

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRIA EN INGENIERIA VIAL MENCIÓN EN  
CARRETERAS, PUENTES Y TÚNELES**



**Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería Vial con  
Mención en Carreteras, Puentes y Túneles**

**“Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión  
para mejorar las Propiedades Mecánicas”**

**Bachiller Maguiña Salazar Walther Teófilo**

**Asesor: Dr. Valencia Gutiérrez Andrés Avelino**

**Lima - Perú**

**Surco, julio de 2019**

A mis hijas Milagros, Paola y esposa Elida, por su apoyo y esfuerzo de seguir adelante con la maestría, gracias a ellos.

A mi señora Madre y Suegra, quienes se encuentran en el cielo, ellas siempre van a velar por los míos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a todos los Maestros de la Maestría en Ingeniería Vial, Mención en Carreteras, Puentes y Túneles de la Universidad Ricardo Palma, por los conocimientos adquiridos en la maestría, y ahora poder participar con eficiencia y eficacia en el diseño, construcción, mantenimiento, y supervisión de proyectos viales, tengo las decisiones de planificar proyectos de integración regional y nacional, incorporando nuevas tecnologías y materiales, acordes con la realidad de la geografía peruana.

Al Ing. Samuel Tamara Rodríguez, por dar consejos y asesoramiento desinteresadamente en el desarrollo de la tesis. Al Dr. Valencia Gutiérrez Andrés Avelino y al Dr. Carlos Chavarri Vallejo, por su apoyo incondicional y su asesoramiento.

A mi Hija Milagros, por su exigencia y perseverancia en seguir adelante hasta llegar a la meta deseada, a mi esposa Elida Asís Zarsoza, por su apoyo moral, quien me acompaña más de 3 décadas y que siempre estará a mi lado, y siempre hemos salido adelante en los peores momentos vividos, gracias a todos ellos, por este esfuerzo, y a mis seres queridos que ya no están conmigo, pero sé que ellos siempre me están apoyando.

# TABLA DE CONTENIDO

Índice

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	3
TABLA DE CONTENIDO .....	4
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	7
INDICE DE TABLAS .....	10
<b>Resumen</b> .....	11
<b>Abstract</b> .....	12
Introducción .....	13
<b>CAPITULO 1</b> .....	14
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	14
<b>1.1. Descripción del Problema.</b> .....	14
<b>1.2. Formulación del Problema.</b> .....	15
<b>1.2.1 Problema general</b> .....	16
<b>1.2.2. Problemas específicos</b> .....	16
<b>1.3. Importancia y Justificación del Estudio.</b> .....	17
<b>1.4. Antecedentes relacionados con el tema</b> .....	18
<b>1.5 Objetivos de la Investigación:</b> .....	23
<b>1.5.1 Objetivo general</b> .....	23
<b>1.5.2 Objetivos específicos</b> .....	23
<b>1.6. Limitaciones del estudio.</b> .....	24
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	25
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	25
<b>2.1 Marco histórico</b> .....	25
<b>2.2.2.3. Trabajabilidad</b> .....	35
<b>2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio (teorías, modelos)</b> .....	60
<b>2.4 Definición de términos básicos</b> .....	63
<b>2.5. Hipótesis:</b> .....	65
<b>2.5.1 Hipótesis general</b> .....	65
<b>2.5.2 Hipótesis específicas</b> .....	65
<b>2.6 Variables (definición y operacionalización de variables: Dimensiones e indicadores)</b> .....	65

<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>67</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>67</b>
<b>3.1 Tipo, método y diseño de la investigación .....</b>	<b>67</b>
<b>3.2 Población y muestra (escenario de estudio) .....</b>	<b>69</b>
<b>3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos (validez y confiabilidad).....</b>	<b>70</b>
<b>3.4 Descripción de procedimientos de análisis .....</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>73</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1 Resultados de diseño de mezcla asfáltica 6.5% del asfalto. ....</b>	<b>73</b>
<b>4.2 Análisis de resultados de diseño óptimo de la mezcla asfáltica con incorporación de grano de caucho reciclado. ....</b>	<b>74</b>
<b>Fuente: Elaboración propia. ....</b>	<b>76</b>
<b><i>Figura 20. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 03. ....</i></b>	<b>82</b>
<b><i>Figura 21. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 03. ....</i></b>	<b>83</b>
<b><i>Figura 23. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 04. ....</i></b>	<b>85</b>
<b><i>Figura 24. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 04. ....</i></b>	<b>86</b>
.....	86
<b><i>Figura 26. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 05. ....</i></b>	<b>88</b>
<b><i>Figura 27. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 05. ....</i></b>	<b>89</b>
.....	89
<b>4.3. Evaluación de los costos unitarios de la mezcla asfáltica con la incorporación del grano de cucho reciclado.....</b>	<b>103</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
<b>CONCLUSIONES: .....</b>	<b>107</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>115</b>
.....	115
<b>PANEL DE FOTOGRAFIAS.....</b>	<b>119</b>
<b><i>Figura 51. Tamiz para la granulometría de los agregados y el grano de caucho reciclado. ....</i></b>	<b>125</b>
.....	125
<b><i>Figura 52. Llantas en desuso que se utiliza como linderos de terreno. ....</i></b>	<b>126</b>



## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Estructura típica de pavimento flexible</i> .....	26
<i>Figura 2. Vacíos en el agregado Mineral (Requisitos de VMA).</i> .....	29
<i>Figura 3. Grano de caucho reciclado</i> .....	38
<i>Figura 4. Granulometría del Grano de Caucho reciclado.</i> .....	40
<i>Figura 5. Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho por vía húmeda. Adaptado de Bermejo (2010).</i> .....	41
<i>Figura 6. Evolución de la interacción betún - caucho. Adaptado de Bermejo, Gallego y Saiz (2014).</i> .....	42
<i>Figura 7. Carga y falla de la prueba de tracción indirecta.</i> .....	48
<i>Figura 8. Profundidad de ahuellamiento vs número de pasadas de la rueda.</i> .....	52
<i>Figura 9. Montaje del Ensayo.</i> .....	53
<i>Figura 10. Carga típica y deformación vs. Relaciones de tiempo para ensayo de tensión indirecta con carga repetida.</i> .....	55
<i>Figura 11. Región de aceptación de rechazo de Hipótesis</i> .....	57
<i>Figura 12. Ensayo Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles ....</i> <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
<i>Figura 13. Ensayo Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles.</i> .....	75
<i>Figura 14. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 01.</i> .....	76
<i>Figura 15. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 01.</i> .....	77
<i>Figura 16. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 01.</i> .....	78
<i>Figura 17. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 02.</i> .....	79
<i>Figura 18. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 02.</i> .....	80
<i>Figura 19. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 02.</i> .....	81
<i>Figura 20. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 03.</i> .....	82

<i>Figura 21. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 03.</i> .....	83
<i>Figura 22. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 03.</i> .....	84
<i>Figura 23. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 04.</i> .....	85
<i>Figura 24. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 04.</i> .....	86
<i>Figura 25. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 04.</i> .....	87
<i>Figura 26. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 05.</i> .....	88
<i>Figura 27. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 05.</i> .....	89
<i>Figura 28. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 05.</i> .....	90
<i>Figura 29. Diseño de Mezcla Asfáltica – Convencional</i> .....	91
<i>Figura 30. Resumen y Grafico del Diseño de Mezcla Asfáltica – Convencional</i> .....	92
<i>Figura 31. Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica – Convencional.</i> .....	93
<i>Figura 32. Diseño de Mezcla Asfáltica – con la incorporación del grano de caucho reciclado 1%.</i> .....	94
<i>Figura 33. Resumen y Grafico del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 1%.</i> .....	95
<i>Figura 34. Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 1%.</i> .....	96
<i>Figura 35. Diseño de Mezcla Asfáltica – con la incorporación del grano de caucho reciclado 2%.</i> .....	97
<i>Figura 36. Resumen y Grafico del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 2%.</i> .....	98
<i>Figura 37. Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 2%.</i> .....	99
<i>Figura 38. Diseño de Mezcla Asfáltica – con la incorporación del grano de caucho reciclado 3%.</i> .....	100

<b>Figura 39. Resumen y Grafico del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 3%.</b> .....	101
<b>Figura 40. Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 3%.</b> .....	102
<b>Figura 41. Tabla de salarios de Construcción Civil</b> .....	115
<b>Figura 42. Especificaciones Técnicas del Fuente: Asfalto – Petróleos del Perú.</b>	116
<b>Figura 43. Revistas especializadas para el análisis de costos unitarios.</b> .....	117
<b>Figura 44. Revistas especializadas para el análisis de costos unitarios.</b> .....	118
<b>Figura 45. Material de cantera arena gruesa.</b> .....	119
<b>Figura 46. Material de cantera arena fina.</b> .....	120
<b>Figura 47. Material de cantera piedra chancada.</b> .....	121
<b>Figura 48. Material de cantera arena gruesa.</b> .....	122
<b>Figura 49. Asfalto PEN 60/70.</b> .....	123
<b>Figura 50. Peso del grano de caucho reciclado</b> .....	124
<b>Figura 51. Tamiz para la granulometría de los agregados y el grano de caucho reciclado.</b> .....	125
<b>Figura 52. Llantas en desuso que se utiliza como linderos de terreno.</b> .....	126
<b>Figura 53. Llantas en desuso que son acumulados en los botaderos de basura</b> ...	127
<b>Figura 54. Llantas en desuso que están en zonas de las carreteras.</b> .....	128
<b>Figura 55. Llantas en desuso que están en las viviendas.</b> .....	129
<b>Figura 56. Llantas en desuso que las zonas urbanas.</b> .....	130
<b>Figura 57. Llantas en desuso en los jardines de las ciudades.</b> .....	131
<b>Figura 58. Depósitos de los neumáticos en desuso en talleres</b> .....	132
<b>Figura 59. Neumáticos en desuso en zona urbanas.</b> .....	133

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ilustración del VMA en una Probeta de Mezcla Compactada.....</i>	29
<i>Tabla 2. Causas y efectos de inestabilidad en los pavimentos.....</i>	33
<i>Tabla 3. Causas y efectos de la permeabilidad.....</i>	34
<i>Tabla 4. Causas y efectos de problemas en la Trabajabilidad. ....</i>	35
<i>Tabla 5. Composición y características entre automóviles y camiones.....</i>	39
<i>Tabla 6. Parámetros típicos de diseño en la Metodología Marshall definidos en función del tráfico. ....</i>	.....
<i>Tabla 7. Especificación de gráfica de Fuller para un tamaño máximo nominal de 19mm. ....</i>	.....

## **Resumen**

Esta Investigación es de enfoque cuantitativo y experimental, lleva como título: “CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS EN LA MEZCLA DE ASFALTO A COMPRESIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”, que surgió ante el problema de reciclar los neumáticos en desuso, y mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado, para obtener los resultados de esta investigación se ha usado el método de Marshall vía húmeda, el objetivo principal es obtener el porcentaje de incorporación del grano de caucho reciclado, a la mezcla asfáltica y comparar los resultados de una mezcla asfáltica convencional. Las briquetas fueron hechas en el laboratorio, con los agregados, cemento asfáltico y grano de caucho reciclado, fueron analizados de acuerdo a las Normas establecidas por el MTC, y estas briquetas fueron sometidas a roturas en la prensa de Marshall, con estos resultados se pudo comprobar el porcentaje de incorporación del caucho reciclado frente a la mezcla convencional, los agregados son de la cantera del Rio Santa Huaraz, y el grano de caucho reciclado se obtuvo de las reencauchadoras de la ciudad de Huaraz. Con el uso de los neumáticos en desusos podemos reducir la contaminación ambiental en esta zona.

Palabras claves: Comportamiento mecánico, Mezcla asfáltica modificada, método de Marshall, caucho molido, análisis de costos unitarios.

## **Abstract**

This research is quantitative and experimental, with the title: "RECYCLED RIMS RUBBER IN THE COMPRESSION ASPHALT MIXTURE TO IMPROVE MECHANICAL PROPERTIES", which arose from the problem of recycling obsolete tires, and improving the mechanical properties of the asphalt mix with the incorporation of the recycled rubber grain, to obtain the results of this investigation the Marshall method has been used via wet, the main objective is to obtain the percentage of incorporation of the recycled rubber grain, to the asphalt mix and compare the results of a conventional asphalt mixture. The briquettes were made in the laboratory, with the aggregates, asphalt cement and recycled rubber grain, they were analyzed according to the Standards established by the MTC, and these briquettes were subjected to breaks in the Marshall press, with these results it was possible Check the percentage of incorporation of the recycled rubber against the conventional mixture, the aggregates are from the quarry of the Santa Huaraz River, and the recycled rubber grain was obtained from the re-sewers of the city of Huaraz. With the use of disused tires we can reduce environmental pollution in this area.

Keywords: Mechanical behavior, modified asphalt mix, Marshall method, ground rubber, unit cost analysis.

## Introducción

El propósito del presente informe de investigación es mejorar las propiedades mecánicas diseñando una mezcla asfáltica, incorporando con grano de caucho reciclado, con la finalidad de perfeccionar las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica, para obtener la mezcla optima fue necesario conocer el indicador de porcentaje de granos de caucho reciclado que se debe agregar a la mezcla. Con estudio trato de disminuir la contaminación, por la quema indiscriminada de los neumáticos en desuso. Además, es una forma de limpiar los botaderos, ríos, o depósitos. Toda la investigación se ha realizado en los laboratorios D & J S.A.C, utilizando el método de Marshall. Con los resultados obtenidos de la incorporación del grano de caucho reciclado, se ha realizado los cálculos de costos unitarios del mismo, teniendo en cuenta el método convencional y por otro lado incorporando a la mezcla con el grano de caucho reciclado, obteniéndose los resultados con precios de los insumos y maquinarias actualizados.

Para realizar la investigación he tenido que ordenarlo en capítulos, que a continuación se describen:

En el capítulo I describe el planteamiento del problema, descripción del problema, formulación del problema, problema general y específico. La importancia y justificación del estudio, antecedentes relacionados con el tema, los objetivos en general y específicos.

En el capítulo II describe el marco teórico, comprende el marco histórico, características y comportamiento de la mezcla, trabajabilidad, define la estructura teórica y científica que sustenta el estudio, la definición de términos, se presentan la hipótesis general y específicas y la operacionalización de las variables de estudio.

En el capítulo III incluye el marco metodológico, se demuestra el tipo, método y diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, aquí se muestra la descripción de procedimientos de análisis.

En el capítulo IV se presentan los Resultados y Análisis de Resultados. Las respectivas discusiones o análisis de los resultados y finalizamos con la discusión de los mismos. Se incluye las Conclusiones y Recomendaciones.

