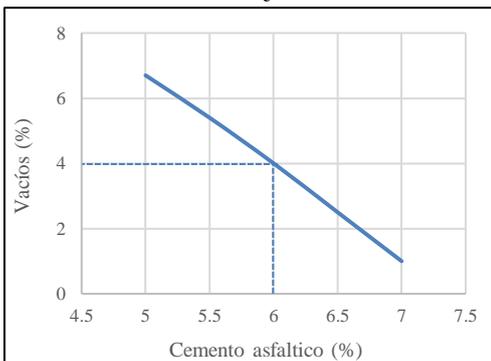
Fuente: Propia

Gráfico 15. Porcentaje de C.A. vs V.F.A



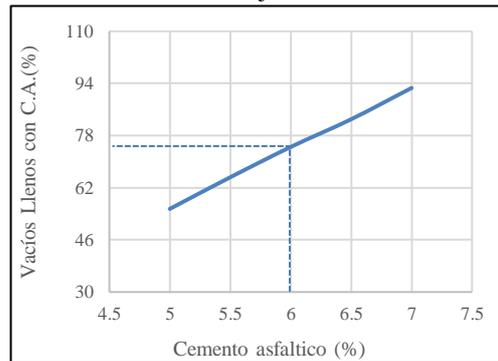
Fuente: Propia

Gráfico 16. Porcentaje de C.A. vs Vacíos



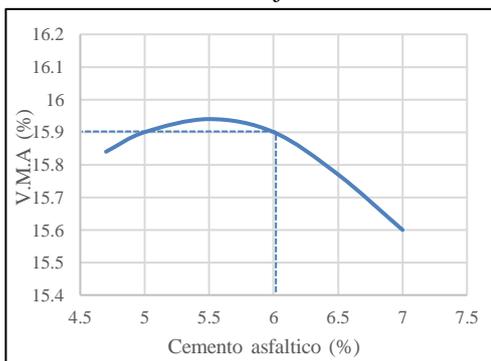
Fuente: Propia

Gráfico 17. Porcentaje de C.A. vs V.F.A



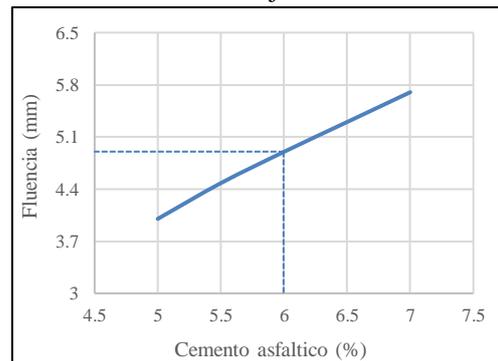
Fuente: Propia

Gráfico 18. Porcentaje de C.A. vs Vacíos



Fuente: Propia

Gráfico 19. Porcentaje de C.A. vs V.F.A

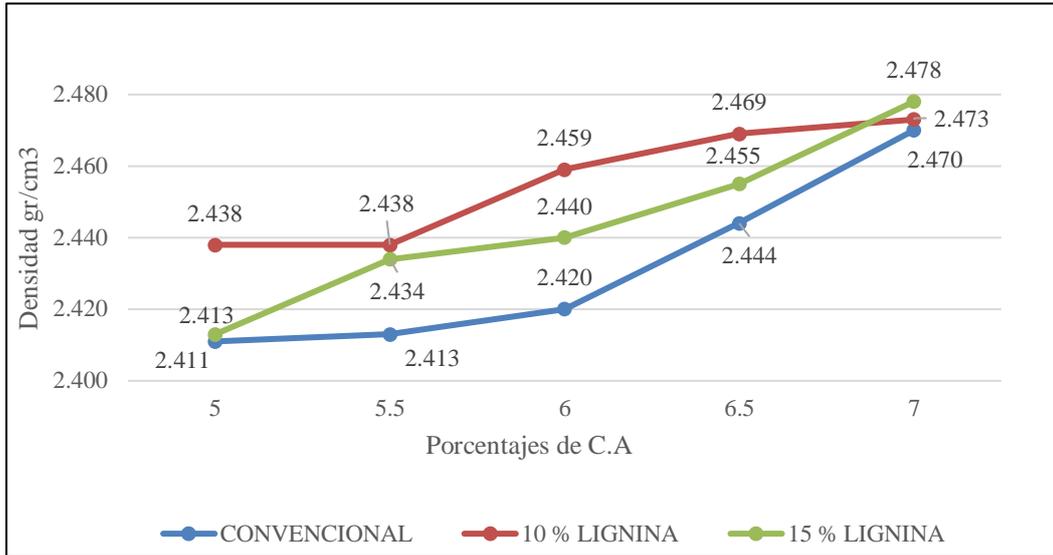


Fuente: Propia

Interpretación: Los gráficos mostrados resultan de las curvas referente al contenido óptimo de mezclas asfálticas adicionando 15% de lignina.

Análisis estadístico y comparativo de resultados de mezclas asfálticas convencional y mezclas asfálticas modificadas con lignina.

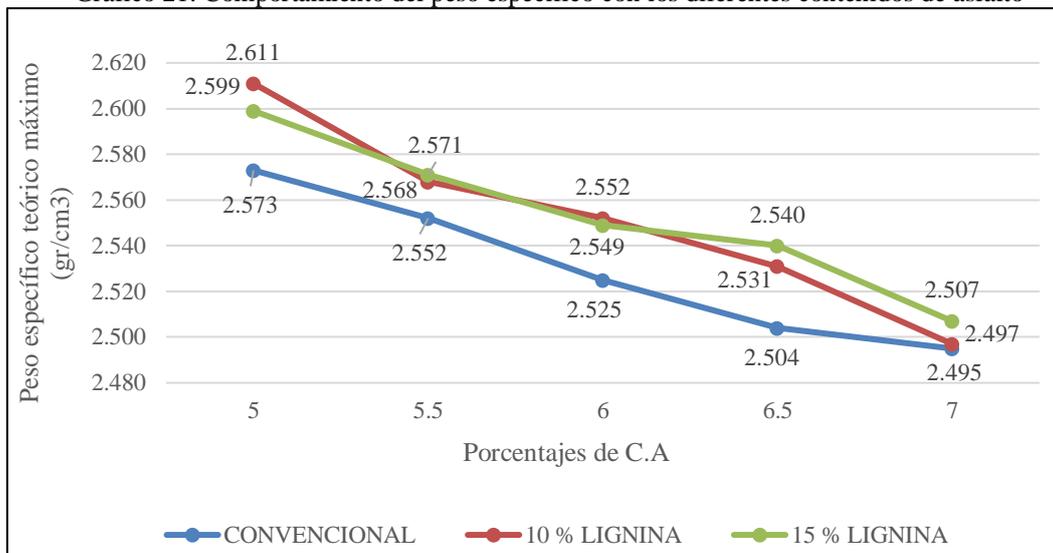
Gráfico 20. Comportamiento de la densidad con los diferentes contenidos de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: En el gráfico 20 se puede apreciar los 5 porcentajes de cemento asfáltico tanto del convencional como de los modificados (10% y 15%), la densidad modificada va en ascenso a comparación del convencional. Peso específico bulk o también llamado densidad, como se determina la densidad es la multiplicación del peso específico por la densidad del agua la cual es 1gr/cm³, por ende, la densidad es de 2.411 gr/cm³. Es preciso mencionar que a mayor densidad se obtendrá un rendimiento más duradero.

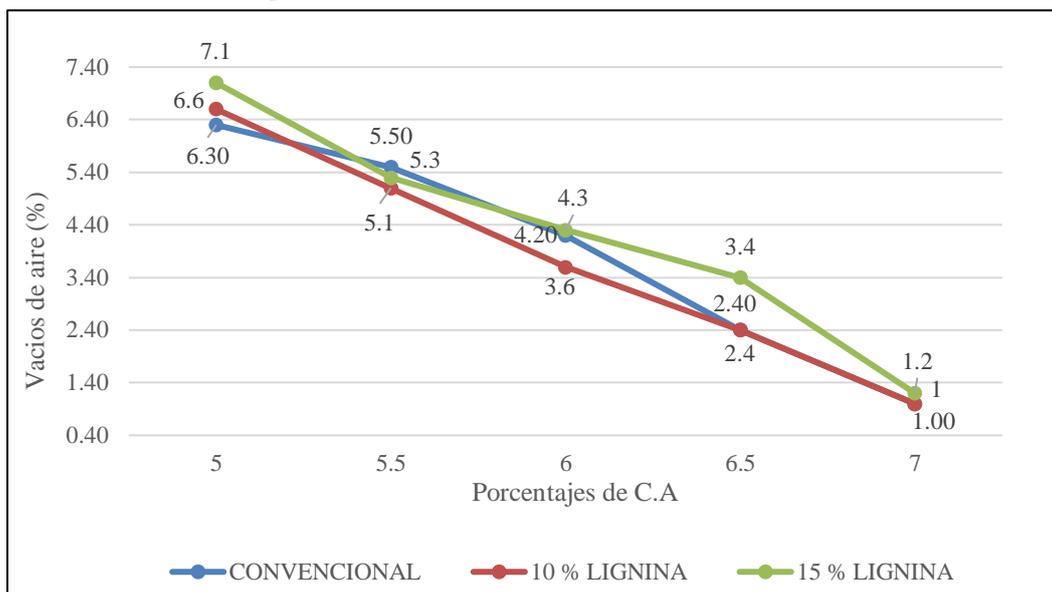
Gráfico 21. Comportamiento del peso específico con los diferentes contenidos de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: En el *gráfico 21* indican el comportamiento del peso específico teórico máximo respecto a la mezcla asfáltica suelta del convencional y los modificados del 10% y 15%; Las curvas mostradas se infiere que existe una varianza decreciente a medida que el contenido de asfalto es en mayor porcentaje. En líneas generales se aprecia que la curva respecto a las mezclas modificadas con lignina está por encima de convencional siendo el óptimo en 10% con 2.552 gr/cm³. Por otro lado, se debe tener cuidado al momento de realizar el ensayo debido a que un error significativo podría alterar en resultado y el cálculo de vacíos y por ende al exceso o mínima compactación en alguna obra vial.

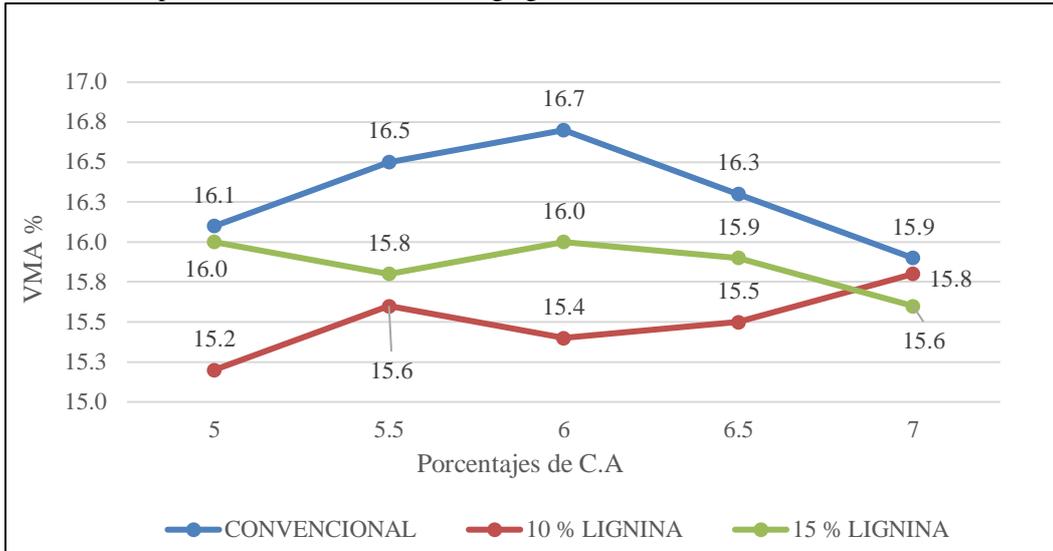
Gráfico 22. Comportamiento de vacíos de aire con los diferentes contenidos de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: Las curvas de *gráfico 22* presentados indican que a mayor porcentaje de contenido de asfalto los vacíos de aire en la briqueta disminuyen, teniendo como punto máximo con el contenido de 5% esto debido a que el cemento asfáltico no cubre los vacíos. En comparación de las tres curvas se puede concluir que la mezcla adicionado con 10 % lignina se mantiene constante e incluso por debajo de la curva de convencional. Lo mínimo y máximos permisibles de vacíos está el rango de 3% – 5 % lo cual un exceso de vacíos por encima de lo permisible traería problemas de desprendimiento prematuro, desgaste, quebración temprana en la carpeta de rodadura. Por otra parte, en los porcentajes de vacíos menores a 3% traería problemas de ahuellamiento en la carpeta de rodadura lo cual afectaría a tiempo de vida de servicio, se espera que en un pavimento terminado el porcentaje de vacíos se reducen mínimamente con el flujo vehicular.

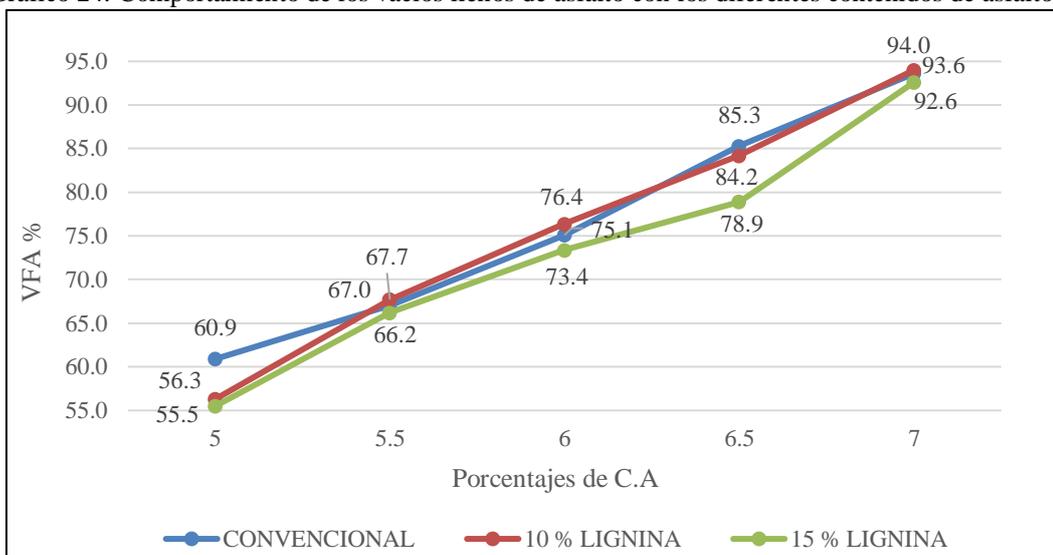
Gráfico 23. Comportamiento de los vacíos del agregado mineral con los diferentes contenidos de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: En el gráfico 23 se puede apreciar los 5 porcentajes de cemento asfáltico tanto del convencional como de los modificados (10% y 15%), el V.M.A. modificado va en descenso a comparación del convencional, así también se precisa que a mayor porcentaje de asfalto el porcentaje de V.M.A. aumentara hasta determinar el contenido de asfalto de trabajo de ahí los valores disminuirán. Por otra parte, los porcentajes de vacíos de agregado mineral van relacionados con la energía de compactación, por ello si la energía de compactación es la inadecuada se generará una mayor cantidad de porcentaje de V.M.A. Por ello es importante resaltar que cuando los V.M.A. son muy elevados en una mezcla asfáltica pueden ser perjudiciales debido a que generan problemas con la estabilidad.

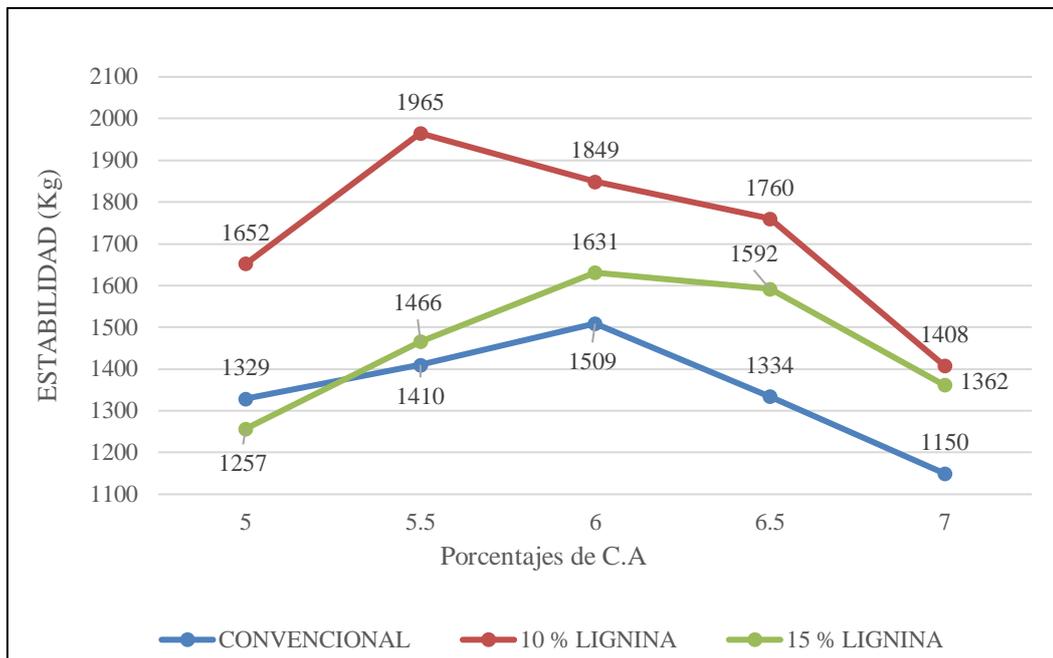
Gráfico 24. Comportamiento de los vacíos llenos de asfalto con los diferentes contenidos de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: Los datos obtenidos se registran en el *grafico 24* los cuales se genera como es el comportamiento a medida mayor porcentaje de cemento asfalto y modificado con lignina los cuales indican que existe un ascenso para cada diseño, La cual los más próximos se refieren al convencional y al asfalto modificado con 10%. Por otro lado, se infiere que los vacíos de aire (V.A) vacíos de agregado mineral (V.M.A) y vacíos llenos de asfalto (V.F.A) se relacionan directamente y pueden predecir el comportamiento prematuro de fallas en la carpeta de rodadura; los cuales los vacíos llenos de asfalto proveen un factor de seguridad adicional en el diseño respecto a su comportamiento.

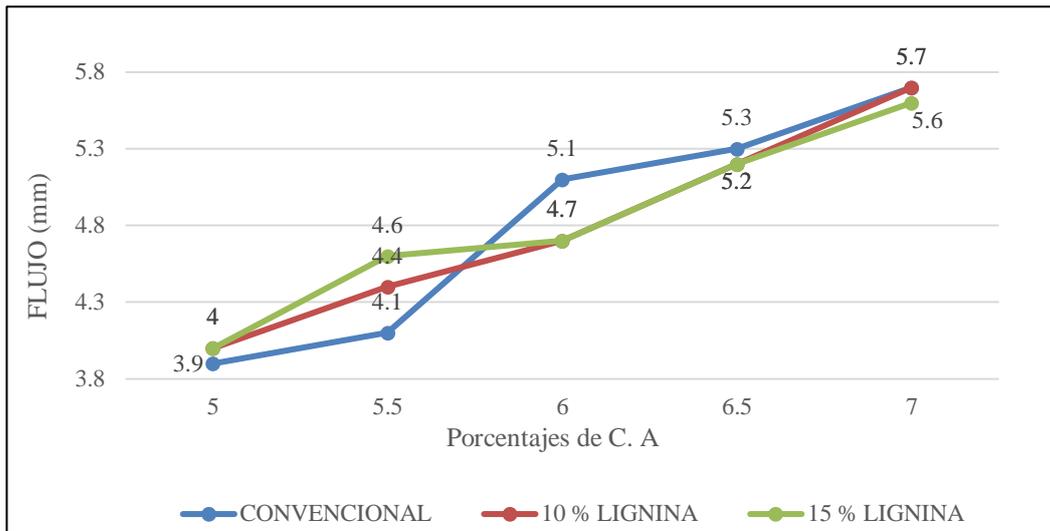
Gráfico 25. Comportamiento de la estabilidad con los diferentes contenidos de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: En el *gráfico 25* se puede apreciar los 5 porcentajes de cemento asfáltico tanto del convencional como de los modificados (10% y 15%), el valor de la estabilidad convencional va en ascenso teniendo como punto máximo 1509 kg a comparación del modificado que sus puntos máximos están en 1965 kg y 1631 kg para el 10% y 15% de briquetas compactas, se hace mención un pavimento es estable cuando conserva su forma a diferencia de cuando es inestable tiende a perder su forma es decir sufre deformaciones permanentes. Se precisa que a mayor valor de estabilidad es más susceptible a sufrir agrietamientos por fatiga, como se puede observar en el *grafico 25* existe un valor mínimo de estabilidad mas no un valor máximo, por ello se determina la relación estabilidad flujo la cual no debe exceder el valor de 4000 kg/cm.

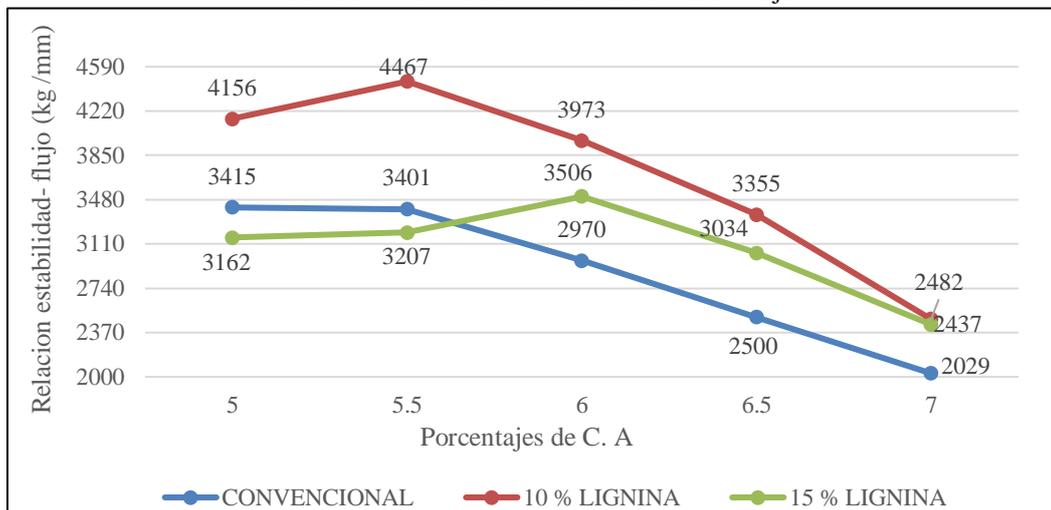
Gráfico 26. Comportamiento del flujo con los diferentes contenidos de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: El gráfico 26 se aprecia las deformaciones (flujo) para los tres tipos de diseño los cuales indican el valor máximo soportado a escala de laboratorio, los cuales el flujo es directamente proporcional a porcentaje de contenido de asfalto, generalmente la varianza respecto al de 10% y 15% de lignina es mínima, por otro lado, la curva convencional da un ligero cambio en el punto de 5.5% y luego un ascenso significativo.

Gráfico 27. Curva de relación estabilidad - flujo



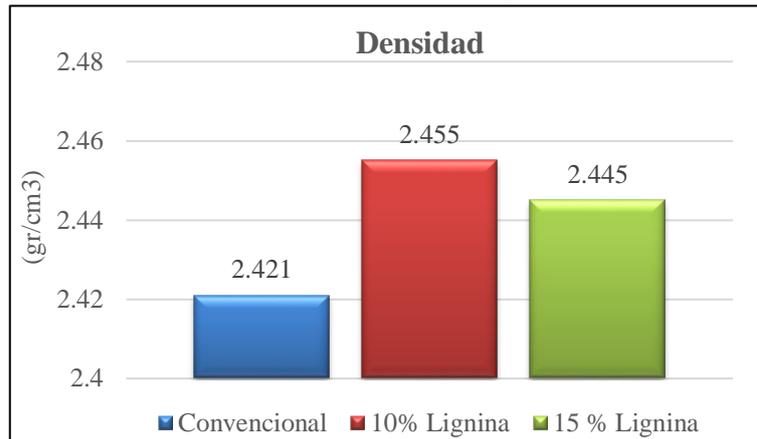
Fuente: Propia

Interpretación: En el gráfico 27 se puede apreciar los 5 porcentajes de cemento asfáltico tanto del convencional como de los modificados (10% y 15%), el valor de la relación estabilidad - flujo va en ascenso a comparación del convencional, se hace mención que la relación determina el nivel de fragilidad o ductilidad de una mezcla asfáltica, la cual se

representa en grietas precoces o ahuellamientos tempranos, se hace un mención a la *tabla 10* donde nos indica que los valores de la relación estabilidad – flujo no deben ser superiores a 4000 kg/cm, por ende nuestros valores están dentro de lo permisible.

Análisis estadístico y comparativo de resultados de mezclas asfálticas convencional y mezclas asfálticas modificadas con lignina.

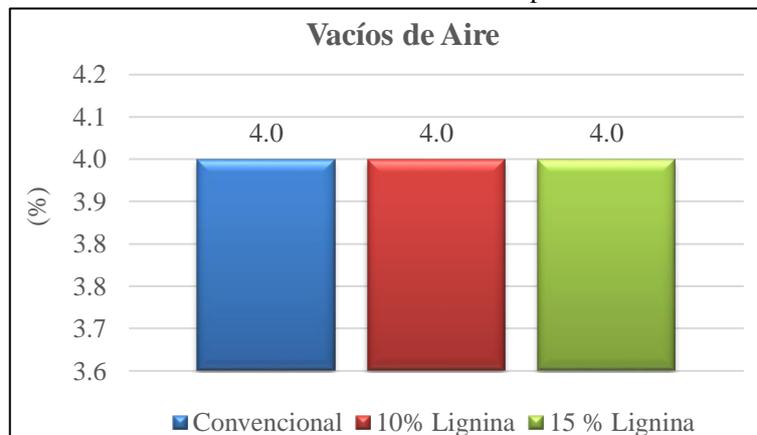
Gráfico 28. Densidad del contenido óptimo de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: En el *gráfico 28* se aprecia el valor del peso específico o también llamado densidad, lo cual indican un resultado favorable respecto a los dos asfaltos modificados con lignina. Siendo que la densidad modificado con el 10% de lignina asciende en valor porcentual de 1.38% respecto al convencional. Por otra parte, se relaciona la durabilidad de la capeta de la rodadura respecto a la densidad lo cual debe ser controlado respecto hacia otros parámetros como los V.A y V.M.A.

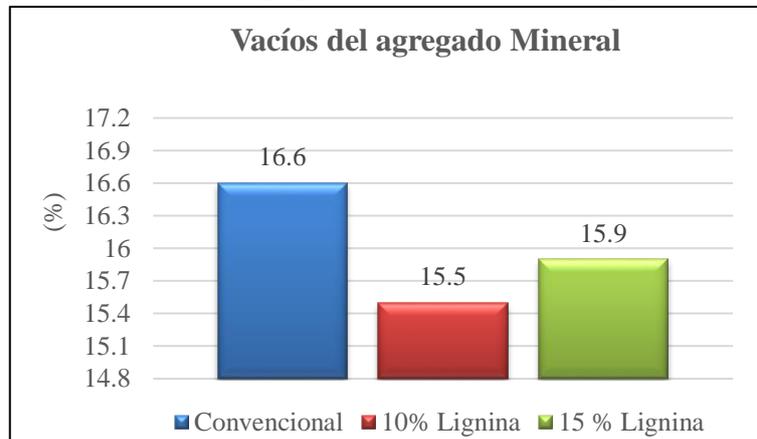
Gráfico 29. Vacíos de aire del contenido óptimo de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: Los resultados del *gráfico 29* referidos a los parámetros óptimos de contenido de asfalto para los 3 diseños se mantiene dentro de los permisible, indicando que los vacíos de aire es de vital importancia la forma como será el comportamiento respecto al exceso y la durabilidad que llevará la carpeta de rodadura en tiempo de vida de servicio.

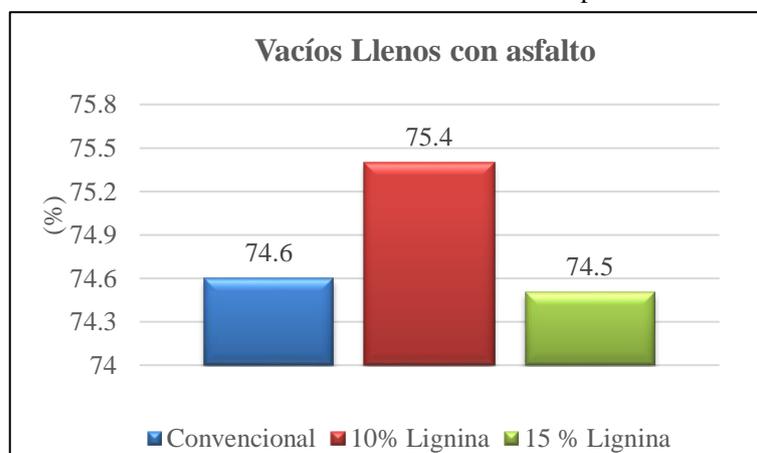
Gráfico 30. Vacíos del agregado mineral del contenido óptimo de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: El *gráfico 30* de barras referente a los contenidos óptimos de asfalto, lo cual sirven para llevar control en obra; indican que los vacíos disminuyen hasta en un 6.63% respecto al convencional con un valor en porcentaje de 15.5 % de V.M.A. Se indica que la adición del biopolímero es satisfactoria respecto a los dos casos de 10% y 15% debido que la presencia de vacíos del agregado disminuye. Por otro lado, se menciona la importancia de los vacíos del agregado mineral para la adhesión de ambos para reducir la fricción interna existente; así también a medida que se desplaza los V.A.M por el contenido de asfalto la densidad aumenta y la compactación mejora.

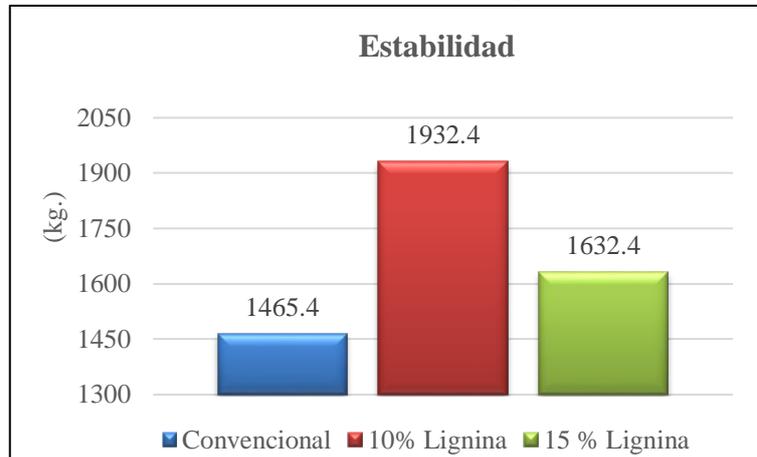
Gráfico 31. Vacíos llenos de asfalto del contenido óptimo de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: En el *gráfico 31* se puede apreciar los vacíos llenos de asfalto (V.F.A), donde los resultados de la mezcla convencional presento un 74.6% y la mezcla modificado con 10% de lignina presento un 75.4%, por ello la mezcla modificada presenta una adherencia no tan buena con los áridos a momento de mezclarlos.

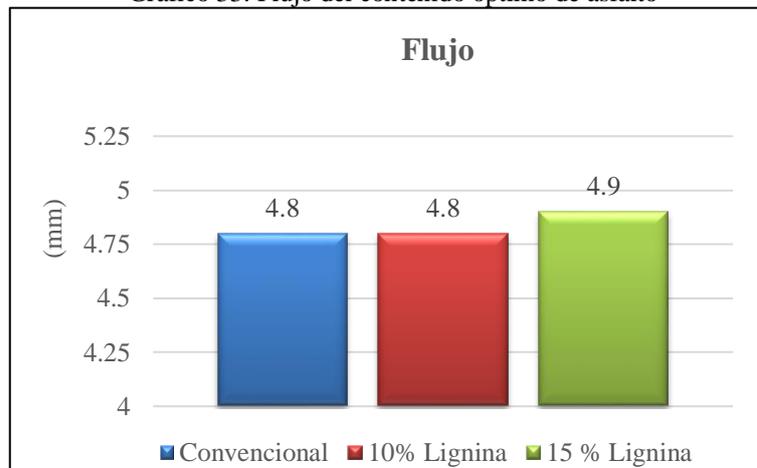
Gráfico 32. Estabilidad del contenido óptimo de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: En el *gráfico 32* se puede apreciar el valor obtenido de la mezcla asfáltica convencional la cual fue de 1465.4 kg, a diferencia de la mezcla modifica con 10% de lignina la cual fue de 1932.4 kg. ascendiendo en valor porcentual de 31.87%. Por ello al obtener más estabilidad, se infiere que la mezcla modifica con 10% de lignina tiene capacidad de resistir desplazamientos y deformaciones bajo cargas cíclicas de los vehículos, y así se evitara la fallas por ahuellamiento o corrugación.

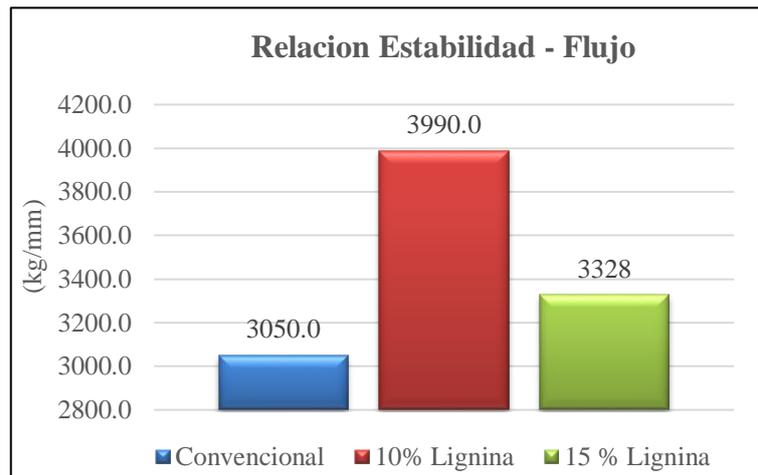
Gráfico 33. Flujo del contenido óptimo de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: En el *gráfico 33* se puede apreciar el valor obtenido de la mezcla asfáltica convencional la cual fue de 4.8 mm y de la mezcla modificada con 10% fue de 4.8 mm, el valor es el mismo, es decir se mantiene el flujo. Los valores del flujo determinan el comportamiento de la mezcla asfáltica a la hora de deformarse cuando son sometidas a cargas, donde si el valor de flujo es elevado el material es muy plástico, es decir, tienden a deformarse bajo cargas cíclicas por el tránsito y al incremento de altas temperaturas.

Gráfico 34. Relación de estabilidad - flujo del contenido óptimo de asfalto



Fuente: Propia

Interpretación: En el *gráfico 34* se puede apreciar el valor de la relación estabilidad – flujo, donde en la mezcla convencional se obtuvo 3050.0 kg/cm y en la mezcla modificada con 10% se obtuvo el valor de 3990.0 kg/cm, lo cual nos indica que hubo un aumento de 30.82%. Por ello se puede comprobar que la adición del biopolímero de lignina a la mezcla asfáltica en caliente mejora la resistencia a compresión, así mismo aporta gran rigidez a posibles deformaciones que pueda sufrir la carpeta de rodadura.

Contrastación de Hipótesis

H0: La estabilidad en el diseño convencional se distribuye normalmente

H1: La estabilidad en el diseño convencional no se distribuye normalmente

De acuerdo a la *tabla 68*. Se observa lo siguiente:

Si el $P\text{-value} < \alpha$ se rechaza la hipótesis H0. Como la muestra es < 30 entonces utilizaremos la prueba de Shapiro-Wilk.

Como $0.481 > 0.05$, entonces no se rechaza la hipótesis nula por lo tanto concluimos que la variable estabilidad en el diseño convencional se distribuye normalmente. En consecuencia, se puede utilizar prueba de hipótesis para métrica como el ANOVA (Análisis de varianza).

Tabla 68. Descriptivos

	diseño	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
		Estadístic	gl	Sig.	Estadísti	gl	Sig.
Estabilidad	M. A. Convencional	,151	15	,200*	,947	15	,481
	M. A. Modificado con 10%	,152	15	,200*	,925	15	,233
	M. A. Modificado con 15%	,215	15	,059	,895	15	,080
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.							
a. Corrección de significación de Lilliefors							

Fuente: SPSS

En la *tabla 69* se observa lo siguiente: La desviación estándar para los 3 diseños de mezcla asfáltica y la media. Así también con el 95% de intervalo de confianza los límites para la media del modificado con el 10% está en el rango de 1615.31 y 1837.62 kg.