# **CAPITULO 1**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del Problema.**

El Gobierno Nacional tiene jurisdicción en todo el territorio de la Republica, Gobiernos Regionales y Municipales la tienen en su respectiva circunscripción territorial. (Ley de Bases de Descentralización- Ley 27783), Actualmente se tiene una longitud de 23,072 Km, y está conformado por 120 rutas distribuidas en: 3 eje Longitudinales, 20 eje Transversales, Variantes y Ramales. 12,735 km., están pavimentados, y 10,337 km., no están pavimentados. (Provias Nacional – Raúl Torres Trujillo – Director Ejecutivo).

Estas vías de acuerdo al informe de Provias Nacional, son de pavimentos flexibles; son de carpeta asfáltica o bicapa, por estas vías circulan vehículos pesados y livianos, ocasionado fallas o deterioros, también hay los efectos de la naturaleza (derrumbes, huaycos), el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, ha regularizado mediante Normas, el proceso de Mantenimiento, Mejoramiento o

Rehabilitación, todos estos trabajos son ejecutados por las entidades del estado, ocasionado grandes gastos.

La ciudad de Lima capital del Perú, tienen muchas redes principales y secundarias unen a varias regiones productivas dando un movimiento económico a la capital, es importante que las vías tengan un buen servicio, caso contrario los costos de los alimentos, pasajes y otros suben los precios.

Es importante considerar los miles de kilómetros de una vía para entender que atraviesa diferentes zonas, con diferentes temperaturas, que disminuyen el desempeño de la vía, debido a que la mezcla asfáltica convencional es sensible a las temperaturas que tienen las regiones del Perú, por ser un material visco elástico, el cual presenta variación en sus características por la condición de la temperatura: es rígido cuando la temperatura desciende y es fluida cuando la temperatura asciende. Además, es sabido que los cambios del cemento asfáltico con la incorporación del grano del caucho reciclado, garantiza las propiedades no encontradas en los asfaltos convencionales, producidos con la tecnología convencional, especialmente las que tienen que ver con la gradiente térmica.

Los polímeros van a ser usados para modificar el ligante de las mezclas asfálticas. El polvo para la masa asfáltica, puede ser fabricado o molidos de los neumáticos en desuso.

El proceso que se estudia en la presente investigación es la incorporación del grano de caucho reciclado en el cemento asfáltico PEN 60/70, con un promedio de 160°C de temperatura, el proceso es mediante vía húmeda, con el método Marshall. Así mismo las características del asfalto modificado con la incorporación del grano de caucho reciclado van a ser vía húmeda con el Marshall, con estos resultados se va a realizar un análisis de costos unitarios reales a nivel de carpeta asfáltica por metro cuadrado.

## **1.2. Formulación del Problema.**

En el desarrollo de este trabajo de investigación se detalla que el problema que enfrentan en la actualidad las entidades del estado en mantener, rehabilitar y mejorar las vías asfaltadas, la red vial nacional está construida en la carpeta asfáltica

convencional, el cual tiene una vida útil de 20 años promedio, pero en la actualidad las entidades del estado no pueden controlar los estados del mal funcionamiento de las vías. Ocasionando insatisfacción en los usuarios, presentando alto índice de accidentes, costos elevados en el transporte de pasajeros, productos para el consumo y otros.

Para lo cual planteamos la incorporación del grano de caucho reciclado, para mejorar las propiedades reológicas del asfalto, y cómo influyen en los costos de mezcla asfáltica frente a la convencional.

Así mismo la bajas temperaturas y lluvias en las zonas altas mayor a los 2100 msnm, permiten que los pavimentos asfálticos se hallen expuestos a problemas de adherencia, que de alguna manera tengan que ver con la vida útil de la carpeta asfáltica y bicapa, afectando sus propiedades físicas y mecánicas, siendo necesario prever su desempeño, ante condiciones de contacto con el agua.

El agua provoca que el asfalto no permanezca adherido al agregado, al no haber unión entre los elementos puede esperarse que una mezcla asfáltica falle por corte, este fenómeno se le conoce como desprendimiento.

Uno de los principales problemas que presentan las carpetas asfálticas en las vías de comunicación, son el desprendimiento de la grava de la carpeta, formando baches, los cuales son causantes de accidentes viales.

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo influye la incorporación de granos de caucho reciclado en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada mediante el proceso por vía húmeda, respecto a la mezcla asfáltica convencional?

### **1.2.2. Problemas específicos**

1. ¿Cuál es el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica convencional, con el asfalto y agregados de la cantera asignada?
2. ¿Cuál es el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada con granos de caucho mediante el proceso por vía húmeda?
3. ¿Cuál es el porcentaje de incorporación de grano de caucho reciclado, para su diseño apropiado?

4. ¿Cuál es la diferencia en cuanto al comportamiento de la mezcla en función de las propiedades de los ensayos de caracterización y desempeño, de la mezcla modificada con la incorporación de granos de caucho mediante el proceso por vía húmeda, con respecto a la mezcla asfáltica convencional?

### **1.3. Importancia y Justificación del Estudio.**

La importancia del presente trabajo de investigación es contribuir con las entidades públicas o privadas en mejorar la carpeta asfáltica, para poder tener una buena serviciabilidad, disminución del tiempo de desplazamiento, disminución de los costos de mantenimiento de los vehículos. Así mismo se ha mejorado las propiedades mecánicas, mediante la elaboración de las briquetas de mezcla asfáltica, y sometidas a comprensión.

En el Perú no se tiene estudios sobre la incorporación de granos de caucho reciclado, por el método de vía húmeda, para perfeccionar las propiedades mecánicas, obteniendo mayor durabilidad de la mezcla asfáltica convencional, cuando están sometidos a distintas condiciones de carga y ambiente.

El presente informe de investigación tiene la justificación practica proponer que se debe de usar la mezcla asfáltica incorporando el grano de caucho reciclado de las llantas en desuso, el cual es elaborado mediante el método de vía húmeda, usando los parámetros de Marshall, al mejorar la carpeta asfáltica se tiene un buen servicio al usuario y bajar los costos de transportes de consumo y otros.

Las ventajas que se consiguen con el uso de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación del grano de caucho reciclado, en el cual se obtienen alta resistencia a los a los ahuellamientos, baja susceptibilidad a la temperatura, entre otros (Centro de estudios y experimentación de obras públicas – Company capsule, 2014).

Para tener mejora en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica tradicional se deberá efectuar la investigación en el Perú, con ello se contribuirá a dicho comportamiento, así como también a aminorar el impacto ambiental que se genera, mediante la incorporación de granos de caucho reciclado a la mezcla asfáltica a partir del proceso por vía húmeda, es así que compara el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica tradicional y con ello se podría analizar si se logró mejorar.

Con la incorporación del grano de caucho reciclado se va a obtener los siguientes beneficios.

- Se va a dar una nueva experiencia y una adecuada tecnología en la parte vial, para la zona de trabajo.
- Se va a emplear menor asfalto en la construcción de las vías.
- Se van a utilizar nuevos diseños con la incorporación del grano de caucho reciclado en zonas mayores a 2100 msnm.

Se justifica porque van a cumplir con un mejor pavimento en la zona.

- Elevada resistencia al deslizamiento bajo lluvia.
- Elevada resistencia en el asfalto al deslizamiento a altas velocidades.
- Adecuado comportamiento mecánico.
- Disminuye el ruido.
- Pavimentos de rodadura cómoda.
- La disminución de la contaminación al utilizar los neumáticos en desuso.

Se van a analizar los costos reales de las mezclas asfálticas con la incorporación del grano de caucho reciclado, los costos incluyen el asfalto, agregados, grano de caucho reciclado, maquinaria, y mano de obra, las unidades serán en metros cuadrados a nivel de la mezcla asfáltica y bicapa.

#### 1.4. **Antecedentes relacionados con el tema.**

Arroyave, G. J. P., Restrepo, S. M. V., & Vásquez, D. H. G. (2017). Se presenta una revisión bibliográfica acerca de las tendencias en el uso del caucho reciclado, incluyendo aplicaciones comercializadas y otras de estudios terminadas como de líneas de investigación en desarrollo. Las aplicaciones con mayor potencial de volumen consumido son del sector infraestructura y construcciones civiles como asfaltos, concreto y materiales aislantes para construcción liviana.

Campaña, O., Gales, S., & Guerrero, V. (2015) en sus tesis titulada “Obtención de Asfalto Modificado con Polvo Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de Automotores”, tuvo el objetivo evaluar el diseño de las mezclas asfálticas y su adición de caucho por procesos húmedo, añadiendo un 10, 15 y 20% de polvo y para el proceso seco 1, 2 y 3% de polvo, concluyendo que en la evaluación de desempeño realizado a través del módulo de rigidez y deformación el que presento el mayor ratio fue la mezcla

del 10% y la que presento que la resistencia a la fatiga sea mayor y que la mezcla aumentado un 20% aumentando en caucho procesado en húmedo.

Díaz y Castro (2017), desarrollo una investigación para obtener el título de ingeniero, titulado “Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá” su propósito fue revisar el estado de arte sobre la implementación del grano de caucho reciclado en las mezclas bituminosas y se concluyó que sin un análisis exhaustivos de costos, se pudo estimar beneficios económicos, según vida útil de los pavimentos, la sustitución por materiales reciclable, etc., asimismo, los granos de caucho en los ahuellamientos disminuyen los contenidos de vacíos de aire por un proceso de compactación la mezcla.

Cabe mencionar que las mejoras a través de la reducción de deformaciones y vacíos en la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho, pero con la necesidad de aumentar de energía en el proceso de compactación de la carpeta asfáltica; también determina la reducción de costo en la producción de mezcla asfáltica por la reutilización de caucho.

Javier Eduardo, M. F., & Castañeda Pinzón, E. A. (2019). Las carreteras están sometidas esfuerzos cada vez mayores. Así pues, diversos aditivos se añadieron a las mezclas asfálticas para mejorar el desempeño de los pavimentos. Se buscó caracterizar propiedades viscoelásticas de briquetas de asfalto modificado con caucho reciclado de llantas de automóviles en desuso y asfáltica en una misma mezcla, a distintas temperaturas y frecuencias. Se buscó optimizar las propiedades del material y brindar una solución a una problemática medioambiental. La rigidez de las muestras se analizó a través de pruebas de compresión axial. Los resultados muestran un aumento significativo de la rigidez y la elasticidad del asfalto modificado en todo el rango de temperaturas. Se debe por la adición simultánea de los dos componentes al asfalto que es una opción al elaborar carpetas asfálticas

Yee Wan, Y. V., Jorge Eliécer, C. M., & Hugo Alexander Rondón Quintana. (2016). Las mezclas asfálticas drenantes son definidas como aquellas cuyos vacíos con aire oscilan entre 20% y 25%, y emplean como ligante, un asfalto modificado con algún polímero principalmente elastomérico. Se evaluó el efecto de la temperatura de mezcla entre el asfalto modificado con GCR y el material pétreo (160 °C y 170 °C), y

las variaciones de temperatura. Metodología: Se analizó la resistencia al desgaste por abrasión y la rigidez bajo carga monotónica y cíclica que experimentó una mezcla asfáltica drenante MD fabricada con asfalto modificado con grano de caucho reciclado de llanta por vía húmeda. Como asfalto base para la elaboración de las mezclas se utilizó cemento asfáltico CA 60-70 (PG 64-22). Se apreció un aumento significativo en la resistencia al desgaste por abrasión, a la resistencia bajo carga monotónica y la rigidez bajo carga cíclica de la MD cuando se modifica con grano de caucho reciclado. Se hace hincapié en la influencia que tienen las temperaturas de mezclas entre el asfalto y el GCR, así como la de compactación sobre el comportamiento de la MD modificada con GCR.

Henry Yecid, B. C., Sosa Martínez, P. A., Nelson Rodríguez Ramírez, & Jeimy, N. C. (2018). Con el incremento de autos y con ello las cargas permitidas, se generó una motivación por mejorar la calidad de estos sistemas con el propósito de beneficiar el funcionamiento, la durabilidad y su mantenimiento de las estructuras de pavimento. Para esto el uso de polímeros en un porcentaje y combinación adecuados como modificadores de los asfaltos convencionales es más importante. De este trabajo se tuvo un resumen de los conocimientos sobre el uso de diferentes polímeros en la modificación del asfalto, clasificación y revisión de diferentes tipos de sistemas de modificación según los polímeros, entre otros. Se concluyó que la incorporación de polímeros al asfalto mejora algunas de las propiedades en comparación con el asfalto convencional, además cuando las modificaciones son binarias o multicomponentes permiten que los asfaltos resultantes mejoren sus propiedades, con limitaciones en temperatura y carga.

Para aminorar el impacto ambiental con respecto a las llantas que son desechadas, se está empleando como agregado del pavimento asfáltico para usarlo en la elaboración de mezclas asfálticas. Además, el caucho se emplea en vía húmeda o seca; el propósito era generar la reacción del caucho y asfalto. Entre los beneficios más significantes es que el caucho incrementa su volumen considerablemente, pudiéndose emplear como un envolvente (Rodríguez Castro. E. 2016).

Se empleó el método de Marshall para realizar una comparativa de la mezcla asfáltica tipo convencional con las modificadas por vía húmeda. El método mide la estabilidad, el flujo y la rigidez. Se concluyó que las mezclas modificadas con caucho y

caucho no mejoraron a diferencia de la mezcla asfáltica convencional (Clavijo Rey. C. M. y Aranda Rojas, C.A., 2014).

Para evaluar si el caucho vulcanizado que se extrae de las botas militares junto con la variación de una mezcla densa en caliente tipo 2 MDC – 2 por vía húmeda y verificar si se mejoran las propiedades mecánicas, se llevó a cabo ensayos Marshall sobre mezclas convencional y modificada en distintos porcentajes (4.5% - 6%) y de caucho (1 – 8%), se midió de igual manera las propiedades más importantes. Se concluyó que propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada mejoraron y aprovechar a un buen manejo de los residuos sólidos (Gutiérrez Ariza, D. M. y Vivas Ramírez, S. M., 2014).

Para determinar cómo se comportan mezclas asfálticas MDC-2 añadido el grano de caucho y cuero con las mezclas asfálticas elaboradas de manera convencional, se comenzó con determinar el porcentaje óptimo de asfalto para las mezclas de carácter convencional y para las mezclas con adición de caucho – cuero (1% - 4%) de asfalto por vía húmeda. Luego se realizó el ensayo Marshall en el cual se obtuvo estabilidad y flujo para cada muestra. Se concluyó que los desechos de caucho y cuero beneficia las propiedades mecánicas de la mezcla, los que se refleja con el incremento de la resistencia (Moreno Anselmi. L. A., 2013).

Con el paso de los años, la contaminación se ha incrementado y esto se debe en parte a los residuos tóxicos que son desechados sin ningún tratamiento como, por ejemplo, las llantas de vehículos, por ello con el propósito de aminorar dicha contaminación se obtuvo un modificador de polvo de neumático (CRM). El CRM en el refuerzo de asfalto es considerado una solución ya que es una reutilización de desechos. Asimismo, el polvo de neumático se puede emplear como refuerzo de pavimento de asfalto (Huha Salim. M., Asim Hassan, A., Mohamed Rehan. K., y Mahrez Abdelaziz., 2013)

Se consideró la elaboración de dos tramos con capas de rodadura elaboradas con mezclas asfálticas en caliente modificadas con polvo de caucho que se obtuvo de neumáticos fuera de uso (NFU) y se incorporó el caucho a la mezcla por vía seca. En el procedimiento de diseño se necesita los ensayos para establecer el tiempo y temperatura de digestión mínimos para lograr el grado de modificación que se necesita en el ligante para proveer buenas propiedades mecánicas. Se concluyó que el empleo

de polvo de caucho empleado en pavimentos asfálticos ayuda para el impacto ambiental (Navarro Dupre, N., 2013).

Para evaluar la incidencia de la temperatura de compactación en la resistencia mecánica (Marshall) de mezclas asfálticas en caliente que se modifican con grano de caucho reciclado (Gcr); se utilizó dos granulometrías y se compactaron en temperaturas de (120°C – 150°C). Se concluyó que el decrecimiento de la temperatura hasta 30°C ocasiono un decremento en la resistencia de las mezclas que se modificaron. Asimismo, hubo aumento de la resistencia en el momento que se compactaron a una temperatura de 10°C por debajo de la referencia. En las mezclas convencionales (sin Gcr) se experimentó una disminución lineal en su resistencia de hasta 34% (Rondón Quintana, H. A., Molano Mora. Y., y Tenjo Lancheros, A. M., 2012).

Rondón Quintana, H. A. (2011). Teniendo como referencia varias fuentes de bibliografía, se estableció los beneficios de emplear el grano de llanta molido como modificador de asfaltos. Se concluyó que el material empleado como modificador de mezclas asfálticas, se ha podido demostrar que las mezclas son más duraderas, económicas, y también aminorar el impacto ambiental negativo que se da por medio de las llantas cuando no se les da ningún tratamiento.

Agregar productos industrializados como el caucho y el plástico podría formar parte constitutiva de la estructura de un pavimento al dar a las mezclas asfálticas un menor comportamiento mecánico y en efecto una gran duración de vida. Se aplicó las 3R: reduce, reutiliza y recicla. Se tuvo como propósito principal reducir los residuos sólidos y mejorar el desempeño de los pavimentos. Se caracteriza la mezcla asfáltica con los óptimos de adición de plástico, se concluyó que las llantas usadas como mezclas asfálticas modificadas se comportan mejor que las mezcla sin modificar, lo que tuvo un decremento en el ahuellamiento del 8% y un incremento del módulo dinámico del 14% (Reyes Lizcano. F.A., Madrid Ahumada, M. F. y Salas Callejas, S. X., 2007).

Se propuso un esquema para aprovechar las llantas usadas para solucionar los problemas tales como el envejecimiento, la deformación permanente y los fisuramiento que inciden en el asfalto y carpetas asfálticas. Para la fabricación del

asfalto modificado se tuvo en consideración lo siguiente: temperatura, tiempo, entre otros. Se obtuvo que el asfalto modificado con caucho (AMC) y el asfalto modificado con caucho acondicionado (AMCA) óptimos en el proceso de la vía húmeda que cumplieron con los parámetros de selección, mejorar la recuperación elástica por torsión, asimismo, se incrementó el 100 y 300% para el AMCA y AMC respectivamente (Angulo Rodríguez, R. A. y Duarte Ayaba, J. L., 2005).

## **1.5 Objetivos de la Investigación:**

### **1.5.1 Objetivo general**

Diseñar una mezcla asfáltica adicionada con grano de caucho reciclado, mediante el proceso por vía húmeda, a fin de mejorar sus propiedades mecánicas.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

1. Comprobar que la mezcla asfáltica con asfalto R-250, grano de caucho reciclado y los agregados, aumenta su resistencia a las cargas de tránsito sin producir deformaciones.
2. Comprobar que la mezcla asfáltica con asfalto R-250, grano de caucho reciclado y los agregados, aumenta la capacidad del pavimento a resistir la desintegración debido al tránsito, clima y pérdida de cohesión.
3. Comprobar que la mezcla asfáltica con asfalto R-250, grano de caucho reciclado y los agregados, aumenta la resistencia del pavimento a ser penetrado por el agua y el aire.
4. Comprobar que la mezcla asfáltica con asfalto R-250, grano de caucho reciclado y los agregados, facilita que la mezcla asfáltica debe ser colocada y compactada.
5. Comprobar que la mezcla asfáltica con asfalto R-250, grano de caucho reciclado y los agregados, aumenta la capacidad de un pavimento a los movimientos y asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.

6. Comprobar que la mezcla asfáltica con asfalto R-250, grano de caucho reciclado y los agregados, aumenta la capacidad de un pavimento a resistir los esfuerzos provocados por el tránsito.
7. Comprobar que la mezcla asfáltica con asfalto R-250, grano de caucho reciclado y los agregados, resiste al patinaje o a la posibilidad de hidropilano

#### **1.6. Limitaciones del estudio.**

Para la presente Investigación y la recolección de datos, fueron elaborados en el laboratorio del D & J S.A.C., para el proceso de las muestras, los materiales como: piedra chancada, arena gruesa y fina, fueron traídos de las canteras del rio santa, ubicado en la localidad de Huaraz, Departamento de Ancash. Los granos de caucho reciclado se han obtenido de las rencauchadoras de Huaraz. Se elaboraron briquetas de asfalto modificado, y procesados mediante el sistema de Marshall, en base a estos resultados, se ha tenido conocimiento el porcentaje de incorporación a la mezcla, en base a estos resultados se han realizado los cálculos de costos y obtener el valor real de la mezcla asfáltica.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Marco histórico**

##### **2.1.1 Historia del Asfalto**

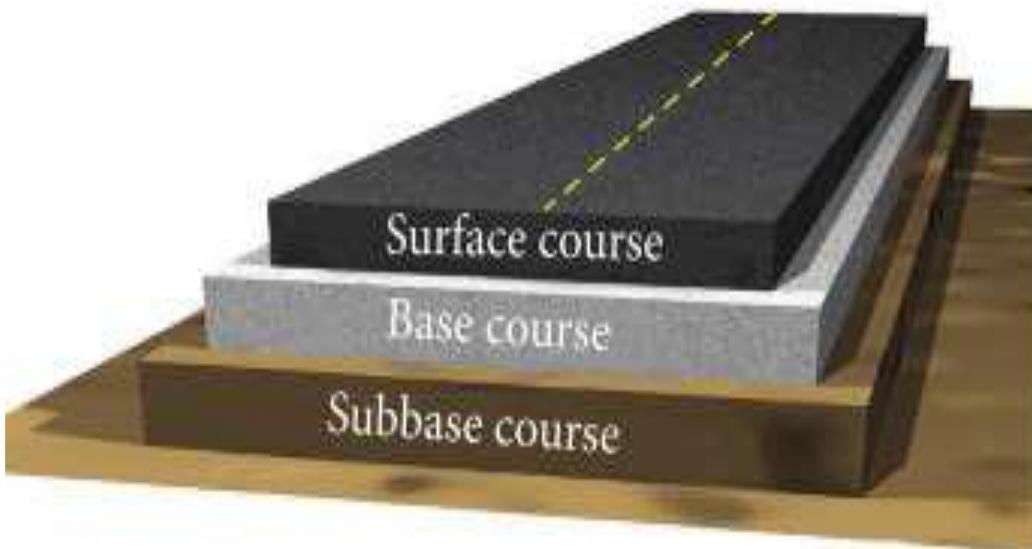
El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos. La palabra asfalto, deriva del acadio desde los años 1400 y 600 A.C. Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

En el sector de la construcción, se remonta al año 3200 A.C. excavaciones efectuadas en TellAsmer, se utilizaba en la pega de ladrillo, en la realización de pavimentos interiores, etc. Los egipcios encontraron otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de modificación, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C.

El betún natural se descubrió en el siglo XVI, en la isla de Trinidad, por Cristóbal Colon. En 1712 se descubrió el yacimiento de asfalto de Val de Travers en

Suiza se elaboró el “mastic de asfalto”, que se aplica a revestimiento de caminos y senderos.

En 1824, la firma Pillot et Eyquem empieza con la elaboración de adoquines de asfalto. El “asfalto” se implantó en las vías urbanas y propició su uso vial. Desde el año 1902, empieza el uso de asfaltos destilados de petróleo en los Estados Unidos, la cual, por su pureza y económica en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento. En México se realizaron distintas pruebas con varios materiales para ser empleados en riesgos superficiales y profundos. Las emulsiones asfálticas se usaron por primera vez en las carreteras en los años treinta, pero fue hasta los años setenta por la crisis energética que incrementaron los estudios de materiales asfálticos llamados emulsiones.



*Figura 1. Estructura típica de pavimento flexible*  
Fuente: Adaptado de Nuba et. al. (2013).

## **2.2. Diseño de mezclas asfálticas en caliente.**

### **2.2.1. Características y comportamiento de la mezcla.**

El Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, es preparada en el laboratorio se debe de analizar para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia en el comportamiento de la mezcla, se clasifican en:

---

N°	Características de la Mezcla
1	Densidad de la mezcla
2	Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
3	Vacíos en el agregado mineral.
4	Contenido de asfalto.

---

Fuente: Asphalt Institute MS – 22 en el Cap. 3, pag. 57

#### **2.2.1.1. Densidad de la mezcla**

Se define a la mezcla compactada como una densidad como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La característica relevante es tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento excelente.

Las unidades de la densidad se expresan en kilogramo por metro cubico. La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, este factor es para determinar la densidad del pavimento adecuada. Las especificaciones requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje analizado en el laboratorio, dado que con la compactación in situ no siempre se obtiene las densidades reales.

#### **2.2.1.2. Vacíos de aire (o simplemente vacíos)**

Son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Las mezclas deben ser densamente graduadas que contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir, la compactación adicional bajo el tráfico bajo y alto, y proporcionar espacios donde

pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos, para capas de base y capas superficiales esta entre 3% y 5%, dependiendo del diseño específico.

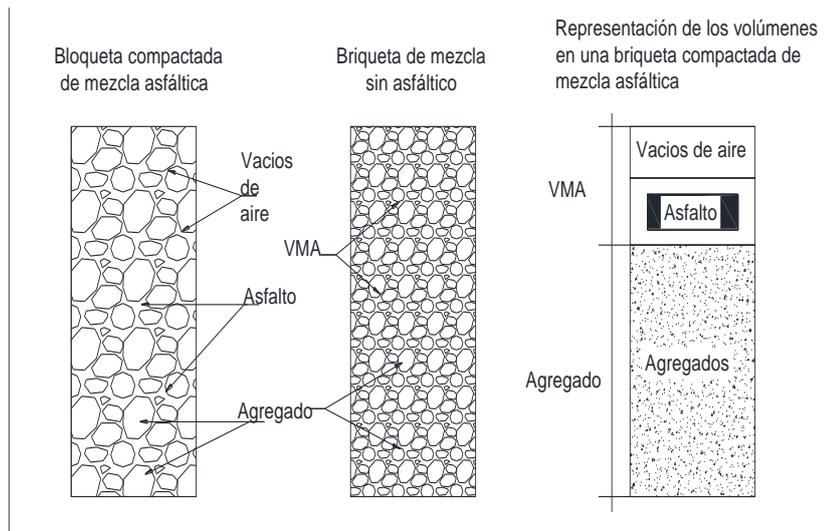
La durabilidad está en función del contenido de vacíos. A menor vacío, menor será la permeabilidad de la mezcla. Un contenido muy alto de vacíos proporciona pasajes, por medio de la mezcla, donde se facilita el agua aire, y causa su deterioro. A menor contenido de vacío menor a la convencional producen exudación del asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

Mientras que densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados entre sí, siendo la más alta la densidad menor es el % de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible de vacíos: preferiblemente menos del 8%.

#### **2.2.1.3. Vacíos en el agregado mineral**

Estos son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El cual representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea los vacíos en el agregado de mineral, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos, para vacíos en el agregado de mineral los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más grueso sea la película de asfalto que cubre las partículas del agregado, más durables será la mezcla. La Figura N° 1, ilustra el concepto de vacíos de agregado mineral y la Tabla N° 1. Presenta los valores requeridos.



**Figura 2. Vacíos en el agregado Mineral.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 1. Ilustración los vacíos en agregado del mineral.**

Tamaño Máximo en mm Porcentaje		VMA mínimo, por ciento		
		----- Vacíos de Diseño, por ciento		
Mm	in	3.0	4.0	5.0
1.15	Nº 16	21.5	22.5	23.5
2,36	Nº 8	19.0	20.0	21.0
4.75	Nº 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8"	14.0	15.0	16.0
12.5	½"	13.0	14.0	15.0
19.0	¾	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

Especificación Normal para Tamaños de tamices usados en pruebas ASTM E 1.1 (AASHTO M 92).

El tamaño máximo nominal de partículas es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más de 10 por ciento del material.

Interviene el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentran entre los que están citados.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto.

#### **2.2.1.4. Contenido de asfalto**

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasa a través del tamiz de 0.075 mm (N° 200)). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe

a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

### **2.2.2. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas**

De acuerdo al Instituto del Asfalto (1982) las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

#### **2.2.2.1. Estabilidad**

La estabilidad de la mezcla es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla

ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

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

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. **Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.** Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una

película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas.

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento. La Tabla 2, enuncia varias de estas causas y efectos.

**Tabla 2. Causas y efectos de inestabilidad en los pavimentos**

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; Dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua	Películas de asfalto se desprenden

(Hidrofilitos) del agregado dejando un  
 pavimento desgastado o  
 desintegrado

---

### 2.2.2.2. La impermeabilidad

La impermeabilidad de una mezcla asfáltica, consiste en la resistencia que esta ejerce al paso de aire y agua hacia su interior, esta característica se relaciona con el contenido de vacíos de la mezcla compactada y aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de una mezcla asfáltica, la naturaleza de estos vacíos es más importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad, esto es aceptable siempre y cuando la permeabilidad este dentro de los límites especificados.

*Tabla 3. Causas y efectos de la permeabilidad*

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causaran tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la Mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación. Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

### 2.2.2.3. Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita como la facilidad con que una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada, puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado o la granulometría.

Las mezclas gruesas tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezcla de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable, en tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla adecuada cumpla con los otros criterios del diseño tales como: contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad, debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna, el agregado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

***Tabla 4. Causas y efectos de problemas en la Trabajabilidad.***

<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Tamaño máximo de particular grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.

Demasiada arena de tamaño medio compactadora y permanece tierna o blanda.	La mezcla se desplaza bajo la
Bajo contenido de relleno mineral permeable	Mezcla tierna, altamente
Alto contenido de relleno mineral.	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

---

#### **2.2.2.4. La flexibilidad**

La flexibilidad consiste en la capacidad de una mezcla asfáltica para acomodarse, sin que se agriete, frente a movimientos y asentamientos graduales de la sub rasante, además es una característica deseable en toda mezcla asfáltica, debido a que virtualmente todas las sub rasantes se asientan bajo cargas o se expanden por expansión del suelo.