Tabla 69. Descriptivos

Estabilidad								
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
M. A. Convencional	15	1346,4	124,23	30.07	1277,60	1415.2	1135	1558
M. A. Modificada con 10%	15	1726,4	200.72	51.827	1615.31	1837.62	1401	2038
M. A. Modificada con 15%	15	1461,8	144,99	37,437	1381,51	1542,09	1254	1656
Total	45	1511,5	224.29	33.436	1444.17	1578.94	1135	2038

Fuente: SPSS

Hipótesis de la investigación específica 1:

La estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina, Lima 2019

Hipótesis estadística:

H₀: La estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente no tendrá variación adicionando al 10% ni al 15% del biopolímero lignina.

H₁: La estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando al 10% y 15% del biopolímero lignina.

De acuerdo a resultado de la *tabla 70*. Se observa lo siguiente:

Si el P-value $< \alpha$ se rechaza la hipótesis H₀.

Como el P-value = 0.00 $<$ 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se decide que la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente es (heterosedastico), es decir tendrá variación adicionando al 10% y 15% del biopolímero lignina.

Tabla 70. ANOVA / Estabilidad

Estabilidad					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1139081,378	2	569540,689	22,263	,000
Dentro de grupos	1074467,733	42	25582,565		
Total	2213549,111	44			

Fuente: SPSS

De acuerdo a la *tabla 71*. de comparaciones múltiples se observa lo siguiente:

Para mezcla asfáltica convencional con el modificado de 10% de lignina se obtiene como valor de significancia de 0.00 $<$ 0.05, donde indica que existen diferencias significativas respecto a la estabilidad entre los dos diseños.

Para la mezcla asfáltica convencional con el modificado de 15% de lignina se obtiene como valor de significancia de 0.131 $>$ 0.05, donde indica que no existen diferencias significativas respecto a la estabilidad entre los dos diseños.

Para la mezcla asfáltica modificado de 10% y el modificado con el 15% de lignina se obtiene

como valor de significancia de $0.00 < 0.05$, donde indica que existen diferencias significativas respecto a la estabilidad entre los dos diseños.

Tabla 71. Comparaciones múltiples de la variable dependiente: Estabilidad

(I) diseño	(J) diseño	Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite	Límite
M.A. Convencional	M. A. modificada con 10%	-	58,404	,000	-521,96	-238,17
	M. A. modificada con 15%	-115,400	58,404	,131	-257,29	26,49
M.A. Modificado con 10%	M. A. convencional	380,067*	58,404	,000	238,17	521,96
	M. A. modificada con 15%	264,667*	58,404	,000	122,77	406,56
M.A. Modificado con 15%	M. A. convencional	115,400	58,404	,131	-26,49	257,29
	M. A. modificada con 10%	-	58,404	,000	-406,56	-122,77

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05. / Variable dependiente: Estabilidad

Fuente: SPSS

En la *tabla 72*. subconjuntos Homogéneos de estabilidad respecto a nivel de significancia y la homogeneidad respecto a los 3 diseños elaborados donde se observa que la mezcla asfáltica (M.A) convencional y modificado con 15% no existe tan nivel de significancia. Por otro lado, la mezcla asfáltica modificado con el 10% si existe un nivel de significancia respecto a los otros 2 diseños. Lo cual se hace 2 subconjuntos de nivel de homogeneidad.

Tabla 72. Subconjuntos Homogéneos / Estabilidad

Estabilidad			
Diseño	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
M.A Convencional	15	1346,40	
M.A Modificado con 15%	15	1461,80	
M.A Modificado con 10%	15		1726,47
Significancia		,131	1,000
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.			
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.			

Fuente: SPSS

Hipótesis de la investigación específica 2:

El flujo de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina, Lima 2019

Hipótesis estadística:

H₀: El flujo de la mezcla asfáltica en caliente no tendrá variación adicionando al 10% ni al 15% del biopolímero lignina.

H₁: El flujo de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando al 10% y 15% del biopolímero lignina.

De acuerdo a resultado de la *tabla 74*. Se observa lo siguiente:

Si el P-value < α se rechaza la hipótesis H₀.

Como el P-value = 0.989 > 0.05 entonces no se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, el flujo en los diferentes diseños de mezcla es homocedástico, es decir tiene varianza constante al 95% de confianza.

tabla 74. ANOVA / Flujo

Flujo					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,009	2	,005	,011	,989
Dentro de grupos	17,163	42	,409		
Total	17,172	44			

Fuente: SPS

En la *tabla 75* se aprecia de modo descriptivo la desviación estándar para los distintos tipos de diseño para la variable flujo.

Tabla 75. Descriptivos

Flujo								
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
M. A. Convencional	15	4,827	,7076	,1827	4,435	5,219	3,8	5,8
M. A. Modificada con 10%	15	4,793	,6250	,1614	4,447	5,139	3,8	5,8
M. A. Modificada con 15%	15	4,820	,5784	,1493	4,500	5,140	3,8	5,6
Total	45	4,813	,6247	,0931	4,626	5,001	3,8	5,8

Fuente: SPSS

Hipótesis de la investigación específica 3:

La densidad de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15%

del biopolímero lignina, Lima 2019

Hipótesis estadística:

H₀: La densidad de la mezcla asfáltica en caliente no tendrá variación adicionando al 10% ni al 15% del biopolímero lignina.

H₁: La densidad de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando al 10% y 15% del biopolímero lignina.

De acuerdo a resultado de la *tabla 77*. Se observa lo siguiente:

Si el P-value < α se rechaza la hipótesis H₀.

Como el P-value = 0.013 < 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se decide que la densidad de la mezcla asfáltica en caliente es (heterosedastico), es decir tendrá variación adicionando al 10% y 15% del biopolímero lignina.

tabla 77. ANOVA / Densidad

Densidad					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,004	2	,002	4,84	,013
Dentro de	,019	42	,000		
Total	,023	44			

Fuente: SPSS

En la *tabla 78* se observa la desviación estándar para los distintos tipos de diseño así también la media poblacional.

Tabla 78. Descriptivos

Densidad								
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
M. A. Convencional	15	2,4314	,02366	,00610	2,41830	2,44450	2,40	2,473
M. A. Modificada con 10%	15	2,4554	,01634	,00422	2,44635	2,46445	2,43	2,474
M. A. Modificada con 15%	15	2,4439	,02261	,00583	2,43141	2,45646	2,40	2,482
Total	45	2,4435	,02289	,00341	2,43670	2,45046	2,40	2,482

Fuente: SPSS

De acuerdo a la *tabla 79*. de comparaciones múltiples se observa lo siguiente:

Para mezcla asfáltica convencional con el modificado de 10% de lignina se obtiene como valor de significancia de $0.009 < 0.05$, donde indica que existen diferencias significativas respecto a la densidad entre los dos diseños.

Para la mezcla asfáltica convencional con el modificado de 15% de lignina se obtiene como valor de significancia de $0.246 > 0.05$, donde indica que no existen diferencias significativas respecto a la densidad entre los dos diseños.

Para la mezcla asfáltica modificado de 10% y el modificado con el 15% de lignina se obtiene como valor de significancia de $0.307 > 0.05$, donde indica que no existen diferencias significativas respecto a la densidad entre los dos diseños.

Tabla 79. Comparaciones múltiples de la variable dependiente: Densidad

Variable dependiente: Densidad						
(I) diseño	(J) diseño	Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
M. A. convencional	M. A. modificada con 10%	-,024000*	,00771	,009	-,04274	-,00526
	M.A. modificada con 15%	-,012533	,00771	,246	-,03127	,00620
M. A. modificada con	M. A. convencional	,024000*	,00771	,009	,00526	,04274
	M.A. modificada con 15%	,011467	,00771	,307	-,00727	,03020
M.A. modificada con 15%	M. A. convencional	,012533	,00771	,246	-,00620	,03127
	M. A. modificada con 10%	-,011467	,00771	,307	-,03020	,00727

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: SPSS

En la *tabla 80*. se observa subconjuntos homogéneos de la densidad respecto a nivel de significancia respecto a los 3 diseños elaborados la mezcla asfáltica en caliente (M.A.C).

1. Convencional y modificado con 15% de lignina forman un subgrupo (1) debido a su nivel de homogeneidad.
2. La mezcla asfáltica modificado con el 10% y el modificado con 15 % de lignina forman otro subgrupo (2) o subconjuntos sobre nivel de homogeneidad.

Tabla 80. Subconjuntos Homogéneos / Densidad

diseño	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
M. A. convencional	15	2,43140	
M.A. modificada con 15%	15	2,44393	2,44393
M. A. modificada con 10%	15		2,45540
Sig.		,246	,307
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.			
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.			

Fuente: SPSS

Hipótesis de la investigación específica 4:

Los vacíos de aire (V.A) de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina, Lima 2019

Hipótesis estadística:

H₀: Los vacíos de aire (V.A) de la mezcla asfáltica en caliente no tendrá variación adicionando al 10% ni al 15% del biopolímero lignina.

H₁: Los vacíos de aire (V.A) de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando al 10% y 15% del biopolímero lignina.

De acuerdo a resultado de la *tabla 82*. Se observa lo siguiente:

Si el P-value < α se rechaza la hipótesis H₀.

Como el P-value = 0.780 > 0.05 entonces no se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, los vacíos de aire (V.A) en los diferentes diseños de mezcla es homocedástico, es decir tiene varianza constante al 95% de confianza.

Tabla 82. ANOVA / V.A

	Suma de	gl	Media	F	Sig.
Entre grupos	2,103	2	1,052	,250	,780
Dentro de grupos	176,468	42	4,202		
Total	178,571	44			

Fuente: SPSS

En la *tabla 83* se observa lo siguiente mediante el método descriptivo la desviación estándar y la media poblacional para la variable vacíos de aire (V.A).

Tabla 83. Descriptivos

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
M. A. Convencional	15	3,867	2,0045	,5176	2,757	4,977	,9	6,5
M. A. Modificada con 10%	15	3,747	2,0598	,5318	2,606	4,887	,9	6,9
M. A. Modificada con 15%	15	4,253	2,0842	,5382	3,099	5,408	1,0	7,4
Total	45	3,956	2,0146	,3003	3,350	4,561	,9	7,4

Fuente: SPSS

Hipótesis de la investigación específica 5:

Los vacíos de agregado mineral (V.M.A) de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina, Lima 2019

Hipótesis estadística:

H₀: Los vacíos de agregado mineral (V.M.A) de la mezcla asfáltica en caliente no tendrá variación adicionando al 10% ni al 15% del biopolímero lignina.

H₁: Los vacíos de agregado mineral (V.M.A) de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando al 10% y 15% del biopolímero lignina.

De acuerdo a resultado de la *tabla 85*. Se observa lo siguiente:

Si el P-value < α se rechaza la hipótesis H₀.

Como el P-value = 0.00 < 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se decide que los vacíos del agregado mineral (V.M.A) de la mezcla asfáltica en caliente es (heterosedastico), es decir tendrá variación adicionando al 10% y 15% del biopolímero lignina.

Tabla 85. ANOVA / V.M.A

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,963	2	2,482	35,499	,000
Dentro de grupos	2,936	42	,070		
Total	7,899	44			

Fuente: SPSS

En la *tabla 86* se aprecia los valores de media poblacional y desviación estándar para la variable vacíos del agregado mineral.

Tabla 86. Descriptivos

Vacíos del agregado mineral								
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
M. A. Convencional	15	16,307	,3173	,0819	16,131	16,482	15,8	16,9
M. A. Modificada con 10%	15	15,493	,2685	,0693	15,345	15,642	15,0	15,9
M. A. Modificada con 15%	15	15,887	,1922	,0496	15,780	15,993	15,5	16,2
Total	45	15,896	,4237	,0632	15,768	16,023	15,0	16,9

Fuente: SPSS

De acuerdo a la *tabla 87*. de comparaciones múltiples se observa lo siguiente:

Para mezcla asfáltica convencional con el modificado de 10% de lignina se obtiene como valor de significancia de $0.00 < 0.05$, donde indica que existen diferencias significativas respecto a los vacíos del agregado mineral entre los dos diseños.

Para la mezcla asfáltica convencional con el modificado de 15% de lignina se obtiene como valor de significancia de $0.00 < 0.05$, donde indica que existen diferencias significativas respecto a los vacíos del agregado mineral entre los dos diseños.

Para la mezcla asfáltica modificado de 10% y el modificado con el 15% de lignina se obtiene como valor de significancia de $0.001 < 0.05$, donde indica que existen diferencias significativas respecto a los vacíos del agregado mineral entre los dos diseños.

Tabla 87. Comparaciones múltiples de la variable dependiente: Vacíos del agregado mineral (V.M.A)

Variable dependiente: V.M.A.						
(I) diseño	(J) diseño	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
M. A. convencional	M. A. modificada con 10%	,8133*	,0965	,000	,579	1,048
	M.A. modificada con 15%	,4200*	,0965	,000	,185	,655
M. A. modificada con	M. A. convencional	-,8133*	,0965	,000	-1,048	-,579
	M.A. modificada con 15%	-,3933*	,0965	,001	-,628	-,159
M.A. modificada con 15%	M. A. convencional	-,4200*	,0965	,000	-,655	-,185
	M. A. modificada con 10%	,3933*	,0965	,001	,159	,628

Fuente: SPSS

En la *tabla 88* se observa subconjuntos homogéneos de la densidad respecto a nivel de significancia respecto a los 3 diseños elaborados la mezcla asfáltica en caliente (M.A.C).

1. convencional y modificado con 10% y 15% de lignina forman un subgrupo (1) debido a su nivel de homogeneidad.

Tabla 88. Subconjuntos Homogéneos / Vacíos del agregado mineral

diseño	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
M. A. modificada con 10%	15	15,493
M.A. modificada con 15%	15	15,887
M. A. convencional	15	31,840
Sig.		,050

Fuente: SPSS

Hipótesis de la investigación general:

El comportamiento mecánico tendrá mejora con la adición del biopolímero lignina en la mezcla asfáltica en caliente, Lima 2019.

Hipótesis estadística:

Ho: El comportamiento mecánico no tendrá mejora con la adición del biopolímero lignina en la mezcla asfáltica en caliente.

H1: El comportamiento mecánico tendrá mejora con la adición del biopolímero lignina en la mezcla asfáltica en caliente.

Se concluye a manera global

Respecto a la hipótesis general y los indicadores obtenidos en esta investigación, existe una mejora en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente lo cual se rechaza la Ho y se acepta la H1.

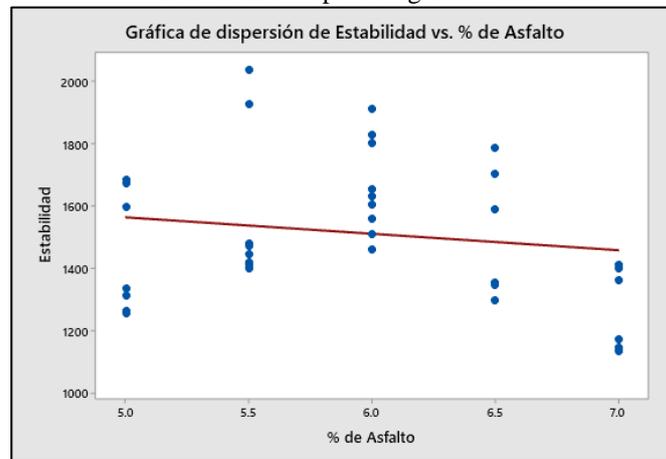
Debido a que no se presenta datos numéricos estadísticos para la hipótesis general y teniendo como resultado el nivel de significancia de las hipótesis específicas tales como:

1. Estabilidad, indica diferencias significativas para el diseño con 10% de adición del biopolímero de lignina respecto a los otros diseños.

2. Flujo, se mantiene contante para los tres tipos de diseños.
3. Densidad, indica diferencias significativas para el diseño con 10% de adición del biopolímero de lignina respecto a los otros 2 diseños.
4. Vacíos de aire, se mantiene contante para los tres tipos de diseños.
5. Vacíos de agregados mineral, indica una disminución significativa para el diseño de 10% respecto al convencional siendo esto favorable.

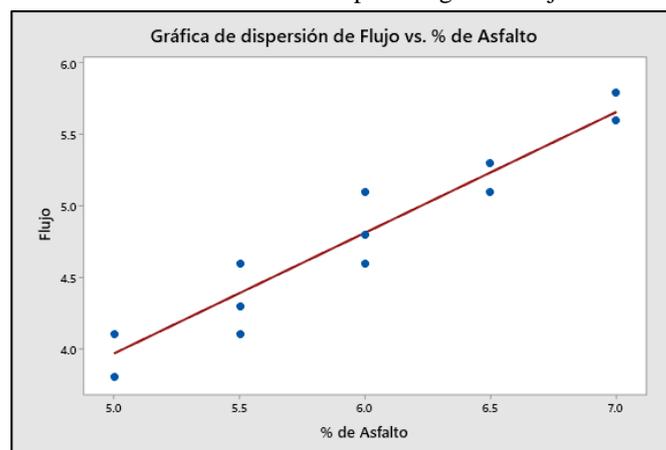
Finalmente, se considera hacer mención que la contrastación de hipótesis con 95% de confianza elegido por el investigador.