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es generalmente más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto, algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

#### **2.2.6. La resistencia a la Fatiga**

La resistencia a la fatiga de una mezcla, consiste en la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito, se ha demostrado por medio de la investigación que los vacíos relacionados con el contenido de asfalto y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia de la fatiga, a medida que el porcentaje de vacíos en una mezcla aumenta, ya sea por el diseño o por la falta de compactación, la resistencia a la fatiga de la mezcla disminuye así mismo.

Una mezcla que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento y la capacidad de soporte de la sub rasante, tiene mucho que ver con la vida del pavimento y con la previsión del agrietamiento asociado a la carga de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre sub rasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre sub rasante débiles.

### **2.2.7. La resistencia al deslizamiento.**

La resistencia al deslizamiento, consiste en la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento. La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda galvanizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie de pavimento y a una velocidad de 65 km./h, (40 mi. /h.).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm, (3/8”) o a 12.5 mm (1/2”). Además de tener una superficie áspera los agregados deben resistir el pulimento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento, con respecto de los agregados silíceos. La mezcla inestable que tiende a deformarse o exudar flujos de asfalto a la superficie presenta problemas graves de resistencia al deslizamiento.

### **2.2.8. Grano de Caucho Reciclado.**

El caucho es un polímero amorfo en su naturaleza son insaturados, cuyo proceso de obtención es a través de ser llevados a vulcanización. En el cual adquiere una forma reticulada. Las composiciones principales de las llantas básicamente son de caucho natural y sintético (SBS, SBR) así como el negro humo. Así mismo se sabe

que los automóviles poseen un aproximado de 16% de caucho natural y por otra parte poseen el 31% de caucho sintético.



**Figura 3. Grano de caucho reciclado**

**Fuente: Elaboración Propia**

Anteriormente se creía que existían diferentes tipos de neumáticos o porciones que son producidos de un mejor material para la mezcla con aglutinante de asfalto. Sin embargo, hoy en día los neumáticos modernos como los camiones y turismo y otros, muestran pocas diferencias. Existen una ligera diferencia o porcentaje del caucho sintético y natural, pero en esto no existe o causa diferencias para el rendimiento aglutinante RTR modificado. (Department of Transportation -Federal Highway Administration, 2014, pag. 4.

Al neumático se puede desmenuzar mediante dos fases. Al culminar la primera fase, el caucho triturado sus dimensiones debe estar entre 100 – 230 mm de ancho y 300 – 430 mm de largo. Para la fase numero dos su longitud variara a 100 – 150 mm. Si los procesos de la trituración se prolongan, y se consigue las partículas de 13 – 16 mm en longitudes, se le conoce como partículas trituradas. (Soft, 2018, pzg. 20).

## Características

El grano de caucho reciclado cuando es vulcanizado, estos pueden llegar a ser muy duraderos, por esta característica tan peculiar es que mucho tiempo en su degradación.

*Tabla 5. Composición y características entre automóviles y camiones.*

Composición características	Autos camionetas	Camiones	buses
Caucho natural	14%	27%	
Caucho sintético	27%	14%	
Negro de humo 28%	14 - 15%	28%	
Acero	16 - 17%	14 – 15%	
Fibra textil, suavizantes	8.6. kg	16 – 17 kg	
Peso promedio	0.06	45.5 kg	
Volumen		0.36 kg	

Fuente: Rubber Manufacturers Association

Los reciclados de los neumáticos se pueden dar sin ser procesados industrialmente. Para ser llevados a una reducción de tamaño los métodos varían totalmente mecánicos, que al ser combinados con agentes químicos o térmicos. En la actualidad las fragmentaciones de la molienda se usan en la fabricación de alfombras, suelas de zapatos, aislante de vehículos.

En el campo de construcción vial se ha empleado en la fabricación de objetos de seguridad y pantallas de ruidos, mientras se muestra más extensa se llevó a ser usado en la mezcla asfáltica, ya que estos reaccionan a condiciones sometidas, en el cual el beneficio va en su gran aporte a resistencia y la tensión así mismo a la fatiga.

## Granulometría del material

La dimensión de las moléculas del grano de caucho reciclado, provenientes de los neumáticos en desuso, van a ser usados como modificadores de la mezcla asfáltica, deben de ser menores a 6.3.mm, según Tortun (2005), así mismo el tamaño es de suma

importancia para el comportamiento que se obtendrá de la mezcla asfáltica, (Rondón, Reyes, 2015, pag. 347).



*Figura 4. Granulometría del Grano de Caucho reciclado.*

Fuente: Propia.

### **2.3. PROCESO POR VÍA HÚMEDA.**

La manera de incorporar el polvo de caucho a las mezclas asfáltica por adición previa al cemento asfáltico es conocido como “vía húmeda”. En dicha vía se elaboran los ligantes al añadir polvo de caucho a un cemento asfáltico. En el momento que el polvo de caucho se añade a un asfalto a alta temperatura, las partículas de caucho se reblandecen, y se logra absorben los componentes más ligeros del betún y se hinchan.

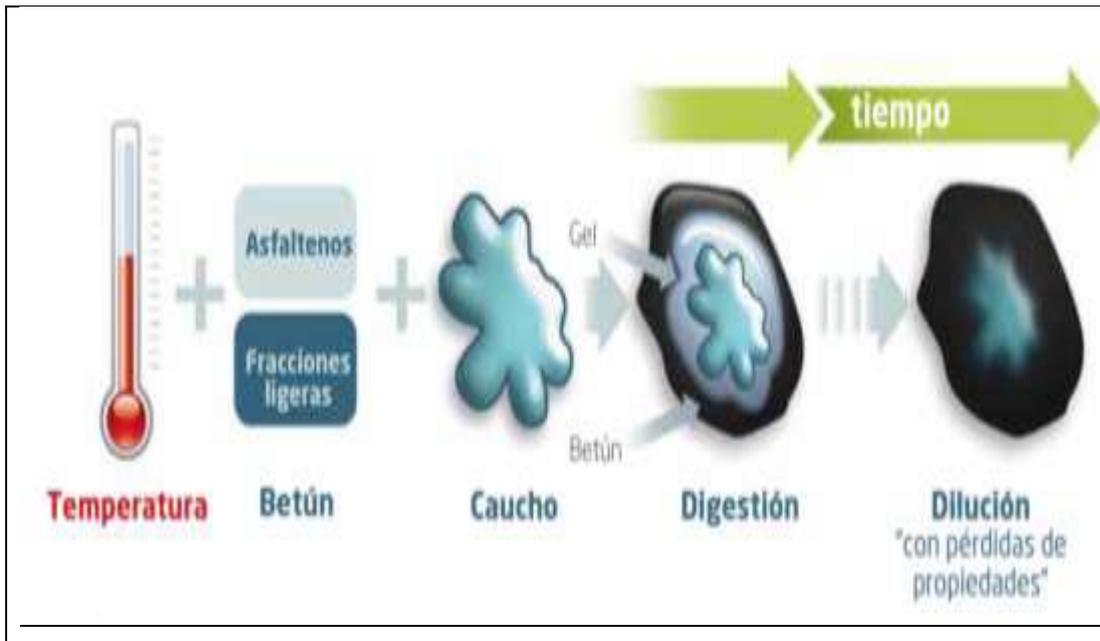
Cuando se hinchan se aminora la distancia entre partículas y el ligante se vuelve más viscoso. Se suele denominar a este tipo de fenómeno maduración. El proceso es controlado a través de la medida de la viscosidad del ligante. (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2007).



*Figura 5. Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho por vía húmeda. Adaptado de Bermejo (2010).*

Fuente: Adaptado de Bermejo (2010).

Cuando interactúa betún-caucho las partículas de caucho se hinchan por absorber las fracciones aromáticas. En la partícula de caucho se forma un “gel” que se desprende debido a que se agita a la vez que se realiza la integración en el betún. Cuando temperatura se prolonga, la partícula de caucho podría desaparecer en el seno del betún (Bermejo, Gallego y Saiz, 2014). Tal como se muestra a continuación:



**Figura 6. Evolución de la interacción betún - caucho. Adaptado de Bermejo, Gallego y Saiz (2014).**

Fuente: Adaptado de Bermejo, Gallego y Saiz (2014).

## 2.4. MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL

### Antecedentes

El método Marshall para diseño de mezclas asfálticas fue desarrollado por Bruce Marshall, ex ingeniero de bitúmenes del departamento de carreteras del estado de Mississippi.

El ensayo Marshall, surgió de una investigación iniciada por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos, en 1943, varios métodos para el diseño y control de mezcla asfáltica fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

El Método de Diseño Marshall permitió establecer mediante la elaboración y compactación de especímenes de mezcla asfáltica para pavimentación, el diseño de una mezcla asfáltica y realizar un cálculo de sus distintos parámetros. Los parámetros

son: estabilidad, fluidez, densidad, etc. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

El diseño de una mezcla asfáltica se selecciona una granulometría y un porcentaje de asfalto para cumplir las propiedades que se pretende. Los métodos de dosificación determinan el porcentaje de asfalto óptimo para una combinación de agregados de según las propiedades.

Antes del diseño de la mezcla, los materiales deben ser analizados para saber formarían parte del pavimento que se pretende construir. El Método Marshall se aplica a mezclas en caliente con cementos asfálticos junto con los agregados con tamaño igual o inferior a 25 mm. Se emplea para el diseño en laboratorio y en el control de la mezcla en el terreno

Los ensayos de estabilidad y flujo deben constar de la media de al menos tres probetas según el aumento de contenido de asfalto. Las mezclas densas por lo usual muestran un máximo en estabilidad a cierto contenido de asfalto.

Las probetas son preparadas según el procedimiento de calentamiento, mezclados y compactación, sus temperaturas varían según el cemento asfáltico que emplee para la elaboración de las probetas. Para compactarlo en los moldes se lleva a cabo por medio del martillo Marshall.

Las características más relevantes son la siguiente: flujo y estabilidad. La estabilidad es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga de 50 mm/min. El flujo es una medida a la deformación de la mezcla bituminosa que se establece en el ensayo de estabilidad.

Se obtienen valores del ensayo Marshall de índice de Compactibilidad. Gravedad Específica máxima Rice, entre otros. Según los requisitos se obtuvo el porcentaje óptimo de asfalto y la mezcla de agregados que garantizarían una buena estructura.

#### **2.4.1 Preparación para el ensayo Marshall**

El primer paso en el método de diseño, es determinar las cualidades: **estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, resistencia al**

**deslizamiento, resistencia a la fatiga**, que debe tener la mezcla asfáltica y seleccionar un tipo de agregado y un tipo de asfalto compatible que pueda combinarse para producir esas cualidades.

#### **2.4.1.1 Selección de las muestras de material**

Se reúnen muestras de asfalto y del agregado que se usaran en la mezcla asfáltica.

#### **2.4.1.2 Preparación de agregados**

Se identificará las características de los agregados, secando el agregado para determinar su peso específico, como también efectuar un análisis granulométrico por lavado.

##### **a) Secando el agregado**

El método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tanto como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos.

Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado y se calienta en un horno a una temperatura de 110°C (230 °F).

##### **b) Análisis granulométrico por la vía húmeda**

El análisis granulométrico por la vía húmeda identifica las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Todo ello es relevante ya que según sus especificaciones estipulan las proporciones de partículas de agregado de distintos tamaños generando la mezcla en caliente junto a las características que se desea.

##### **c) Determinación del peso específico**

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado determina una referencia para la medición de pesos específicos que se necesitan para determinar las proporciones del agregado - asfalto y vacíos que se usaran.

#### **2.3.1.3 Preparación de las probetas**

Las probetas a emplear en las mezclas asfálticas, se preparan de tal manera que contenga una cantidad distinta de asfalto, el margen de contenido de asfalto se

determina según experiencia previa con los agregados de la mezcla. El margen lo brinda el laboratorio para establecer con exactitud el asfalto en la mezcla final.

La proporción de agregado en las mezclas se formula por los resultados del análisis granulométrico.

Para obtener un excelente reparto del polvo de caucho, se prolonga el tiempo a la hora de mezclar por treinta segundos luego de conseguir la envoltura los agregados. Si en caso no llegara a envolverse completamente con los agregados puede ser por una falla en el contenido de ligante, baja temperatura en el mezclado, mucha cantidad de finos, para ello se modifica la granulometría.

#### - Compactación

Las probetas se mantienen hasta que la mezcla este a temperatura ambiente (cuatro horas). Se generan des compactaciones si en caso se llegan a desmoldar antes del tiempo indicado. Las temperaturas en la compactación son entre 135 y 160°C.

Para la vía seca, se determina el tiempo de digestión previo a la compactación. Por eso elaboran probetas a diferentes temperaturas y tiempos. Por lo usual las densidades se logran estabilizar a los 45 min.

#### - Ensayos Mecánicos

El gran contenido de ligante, podría generar deformaciones Marshall en las mezclas bituminosas con polvo de caucho. Por ello, seria pertinente cambiar el parámetro de deformación aumentando en 0.5 mm.

El óptimo de ligante es el contenido que cumple los criterios volumétricos. Para las mezclas bituminosas semidensas y densas elaboradas con ligantes tradicional, se realiza un ensayo de asfalto con polvo de caucho, pues de esta forma se establece si los altos contenidos de asfalto que se emplean son válidos.

En mezclas semidensas, densas y discontinuas, la resistencia a la acción del agua se evalúa con un ensayo de inmersión – comprensión con pérdidas de resistencia menores a 25%.

En la dosificación de mezclas por vía seca se establece un periodo de digestión, según las variaciones en los ensayos descritos.

### 2.3.2 Procedimiento del ensayo Marshall

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia, el análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

- Ensayo Inmersión – Compresión

El ensayo de Inmersión-Compresión determina el efecto del agua a la pérdida de resistencia a la compresión de mezclas asfálticas compactadas que contiene cemento asfáltico. La pérdida se le denomina “Índice de resistencia retenida”, que se obtiene cuando se compara las medias de las resistencias a compresión simple de probetas secas y probetas húmedas. Para el ensayo se debe realizar lo siguiente:

- Medir la resistencia a compresión de mezclas asfálticas compactadas.
- Determinar el efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas.

Se tuvo en consideración el Manual de Ensayo de Material para la elaboración de probetas y determinar la resistencia a compresión simple: también para acondicionar las probetas, así como también para el cálculo del Índice de resistencia retenida de la mezcla.

Se necesita mínimo seis probetas cilíndricas que se compactar por compresión. Para compactarlo es a través de un doble embolo, hasta una carga máxima de compresión de 20.7 Mpa y velocidad uniforme.

Para acondicionar las probetas previo al ensayo, se dividen en dos grupos de tres especímenes, las primeras a una temperatura de 25 +/- 1°C mediante un baño de aire por cuatro horas; mientras el otro grupo, se sumerge en agua a una temperatura de 60°C por 24 horas, después se realiza una transferencia al segundo baño de agua con una temperatura de 25°C. Ambos grupos se evalúan en compresión axial con una velocidad de deformación de 5.08 mm/min.

La resistencia a compresión simple del primer grupo es R1 y la del segundo es R2. El índice de resistencia Retenida (R) se calcula como:

$$R = \frac{R_2}{R_1} \times 100\%$$

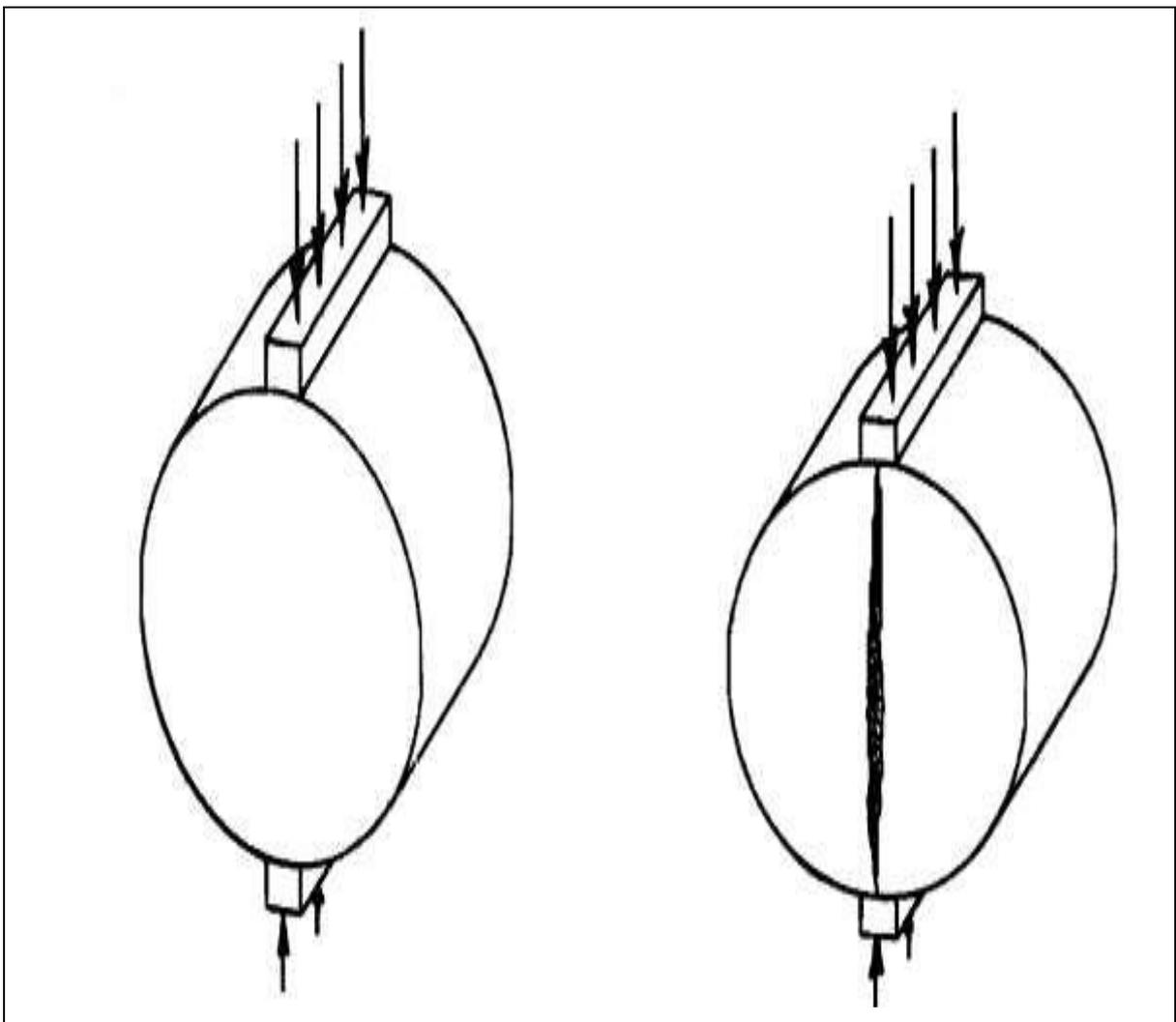
### **Ensayos de caracterización y desempeño de las mezclas asfálticas.**

Para realizar una comparativa de las características de la mezcla convencional y la mezcla que se modificó con caucho se realiza lo siguiente:

#### **Resistencia a compresión diametral de mezclas bituminosas.**

Para calcular la resistencia de mezclas asfálticas empleadas se tiene como referencia la Norma de Resistencia a Compresión Diametral de mezclas bituminosas.

Se deforma por compresión diametral a una probeta cilíndrica situada horizontalmente en los platos de una prensa, en el cual la medición de la carga de rotura es el parámetro tal como está en la Figura 7.



(a) Carga de compresión aplicada

(b) Rotura del espécimen en tensión

***Figura 7. Carga y falla de la prueba de tracción indirecta.***

Fuente: Adaptado de Kennedy (1983).

El ensayo definió un parámetro que caracteriza a la mezcla asfáltica y optimiza, según el contenido de ligante, la cohesión de la mezcla y su resistencia al esfuerzo cortante.

El proceso de compactación de la probeta se realiza según características de la mezcla y del ligante asfáltico, y realiza mediante impacto (Marshall), amasado cizallamiento, etc. Las probetas se miden y pesan, para después acondicionarlas en un baño termostático regulado a temperatura ambiente por seis horas.

El equipo Marshall aplica una velocidad de deformación de 50,8 mm/min., equipado con la prensa Lottman.

La resistencia de una probeta se calcula con sigue:

$$R_{\tau} = \frac{2P}{\pi dh}$$

Dónde:

$R_{\tau}$  = Resistencia a compresión diametral, MPa.

P = carga máxima de rotura, N.

h = altura de la probeta, mm.

d = diámetro de la probeta, mm.

## **Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.**

Empleando la prueba de tracción indirecta, se analiza la susceptibilidad de las mezclas asfálticas, se determinó la Razón de Esfuerzo a Tensión (TSR), teniendo en consideración las normas AASHTO T283.

La susceptibilidad de daño por humedad se establece elaborando un grupo de especímenes compactados en el laboratorio. Se divide en dos grupos con vacíos iguales. Un grupo se mantiene en seco y el otro se satura con agua. La resistencia a la tracción se establece por la prueba de tracción indirecta. El potencial de daño por humedad se indica por la resistencia a la tensión entre el grupo húmedo y seco.

Las probetas se compactan por impacto para obtener de 6% a 8% de vacíos, mediante un ajuste del número de golpes en la compactación Marshall. Se divide las seis probetas en dos grupos de tres.

Para acondicionar un grupo se debe mantener a una temperatura ambiente; el otro grupo se satura (55% a 80%) en una cámara de vacío y luego se mantienen en inmersión en un baño de agua a una temperatura de 60°C durante 24 horas.

El ensayo a tracción indirecta se realiza con el equipo Marshall. La probeta se ensaya hasta alcanzar la carga diametral de compresión máxima.

La resistencia a la tracción indirecta de cada probeta (ITS) se calcula como continua:

$$ITS = \frac{2P}{\pi Dh}$$

Dónde:

ITS: Resistencia a la tracción indirecta de la probeta (MPa).

P: Carga Máxima (N).

D: Diámetro medio de la probeta (mm).

h: Altura media de la probeta (mm).

Luego, la resistencia a tracción indirecta tras inmersión de la mezcla asfáltica, (ITSR), se calcula con las probetas en húmedo (ITS<sub>w</sub>) tal como figura:

$$ITSR = \frac{ITS_w}{ITS_d} \%$$

### **Caracterización de las mezclas bituminosas por medio del Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste.**

Al aplicar las mezclas asfálticas en caliente a las mezclas porosas; el ensayo valora la cohesión, trabazón y la resistencia a la disgregación de la mezcla según los efectos abrasivos y de succión generados por el tráfico.

Se alistan por lo menos 4 probetas para cada contenido de ligante que se ensaya. La energía de compactación de la mezcla será de 50 golpes por cara. Cuando se desmolda, se establece su densidad y contenido de vacíos mediante la medida geométrica de su volumen y densidad de los materiales.

Previo al ensayo las probetas están a temperatura de ensayo con su masa (P1). Se induce una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles, se gira el tambor de 30 a 33 rpm, por 300 vueltas. Al finalizar el ensayo, se retira la probeta (P2).

El valor de la pérdida es como sigue:

$$P = \frac{P1 - P2}{p1} \times 100$$

Dónde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %.

P1 = Masa inicial de la probeta, en gramos.

P2 = Masa final de la probeta, en gramos.

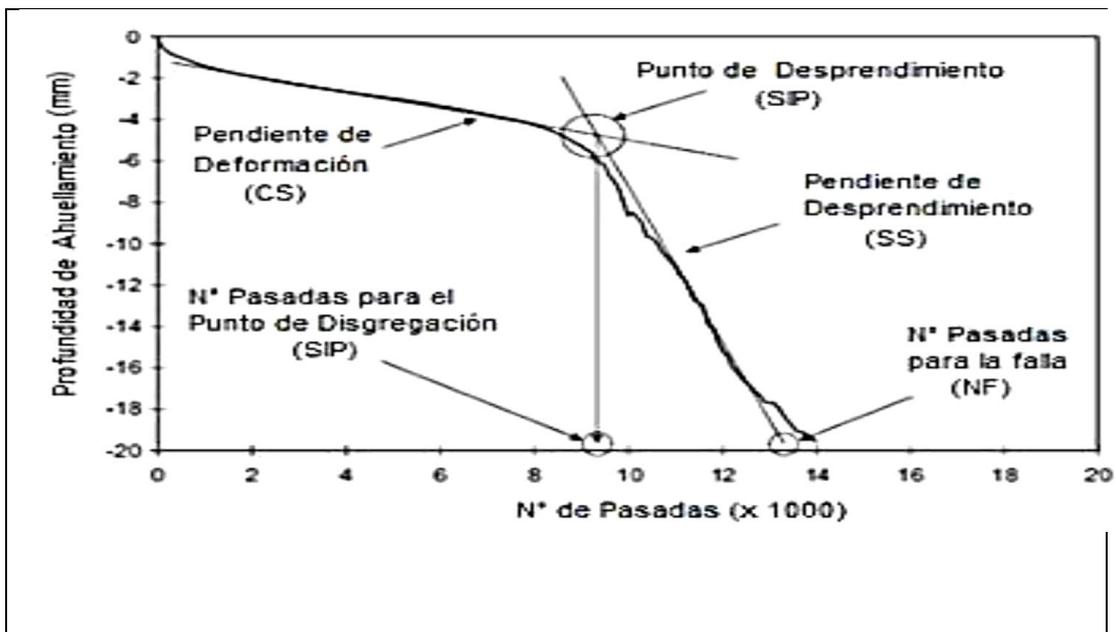
### **Ensayo de ahuellamiento de mezclas asfálticas en caliente por medio del equipo de Rueda de Hamburgo.**

Para evaluar la susceptibilidad a la deformación permanente y el daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente se determina se tiene como referencia la norma AASHTO T324 (2014).

La metodología se emplea para determinación de la susceptibilidad a la falla prematura de la mezcla asfáltica en caliente por la debilidad de la estructura de agregado. La metodología mide la profundidad de la huella y el número de pasadas a la falla.

Se somete especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica en caliente de distintos espesores y diámetros; se sumerge en un baño de agua a una temperatura controlada de 50 °C. Después se carga empleando una llanta de acero que oscila en condiciones sumergidas en agua, donde la rueda girara aproximadamente 52 pasadas por minuto sobre la probeta. Se debe tener en cuenta lo siguiente: lograr 20000 pasadas de rueda y lo otro es lograra la profundidad de ahuellamiento de 12.5 mm. Al incremento la deformación ocasionaría un desprendimiento de la película de ligante asfaltico que recubre las partículas del agregado.

El parámetro de la resistencia a la deformación plástica es la profundidad de la huella de la rueda. Por otro lado, para la susceptibilidad a la humedad, el parámetro indicador es donde se da el desprendimiento de la película de asfalto que recubre las partículas de agregado (SIP)”. Aquí inicia el ataque del agua en la mezcla asfáltica, afectándola adherencia entre el agregado y el asfalto, se representa en la siguiente Figura 8.



**Figura 8. Profundidad de ahuellamiento vs número de pasadas de la rueda.**

Fuente: Adaptado de Norma AASHTO T324 (2014).

Para caracterizar las mezclas asfálticas según su resistencia a la deformación plástica acumulada, tener en cuenta lo que pasa del SIP. Las deformaciones generadas luego de este punto son por el desprendimiento del agregado sin aporte de ligante.

El SIP, se establece según el segundo cambio de curvatura en la curva, y su cálculo es como continua:

$$SIP = \frac{\text{Intercección al eje curca (SS)} - \text{Intercección al eje (CS)}}{\text{Pendiente CS} - \text{Pendiente SS}} \times [\text{N}^\circ \text{ Pasadas}]$$

Dónde:

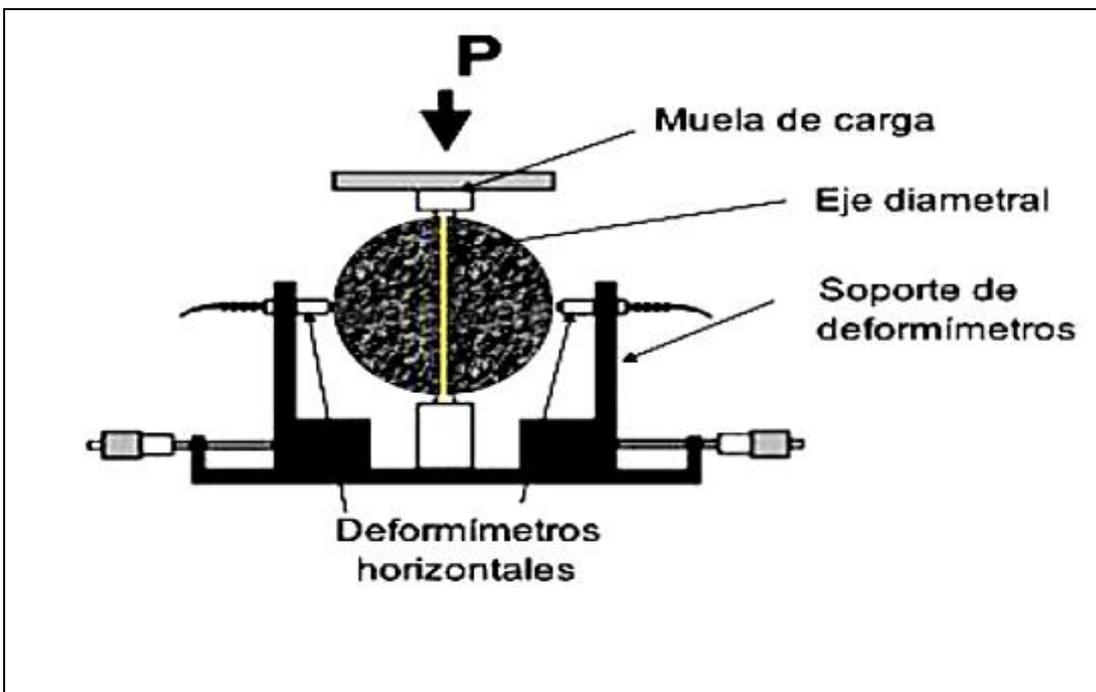
- N° Pasadas: Número de pasadas de la rueda en la falla.
- Velocidades de deformación antes y después del punto de desprendimiento (mm/1000 pasadas de rueda).
- Pendiente de deformación o Creep Slope (CS): pendiente luego de la consolidación por el ahuellamiento.
- Pendiente de desprendimiento o Strip Slope (SS): pendiente típica de la deformación y desprendimiento del material granular sin ligante.