Gráfico 35. Dispersión global Estabilidad



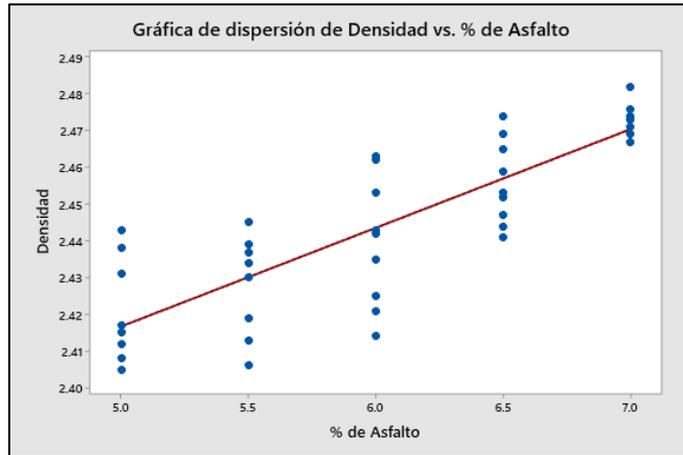
Fuente: Minitab

Gráfico 36. Dispersión global Flujo



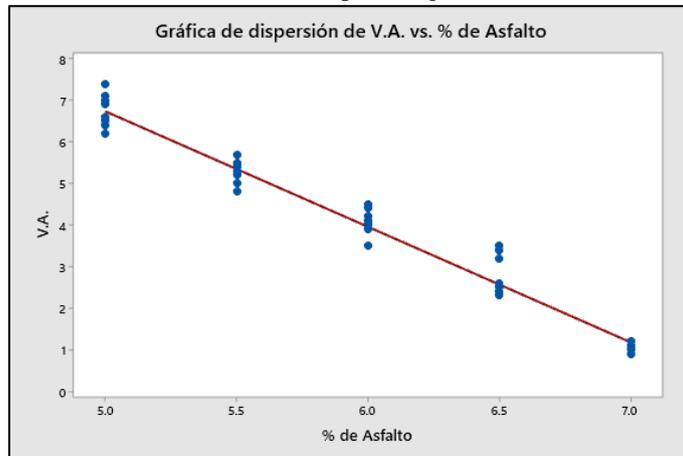
Fuente: Minitab

Gráfico 37. Dispersión global Densidad



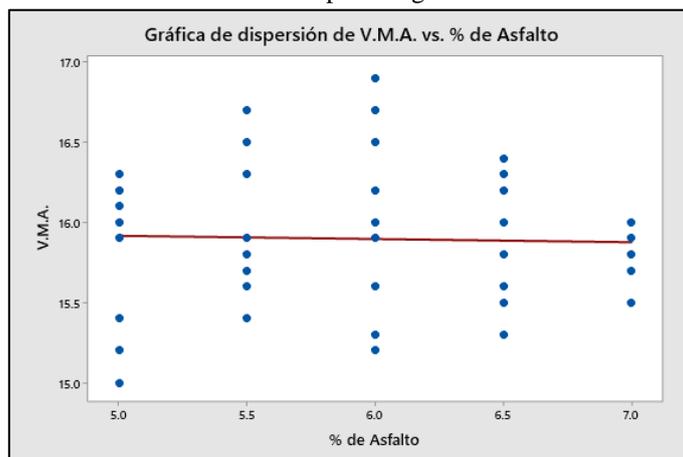
Fuente: Minitab

Gráfico 38. Dispersión global V.A



Fuente: Minitab

Gráfico 39. Dispersión global V.M.A



Fuente: Minitab

Tabla 89. Cuadro descriptivo global

CUADRO DESCRIPTIVO PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO DE 6%								
Variable	Diseños	Nº de Repeticiones	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Máximo
estabilidad	CONVENCIONAL	3	1509	49	2401	3.25	1460	1558
	10%	3	1848.7	58.8	3456.3	3.18	1803	1915
	15%	3	1631.3	24.5	600.3	1.5	1607	1656
	TOTAL	9	1663	154.3	23811	9.28	1460	1915
Flujo	CONVENCIONAL	3	5.1	0	0	0	5.1	5.1
	10%	3	4.7	0.1155	0.0133	2.47	4.6	4.8
	15%	3	4.6667	0.1155	0.0133	2.47	4.6	4.8
	TOTAL	9	4.8111	0.2315	0.0536	4.81	4.6	5.1
densidad	CONVENCIONAL	3	2.42	0.00557	0.00003	0.23	2.414	2.425
	10%	3	2.4593	0.00551	0.00003	0.22	2.453	2.463
	15%	3	2.44	0.00436	0.00002	0.18	2.435	2.443
	TOTAL	9	2.4398	0.0176	0.00031	0.72	2.414	2.463
V.A	CONVENCIONAL	3	4.167	0.208	0.043	5	4	4.4
	10%	3	3.633	0.231	0.053	6.36	3.5	3.9
	15%	3	4.267	0.208	0.043	4.88	4.1	4.5
	TOTAL	9	4.022	0.349	0.122	8.68	3.5	4.5
V.M.A	CONVENCIONAL	3	16.7	0.2	0.04	1.2	16.5	16.9
	10%	3	15.367	0.208	0.043	1.35	15.2	15.6
	15%	3	16.033	0.153	0.0233	0.95	15.9	16.2
	TOTAL	9	16.033	0.6	0.36	3.74	15.2	16.9

Fuente: SPSS

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican el incremento de estabilidad y la disminución de vacíos del agregado mineral con el asfalto modificado con el 10% de lignina, los resultados se pueden describir que favorecen debido a la composición química compleja de carbono, hidrogeno y oxigeno unidos por una serie de cadenas fenólicas y aromáticas muy similares a los del asfalto o bitumen.

La investigación de Barros, K. en su investigación “Desarrollo de enlaces asfálticos modificados con lignina como aditivo de envejecimiento” Brasil (2017) guardan relación respecto a la mejora con los resultados respecto a la adición 4% de lignina la más favorable, dando un incremento de la estabilidad en un 13%, mientras que los resultados de esta investigación fueron una mejora del 31.87 % para el porcentaje de adición del 10%. Cabe mencionar el comportamiento del asfalto inmerso con la lignina podría tener una varianza debido a diversos factores como la pureza de la lignina, agregados utilizados, temperatura de mezcla, tipo de asfalto. Por otro lado, su valor de fluencia decreció en 6.8% lo cual se discrepa para esta investigación que el flujo se mantuvo constante.

En la investigación de Huaxin Chen, et al. “Evaluación y diseño de mezclas asfálticas reforzadas con fibra” de la universidad de Changan China en el (2016) concluyeron un incremento en porcentajes de 5% para la estabilidad, vacíos de aire en un 7% y un descenso respecto al peso específico de 4%. Todo ello respecto al porcentaje más favorable que obtuvieron del 0.5% de lignina adicionado con el cemento asfáltico. Mientras que en los resultados de la presente investigación fueron: incremento de estabilidad en 31.87%, vacíos de aire se mantuvo constante en 4 % y un incremento en peso específico de 1.38% con el porcentaje más favorable de 10% de adición de la lignina con el C.A

Si bien es cierto la investigación de Rodríguez, et al. Respecto a la “Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina “Colombia (2016). Llegaron a concluir que con el asfalto al 15% modificado con lignina la estabilidad aumenta en un 33.77% respecto al convencional siendo este resultado más el más cercanos en valor numérico para la presente investigación con un incremento de 31.87% pero con la diferencia que el asfalto utilizado fue de 10% de modificación con lignina, por otro lado en su investigación realizo los ensayos de envejecimiento inducido del asfalto, penetración y

punto de ablandamiento lo cual también trajeron mejoras.

En la investigación de Reddy KTVK, et al. “Estudio experimental sobre el comportamiento de betún en reemplazo parcial con lignina”. India (2018) Investigaron la adición en 5%, 10%, 15%, 20%, 25% del biopolímero lignina en el asfalto resultando ser el más favorable el de 10% de adición para soportar cargas pesadas de tránsito vehicular, siendo este porcentaje de 10% adición el mismo obtenido en la presente investigación, difiriendo respecto a los ensayos realizados de viscosidad, ductilidad, penetración y punto de ablandamiento, lo cual en sus recomendaciones menciona realizar en el ensayo marshal para determinar la resistencia y deformación inducida.

La investigación de Dave T. (2016) denominada La lignina como alternativa para el betún, donde el investigador sustituyo parcialmente el cemento asfaltico adicionándole lignina con distintos porcentajes los cuales fueron 10%, 25% y 50%, donde obtuvo resultados favorables con la adición del 25% de lignina, la cual podría ser relacionado al incremento de la viscosidad que le da la lignina al cemento asfaltico se precisa que le investigador empleo asfalto 70/100. Por otra parte, la presente investigación obtuvo buenos resultados con la adición de 10% de lignina, y el asfalto utilizado es el de 60/70. Muchos de los factores que podrían ser causa del cambio del porcentaje favorable para ambos casos.

Por otro lado, difiriendo de todo resultado hacemos mención que Kasthurirangan, G, et al. En su investigación de “Recuperación y utilización de la Lignina” (2010) menciona los ensayos realizados y posibles usos de la lignina a los que concluyo: mejoramiento de suelos inestables, impermeabilidad todo ellos debido a que la lignina actúa con mejorados de la cohesión de las partículas de suelo y conector de vacíos, Así también que el concreto portland presenta mejoras en la trabajabilidad y reduce el curado.

V. CONCLUSIONES

Analizando el comportamiento mecánico para cada contenido de asfalto que van desde 5%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% para los 3 diseños tanto convencional y modificado con lignina se determinó que el contenido más favorable fue de 6% de asfalto, por otro lado, de acuerdo a los indicios de los resultados obtenidos existió un incremento favorable respecto diseño donde se adiciono el 10% de lignina

La estabilidad con el porcentaje de 10% de adición con el cemento asfáltico; se obtuvo un valor numérico de 1932.4kg. lo cual existió una varianza de un incremento favorable de 31.87% respecto al convencional con un valor de 1465.4 kg. con el contenido óptimo de asfalto de 6%.

El flujo se mantuvo en 4.9 mm para todos los diseños tanto convencional y modificado con 10% y 15% de lignina para el contenido óptimo de asfalto de 6%, lo cual no existió ninguna varianza.

La densidad con el porcentaje de adición de 10 % de lignina se obtuvo un resultado de 2.455 gr/cm³, lo cual existió una varianza de un incremento favorable de 1.40 % respecto al convencional con un valor numérico de 2.421 gr/cm³ todo ellos para el contenido óptimo de asfalto de 6%.

Los resultados de vacíos de aire se mantienen con una varianza constante y de valor de 4 % para los 3 diseños convencional y modificados con 10% y 15%. Los cuales el valor obtenido se encuentra dentro del rango permisible de 3% a 5% según el manual de carreteras del Perú (MTC EG- 2013).

El vacío del agregado mineral (V.M.A) existió una varianza que disminuyo en 1.1 % respecto al convencional y modificado con 10% de lignina respectivamente para la mezcla asfáltica en caliente. Los resultados fueron de 15.5 % para la mezcla asfáltica adicionado con 10 % de lignina y de 16.6% para mezcla convencional.

De acuerdo a los ensayos realizados a escala de laboratorio para mezclas asfálticas en caliente se concluyó que el resultado más favorable fue la adición del 10% de lignina

VI. RECOMEDACIONES

Se recomienda para no alterar el comportamiento mecánico obtenido, utilizar la misma granulometría de los agregados, el cemento asfáltico PEN 60-70 y mantener el mismo nivel de pureza de la lignina empleada para la presente investigación que fue de 60%. Ya que cualquier otro cambio de materiales empleado traería diferentes resultados.

Se recomienda no adicionar porcentajes mayores al 10% contenido de lignina ya que podría volver a la mezcla asfáltica demasiado cerrada y rígida lo cual para la carpeta asfáltica traería fallas desfavorables en la estabilidad.

Para el resultado de flujo o deformación que se relaciona directamente con el valor de la estabilidad, se recomienda adicionar porcentajes menores al 10% de lignina en la mezcla asfáltica para encontrar un equilibrio óptimo de estabilidad y flujo.

La densidad aumenta a medida que se adiciona el porcentaje de lignina debido a que este material actúa como un filler por ende, se recomienda analizar el cemento asfalto adicionado con el 10% de lignina mediante los ensayos de viscosidad, penetración y punto de ablandamiento.

Debido a que los vacíos es un parámetro altamente importante en la mezcla asfáltica y que su relación es directa con la densidad de la mezcla suelta y compacta para encontrar el valor mediante un cálculo matemático. Se recomienda seguir con la investigación con más cantidad de muestras para los distintos contenidos de asfalto adicionado con lignina y analizar si existe el punto máximo de vacíos de aire donde pudiera existir una varianza favorable o desfavorable en la mezcla asfáltica.

Se recomienda para mantener los vacíos del agregado mineral no adicionar en porcentajes mayores de lignina ya que podría generar un exceso de saturación intergranular del agregado y por ende un desprendimiento de cohesión de la mezcla asfáltica.

REFERENCIAS

1. ALEGRE MONTALVO, Christian Alexander. Resistencia a la flexion en vigas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, al adicionar en un 5% y 10% de fibra de agave lechuguilla. 2018
2. ARIAS, F. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. Obtenido de Técnicas e instrumentos de recolección de datos: <https://bloquemetodologicodelainvestigacionudo2010.wordpress.com/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion-de-datos>, 2006.
3. BARRASA, Raquel Casado; MONTOLIU, Carlos Martín-Portugués; BUSTAMANTE, Edith Guedella. Experiencia con mezclas asfálticas sostenibles en la carretera M-607 en Tres Cantos, Madrid.
4. BATISTA, K. B., et al. High-temperature, low-temperature and weathering aging performance of lignin modified asphalt binders. Industrial crops and products, 2018, vol. 111, p. 107-116.
5. BEDIA, Jorge, et al. Preparation and characterization of carbon based acid catalysts for the dehydration of 2-propanol. Carbon, 2009, vol. 47, no 1, p. 286-294.
6. BERMÚDEZ, Lilia Teresa; RODRÍGUEZ, Luis Felipe. Investigación en la gestión empresarial. Ecoe Ediciones, 2013.
7. BORJA, Manuel. Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo: sn, 2012.
8. BOTASSO, Hugo Gerardo, et al. Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura. Infraestructura Vial Vol. 10 Núm. 20 2012, 2012.
9. CABEZAS MEJIA, Edison Damián; ANDRADE NARANJO, Diego; TORRES SANTAMARÍA, Johana. Introducción a la metodología de la investigación científica. 2018.

10. Chávez, J. M., & Herna, E. B. (2014). Elaboración de mezclas asfálticas con partículas de caucho reciclado en el departamento de Lambayeque. Tesis para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil, Universidad Señor de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Pimentel, Perú.
11. CHÁVEZ-SIFONTES, Marvin; DOMINE, Marcelo E. Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en ciencias e Ingeniería*, 2013, vol. 4, no 4, p. 15-46.
12. CHEN, Huaxin, et al. Evaluation and design of fiber-reinforced asphalt mixtures. *Materials & Design*, 2009, vol. 30, no 7, p. 2595-2603.
13. CRESPIÓN MOLINA, Rafael Alexander, et al. Aplicación del método marshall y granulometría superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño. 2012. Tesis Doctoral. Universidad de El Salvador.
14. EL MANSOURI, Nour-Eddine. Despolimerización de lignina para su aprovechamiento en adhesivos para producir tableros de partículas. *Menció europea*. 2006. Tesis Doctoral.
15. ETAYO, Álvaro Tejado. Modificación de matrices novolacadas por uso de compuestos naturales: caracterización físico-química de ligninas y estudio del curado y de las propiedades de resinas lignofenólicas. 2007. Tesis Doctoral.
16. FRANCO, Rolando, et al. Estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y emulsión. 2012.
17. GARNICA ANGUAS, Paul, et al. Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. *Publicación técnica*, 2004, no 246.
18. GARNICA ANGUAS, Paul, et al. Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. *Publicación técnica*, 2005, no 267.
19. GARNICA ANGUAS, Paul; DELGADO ALAMILLA, Horacio; SANDOVAL SANDOVAL, Carlos Daniel. Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas. *PUBLICACION TECNICA*, 2005, no 271.

20. GARNICA ANGUAS, Paul; DELGADO ALAMILLA, H.; GOMEZ LOPEZ, J. A. Análisis de la influencia de método de compactación en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas. Publicación técnica, 2004, no 255.
21. GOPALAKRISHNAN, Kasthurirangan, et al. Lignin recovery and utilization. Bioenergy and biofuel from biowastes and biomass, 2010, p. 247-274.
22. GUEVARA PALMA, Marlon Rodolfo; MÉNDEZ DELGADO, Hosni Amir; PIMENTEL GÓMEZ, Juan Carlos. Diseño de mezclas asfálticas densas en frío basado en el Método Marshall modificado de la Universidad de Illinois. 2010. Tesis Doctoral. Universidad de El Salvador.
23. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, et al. Metodología de la investigación. 2010.
24. KENIA Barros, Batista. Desarrollo de enlaces asfálticos modificados con lignina como aditivo de envejecimiento. Tesis (Doctoral en Ingeniería Mecánica). Brasil: Universidad de Minas Gerais, 2017.
25. LIZCANO, Fredy Reyes; QUINTANA, Hugo Rondón. Pavimentos: materiales, construcción y diseño. ECOE ediciones, 2015.
26. LÓPEZ LÓPEZ, Carlos Iván. El reciclado de barro cocido, como agregado en el diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall. 2014. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala.
27. MARTÍNEZ, Adriana Haydee. Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución. 2000. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
28. MATIENZO MAGUIÑA, Jorge German. Resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ sustituyendo al cemento por la combinación de un 8% por el polvo de la concha de abanico y 12% por las cenizas de la cascara de arroz-2017. 2018.
29. MEDINA-MORALES, Miguel A., et al. Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos para la producción de etanol como carburante. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, 2011, vol. 3, no 6, p. 35-41.

30. MOREA, Francisco. Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas: Efecto de la reología de los asfaltos, la temperatura y las condiciones de carga. La plata, Buenos Aires, 2011.
31. PADILLA RODRÍGUEZ, Alejandro. Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. 2004.
32. REDDY, K. T. V. K.; LAKSHMI, K. Vijaya; BHAWSAR, Uma. Experimental Study on Behavior of Bitumen on Partial Replacement with Lignin. Journal of Advanced Research in Construction & Urban Architecture, 2018, vol. 3, no 1&2, p. 1-4
33. SAMPIERI, Dr Roberto Hernández; COLLADO, Dr Carlos Fernández. Dra. María del Pilar Baptista Lucio.(2010). Metodología de la Investigación” Editorial MC Graw Hill Quinta Edición, México DF, 2016.
34. SURIANO MARROQUÍN, Ingrid Maribel. Mezclas asfálticas en caliente por método Marshall, adicionando cenizas volantes. 2018. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala.
35. URREGO, Daniella Rodríguez, et al. Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina. Ingeniare, 2016, no 20, p. 47-62.
36. VALLEJO RAMÍREZ, Diego César. Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales. 2011.
37. VALARINO, Elizabeth; YÁBER, Guillermo; CEMBORAIN, María Silvia. Metodología de la investigación: Paso a paso. 2012.
38. VAN VLIET, Dave, et al. Lignin as a green alternative for bitumen. En Proceedings of E&E congress. 2016.
39. VELANDIA, Krystle Danitza González, et al. Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. Revista Luna Azul, 2016, no 43, p. 499-517.

40. WILLIAMS, R. Christopher; MCCREADY, Nicolaus S. The utilization of agriculturally derived lignin as an antioxidant in asphalt binder. 2008.
41. XIE, Shangxian, et al. Lignin as renewable and superior asphalt binder modifier. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2017, vol. 5, no 4, p. 2817-2823.
42. YEPES, V. Maquinaria para la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas. *Apuntes de la Universitat Politècnica de València. Ref*, 2014, vol. 749.