**Determinación del módulo resiliente a la tensión indirecta de mezclas bituminosas.**

El módulo resiliente representa el módulo elástico de una mezcla asfáltica después de aplicar cargas a tensión indirecta. Para establecer el valor, se tiene como referencia a la norma AASHTO TP31 (1996).

Se mide el módulo elasticidad. Los valores que se obtienen del módulo resiliente se usan en los modelos de análisis de la respuesta estructural y calcular la respuesta ante cargas de tránsito.

El ensayo de tensión indirecta de mezclas bituminosas de carga repetida en núcleos se conduce por medio de cargas de compresión con curvas de forma haversiana. La carga de compresión se aplica en un plano diametral vertical de un núcleo cilíndrico de mezcla asfáltica en caliente como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9. Montaje del Ensayo.**

Fuente: Adaptado de Norma AASHTO TP31 (1996).

Se ensaya los especímenes moldeados, los mismos que deben cumplir con una altura (38 mm - 76 mm), diámetro (97.8 mm - 105.4 mm) y temperatura (5 °C - 40 °C) antes de acondicionar las probetas por 3 horas. Después, es colocado en la máquina de ensayo ajustando los deformímetros horizontales donde se aplican ciclos de pre acondicionamiento, luego se aplican un mínimo de 30 pulsos de carga y se emplean los 5 últimos para los cálculos (ver Figura 10). En el ensayo, la probeta se sujeta a un esfuerzo dinámico cíclico (90%) y un esfuerzo constante (10%). La respuesta de las

deformaciones horizontales de la probeta se mide para realizar el cálculo de 2 módulos resilientes, el instantáneo y el total (MRI y el Mrt, respectivamente). Se calcula como se muestra a continuación:

$$MRI = P \frac{\mu RI + 0.27}{t \Delta HI}$$

$$MRT = P \frac{\mu RT + 0.27}{t \Delta HT}$$

Dónde:

MRI = módulo resiliente instantáneo de elasticidad, MPa (lb/pulg<sup>2</sup>),

MRT = módulo resiliente total de elasticidad, MPa (lb/pulg<sup>2</sup>),

$\mu$  RI = relación de Poisson resiliente instantánea,

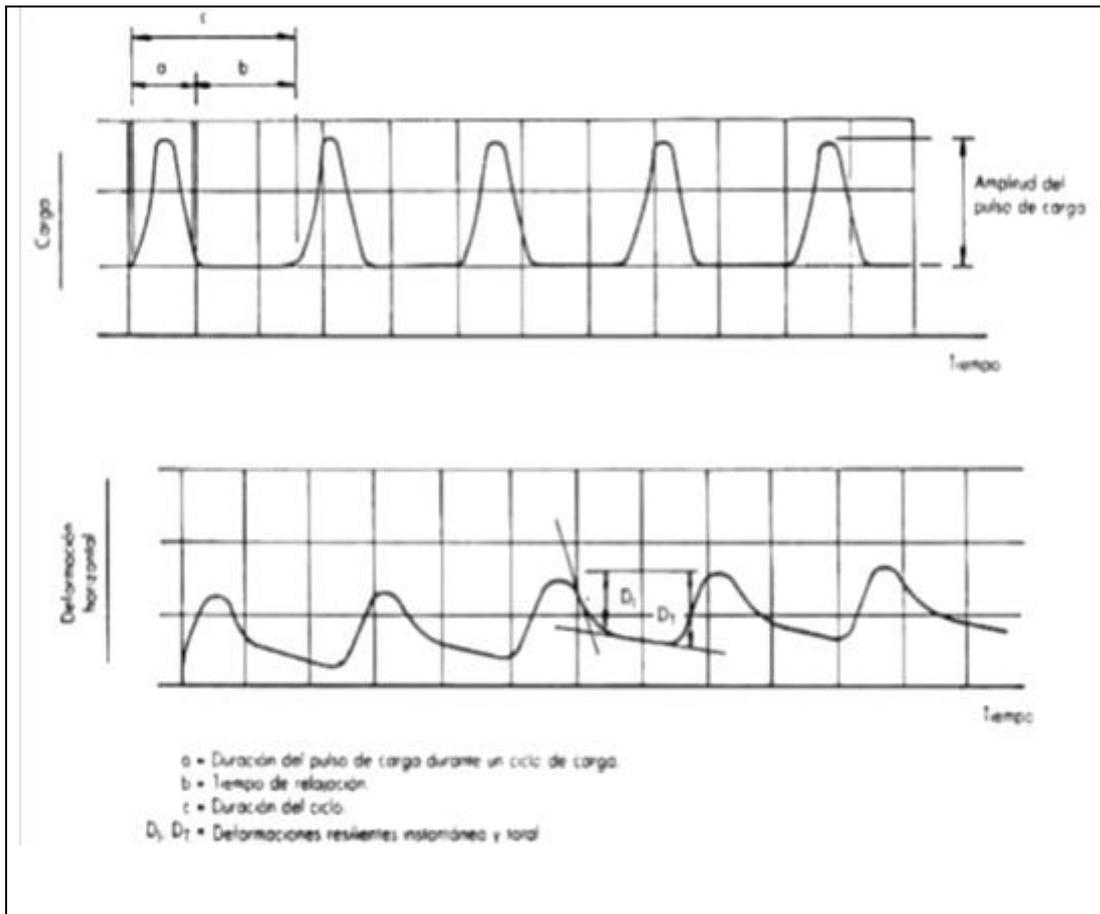
$\mu$ RT = relación de Poisson resiliente total,

P = carga repetida, N (lb),

t = espesor de la probeta, mm (pulg),

$\Delta$ HI = deformación horizontal instantánea recuperable mm (pulg),

$\Delta$ HT = deformación total horizontal recuperable; mm (pulg).



**Figura 10. Carga típica y deformación vs. Relaciones de tiempo para ensayo de tensión indirecta con carga repetida.**

Fuente: Adaptado de Norma AASHTO TP31 (1996).

### **Análisis estadístico**

#### **Prueba de Hipótesis**

Según Moya y Saravia (1988) la prueba de hipótesis estadística es una de las áreas más relevante para tomar decisiones. La hipótesis estadística es la afirmación que se realiza de la distribución de una o más variables aleatorias.

Según los valores del experimento nos lleva a aceptar o rechazar la hipótesis. Conocidas también como hipótesis nula ( $H_0$ ) que representa lo que se desea llevar a cabo y la Hipótesis alternativa ( $H_1$ ) es lo opuesto a lo que se desea llevar a cabo. Las pruebas para formular  $H_0$  y  $H_1$  son las siguientes:

a) Prueba de una cola:

- Prueba de cola inferior: se utiliza cuando existe evidencia que el parámetro es diferente e inferior  $\theta_0$ . La hipótesis se representa como sigue:  $H_1: \theta = \theta_0$ ;  $H_i: \theta < \theta_0$
- Prueba de cola superior; se utiliza en problemas cuando el parámetro es distinto y mayor al valor postulado. Las hipótesis se presentan como sigue:  $H: \theta = \theta_0$ ;  $H_1: \theta > \theta_0$

b) Prueba de dos colas; se utiliza cuando el valor que se prueba es falso; por lo que los otros valores son posibles. Se representa como continua:

$$: \theta =; H_1: \theta \neq \theta_0$$

### Prueba de hipótesis sobre la diferencia entre medias

Según Moya y Saravia (1988) determinan si hay diferencia significativa entre las medias  $\mu_x$  y  $\mu_y$  de dos poblaciones para ello se necesitan dos muestras. La hipótesis nula se representa como continua:

$$: \mu_x - \mu_y = 0; \quad H_1: \mu_x - \mu_y \neq 0$$

### Distribución "T" de Student

La prueba t-Student permite estimar la media de una población que se distribuye de manera normal cuando el tamaño de la muestra es menor a 30. Para la prueba de hipótesis se representa como continua

:

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{(n-1)S_2x + (m-1)S_2y}} \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}}$$

Dónde:

T: probabilidad de la distribución t Student

$n + m - 2$ : Grados de libertad.

$\bar{X}$  : Media muestral.

$n$ ;  $m$ : Tamaño de las muestras.

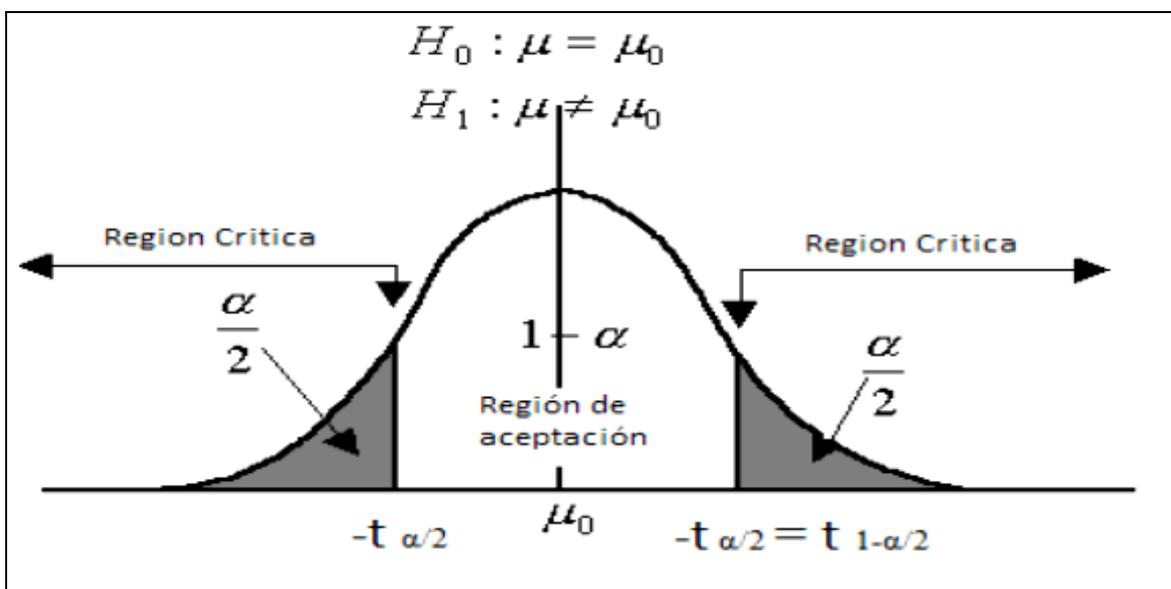
$Sx^2$ ;  $Sy^2$ : Varianza muestral.

$t_{\alpha/2}$ : Valor Crítico (hallar de la tabla de probabilidad  $t$ )

Cuando la hipótesis alternativa es:  $H_0 : \mu_x - \mu_y \neq 0$ , la región crítica se determina obteniendo los valores  $-t_{\alpha/2}$  y  $t_{\alpha/2}$  tal que:

$$P [-t_{\alpha/2} < T < t_{\alpha/2}] = 1 - \alpha$$

$$R. C = \langle -\infty, -t_{\alpha/2} \rangle \cup \langle t_{1-\alpha/2}, \infty \rangle$$



**Figura 11. Región de aceptación de rechazo de Hipótesis**

Fuente: Adaptado de Moya y Saravia (1988).

El nivel de significancia ( $\alpha$ ) es el error máximo cuando se rechaza la hipótesis nula cuando es verdadera. Existen 3 tipos:

- $\alpha = 0.01 \rightarrow$  Muy significativo
- $\alpha = 0.05 \rightarrow$  Significativo
- $\alpha = 0.10 \rightarrow$  Poco significativo

### **2.3.2.1 Resultado del peso específico total**

El determina el peso específico total de cada probeta, como las probetas recientes y compactadas se enfrían a la temperatura ambiente. Esta medición es esencial para un análisis preciso de densidad-vacío. El peso específico total se determina usando el procedimiento de la norma AASHTO T166.

### **2.3.2.2 Estudio de estabilidad y fluencia**

Para el estudio se mide la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento consiste en lo siguiente: calentar las probetas en un baño de agua a 60°C.

Esta temperatura representa, la temperatura más caliente que una mezcla en servicio va a experimentar. Luego retirar la probeta, secar y colocar en el aparato Marshall. La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51mm/min, hasta que la muestra falle. La falla está detenida con la carga máxima que la probeta puede resistir. La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

### **2.3.3.3 Análisis de estabilidad Marshall**

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

La estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, por lo que, si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

La estabilidad extremadamente alta se obtiene a costa de durabilidad.

#### **2.3.3.4 Análisis de fluencia Marshall**

Representa la deformación de la probeta. Para medir la deformación que ocurre durante el ensayo Marshall. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de las probetas.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiadas frágiles y rígidas para una mezcla en servicio.

Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiadas plásticas, tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas de tránsito.

#### **2.3.3.5 Análisis de densidad y vacíos**

Finalizados los ensayos de estabilidad y fluencia, se efectúa un análisis de densidad y vacíos cada probeta. El objetivo es establecer el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

##### **a) Análisis de vacíos**

Los vacíos son las bolsas de aire que están en las partículas de agregados revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla asfáltica (sin vacíos), el cual se calcula de los pesos específicos del asfalto y agregado de la mezcla teniendo como referencia a la norma AASHTO T 209. El peso específico total de la probeta compactada se determina pesando las probetas en aire y en agua.

##### **b) Análisis del peso unitario**

Se determina multiplicando el peso específico total por 1000 kg/m<sup>3</sup>.

##### **c) Análisis de los vacíos en el agregado mineral**

Los vacíos en el agregado mineral (VMA), se definen por el peso inter granular de vacíos que están en las partículas de agregado de la mezcla asfáltica compactada,

se incluyen los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto y se expresa como porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA se calcula con el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla asfáltica compactada.