ANEXOS

Figura 23. Resultados de granulometría

			
REPORTE DE ENSAYO			
SOLICITANTE :	ROSALES SOTO ANTONY MANUEL - ATACHAGUA MAURICIO JHARVIS PAUL	MUESTRA :	Agregados
PROYECTO :	Tesis "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, Lima 2019"	CANTIDAD :	172 y 168 kg
FECHA DE RECEPCIÓN :	2 019.10.09.	FECHA ENSAYO :	2 019.10.09 al 14.

SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	DENOMINACIÓN	Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Grava		Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Fino					
			RET (%)	PASA (%)	RET (%)	PASA (%)				
		NORMAS ENSAYO								
3"	76.200	MTC E-204 (2 016)								
2 1/2"	63.500									
2"	50.800									
1 1/2"	38.100									
1"	25.400									
3/4"	19.050									
1/2"	12.700									
3/8"	9.525									
1/4"	6.350									
N° 4	4.760									
N° 6	3.360									
N° 8	2.380									
N° 10	2.000									
N° 16	1.190									
N° 20	0.840									
N° 30	0.590									
N° 40	0.426									
N° 50	0.297									
N° 80	0.177									
N° 100	0.149									
N° 200	0.074									
- N° 200	-	MTC E-202 (2 016)								
LÍMITE LIQUIDO (Malla N° 40)		MTC E-110 (2 016)	--							19
LÍMITE PLÁSTICO (Malla N° 40)		MTC E-111 (2 016)	--							--
ÍNDICE PLÁSTICO (%)		MTC E-110 (2 016)	--							N.P.
LÍMITE LIQUIDO (Malla N° 200)		MTC E-110 (2 016)	--							25
LÍMITE PLÁSTICO (Malla N° 200)		MTC E-111 (2 016)	--							21
ÍNDICE PLÁSTICO (%)		MTC E-110 (2 016)	--							4



ING. RESPONSABLE
Lima, 24 de Octubre de 2 019



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 24. Resultados de la resistencia de los agregados gruesos por abrasión en la máquina de los ángeles



REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ROSALES SOTO ANTONY MANUEL - ATACHAGUA MAURICIO JHARVIS PAUL **MUESTRA** : Agregado
PROYECTO : Tesis "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, Lima 2019" **CANTIDAD** : 172 kg
FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.10.09. **FECHA DE ENSAYO** : 2 019.10.09 al 14.

MTC E-207 (2 016) **AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN EN AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (*)**

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO (%)
Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Grava	Tamaño Máximo Nominal: 1/2"	19
	Gradación: "B"	
	Número de Esferas: 11	




ING. RESPONSABLE
 Lima, 24 de Octubre de 2 019





Av. Túpac Amaru Nº 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 25. Resultados del contenido de humedad de los agregados (grueso y fino)



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE	: ROSALES SOTO ANTONY MANUEL - ATACHAGUA MAURICIO JHARVIS PAUL	MUESTRA	: Agregados
PROYECTO	: Tesis "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, Lima 2019"	CANTIDAD	: 172 y 168 kg
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2 019.10.09.	FECHA DE ENSAYO	: 2 019.10.09 al 14.

MTC E-108 (2 016) SUELOS. CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (*)

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (%)
Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Grava	0,3
Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Fino	1,2



ING. RESPONSABLE
Lima, 24 de Octubre de 2 019





Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 26. Resultados de equivalente de arena del agregado fino



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ROSALES SOTO ANTONY MANUEL - ATACHAGUA
MAURICIO JHARVIS PAUL

PROYECTO : Tesis "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Bispolímero Ugrina, Lima 2019"

FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.10.09

MUESTRA : Agregado

CANTIDAD : 155 kg

FECHA DE ENSAYO : 2 019.10.09 al 14.

MTC E-114 (2 016) SUELOS. EQUIVALENTE DE ARENA, SUELOS Y AGREGADOS FINOS (*)

DESCRIPCIÓN	RESULTADO (%)
Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Fino	60



ING. RESPONSABLE
Lima, 24 de Octubre de 2 019



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Tel.: (001) 481-3707 email: mtc_0ee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 27. Resultados del peso específico y absorción del agregado fino



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ROSALES SOTO ANTONY MANUEL - ATACHAGUA MAURICIO JHARVIS PAUL

PROYECTO : Tesis "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, Lima 2019"

FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.10.09.

MUESTRA : Agregado

CANTIDAD : 168 kg

FECHA DE ENSAYO : 2 019.10.09 al 14.

MTC E-205 (2 016)

AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (*)

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Fino	Peso específico bulk (base seca) g/cm ³	2,668
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm ³	2,715
	Peso específico aparente (base seca) g/cm ³	2,800
	Absorción (%)	1,76





ING. RESPONSABLE
Lima, 24 de Octubre de 2 019



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 28. Resultados del peso específico y absorción del agregado grueso



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ROSALES SOTO ANTONY MANUEL - ATACHAGUA MAURICIO JHARVIS PAUL

PROYECTO : Tesis "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, Lima 2019"

FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.10.09.

MUESTRA : Agregado

CANTIDAD : 172 kg

FECHA DE ENSAYO : 2 019.10.09 al 14.

MTC E-206 (2 016)

AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (*)

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Grava	Peso específico bulk (base seca) g/cm ³	2,872
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm ³	2,888
	Peso específico aparente (base seca) g/cm ³	2,918
	Absorción (%)	0,55



ING. RESPONSABLE
Lima, 24 de Octubre de 2 019





LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 29. Resultados de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ROSALES SOTO ANTONY MANUEL - ATACHAGUA MAURICIO JHARVIS PAUL **MUESTRA** : Agregado
PROYECTO : Tesis "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, Lima 2019" **CANTIDAD** : 172 kg
FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.10.09. **FECHA DE ENSAYO** : 2 019.10.09 al 14.

NTP 400.040 (2 015) AGREGADOS. PARTÍCULAS CHATAS O ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO (*)

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Grava	Partículas chatas y alargadas (relación 1 a 3)	7,6





ING. RESPONSABLE
 Lima, 24 de Octubre de 2 019





Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 30. Resultado de caras de fracturas en el agregado grueso



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ROSALES SOTO ANTONY MANUEL - ATACHAGUA MAURICIO
JHARVIS PAUL

PROYECTO : Tesis "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, Lima 2019"

FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.10.09.

MUESTRA : Agregado

CANTIDAD : 172 kg

FECHA DE ENSAYO : 2 019.10.09 al 14.

MTC E-210 (2 016)

PORCENTAJE DE CARAS DE FRACTURA EN EL AGREGADO GRUESO

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara:Grava	Partículas con una ó más caras de fractura	92,8
	Partículas con dos ó más caras de fractura	52,4



ING. RESPONSABLE
Lima, 24 de Octubre de 2 019



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac

Tel.: (051) 481-3707

email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 31. Resultados de sales solubles para pavimentos flexibles



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE	: ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL ATACHAGUA MAURICIO, JHARVIS PAUL	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO	: Av. Nicolás Ayllón N° 6059	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: Tesis: "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, Lima 2019"	CANTIDAD	: 168 kg
REFERENCIA	: Carta N° 169-2019/EP-I.C.UCV- LIMA-ATE	FECHA DE ENSAYO	: 2019.10.14 al 2019.10.18
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2019.10.09		

MTC E - 219 (2 016) : SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

Identificación	Resultado (mg/kg)
Agregado; Arena Procesada; Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara	112
Agregado; Fino ; Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara	702
Agregado; Confitillo ; Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara	129

Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



Ing. Responsable
Lima, 23 de Octubre del 2019



LABORATORIO



CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac

Tel.: (051) 481-3707

email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 32. Resultados de detección cualitativa de arcillas nocivas en agregados utilizando el azul de metileno



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE	: ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL ATACHAGUA MAURICIO, JHARVIS PAUL	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO	: Av. Nicolás Ayllón N° 6059	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: Tesis: "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, Lima 2019"	CANTIDAD	: 168 kg
REFERENCIA	: Carta N° 169-2019/EP-I.C.UCV- LIMA-ATE	FECHA DE ENSAYO	: 2019.10.14 al 2019.10.18
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2019.10.09		

AASHTO T 330-07 (2011)* : DETECCIÓN CUALITATIVA DE ARCILLAS NOCIVAS DEL GRUPO DE ESMECTITA EN AGREGADOS, UTILIZANDO AZUL DE METILENO.

Identificación	Resultado (mg/g)
Agregado; Arena Procesada; Cantera Valcarcel, La Quebrada - Santa Clara	> 20

Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante
- (*) Antes AASHTO TP - 57
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.





Ing. Responsable
Lima, 23 de Octubre del 2019



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 33. Resultados del cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE	: ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. : ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.	MUESTRA	: Agregados.
DOMICILIO LEGAL	: Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate.	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica.
PROYECTO	: "Análisis del Comportamiento Mecánico de las Mezclas Asfálticas en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina".	CANTIDAD	: 120-150 kg c/u.
REFERENCIA	: Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE.	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno.
RECEPCIÓN DEL DOC.	: 2019.08.27	FECHA DE ENSAYO	: 2019/11/19 al 2019/11/19.

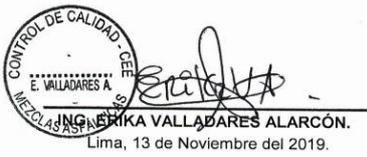
MTC E - 517 * CUBRIMIENTO DE LOS AGREGADOS CON MATERIALES ASFÁLTICOS (INCLUYE EMULSIONES) EN PRESENCIA DEL AGUA (STRIPPING) MEZCLAS ABIERTAS Y/O T.S.

IDENTIFICACIÓN	REVESTIMIENTO (%)	CUBRIMIENTO (%)
Cantera Valcarcel La Quebrada - Santa Clara (Piedra chancada)	100	+ 95

Tipo de asfalto: Cemento asfáltico PEN 60/70.

Observaciones:
(* Publicado en el Manual de Ensayo de Materiales - MTC. (Edición Mayo del 2016).)





Pág. (23/24)



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 34. Resultados de los ligantes bituminosos a los áridos finos (Procedimiento Riedel Weber)



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE	: ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL.	MUESTRA	: Agregados.
	: ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica.
DOMICILIO LEGAL	: Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate.	CANTIDAD	: 120-150 kg c/u.
PROYECTO	: "Análisis del Comportamiento Mecánico de las Mezclas Asfálticas en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina".		
REFERENCIA	: Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE.	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno.
RECEPCIÓN DEL DOC.	: 2019.08.27	FECHA DE ENSAYO	: 2019/11/19 al 2019/11/19.

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

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (GRADO)
	Desprendimiento Parcial - Desprendimiento Total
Cantera Valcarcel La Quebrada - Santa Clara (Arena Chancada)	0 - 8

Tipo de asfalto: Cemento asfáltico PEN 60/70.

Observaciones:
(*) Publicado en el Manual de Ensayo de Materiales - MTC. (Edición Mayo del 2016).





MEZCLAS ASFÁLTICAS
E. VALLADARES ALARCÓN.
Lima, 13 de Noviembre del 2019.

Pág. (24/24).



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 35. Resultados del ensayo Marshall (convencional)



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. MUESTRA : Agregados, PEN 60/70.
 ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.
 DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate. IDENTIFICACIÓN : La que se indica
 PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".
 REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE. CANTIDAD : 120 - 150 kg.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27. PRESENTACIÓN : Sacos, envase metálico.
 FECHA DE ENSAYO : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		5,0		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		33,3		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		61,8		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		0,0		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1,010		
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1°)		2,872		
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO		2,660		
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER		--		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,14	6,17	6,22	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1202,0	1207,2	1213,0	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1202,8	1208,6	1213,8	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	705,0	708,2	709,5	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,8	1,4	0,8	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	497,8	500,4	504,3	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,16	0,28	0,16	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,415	2,412	2,405	2,411
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041		2,573		
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	6,2	6,2	6,5	6,3
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2,731		
20	V.M.A. (%)	16,0	16,1	16,3	16,1
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	61,5	61,2	60,0	60,9
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2,801		
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		0,93		
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		4,07		
25	FLUJO (mm)	3,8	3,8	4,1	3,9
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1285,7	1262,1	1285,7	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,04	1,04	1,04	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1337,0	1313,0	1337,0	1329,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3509,2	3446,2	3289,9	3415,0



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 36. Resultados del ensayo Marshall (convencional)



Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

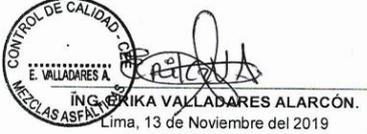
SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. ATACHAGUA MAURICIO, PAUL. **MUESTRA** : Agregados, PEN 60/70.
DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate. **IDENTIFICACIÓN** : La que se indica
PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".
REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE. **CANTIDAD** : 120 - 150 kg.
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27. **PRESENTACIÓN** : Sacos, envase metálico.
FECHA DE ENSAYO : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		5,5		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		33,1		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		61,4		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		0,0		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1,010		
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")		2,872		
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO		2,660		
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER		--		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,21	6,23	6,25	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1218,6	1218,2	1219,6	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)	1218,8	1218,8	1219,8	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)	715,0	714,0	713,0	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,2	0,6	0,2	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)	503,8	504,8	506,8	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,04	0,12	0,04	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,419	2,413	2,406	2,413
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041		2,552		
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5,2	5,4	5,7	5,5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2,731		
20	V.M.A. (%)	16,3	16,5	16,7	16,5
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	68,0	67,0	65,9	67,0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2,801		
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		0,92		
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		4,58		
25	FLUJO (mm)	4,1	4,3	4,1	4,1
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1345,0	1358,9	1363,5	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,04	1,04	1,04	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1399,0	1413,0	1418,0	1410,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3442,4	3272,3	3489,2	3401,0

Pág. (3/24)







LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac
 Telf.: (051) 481-3707
 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 37. Resultados del ensayo Marshall (convencional)



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. **MUESTRA** : Agregados, PEN 60/70.
 ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.

DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate. **IDENTIFICACIÓN** : La que se indica

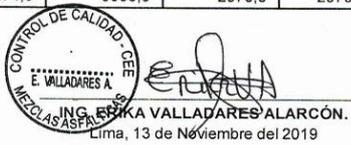
PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".

REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE. **CANTIDAD** : 120 - 150 kg.
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27. **PRESENTACIÓN** : Sacos, envase metálico.
FECHA DE ENSAYO : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		6,0		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		32,90		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		61,10		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		0,0		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1,010		
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")		2,872		
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO		2,660		
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER		--		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,25	6,23	6,22	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1224,0	1223,4	1223,2	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)	1224,0	1223,6	1223,6	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)	717,0	718,2	719,2	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,0	0,2	0,4	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)	507,0	505,4	504,4	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,00	0,04	0,08	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,414	2,421	2,425	2,420
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041		2,525		
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	4,4	4,1	4,0	4,2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2,731		
20	V.M.A. (%)	16,9	16,7	16,5	16,7
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	74,0	75,3	76,0	75,1
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2,792		
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		0,81		
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		5,19		
25	FLUJO (mm)	5,1	5,1	5,1	5,1
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1403,4	1497,7	1450,6	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,04	1,04	1,04	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1460,0	1558,0	1509,0	1509,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2874,0	3066,9	2970,5	2970,0





ING. RENIKA VALLADARES ALARCÓN.
Lima, 13 de Noviembre del 2019



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rímac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 38. Resultados del ensayo Marshall (convencional)



PERU Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. **MUESTRA** : Agregados, PEN 60/70.
ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.

DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate. **IDENTIFICACIÓN** : La que se indica

PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".

REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE. **CANTIDAD** : 120 - 150 kg.
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27. **PRESENTACIÓN** : Sacos, envase metálico.
FECHA DE ENSAYO : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS	1			2			3			PROMEDIO			
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL									6,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA									32,7			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA									60,8			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA									0,0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE									1,010			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")									2,872			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO									2,660			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER									--			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)									6,19	6,09	6,05	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)									1226,6	1204,8	1199,2	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)									1226,9	1205,0	1199,6	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)									725,0	711,5	709,5	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)									0,3	0,2	0,4	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)									501,9	493,5	490,1	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)									0,06	0,04	0,08	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)									2,444	2,441	2,447	2,444
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041									2,504			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)									2,4	2,5	2,3	2,4
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)									2,730			
20	V.M.A. (%)									16,3	16,4	16,2	16,3
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)									85,3	84,8	85,9	85,3
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL									2,791			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)									0,81			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)									5,69			
25	FLUJO (mm)									5,3	5,3	5,3	5,3
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)									1295,1	1191,5	1243,3	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD									1,04	1,09	1,09	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)									1347,0	1299,0	1355,0	1334,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)									2525,3	2435,3	2540,3	2500,0





ING. ERIKA VALLADARES ALARCÓN.
Lima, 13 de Noviembre del 2019



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gov.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 39. Resultados del ensayo Marshall (convencional)



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. MUESTRA : Agregados, PEN 60/70.
 ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.
 DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate. IDENTIFICACIÓN : La que se indica
 PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".
 REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE. CANTIDAD : 120 - 150 kg.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27. PRESENTACIÓN : Sacos, envase metálico.
 FECHA DE ENSAYO : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

	N° DE BRIQUETAS	1			PROMEDIO
		1	2	3	
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,6			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,5			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,010			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,872			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,660			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	--			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,00	5,99	6,06	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1200,8	1201,0	1213,6	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)	1201,4	1201,6	1214,6	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)	714,6	716,0	723,0	697,5
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,6	0,6	1,0	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)	486,8	485,6	491,6	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,12	0,12	0,20	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,467	2,473	2,469	2,470
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,495			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	1,1	0,9	1,1	1,0
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,731			
20	V.M.A. (%)	16,0	15,8	15,9	15,9
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	92,9	94,5	93,3	93,6
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,805			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,98			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6,02			
25	FLUJO (mm)	5,6	5,6	5,8	5,7
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1041,0	1073,9	1050,4	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,09	1,09	1,09	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1135,0	1171,0	1145,0	1150,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2031,1	2095,6	1959,9	2029,0



CONTROL DE CALIDAD CEE
 E. VALLADARES A.
 ING. ESTIKA VALLADARES ALARCÓN.
 Lima, 13 de Noviembre del 2019



LABORATORIO



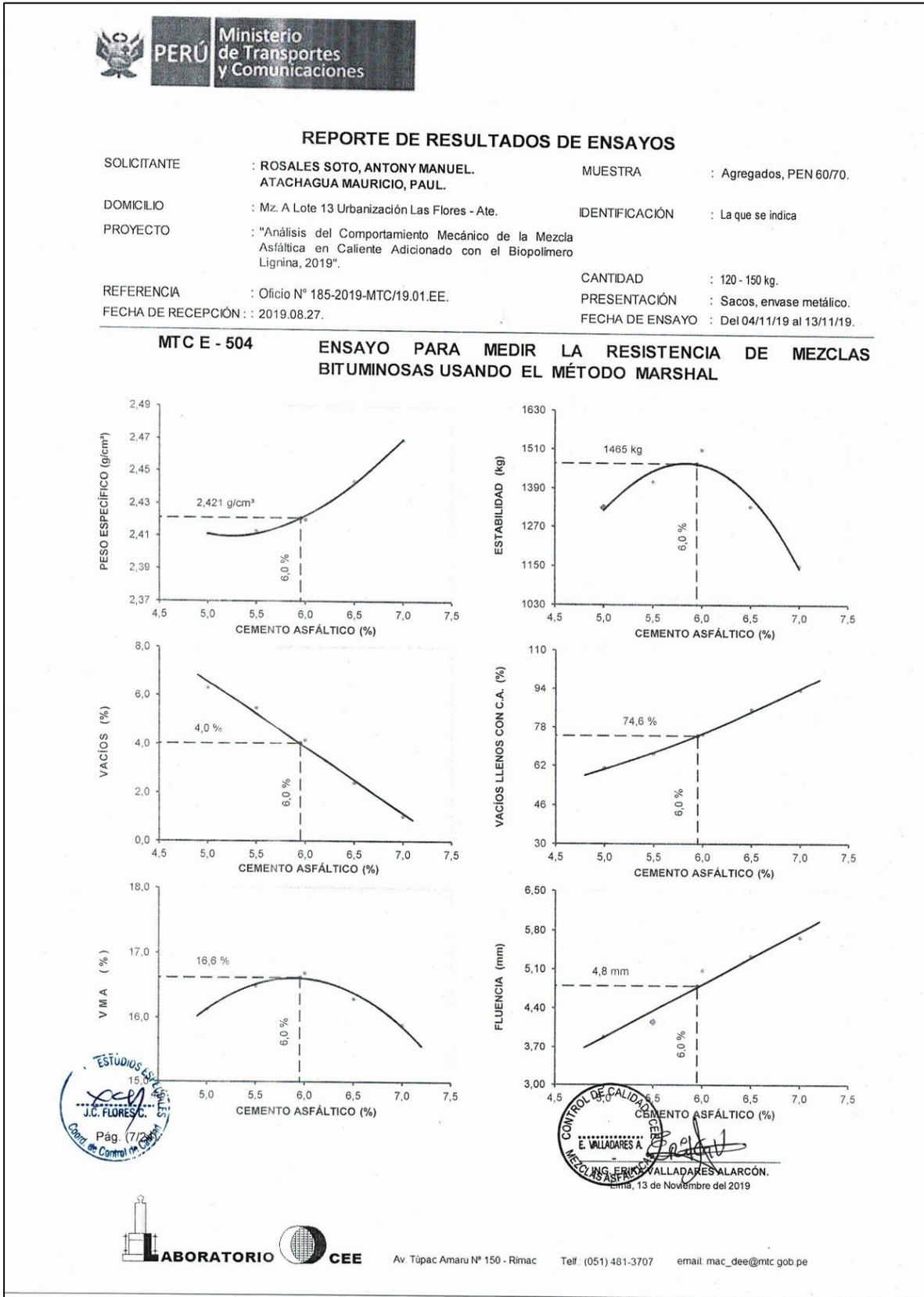
Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac

Tel: (051) 481-3707

email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 40. Resultados en gráficos del diseño de la mezcla asfáltica en caliente convencional



Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 41. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica en caliente convencional



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE	: ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.	MUESTRA	: Agregados, PEN 60/70.
DOMICILIO	: Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate.	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".		
REFERENCIA	: Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE.	CANTIDAD	: 120 - 150 kg.
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2019.08.27.	PRESENTACIÓN	: Sacos, envase metálico.
		FECHA DE ENSAYO	: Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

Características de la Mezcla :	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL					
- N° de golpes por cara	:					
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	5,8		6,0		6,2
- Peso Especifico bulk, g/cm ³	:	2,416		2,421		2,427
- Vacíos, %	:	4,7		4,0		3,7
- Vacíos llenos con Cemento Asfáltico, %	:	71,4		74,6		78,0
- V.M.A., %	:	16,6		16,6		16,6
- Estabilidad, kg (kN)	:	1468,6	(14,40)	1465,4	(14,37)	1443,1 (14,15)
- Flujo, mm (10 ⁻² pulg)	:	4,7	(18,3)	4,8	(18,9)	5,0 (19,8)
- Absorción de Asfalto, %	:			0,89		
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	3157,0	(8,0)	3050,0	(8,0)	2865,0 (7,0)
- Temperatura de la Mezcla, °C	:			140 - 145		

Proporciones de mezcla :	
(1) Agregado grueso, % **	: 35,0
(2) Agregado fino, % **	: 65,0
(3) Aditivo, % **	: 0,5

Materiales :	
Tipo de Asfalto	: Cemento Asfáltico 60/70.
Agregado grueso	: Cantera "Valcarcel" La Quebrada - Santa Clara. - Piedra Chancada.
Agregado fino	: Cantera "Valcarcel" La Quebrada - Santa Clara. - Arena Chancada.
Aditivo	: Mejorador de Adherencia "Quimibond 3000".

Nota :

(*) Porcentaje en peso de la mezcla total.

(**) Porcentaje en peso del asfalto.

Observaciones :

Indicado en el Manual de Ensayo de Materiales - MTC. (Edición Mayo del 2016).



Pág. (8/24)



Lima, 13 de Noviembre del 2019



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 42. Resultados del ensayo Marshall (modificada)



REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. MUESTRA : Agregados y Asfalto PEN 60/70 +10% de Lignina.
 ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.
 DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate. IDENTIFICACIÓN : La que se indica
 PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".
 REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE. CANTIDAD : 120 - 150 kg.
 PRESENTACIÓN : Sacos, envase metálico.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27. FECHA DE ENSAYO : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		5,0		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		33,3		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		61,8		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		0,0		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1,010		
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")		2,872		
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO		2,660		
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER		--		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,12	6,13	6,11	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1211,4	1208,4	1208,2	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1213,8	1211,6	1211,6	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	718,0	714,6	716,0	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	2,4	3,2	3,4	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	495,8	497,0	495,6	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,48	0,64	0,69	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,443	2,431	2,438	2,438
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041		2,611		
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	6,4	6,9	6,6	6,6
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2,731		
20	V.M.A. (%)	15,0	15,4	15,2	15,2
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	57,2	55,3	56,4	56,3
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2,849		
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		1,53		
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		3,47		
25	FLUJO (mm)	4,1	4,1	3,8	4,0
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1535,4	1535,4	1544,8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,09	1,04	1,09	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1674,0	1597,0	1684,0	1652,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	4119,9	3929,6	4419,9	4156,0

ESTUDIOS
 J.C. FLORES
 Control de Control de Calidad
 9/24

CONTROL DE CALIDAD CEE
 E. VALLADARES A.
 ING. ERIKA VALLADARES ALARCÓN.
 Lima, 13 de Noviembre del 2019



LABORATORIO



CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rímac

Tel.: (051) 461-3707

email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 43. Resultados del ensayo Marshall (modificada)



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. ATACHAGUA MAURICIO, PAUL. **MUESTRA** : Agregados y Asfalto PEN 60/70 +10% de Lignina.

DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate. **IDENTIFICACIÓN** : La que se indica

PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".

REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE. **CANTIDAD** : 120 - 150 kg.

FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27. **PRESENTACIÓN** : Sacos, envase metálico. **FECHA DE ENSAYO** : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL			5,5	
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA			33,1	
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA			61,4	
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA			0,0	
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE			1,010	
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")			2,872	
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO			2,660	
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER			--	
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,14	6,16	6,19	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1216,8	1217,8	1219,6	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)	1217,6	1219,4	1219,8	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)	720,0	720,0	718,0	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,8	1,6	0,2	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)	497,6	499,4	501,8	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,16	0,32	0,04	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,445	2,439	2,430	2,438
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041			2,568	
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	4,8	5,0	5,4	5,1
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)			2,731	
20	V.M.A. (%)	15,4	15,6	15,9	15,6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	69,0	67,7	66,3	67,7
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL			2,821	
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)			1,18	
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)			4,32	
25	FLUJO (mm)	4,3	4,6	4,3	4,4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1960,0	1853,8	1853,8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,04	1,04	1,04	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	2038,0	1928,0	1928,0	1965,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	4719,8	4217,0	4465,0	4467,0



Pág. (10/24)





Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 44. Resultados del ensayo Marshall (modificada)



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL.
ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.

DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate.

PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".

REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE.

FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27.

MUESTRA : Agregados y Asfalto PEN 60/70 +10% de Lignina.

IDENTIFICACIÓN : La que se indica

CANTIDAD : 120 - 150 kg.

PRESENTACIÓN : Sacos, envase metálico.

FECHA DE ENSAYO : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C. A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		6,0		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		32,90		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		61,10		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		0,0		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1,010		
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")		2,872		
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO		2,660		
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER		-,-		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,09	6,12	6,15	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1216,8	1221,6	1223,2	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)	1224,0	1223,0	1223,6	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)	730,0	726,8	725,0	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	7,2	1,4	0,4	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)	494,0	496,2	498,6	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	1,46	0,28	0,08	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,463	2,462	2,453	2,459
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041		2,552		
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	3,5	3,5	3,9	3,6
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2,731		
20	V.M.A. (%)	15,2	15,3	15,6	15,4
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	77,1	76,9	75,2	76,4
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2,828		
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		1,26		
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		4,74		
25	FLUJO (mm)	4,6	4,6	4,8	4,7
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1757,2	1733,6	1757,2	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,09	1,04	1,04	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1915,0	1803,0	1828,0	1849,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	4188,5	3943,6	3787,8	3973,0





FRANKA VALLADARES ALARCÓN.
Lima, 13 de Noviembre del 2019



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 45. Resultados del ensayo Marshall (modificada)



REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. MUESTRA : Agregados y Asfalto PEN 60/70 +10% de Lignina.
 ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.
 DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate. IDENTIFICACIÓN : La que se indica
 PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".
 REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE. CANTIDAD : 120 - 150 kg.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27. PRESENTACIÓN : Sacos, envase metálico.
 FECHA DE ENSAYO : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,7			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,8			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,010			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,872			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,660			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	--			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,13	6,01	6,00	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1226,6	1204,8	1199,2	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)	1226,9	1205,0	1199,6	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)	730,0	718,0	713,2	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,3	0,2	0,4	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)	496,9	487,0	486,4	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,06	0,04	0,08	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,469	2,474	2,465	2,469
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,531			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	2,5	2,3	2,6	2,4
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,730			
20	V.M.A. (%)	15,5	15,3	15,6	15,5
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	84,1	85,2	83,4	84,2
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,827			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	1,27			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5,23			
25	FLUJO (mm)	5,3	5,1	5,3	5,2
	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1639,2	1639,2	1639,2	
	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,04	1,09	1,09	
	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1705,0	1787,0	1787,0	1760,0
	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3196,5	3517,7	3350,2	3355,0

ESTUDIOS
 J.C. FLORES
 Control de Control

Pág. (12/24)

CONTROL DE CALIDAD
 E. VALLADARES A.
 ING. ERIKA VALLADARES ALARCÓN.
 Lima, 13 de Noviembre del 2019



LABORATORIO



CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac

Tel.: (051) 461-3707

email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 46. Resultados del ensayo Marshall (modificada)



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL.
 ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.

DOMICILIO : Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate.

PROYECTO : "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".

REFERENCIA : Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE.

FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.08.27.

MUESTRA : Agregados y Asfalto PEN 60/70 +10% de Lignina.

IDENTIFICACIÓN : La que se indica

CANTIDAD : 120 - 150 kg.

PRESENTACIÓN : Sacos, envase metálico.

FECHA DE ENSAYO : Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)			
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)			
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)			
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)			
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)			
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)			
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)			
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)			
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)			
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)			
20	V.M.A. (%)			
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)			
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)			
25	FLUJO (mm)			
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)			
27	FACTOR DE ESTABILIDAD			
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)			
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)			



Pág. (13/24)



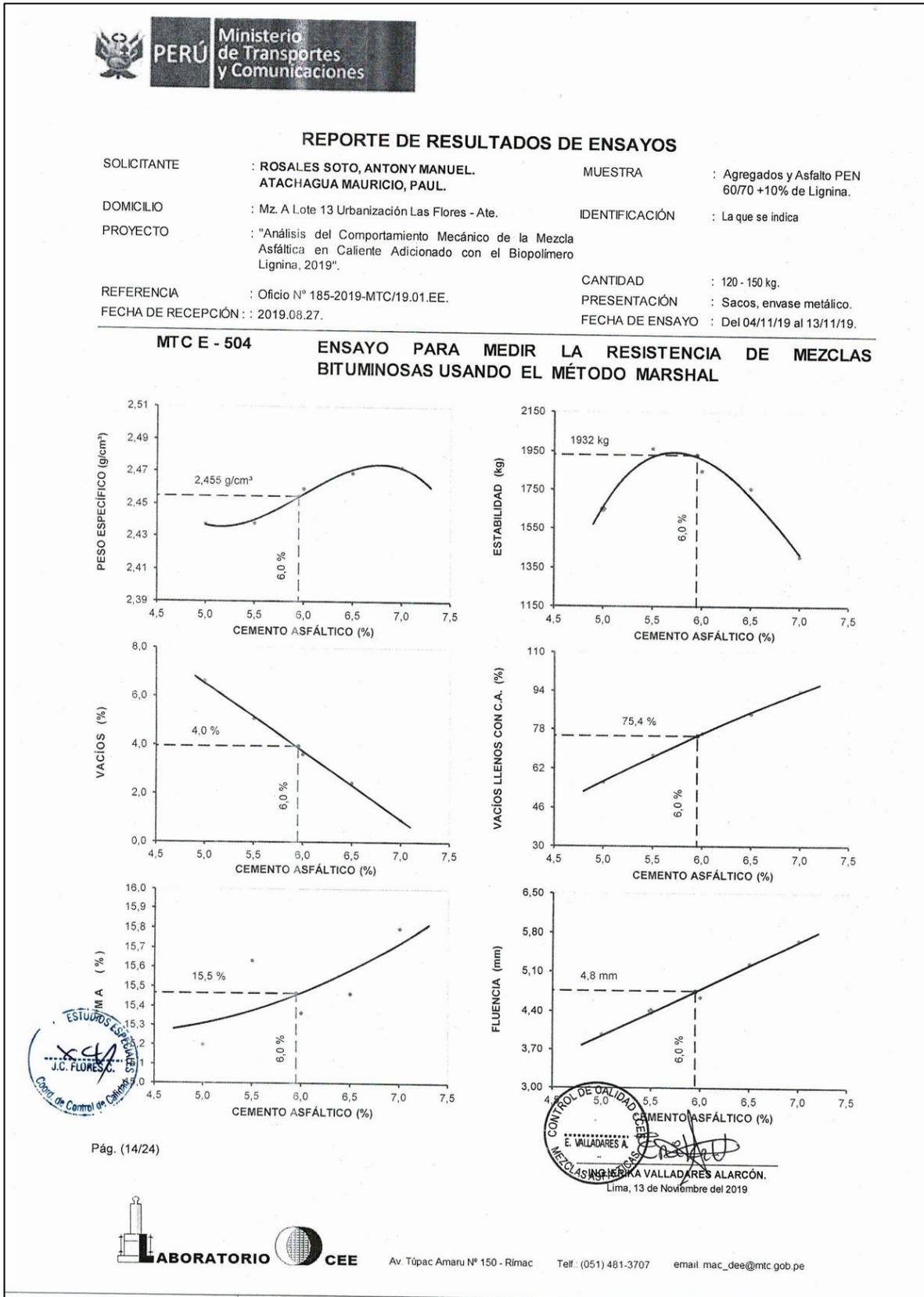


LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 47. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica en caliente modificada



Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 48. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica en caliente modificada



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE	: ROSALES SOTO, ANTONY MANUEL. ATACHAGUA MAURICIO, PAUL.	MUESTRA	: Agregados y Asfalto PEN 60/70 +10% de Lignina.
DOMICILIO	: Mz. A Lote 13 Urbanización Las Flores - Ate.	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: "Análisis del Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Adicionado con el Biopolímero Lignina, 2019".		
REFERENCIA	: Oficio N° 185-2019-MTC/19.01.EE.	CANTIDAD	: 120 - 150 kg.
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2019.08.27.	PRESENTACIÓN	: Sacos, envase metálico.
		FECHA DE ENSAYO	: Del 04/11/19 al 13/11/19.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

Características de la Mezcla :	MEZCLA ASFÁLTICA + ASFALTO CON 10% DE LININA.					
- Nº de golpes por cara	:					
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	5,8		6,0		6,2
- Peso Especifico bulk, g/cm ³	:	2,451		2,455		2,459
- Vacíos, %	:	4,4		4,0		3,3
- Vacíos llenos con Cemento Asfáltico, %	:	71,6		75,4		79,0
- V.M.A., %	:	15,4		15,5		15,5
- Estabilidad, kg (kN)	:	1924,3	(18,87)	1932,4	(18,95)	1883,8 (18,47)
- Flujo, mm (10 ² pulg)	:	4,5	(17,9)	4,8	(18,8)	4,9 (19,2)
- Absorción de Asfalto, %	:			1,25		
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	4240,0	(11,0)	3990,0	(10,0)	3866,0 (10,0)
- Temperatura de la Mezcla, °C	:			140 - 145		

Proporciones de mezcla :	
(1) Agregado grueso, % **	: 35,0
(2) Agregado fino, % **	: 65,0
(3) Aditivo, % **	: 0,5

Materiales :	
Tipo de Asfalto	: Cemento Asfáltico 60/70.
Agregado grueso	: Cantera "Valcarcel" La Quebrada - Santa Clara. - Piedra Chancada.
Agregado fino	: Cantera "Valcarcel" La Quebrada - Santa Clara. - Arena Chancada.
Aditivo	: Mejorador de Adherencia "Quimibond 3000".

Nota :

(*) Porcentaje en peso de la mezcla total.

(**) Porcentaje en peso del asfalto.

Observaciones :

Publicado en el Manual de Ensayo de Materiales - MTC. (Edición Mayo del 2016).