#### **d) Análisis de los vacíos llenos de asfalto**

Los vacíos llenos de asfalto (VFA), son el porcentaje de vacíos intergranulares en las partículas que están llenos de asfalto.

### **2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio (teorías, modelos)**

Las propiedades que contribuyen a la buena calidad de mezclas asfálticas en caliente vía húmeda, incluyen la **estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.**

El objetivo primordial del diseño de mezclas asfálticas vía húmeda, es el de garantizar que la mezcla asfáltica posea cada una de estas propiedades.

A continuación, pasaremos a definir las propiedades consideradas en el diseño de mezclas:

#### **2.3.1 La estabilidad**

La estabilidad de una mezcla asfáltica, viene a constituir la capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito, una mezcla estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, una mezcla inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Asimismo, valores muy altos de estabilidad producen una mezcla muy rígida y por ende no dura mucho tiempo. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna en las partículas de agregado.

### **2.3.2 La durabilidad**

La durabilidad de una mezcla asfáltica, viene a constituir la habilidad que posee la mezcla para resistir efectos como: la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación) y separación de las películas de asfalto, estos efectos son el resultado de la acción del clima, el tránsito o una combinación de ambos.

Una graduación densa de agregados firme, duro y resistente a la separación, contribuye a la durabilidad de la mezcla mejora la impermeabilidad de la mezcla.

El ingreso de aire y agua en la mezcla asfáltica disminuye al compactarla.

### **2.3.3 La impermeabilidad**

La impermeabilidad de una mezcla asfáltica consiste en la resistencia que esta ejerce al paso de aire y agua hacia su interior, esta característica se relaciona con el contenido de vacíos de la mezcla compactada y aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de una mezcla asfáltica, la naturaleza de estos vacíos es más importante que su cantidad.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad, esto es aceptable siempre y cuando la permeabilidad este dentro de los límites especificados.

### **2.3.4 La trabajabilidad**

La trabajabilidad está descrita como la facilidad con que una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado o la granulometría.

Las mezclas gruesas tienen una tendencia a segregarse durante su manejo. Por medio de la mezcla de prueba en el laboratorio se adiciona agregado fino y asfalto, a

una mezcla gruesa, más trabajable con precaución para lograr que se cumpla con los criterios del diseño tales como: contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido muy alto de relleno mineral podría afectar la trabajabilidad. Se podría volver más viscosa, haciendo difícil su compactación.

### **2.3.5 La flexibilidad**

La flexibilidad consiste en la capacidad de una mezcla asfáltica para acomodarse, sin que se agriete, frente a movimientos y asentamientos graduales de la sub rasante, la flexibilidad, además es una característica deseable en toda mezcla asfáltica, debido a que virtualmente todas las sub rasantes se asientan bajo cargas o se expanden por expansión del suelo.

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es generalmente más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto, algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

### **2.3.6 La resistencia a la fatiga**

La resistencia a la fatiga de una mezcla, consiste en la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito según la investigación que los vacíos relacionados con el contenido de asfalto y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia de la fatiga, a medida que el porcentaje de vacíos en una mezcla aumenta, ya sea por el diseño o por la falta de compactación, la resistencia a la fatiga de la mezcla disminuye así mismo.

Una mezcla que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento y la capacidad de soporte de la sub rasante, tiene mucho que ver con la vida del pavimento y con la previsión del agrietamiento asociado a la carga de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre sub rasante débiles.

### **2.3.7 La resistencia al deslizamiento**

La resistencia al deslizamiento, consiste en la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento. La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda galvanizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie de pavimento y a una velocidad de 65 km./h, (40 mi. /h.).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm, (3/8”) o a 12.5 mm (1/2”). Además de tener una superficie áspera los agregados deben resistir el pulimento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento, con respecto de los agregados silíceos. La mezcla inestable que tiende a deformarse o exudar flujos de asfalto a la superficie presenta problemas graves de resistencia al deslizamiento.

### **2.4 Definición de términos básicos**

Los conceptos se obtuvieron del Manual de Empleo de Caucho de NFU en Mezclas Bituminosa y Manual de Experiencia Española del Caucho NFU en las mezclas asfálticas:

**ADITIVOS:** Productos químicos incorporados en cantidades pequeñas al asfalto y a las mezclas bituminosas para mejorar con el caucho de NFU.

**CAUCHO NATURAL:** producto extraído del árbol del Hevea en forma de látex, que posteriormente se coagula y seca.

**CAUCHOS SINTÉTICOS:** nombre genérico de todos los cauchos obtenidos por síntesis.

**CAUCHO DE NFU – GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR):** material compuesto de partículas y polvo de caucho vulcanizado provenientes de NFU. Consta de cauchos naturales y sintéticos, negro de carbono, entre otros.

**INCORPORACIÓN DE CAUCHO POR VÍA HÚMEDA:** procedimiento en el que se mezcla previamente el polvo de caucho con el asfalto para emplearlo como ligante.

**MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLVO DE CAUCHO:** es la combinación del cemento asfáltico, agregados, polvo de caucho entre otros, para que así partículas del agregado estén recubiertas por una película homogénea de ligante.

**MODIFICADOR DE POLVO DE NEUMÁTICO (CRM):** obtenido por medio de caucho de neumáticos de desecho que ha generado interés en el refuerzo en el asfalto para beneficiar el desempeño de las propiedades del asfalto de la mezcla en caliente.

**MOLIENDA CRIOGÉNICA:** tecnología de temperaturas bajas, obtenidas de nitrógenos líquidos, para fragilizar el caucho y disminuir su tamaño.

**NEGRO DE CARBONO:** material que consta de partículas muy finas de carbono con diámetros menores a 100nm.

**NEUMÁTICO FUERA DE USO (NFU):** neumáticos de vehículos retirados permanentemente, por incumplimiento de las normas de seguridad.

**RECICLADO:** se transforme los neumáticos fuera de uso, dentro de un proceso de producción. No está incluido la recuperación de energía.

**VULCANIZACIÓN:** consiste en unir las cadenas moleculares del caucho entre sí y transformar un material plástico en elástico.

## **2.5. Hipótesis:**

### **2.5.1 Hipótesis general**

Una mezcla asfáltica, adicionada con granos de caucho reciclado, mejora sus propiedades mecánicas.

### **2.5.2 Hipótesis específicas**

- La incorporación de grano de caucho reciclado, en la mezcla asfáltica, mejora su propiedad estructural.
- La incorporación del grano de caucho reciclado mejora la propiedad de construcción y servicio de la carpeta asfáltica.
- La incorporación de grano de caucho reciclado, en el diseño de la mezcla asfáltica, incrementa su Propiedad de construcción y servicio.
- La incorporación de grano de caucho reciclado, en el diseño de la mezcla asfáltica, incrementa su Propiedad de construcción y servicio.
- La incorporación de grano de caucho reciclado, en el diseño de la mezcla asfáltica, incrementa su Propiedad estructural
- . La incorporación de grano de caucho reciclado, en el diseño de la mezcla asfáltica, incrementa su Propiedad estructural
- La incorporación de grano de caucho reciclado, en el diseño de la mezcla asfáltica, incrementa su Propiedad funcional

## **2.6 Variables (definición y operacionalización de variables: Dimensiones e indicadores)**

### **2.6.1. Variable independiente**

Mezcla asfáltica adicionando con grano de caucho reciclado

Se hallará el porcentaje de añadir granos de cauchos reciclados en la mezcla asfáltica convencional para una nueva mezcla asfáltica modificada.

### **2.6.2. Variable dependiente**

| Propiedades mecánicas.

Se van a determinar los parámetros del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica convencional y la nueva mezcla asfáltica incorporando el grano de caucho reciclado.

## **CAPITULO 3**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo, método y diseño de la investigación**

Según Besth (2013), manifiesta que “la investigación por el cual pasa por el transcurso más precisa, incentiva y sistemáticamente para llevar a cabo un método de estudio científico, crítico y controlado, gracias a esto, accederemos a nombrar que sucesos nuevos o antecedentes que se encuentran relacionado para cualquier área de conocimientos humanos”. (p.32)

##### **3.1.1. Diseño.**

El tipo de investigación es cuantitativo, experimental, las técnicas son los procedimientos e instrumentos que utilizamos para acceder al conocimiento e instrumentos.

Es decir, para lograr un buen diseño de mezclas asfálticas, debemos realizar una serie de ENSAYOS DE LABORATORIO tanto para los agregados empleados, como para la mezcla asfáltica propiamente dicha, que garanticen el cumplimiento de los parámetros establecidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones”.

En los ensayos de laboratorio controlamos variables que manipulan a otras y se observamos el fenómeno siendo las mezclas asfálticas en caliente el objeto de estudio, los ensayos realizados fueron:

- Análisis Granulométrico por Tamizado, atendiendo a las normas: NTP 339.128 y ASTM D422.
- Limite Líquido, Limite Plástico e Índice Plástico, atendiendo a las normas: NTP 339.129 y ASTM D – 4318.
- Equivalente de arena, atendiendo a las normas: NTP 339.146 y ASTM D – 2419.
- Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso, atendiendo a las normas: NTP 400.021 y ASTM C – 127.
- Peso Específico y Absorción del Agregado Fino, atendiendo a las normas: NTP 400.022 y ASTM C – 128.
- Peso Unitario Suelto y Compactado, atendiendo a la norma: NTP 400.017.
- Abrasión de los Ángeles al desgaste de los Agregados, atendiendo a las normas: NTP 400.040 y ASTM D – 4791.
- Contenido de Sales Solubles Totales, atendiendo a la norma: NTP 339.152.
- Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando El Aparato MARSHALL, atendiendo a las normas: MTC – E504 y ASTM D1559.

Los análisis de costos se han elaborado en base a los resultados obtenidos en laboratorio, con el 3% de incremento del grano de caucho reciclado.

Según Reguera (2012), manifiesta que “los estudios experimentales o exploratorio buscan avanzar el conocimiento de algo como también describir características, determinar la frecuencia, de algo que busca una relación entre uno con otros agentes. Tiene que comprobar si las hipótesis de relación causal entre variables con congruentes o no”. (p.83).

### **3.1.2. Tipo**

El proyecto de investigación es de tipo: Aplicada.

Según Mendoza (2013), explica “que la investigación aplicada está ligada con la investigación básica, ya que gracias este tipo de investigación conoceremos el descubrimiento y los aportes teóricos que aportara bienestar y beneficios para la humanidad”. (p. 39).

### **3.1.3. Nivel.**

El proyecto de investigación es de nivel: Explicativo.

Según Hernández Sampieri y otros, (2014), afirma que “Especialmente se encarga en dar una solución de diferentes causas que tiene los eventos y fenómenos tanto físicos u sociales, de esta manera podremos explicar los diferentes fenómenos y porque se describe que las variables se relacionan”. (p.152).

## **3.2 Población y muestra (escenario de estudio)**

Se ensayarán briquetas para 03 tipos de tránsito (liviano, medio y pesado) considerando que las muestras son de 2 canteras distintas RIO SANTA, (arena y piedra) y se empleara granos de caucho reciclado y con la combinación con los agregados a 170°C.

El trabajo de investigación es la evaluación de incidencia al incorporar granos de caucho reciclado en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica vía húmeda, según el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica convencional, así lograr el propósito de todas las muestras elaboradas en el laboratorio están bajo las normas de ensayo asfáltico.

Los costos reales de los insumos, mano de obra y materiales, han sido proporcionados de las revistas especializadas en carreteras.

Según Hernández Sampieri y otros, (2014) afirma que: “es un conjunto de los casos y series de especificaciones que existen en la investigación, que se encuentren en relación espacio tiempo guarde relación”. (p. 63).

### **3.3. Muestra.**

Según Hernández Sampieri, “La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos”, la muestra de estudio son 16 briquetas con diferentes diseños de mezcla.

Costos reales que se da nivel del Perú, es factible adquirir para realizar los trabajos a nivel de pavimentado, como el asfalto, grano de caucho reciclado, piedra chancada arena gruesa y fina, mano de obra y equipos.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos (validez y confiabilidad)**

#### **3.3.1. Recolección de datos.**

La investigación propuesta es de tipo experimental, las técnicas y procedimientos de sus resultados son por el método de Marshall, la cual lo llamamos convencionales. Para la obtención de un buen diseño con la incorporación del grano de caucho reciclado, serán procesados mediante el método de Marshall y sometidos a compresión, como para la mezcla asfáltica propiamente dicha. Los instrumentos que se tienen que cumplir son los parámetros establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Las recolecciones de datos serán mediante la preparación de probetas, donde se incrementarán el grano de caucho reciclado en forma proporcional, con un incremento del 1%, 2% y 3%, en peso al asfalto. De tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indique un valor “Óptimo” definido, como mínimo se van a preparar 4 probetas por cada propuesta.

Se calentarán todos los materiales que conforman el diseño de mezcla mediante un horno a una temperatura de 160 - 170°C, cuando son mezclas con cemento asfáltico o alquitranes, a 160 - 170°C, para mezclas con asfalto líquido.

Para elaborar el presupuesto de los costos del asfalto, para el rendimiento de las partidas y costos de cada insumo, mano de obra y maquinaria la información se obtuvo de las revistas especializadas que difunden en el medio, con estos datos se

elaboró los costos de la mezcla asfáltica, producidos con la incorporación de los granos de caucho reciclados.

Según Hernández Sampieri, (2010), describe que “la recolección de datos implica de poder elaborar un estudio detallados del proceso que no da a conocer para reunir datos relativos con un propósito en específico”. (p. 198).

### **3.4 Descripción de procedimientos de análisis**

#### **3.4.1. Consideraciones en el diseño de la mezcla**

Se debe determinar su contenido de gigante, no obstante, el proceso es más amplio, que requiere de un estudio de los factores involucrados, para garantizar un comportamiento idóneo de la mezcla y ahorro económico en la solución (Rodríguez, 2007).

Las fases son las siguientes:

- Análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla: tráfico, tipo de infraestructura, naturaleza de las capas subyacentes, intensidad del tráfico, etc. Además, se distingue si se trata de un firme nuevo o de una rehabilitación.
- Determinación de las propiedades fundamentales que ha de tener la mezcla. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras.
- Elegir el tipo de mezcla que se adapte a los requerimientos, incorporando en el análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra.
- Materiales disponibles, elección de los agregados pétreos, los cuales deben cumplir con especificaciones. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación.
- Elección del tipo de ligante: asfalto, asfalto modificado, emulsión asfáltica, el costo es siempre un factor muy relevante.
- Dosificación del contenido óptimo de ligante por medio de proceso que se adapta al tipo de mezcla para diferentes combinaciones de las fracciones disponibles del agregado pétreo, de manera que las granulometrías conjuntas analizadas estén en un uso seleccionado.

- Otros factores en consideración en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: Exigencias de seguridad vial, Estructura del pavimento, Técnicas de Diseño y Ejecución, etc.