Pág. (15/24)



Lima, 13 de Noviembre del 2019



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 49. Ficha técnica del cemento asfáltico PEN 60-70



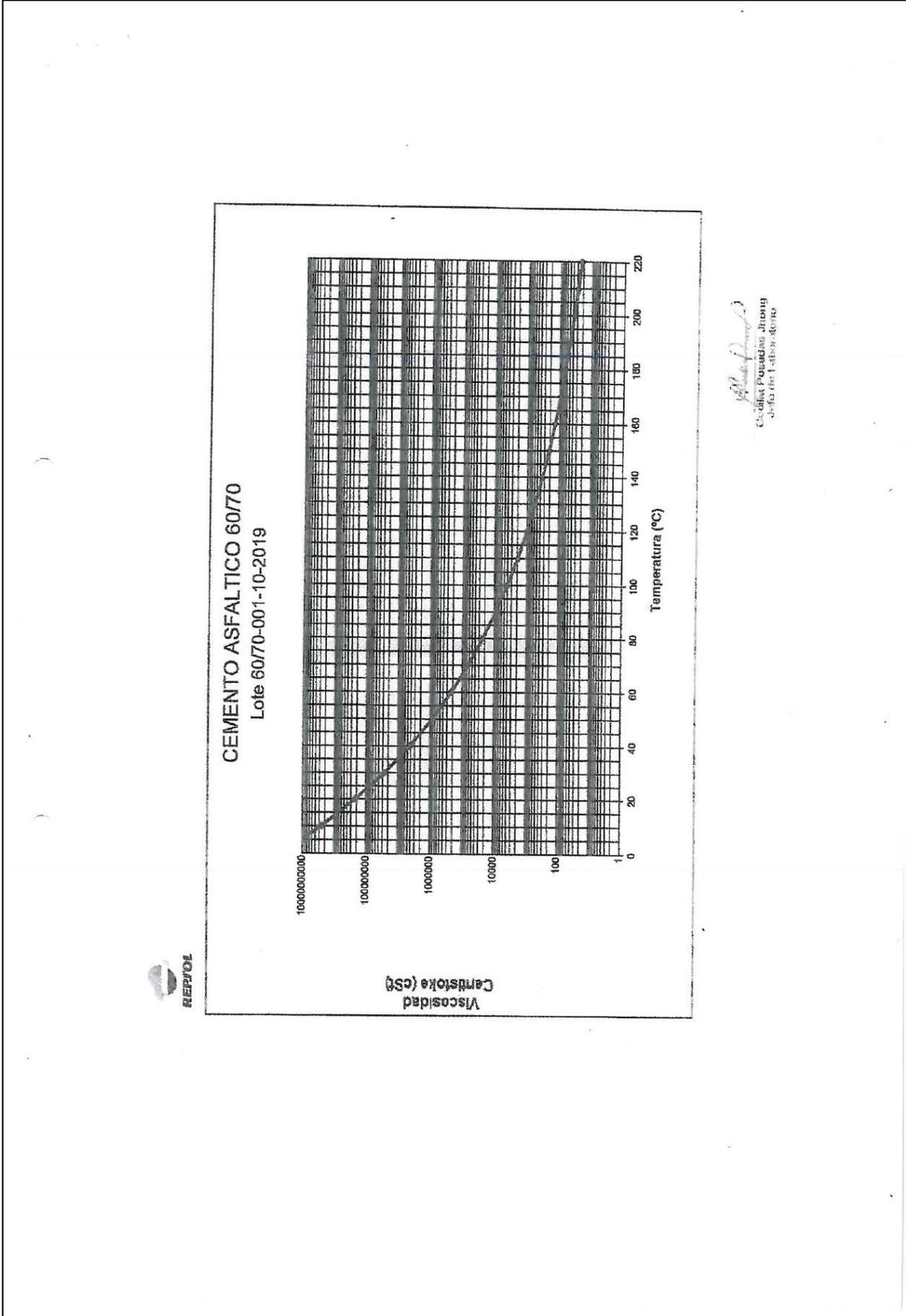
REPORTE DE ANÁLISIS DE CEMENTO ASFALTICO

LOTE No. 60/70-001-10-2019

REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.A.		RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE CERTIFICACIÓN
Carretera a Ventanilla km 25 SIN Ventanilla, Lima - Perú		03/10/2019 23:18:31	04/10/2019 12:13:25
PRODUCTO	Cemento Asfáltico 60/70	TANQUE	DESTINO DEL PRODUCTO
PROCEDENCIA	Almacenamiento	333B	Operaciones de Despacho
PROPIEDADES		VOLUMEN CERTIFICADO, m³	BUQUE TANQUE
		1300	
PROPIEDADES		MÉTODOS	RESULTADOS
		ASTM/OTROS	
PENETRACIÓN			
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm		D 5 / AASHTO T 49	64
DUCTILIDAD			
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm		D 113 / AASHTO T 51	> 105
VOLATILIDAD			
Gravedad Específica a 15.6 °C/15.6°C		D 70 / AASHTO T 228	1.0348
Punto de Inflamación, °C		D 92 / AASHTO T 48	303.0
Gravedad API, °API		D 70 / AASHTO T 228	5.2
FLUÍDEZ			
Punto de Ablandamiento, °C		D 95	48.1
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt		D 445	4000
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt		D 2170 / AASHTO T 201	453
ENSAYOS DE PELÍCULA FINA			
Pérdida por Calentamiento, %m		D 1784 / AASHTO T 178	0.80
Penetración retenida, 100g, 5s, 1/10 mm, % del original		D 5 / AASHTO T 49	56.5
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm		D 113 / AASHTO T 51	95.7
SOLUBILIDAD			
Solubilidad en tricloroetileno, % m		D 2042 / AASHTO T-44	99.99
OTROS			
Índice de Penetración		UNE 104-281 / 1-5	-0.6
Ensayo de la Mancha (Nafta-Xileno)		AASHTO T102	20% xileno, negativo
OBSERVACIONES:			
Producto cumple con las especificaciones ASTM D946, AASHTO M 20-70 y Norma Técnica Peruana NTP 321.051			
DISTRIBUCIÓN:		FECHA DE EMISIÓN	LABORATORIO
Original: Operaciones de despacho		04/10/2019	
Copia 1: Movimiento de Productos			Cecilia Posadas Jhong
Copia 2: Laboratorio			Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL.

Figura 50. Curva de viscosidad – temperatura del Cemento Asfáltico PEN 60/70



Fuente: Repsol

Figura 51. Certificado de calibración del reloj comparador



SG NORTEC
SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SGL - 111 - 2019

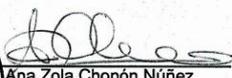
Página 1 de 2

1. ORDEN DE TRABAJO	: V2-164-19	<i>Función</i>
2. SOLICITANTE	: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	<i>Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.</i>
3. DIRECCIÓN	: AV. TUPAC AMARU NRO. 150 - RIMAC - LIMA - LIMA	
4. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	: RELOJ COMPARADOR	
TIPO DE INDICACIÓN	: ANALÓGICO	
INTERVALO DE INDICACIÓN	: 0 Pulg a 0,2 Pulg	<i>Misión</i>
RESOLUCIÓN	: 0,0001 Pulg	<i>Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.</i>
MARCA	: SOILTEST	
MODELO	: LC-2	
NÚMERO DE SERIE	: NO INDICA	
PROCEDENCIA	: U.S.A	<i>Visión</i>
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN	: NO INDICA	
UBICACIÓN	: NO INDICA	
5. FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2019-05-10	<i>Ser el laboratorio de calibración líder dentro del mercado nacional según las exigencias y competencias de la industria, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.</i>
6. FECHA DE EMISIÓN	: 2019-05-15	
7. LUGAR DE CALIBRACIÓN	: Instalaciones del MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	

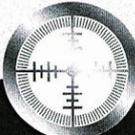
8. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN EMPLEADO
La calibración ha sido realizada por el método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del Reloj comparador y bloques patrón de longitud tomando como referencia el procedimiento PC - 014 "Procedimiento de calibración de Comparadores de Cuadrante (usando bloques) ". Segunda Edición - Diciembre 2001. SNM - INDECOPI.

9. OBSERVACIONES
El instrumento pertenece a la maquina DE ESTABILIDAD MARSHALL ELECTRICA DE CÓDIGO UMA-240
Para una mejor aproximación de lectura, la resolución del instrumento se subdividió en 5 partes iguales de 0,00002 Pulg.
Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.




 Ana Zola Chonón Nuñez
 Supervisor de Laboratorio

HCSG029-01



Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rímac, Callao 572 2630 / 572 1691
 ✉ ventas@sgnortec.com 🌐 sgnortec.com
 PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE DOCUMENTO

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 52. Certificado de calibración del anillo de carga



SG NORTEC
SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SGFP - 235- 2019

Página 1 de 2

1. Orden de Trabajo : V2-165-19

2. Solicitante : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

3. Dirección : AV. TUPAC AMARU NRO. 150 - RIMAC - LIMA - LIMA.

4. Instrumento : ANILLO DE CARGA

Alcance de Indicación : 0 lb-f a 10 000 lb-f

Intervalo de escala (d) : 1 div.

Marca : SOILTEST

Modelo : 6861

Tipo : MECÁNICA

Número de Serie : NO INDICA

Código de Identificación : NO INDICA

Ubicación : UNIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS

Fecha de Calibración : 2019-05-08

Fecha de Emisión : 2019-05-16

Lugar de Calibración : INSTALACIONES DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

5. Método Empleado
La calibración se realizó empleando el método de comparación indirecta, entre las indicaciones de lectura del indicador de la celda de carga con el indicador del comparador de cuadrante tomando como referencia la Norma ASTM E4 "Standard Practices for FORCE Verification of Testing Machines".

6. Observaciones
Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
El usuario es responsable de la calibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
El anillo de carga pertenece a la máquina de estabilidad MARSHALL ELÉCTRICA MECÁNICA, Código UMA – 240
El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

Función
Y Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.

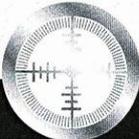
Misión
Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.

Visión
Ser el Laboratorio de Calibración Líder dentro del mercado nacional según las exigencias y competencias de la industria, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.



Ana Zola Chonón Núñez
Supervisora de Laboratorio

HCSG021-09



Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rímac, Callao 572 2630 / 572 1691
ventas@sgnortec.com sgnortec.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE DOCUMENTO

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 53. Certificado de calibración del baño de temperatura constante



SG NORTEC
SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SGTH - 454 - 2018

Página 1 de 12

1. Expediente : V2-18253

2. Solicitante : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

3. Dirección : Av. Tupac Amaru Nro. 150 - Rimac - Lima - Lima

4. Equipo de Medición : BAÑO DE TEMPERATURA CONSTANTE

Marca : Humbolt

Modelo : H-1390

Número de Serie : 965

Procedencia : No Indica

Código de Identificación : UMA-216

Temperatura de trabajo : 25 °C, 30 °C, 35 °C 50 °C y 60 °C

Tolerancia : ± 1 °C

Ventilación : Forzada

Carga : 30 % Aproximadamente

Ubicación : UNIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

5. Instrumento de Medición

Nombre	Marca/Modelo	Código de Identificación	Alcance de indicación	División mínima	Tipo de Indicación
Controlador e Indicador	Autonics / TZN4ST	No Indica	0 °C a 80 °C	0,1 °C	Digital

6. Fecha de Calibración : 2018-11-26 al 2018-11-27

7. Fecha de Emisión : 2018-12-05

8. Procedimiento de Calibración Empleado

La calibración se realizó empleando un termómetro patrón con 10 termopares, según el Procedimiento PC-018 "Procedimiento para la Calibración o Caracterización de medios isotermos con aire como medio termostático". Segunda Edición - Junio 2009. SNM - INDECOPI.

9. Observaciones

El tiempo de calentamiento y estabilización del equipo fue de aproximadamente 2 horas por punto de calibración. La calibración se realizó en las instalaciones de MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

Durante la calibración y bajo las condiciones en que ésta ha sido hecha, el equipo **cumple** con los límites de temperatura.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

Función

Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.

Misión

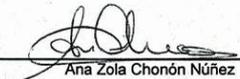
Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.

Visión

Convertirnos en el Laboratorio de Calibración Líder dentro del mercado nacional de acuerdo con las exigencias y competencias de la industria nacional, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.

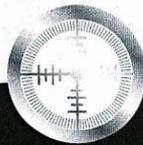


AREA DE LABORATORIO
SG
TEMPERATURA Y HUMEDAD



Ana Zola Chonón Núñez
Supervisor de Laboratorio

HCSG037-01



Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rimac, Callao 572 2630 / 572 1691

ventas@sgnortec.com sgnortec.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE DOCUMENTO

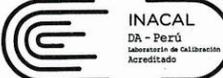
Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 54. Certificado de calibración de la balanza



SG NORTEC
SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 003**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Calibración
Acreditado
Registro N° LC - 003

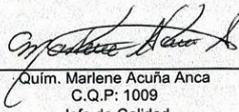
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SGM - A - 1889 - 2018

Página 1 de 3

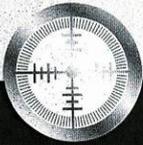
<p>1. Expediente : V2-18434</p> <p>2. Solicitante : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES</p> <p>3. Dirección : Av. Tupac Amaru Nro. 150 - Rimac - Lima - Lima</p> <p>4. Instrumento : BALANZA</p> <p>Funcionamiento : NO AUTOMÁTICO</p> <p>Alcance de Indicación : 0 g a 15000 g</p> <p>Intervalo de escala (d) : 0,1 g</p> <p>Intervalo de escala de verificación (e) : 1,0 g</p> <p>Clase de Exactitud : II</p> <p>Capacidad Mínima (*) : 5 g</p> <p>Marca : OHAUS</p> <p>Modelo : RANGER</p> <p>Tipo : ELECTRÓNICA</p> <p>Procedencia : No indica</p> <p>Número de Serie : 2591355 - 7CE</p> <p>Código de Identificación : UMA - 224</p> <p>Ubicación : Unidad de Mezclas Asfálticas</p> <p>Fecha de Calibración : 2018 - 11 - 08</p> <p>Fecha de Emisión : 2018 - 11 - 12</p> <p>Lugar de Calibración : INSTALACIONES DE MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES</p> <p>5. Método de Calibración Empleado</p> <p>La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según el procedimiento PC-011 4ª edición: 2010 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II" de INACAL.</p> <p>6. Observaciones</p> <p>(*) Obtenida a partir de la División Mínima de Escala (d) y de la Clase de Exactitud de la balanza.</p> <p>Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.</p> <p>SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.</p> <p>El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.</p> <p>La balanza ha sido calibrada hasta un alcance de 15000 g</p> <p>El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.</p>	<p><i>Función</i></p> <p>Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.</p> <p><i>Misión</i></p> <p>Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.</p> <p><i>Visión</i></p> <p>Ser el Laboratorio de Calibración Líder dentro del mercado nacional según las exigencias y competencias de la industria, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.</p>
---	---



Luis Sanchez Garcia
Supervisor del Laboratorio



Quím. Marlene Acuña Anca
C.Q.P: 1009
Jefe de Calidad



Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rímac, Callao

ventas@sgnortec.com sgnortec.com

572 2630 / 572 1691

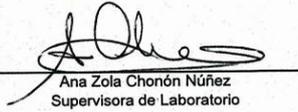
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE DOCUMENTO

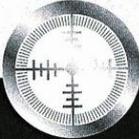
Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 55. Certificado de calibración del vacuómetro

 SG NORTEC <small>SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.</small>	LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
--	-----------------------------------

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		Página 1 de 2
SGFP - 083 - 2019		
1. ORDEN DE TRABAJO	: V2-168-19	Función
2. SOLICITANTE	: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	<i>Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.</i>
3. DIRECCIÓN	: AV. TUPAC AMARU NRO. 150 - RIMAC - LIMA - LIMA	
4. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	: VACUÓMETRO	
FUNCIONAMIENTO	: DEFORMACIÓN ELASTICA	
TIPO DE INDICACIÓN	: ANALÓGICO	
INTERVALO DE INDICACIÓN	: -30 inHg a 0 inHg / -1 bar a 0 bar	Misión
RESOLUCIÓN	: 0,5 inHg / 0,02 bar	<i>Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.</i>
CLASE DE EXACTITUD	: 2 % FS (*)	
MARCA	: Dynamic	
MODELO	: NO INDICA	
NUMERO DE SERIE	: NO INDICA	
DIAMETRO DE ROSCA	: 1/2" NPT	
DAIMETRO DE CAJA	: 60 mm	
POSICIÓN DE TRABAJO	: VERTICAL	Visión
PROCEDENCIA	: NO INDICA	<i>Ser el laboratorio de calibración líder dentro del mercado nacional según las exigencias y competencias de la industria, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.</i>
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN	: CI-4261 (**)	
5. FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2019-03-16	
6. FECHA DE EMISIÓN	: 2019-03-23	
7. LUGAR DE CALIBRACIÓN	: Instalaciones de SG NORTEC S.R.L. - Laboratorio de Fuerza y Presión.	
8. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN EMPLEADO	La calibración ha sido realizada por el método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del manómetro de deformación elástica y el manómetro patrón de indicación digital según procedimiento PC - 004 "Procedimiento de calibración de manómetros, vacuómetros y manovacuómetros de deformación elástica". Segunda Edición - Junio 2012. SNM - INDECOPI	
9. OBSERVACIONES	(*) Obtenida a partir del intervalo de Indicaciones y Resolución. (**) Código indicado en una etiqueta adherida y/o grabado al instrumento. Para una mejor aproximación de la lectura la resolución del instrumento se ha subdividido en 05 partes. El instrumento pertenece a LA BOMBA DE VACÍO DE CÓDIGO: UMA-213 Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto. SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento. El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes. El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.	

		 Ana Zola Chonón Núñez Supervisora de Laboratorio
--	---	---

		HCSG028-03
--	---	------------

Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rímac, Callao 572 2630 / 572 1691 ventas@sgnortec.com sgnortec.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE DOCUMENTO

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 56. Certificado de calibración de la estufa



Utilab
PERÚ S.A.C.



PRECISIÓN & TECNOLOGÍA a su servicio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

010-0720-CR-OFILAB-19

1. SOLICITANTE

Razón Social : Ministerio de Transportes y Comunicaciones
 Dirección : Av. Tupac Amaru N°150 - Rimac - Lima
 Fecha de emisión : Lima, 01 de noviembre del 2019

2. IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO / INSTRUMENTO

Equipo / Instrumento : Estufa
 Marca : Nuve
 Procedencia : No indica
 Modelo : FN 500 P
 Serie : 056623
 Código / ID : UMA-273
 Resolución : 1°C
 Ubicación : Laboratorio

Fecha de Calibración : Lima, 30 de octubre del 2019
 Lugar de Calibración : Instalaciones - Ministerio de Transportes y Comunicaciones

3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

PC-018 2° Ed. "Procedimiento para la calibración de medios isoterms con aire como medio termostático" del SNM/Indecopi.
 En función del tamaño de la cámara se han instalado 10 sensores (Termocuplas) de acuerdo a la tabla N°1.
 Se realiza una serie de mediciones a fin de ajustar el control de temperatura del equipo a la mejor posición posible. El control se ajustó a la temperatura deseada y se registra las temperaturas promedio cada 2 minutos, obteniéndose los resultados mostrados en las tablas posteriores.

4. PATRONES DE REFERENCIA

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de la Dirección Metrológica	Termómetro de indicación digital, TRACEABLE, serie 160710515	LT-217-2018

5. CONCLUSIONES

La incertidumbre de la medición se determinó con un factor de cobertura $K = 2$ para un nivel de confianza del 95% aproximadamente.
 Certificamos que el equipo se encuentra operativo y cumple con los parámetros de calibración.

6. OBSERVACIONES

La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.
 Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO"

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

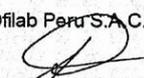
Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

El usuario esta en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.

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

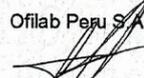
Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito del laboratorio que lo emite.

Ofilab Peru S.A.C.



Ing. Quinto Jorge Santos Aquino
Dep. Desarrollo de Proyectos

Ofilab Peru S.A.C.



Ing. Jorge Torres Flores
Dep. Técnico



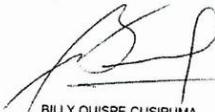
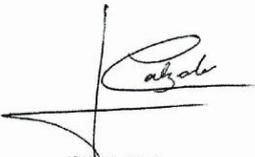
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE OFILAB PERÚ S.A.C.

Página 1 de 5

TELF.: (01) 586-6400 CEL.: 997771497
 Jr. San Luis N° 341 - Urb. San Carlos - Comas
 E-mail: ctproyectos@ofilabperu.com Web: www.ofilabperu.com

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 57. Certificado de calibración del termómetro de indicación digital

 <p>INACAL Instituto Nacional de Calidad Metrología</p>		<h2>Certificado de Calibración</h2> <h3>LT - 217 - 2018</h3>	
<p>Laboratorio de Termometría</p>		<p>Página 1 de 4</p>	
Expediente	101343	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>	
Solicitante	OFILAB PERU S.A.C.		
Dirección	Jr. San Luis N° 341 Urb. San Carlos Et. Uno - Comas - Lima		
Instrumento de Medición	TERMOMETRO DE INDICACION DIGITAL		
Intervalo de Indicación	-50 °C a 400 °C		
Resolución	0,01 °C ; 0,1 °C		
Marca	TRACEABLE		
Modelo	4132		
Procedencia	NO INDICA		
Número de Serie	160710515		
Elemento Sensor	Una termorresistencia de platino de 100 Ω		
Fecha de Calibración	2018-07-20		
<p>Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificados sin firma y sello carecen de validez.</p>			
Fecha	Área de Electricidad y Termometría	Laboratorio de Termometría	
	 BILLY QUISPE CUSIPUMA	 JOAN CALZADO	
2018-07-20	Dirección de Metrología	Dirección de Metrología	
<p>Instituto Nacional de Calidad - INACAL Dirección de Metrología Calle Las Camelias N° 817, San Isidro, Lima - Perú Telf.: (01) 640-8820 Anexo 1501 Email: metrologia@inacal.gob.pe Web: www.inacal.gob.pe</p>			
<p>Puede verificar el número de certificado en la página: https://aplicaciones.inacal.gob.pe/dm/verificar/</p>			

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 58. Certificado de calibración del contador



SG NORTEC
SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SGTF - 016 - 2019

Página 1 de 2

1. ORDEN DE TRABAJO : V2-200-19

2. SOLICITANTE : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

3. DIRECCIÓN : AV. TUPAC AMARU NRO. 150 - RIMAC - LIMA - LIMA

4. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : CONTADOR

TIPO DE INDICACIÓN : DIGITAL

AMPLITUD DE INDICACIÓN : 0 a 999 conteos

RESOLUCIÓN : NO APLICA

MARCA : AUTONICS

MODELO : LA7N-2R

NUMERO DE SERIE : NO INDICA

PROCEDENCIA : NO INDICA

CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN : NO INDICA

UBICACIÓN : UNIDAD DE SUELOS Y AGREGADOS

5. FECHA DE CALIBRACIÓN : 2019-05-22

6. FECHA DE EMISIÓN : 2019-05-29

7. LUGAR DE CALIBRACIÓN : Instalaciones del MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

Función

Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.

Misión

Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.

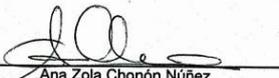
Visión

Convertirnos en el Laboratorio de Calibración Líder dentro del mercado nacional de acuerdo con las exigencias y competencias de la industria nacional, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.

8. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN EMPLEADO
La calibración ha sido efectuada empleando el método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del cronómetro digital y las indicaciones de lectura del cronómetro patrón de mejor exactitud.

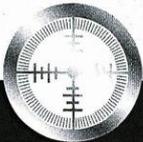
9. OBSERVACIONES
El instrumento pertenece al APARATO DE CASA GRANDE ELÉCTRICO de código: USA-123
Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.





Ana Zola Chonón Núñez
Supervisor de Laboratorio

HCSG038-01



Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rímac, Callao 572 2630 / 572 1691

✉ ventas@sgnortec.com 🌐 sgnortec.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE DOCUMENTO

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 59. Certificado de calibración del aparato casa grande eléctrico



SG NORTEC
SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

INFORME DE VERIFICACIÓN
IV - 051 - 2019

Página 1 de 2

1. ORDEN DE TRABAJO : V2-200-19

2. SOLICITANTE : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

3. DIRECCIÓN : AV. TUPAC AMARU NRO. 150 - RIMAC - LIMA - LIMA

4. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : APARATO DE CASA GRANDE ELÉCTRICO

MARCA : COSACOV

MODELO : NO INDICA

NUMERO DE SERIE : NO INDICA

PROCEDENCIA : NO INDICA

CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN : USA-123

UBICACIÓN : UNIDAD DE SUELOS Y AGREGADOS

5. FECHA DE VERIFICACIÓN : 2019-05-23

6. FECHA DE EMISIÓN : 2019-05-28

7. LUGAR DE VERIFICACIÓN : Instalaciones del MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

Función

Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.

Misión

Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.

Visión

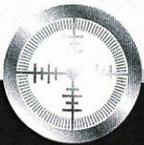
Convertimos en el Laboratorio de Calibración Líder dentro del mercado nacional de acuerdo con las exigencias y competencias de la industria nacional, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.

8. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN EMPLEADO
La verificación se efectuó tomando como referencia el procedimiento indicado en el manual del equipo.

9. OBSERVACIONES
Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la verificación y se refieren exclusivamente al instrumento verificado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
El usuario es responsable de la reverificación de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



[Firma]
Ana Zola Chonón Núñez
Supervisor de Laboratorio



HCSG050-01

Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rímac, Callao  572 2630 / 572 1691

 ventas@sgnortec.com  sgnortec.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE DOCUMENTO

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 60. Certificado de calibración del agitador mecánico para equivalente de arena



SG NORTEC
SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

INFORME DE VERIFICACIÓN
IV - 053 - 2019

Página 1 de 2

Función
Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.

Misión
Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.

Visión
Convertirnos en el Laboratorio de Calibración Líder dentro del mercado nacional de acuerdo con las exigencias y competencias de la industria nacional, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.

1. ORDEN DE TRABAJO : V2-200-19

2. SOLICITANTE : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

3. DIRECCIÓN : AV. TUPAC AMARU NRO. 150 - RIMAC - LIMA - LIMA

4. EQUIPO/INSTRUMENTO : AGITADOR MECÁNICO PARA EQUIVALENTE DE ARENA

INTERVALO DE INDICACIÓN : 0 segundos a 60 segundos /175 rpm

RESOLUCIÓN : 1 segundos

MARCA : PINZUAR

MODELO : PS-86

NÚMERO DE SERIE : 105

PROCEDENCIA : COLOMBIA

CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN : NO INDICA

UBICACIÓN : UNIDAD DE SUELOS Y AGREGADOS

5. FECHA DE VERIFICACIÓN : 2019-05-24

6. FECHA DE EMISIÓN : 2019-05-28

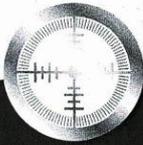
7. LUGAR DE VERIFICACIÓN : Instalaciones del MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

8. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN EMPLEADO
La verificación se realizó empleando el método de comparación entre el número de revoluciones programadas en la centrifuga a verificar y las mediciones obtenidas por el tacómetro patrón.

9. OBSERVACIONES
El instrumento pertenece al AGITADOR MECANICO PARA EQUIVALENTE DE ARENA con código : USA-143
Los resultados presentados son el resultado de un promedio de 10 mediciones para cada valor de revolución.
Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la verificación y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
El usuario es responsable de la reverificación de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



[Firma]
Ana Zola Chonón Núñez
Supervisor de Laboratorio



HCSG038-01

Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rímac, Callao 572 2630 / 572 1691

✉ ventas@sgnortec.com 🌐 sgnortec.com

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 61. Certificado de calibración del timer



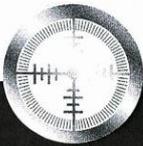
SG NORTEC
SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

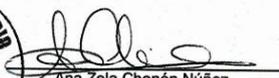
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SGTF - 018 - 2019

Página 1 de 2

1. ORDEN DE TRABAJO	: V2-200-19	
2. SOLICITANTE	: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	Función
3. DIRECCIÓN	: AV. TUPAC AMARU NRO. 150 - RIMAC - LIMA - LIMA	<i>Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.</i>
4. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	: TIMER	Misión
TIPO DE INDICACIÓN	: ANALÓGICO	<i>Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.</i>
AMPLITUD DE INDICACIÓN	: 0 a 99,9 seg	
RESOLUCIÓN	: 0,01 seg	
MARCA	: NO INDICA	
MODELO	: ST 3	
NUMERO DE SERIE	: NO INDICA	
PROCEDENCIA	: NO INDICA	
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN	: NO INDICA	Visión
UBICACIÓN	: UNIDAD DE SUELOS Y AGREGADOS	<i>Convertimos en el Laboratorio de Calibración Líder dentro del mercado nacional de acuerdo con las exigencias y competencias de la industria nacional, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.</i>
5. FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2019-05-24	
6. FECHA DE EMISIÓN	: 2019-05-29	
7. LUGAR DE CALIBRACIÓN	: Instalaciones del MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	
 8. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN EMPLEADO		
La calibración ha sido efectuada empleando el método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del cronómetro digital y las indicaciones de lectura del cronómetro patrón de mejor exactitud.		
 9. OBSERVACIONES		
El instrumento pertenece al AGITADOR MECÁNICO EQUIVALENTE DE ARENA de código: USA-143		
Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.		
SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.		
El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.		
El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.		







Ana Zola Chonón Núñez
Supervisor de Laboratorio

HCSG038-01

Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rímac, Callao 572 2630 / 572 1691
 ventas@sgnortec.com sgnortec.com

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Figura 62. Certificado de calibración anillo de carga



SG NORTEC
SG NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS A LA CALIDAD S.R.L.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SGFP - 235- 2019

Página 2 de 2

7. Trazabilidad

Los resultados de la verificación realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología del INACAL, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) .

Trazabilidad		Patrón de SG NORTEC S.R.L.	
Patrón de Referencia	Certif./ Inf. Calibración	Patrón de Trabajo	Certif./ Inf. Calibración
Pesas (Clase de Exactitud M1)	IP-295-2018	Pesas Hierro Fundido (Clase de Exactitud M2)	SGM-A-1918-2018
Pesas (Clase de Exactitud F1)	LM-108-2018	Pesas Hierro Fundido (Clase de Exactitud M2)	SGM-A-1919-2018

8. Resultados de Calibración

Condiciones Ambientales		Inicio	Fin
Temperatura		22,7 °C	23,0 °C
Humedad		60 %	61 %

N°	Dial (Div)	Ascenso	Descenso
		I (kg-f)	I (kg-f)
0	0	0,0	0,6
1	50	246,0	247,8
2	100	480,0	483,8
3	150	710,8	712,8
4	200	940,4	942,6
5	250	1 179,4	1 180,2
6	300	1 416,2	1 416,6
7	350	1 657,6	1 658,2
8	400	1 880,0	1 880,8
9	450	2 114,4	2 113,6
10	500	2 346,0	2 346,0

Ecuación de ajuste	Coefficiente de correlación R
$Y=Ax^2+Bx+C$	0,9999538901

Donde: A = -0,0001
 B = 4,7394
 C = 4,6413
 X= Lectura del dial, como número de divisiones.
 Y= Fuerza patrón, ajustada en kilogramos.
 1lb-f = 0,4535 kg-f



9. Incertidumbre

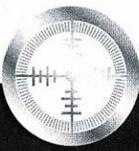
La Incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-én: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.
 La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un Nivel de Confianza de aproximadamente 95%.

.....

Fin del Certificado de Calibración

HCSG021-09



Av. Ramón Castilla N° 154, Urb. Playa Rímac, Callao ☎ 572 2630 / 572 1691

✉ ventas@sgnortec.com 🌐 sgnortec.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE DOCUMENTO

Fuente: Laboratorio (Dirección de Estudios Especiales)

Tabla 90. Matriz de consistencia.

Problemas	Hipótesis	Objetivos	Variables e Indicadores		Metodología	
<p>Problema general:</p> <p>¿Cuál es el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el biopolímero lignina?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la variación en la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina? • ¿Cuál es la variación en la densidad de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina? • ¿Cuál es la variación del contenido de V.A y V.M.A de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina? 	<p>Hipótesis general:</p> <p>El comportamiento mecánico tendrá mejora con la adición del biopolímero lignina en la mezcla asfáltica en caliente.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina. • La densidad de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina. • El contenido de V.A y V.M.A de la mezcla asfáltica en caliente tendrá variación adicionando el 10% y 15% del biopolímero lignina. 	<p>Objetivo general:</p> <p>Analizar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el biopolímero lignina.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la variación en la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina. • Determinar la variación en la densidad de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina. • Analizar la variación del contenido de V.A y V.M.A de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con el 10% y 15% del biopolímero lignina. 	<p>V. Independiente.</p> <p>Mezcla asfáltica en caliente adicionado con lignina</p>		<p>Diseño de investigación:</p> <p>Cuasi-Experimental</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>Exploratorio</p> <p>Tipo de investigación:</p> <p>Según:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Finalidad • Enfoque <p>Aplicada</p> <p>Cuantitativo</p>	
			DIMENSIONES	INDICADORES		
			DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICA	Granulometría		
				Contenido de asfalto		
				Dosificación de la lignina		
			<p>V. Dependiente</p> <p>Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente</p>			
MÉTODO MARSHAL	Estabilidad					
	Flujo					
	Densidad					
	(V.A)					
	(V.M.A)					

Fuente: Propia

Panel Fotografico

Figura 63. Cantera Valcárcel – La quebrada



Fuente: Propia

Figura 64. Obtención de los agregados



Fuente: Propia

Figura 65. Agregado grueso



Fuente: Propia

Figura 66. Agregado fino



Fuente: Propia

Figura 67. Obtención del cemento asfaltico



Fuente: Propia

Figura 68. Asfalto PEN 60-70



Fuente: Propia

Figura 69. Tamizado de todo el material



Fuente: Propia

Figura 70. Taras seleccionadas para todos los ensayos



Fuente: Propia

Figura 71. Sala de Maquina de los Angeles



Fuente: Propia

Figura 72. Tamizado por la malla N° 12



Fuente: Propia

Figura 73. Secado superficial del agregado grueso



Fuente: Propia

Figura 74. Separación del material por caras de fracturada



Fuente: Propia

Figura 75. Máquina de partículas chatas y alargadas



Fuente: Propia

Figura 76. Equivalente de Arena



Fuente: Propia

Figura 77. Asentamiento del fino



Fuente: Propia

Figura 78. Extracción del aire del agregado fino



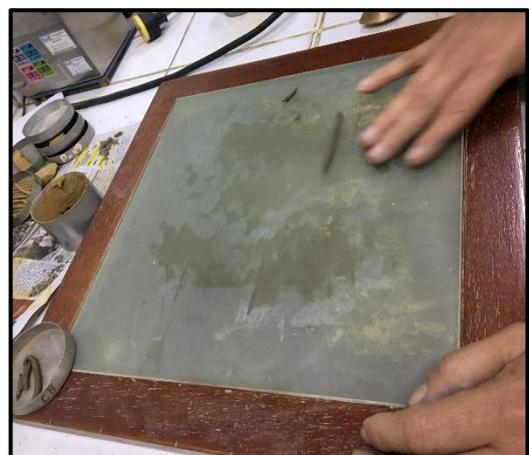
Fuente: Propia

Figura 79. Copa Casagrande



Fuente: Propia

Figura 80. Índice de plasticidad



Fuente: Propia

Figura 81. Ensayo de sales solubles del material fino



Fuente: Propia

Figura 82. Partículas nocivas con el azul de metileno



Fuente: Propia

Figura 83. Separación de sales en muestras



Fuente: Propia

Figura 84. Lignina



Fuente: Propia

Figura 85. Manipulación de la Lignina



Fuente: Propia

Figura 86. Lignina por el tamiz N° 200



Fuente: Propia

Figura 87. Mezcla Asfalto-Lignina



Fuente: Propia

Figura 88. Asfalto Convencional



Fuente: Propia

Figura 89. Asfalto con 10% de Lignina



Fuente: Propia

Figura 90. Asfalto con 15% de Lignina



Fuente: Propia

Figura 91. Taras para las mezclas 10% Lignina



Fuente: Propia

Figura 92. Taras para las mezclas 15% Lignina



Fuente: Propia

Figura 99. Determinando el peso específico de la briqueta



Fuente: Propia

Figura 100. Briquetas después del ensayo



Fuente: Propia

Figura 101. Baño maría antes del ensayo de rotura



Fuente: Propia

Figura 102. Aparato Marshall para rotura de briquetas



Fuente: Propia

Figura 103. Briquetas antes de la rotura



Fuente: Propia

Figura 104. Briquetas después de la rotura



Fuente: Propia

Figura 105. Cacerola para la mezcla asfáltica suelta



Fuente: Propia

Figura 106. Matraz para ensayo Rice



Fuente: Propia

Figura 107. Matraces llenos con agua destilada



Fuente: Propia

Figura 108. Extracción de aire de la mezcla suelta



Fuente: Propia

Figura 109. Laboratorio Central MTC



Fuente: Propia

Figura 110. Entrada de laboratorio Central



Fuente: Propia