### **3.4.2. Elaboración del presupuesto.**

Se ha elaborado el costo real de la mezcla asfáltica al añadir el grano de caucho reciclado, según el diseño de mezcla, con los datos obtenidos en laboratorio, mediante el análisis de costos unitarios y precios reales se ha obtenido el costo real de la mezcla asfáltica modificada.

### **3.4.3. Validez**

En esta investigación la validez será a través de los expertos en obras viales, que desempeñan en los diseños de pavimentos, validaran la matriz de consistencia. La validez se refiere a que el instrumento usado realmente logre medir la variable. (Hernández, et al., 2013)

### **3.4.4. Confiabilidad.**

La confiabilidad de los datos, están respaldados por los certificados de calibración de los instrumentos utilizados. La confiabilidad de un instrumento es el grado en la cual se aplicará en un mismo objeto o individuo obtiene con iguales resultados. (Hernández, et al., 2013).

- Materiales de laboratorio.
- Granulometría.
- Laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos.
- Equipos de ensayos.
- Información de los costos reales de los insumos, mano de obra y equipos.

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1 Resultados de diseño de mezcla asfáltica 6.5% del asfalto.**

##### **4.1.1. Resultados del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos, del diseño de mezcla asfáltica convencional con el 6.5% de asfalto.**

De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio, el diseño de la mezcla asfáltica modificada, se tiene la siguiente dosificación: Cemento asfáltico 6.5%, piedra chancada 45%, arena gruesa 36%, arena fina 19%, grano de caucho reciclado 3.0%.

Propiedades:

- Peso Unitario : 1.228
- vacíos : 4%
- VMA : 57.8
- Fluencia : 2.8

- Estabilidad : 561.9
- Relación estabilidad/fluencia: 1886

La cantidad de grano de caucho reciclado es del **3%**, que se va a incrementar al diseño de mezcla asfáltica.

#### 4.2 Análisis de resultados de diseño óptimo de la mezcla asfáltica con incorporación de grano de caucho reciclado.

Figura 12. Ensayo Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles



**D&J S.A.C.**  
Laboratorio de Mecánica de Suelos.  
Topografía Sistematizada  
RUC: 20407968272

ENSAYO: SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES				
NORMA: MTC E-219/VN-L15-80				
Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Código
DAL	DAL	EMR	01/05/2019	
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS				
DATOS DEL PROYECTO				
Proyecto: Tesis: CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS EN LA MEZCLA DE AGUALTO A COMPRESIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.				
Cantera: Río Santa - Huaraz - Dpto. Ancash.			Ubicación del Proyecto: Tesis Post Grado	
Investigador: Ing. Maguila Salazar Wálter				
DATOS DE LA MUESTRA				
Materia: Mezcla Fieca de Agregados para MAC			Código de Muestra: Laboratorio	
Procedencia: Río Santa - Huaraz			Registro de Ensayo:	
UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD RICARDO PALMA			Ing. Responsable: Ing. D. Azafra D.	
Fecha de Producción: 01/05/2019			Tec. De Laboratorio: DAL	
Muestreo por: TESIS			Ensayado: D. Azafra D.	
Fecha de muestreo: 15/05/2019.			Fecha de ensayo: 15/05/2019	
AGREGADO GRUESO				
Determinación N°	1	2	3	4
Peso del Recipiente (Diker 100 ml)				
Peso recipiente + agua + sal				
Peso recipiente seco + sal				
Peso de Sal (3 - 1)				
Peso de Agua (2-3)				
Porcentaje de Sales Soluble				
AGREGADO FINO				
Determinación N°	1	2	3	4
Peso del Recipiente (3 Rec. 100 ml)	43.908	45.878	46.267	
Peso recipiente + agua + sal	78.465	77.560	77.457	
Peso recipiente seco + sal	47.611	47.468	46.907	
Peso de Sal (3 - 1)	0.615	0.59	0.57	
Peso de Agua (2-3)	33.854	30.095	30.56	
Porcentaje de Sales Soluble	1.987	1.968	1.865	
EQUIPOS UTILIZADOS				
Balanza :	OHGUS	N° serie	3712650988	N° Cert. de calibración: 5A1-897
Termómetro		N° serie		N° Cert. De calibración:
Vaso arena peneado :	SOLITEST	N° serie	D607	N° Cert. De calibración: NA
COMENTARIOS:				
PROPORCIONES DE LA MEZCLA Grava triturada <1/4" : 46.0% Arena triturada <3/8" : 35.0% Arena Natural <1/4" : 19.0% Rio : 0.0% TOTAL : 100.0%				



**LUIS ALBERTO ITA ROBLES**  
INGENIERO CIVIL  
CIP 39331

Jr. Soledad 1345 Huaraz - Perú  
 ☎ (043) 423374 ✉ 959578074 / 043 848872

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12. Ensayo Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles.**

RUC: 20407968272

ENSAYO: SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES				
NORMA: MTC E-219/VN-F15-80				
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Código
DAL	DAL	EMR	01/05/2019	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS				
DATOS DEL PROYECTO				
Proyecto: Tesis: CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS EN LA MEZCLA DE ASFALTO A COMPRESIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.				
Cantera: Río Santa – Huaraz – Dpto. Ancash.				
Propietario: Ing. Maguiña Salazar Walther		Ubicación del Proyecto: Tesis Post Grado		
DATOS DE LA MUESTRA				
Material : Mezcla Física de Agregados para MAC		Código de Muestreo: Laboratorio		
Procedencia : Río Santa – Huaraz		Registro de Ensayo:		
UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD RICARDO PALMA		Ing. Responsable: Ing. D. Azaña D.		
Fecha de Producción: 01/05/2019		Tec. De Laboratorio: DAL		
Muestreo por: TESISISTA		Ensayado: D. Azaña D.		
Fecha de muestreo: 15/05/2019.		Fecha de ensayo: 15/05/2019		
AGREGADO GRUESO				
Determinación N°	1	2	3	4
Peso del Recipiente (Diker 100 ml)	47.102	47.972	47.875	Promedio
Peso recipiente+agua+sel	76.543	77.141	77.131	
Peso recipiente seco + sel	47.388	48.247	48.110	
Peso de Sal (3 - 1)	0.286	0.275	0.235	
Peso de Agua (2-3)	29.155	28.894	29.021	
Porcentaje de Sales Soluble	0.981	0.952	0.810	
AGREGADO FINO				
Determinación N°	1	2	3	4
Peso del Recipiente (Diker 100 ml)				Promedio
Peso recipiente + agua + sal				
Peso recipiente seco + sal				
Peso de Sal (3 - 1)				
Peso de Agua (2-3)				
Porcentaje de Sales Soluble				
EQUIPOS UTILIZADOS				
Balanza :	OHAUS	N° serie	3712650988	N° Cert. de calibración: 5M-897
Termómetro		N° serie		N° Cert. De calibración:
Vaso pres pillado :	SOLOTEST	N° serie	D607	N° Cert. De calibración: NA
COMENTARIOS:				
PROPORCIONES DE LA MEZCLA Grava triturada <3/4" : 45.0% Arena triturada <3/8" : 36.0% Arena Natural <1/4" : 19.0% Filler : 0.0% TOTAL : 100.0%				

**D & J S. A. C.**  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS  
 ENSAYO DE MATERIALES Y PAVIMENTOS

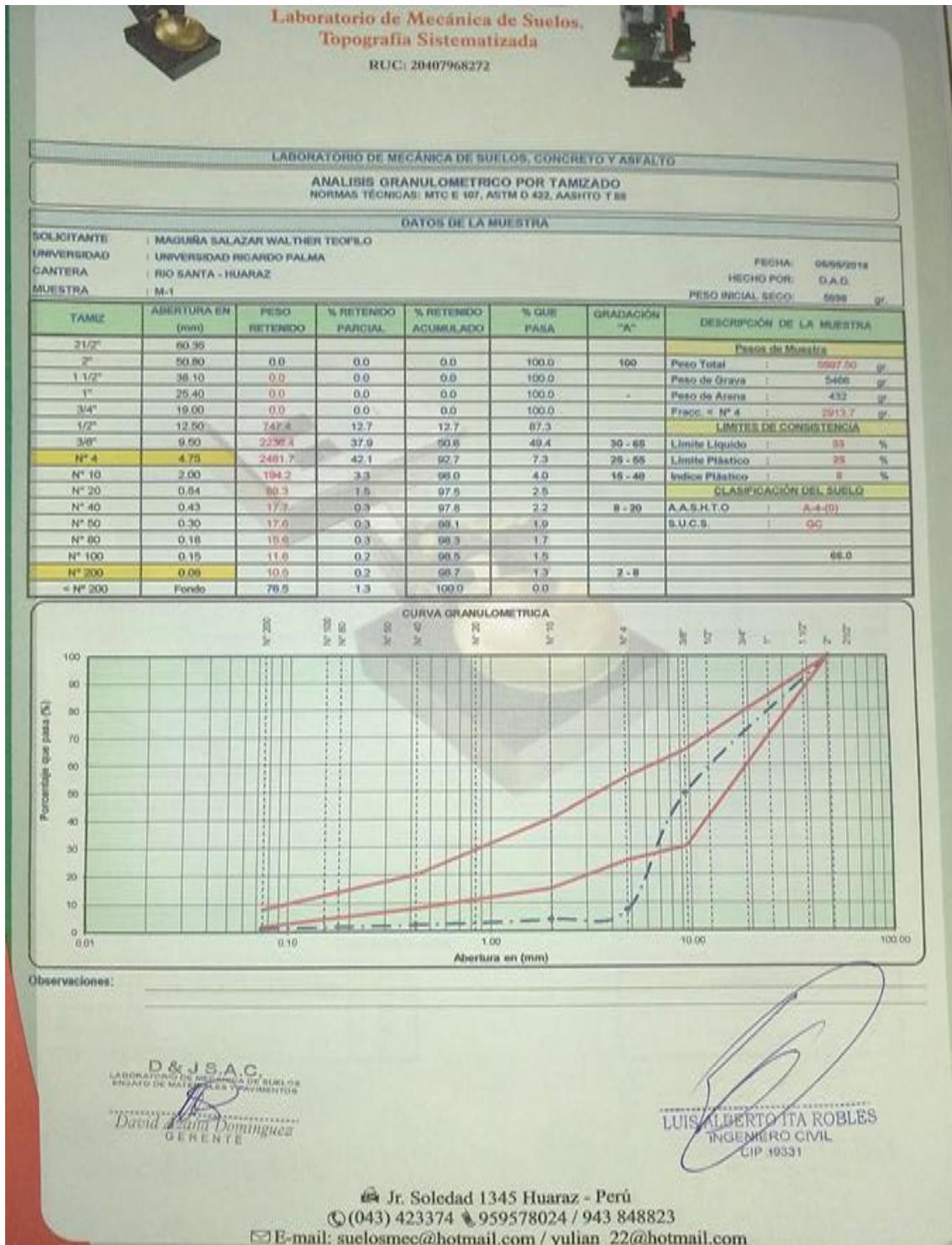
*David Azaña Domínguez*  
 GERENTE

**LUIS ALBERTO ITA ROBLES**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 49331

Jr. Soledad 1345 Huaraz - Perú

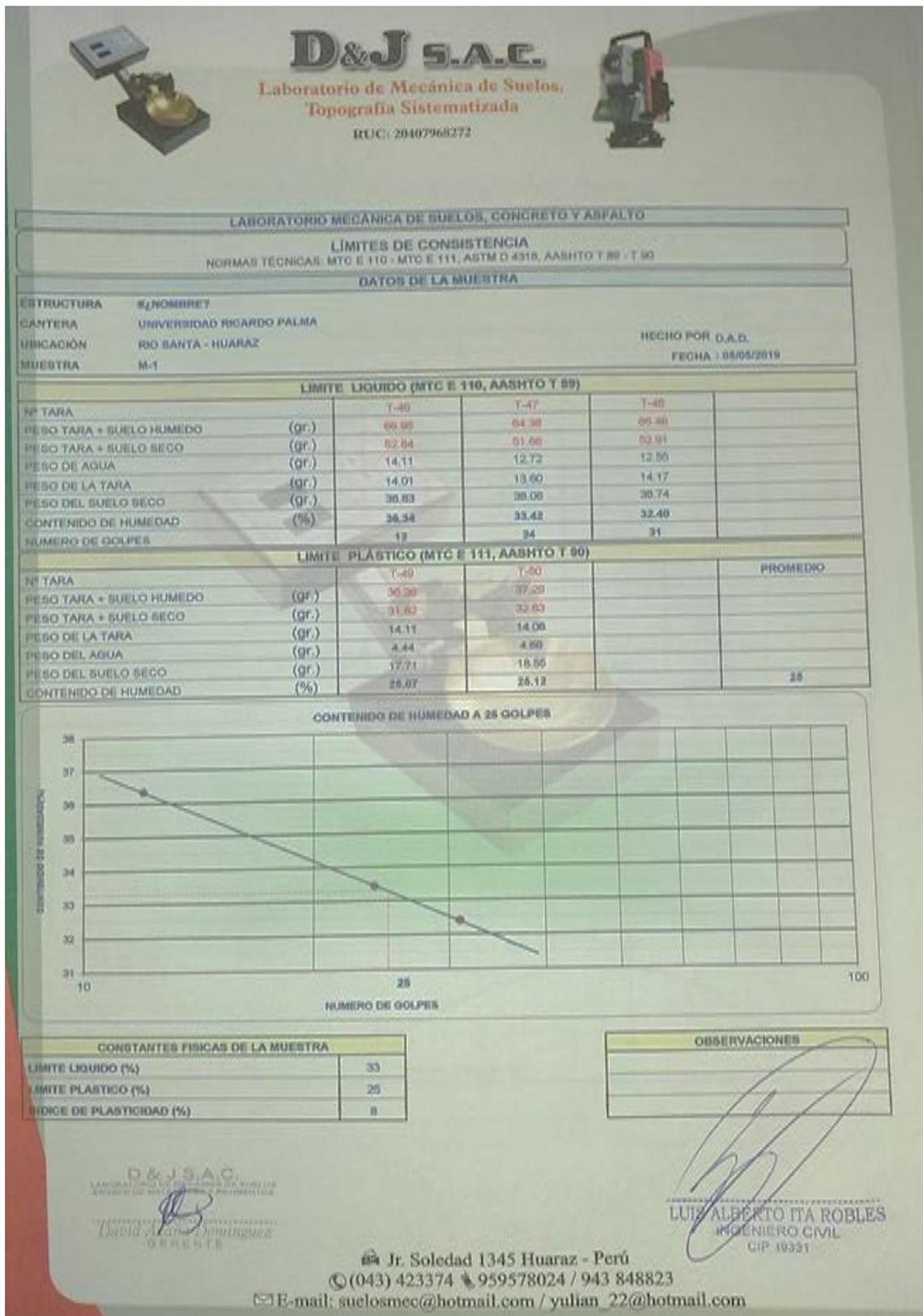
Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 01.



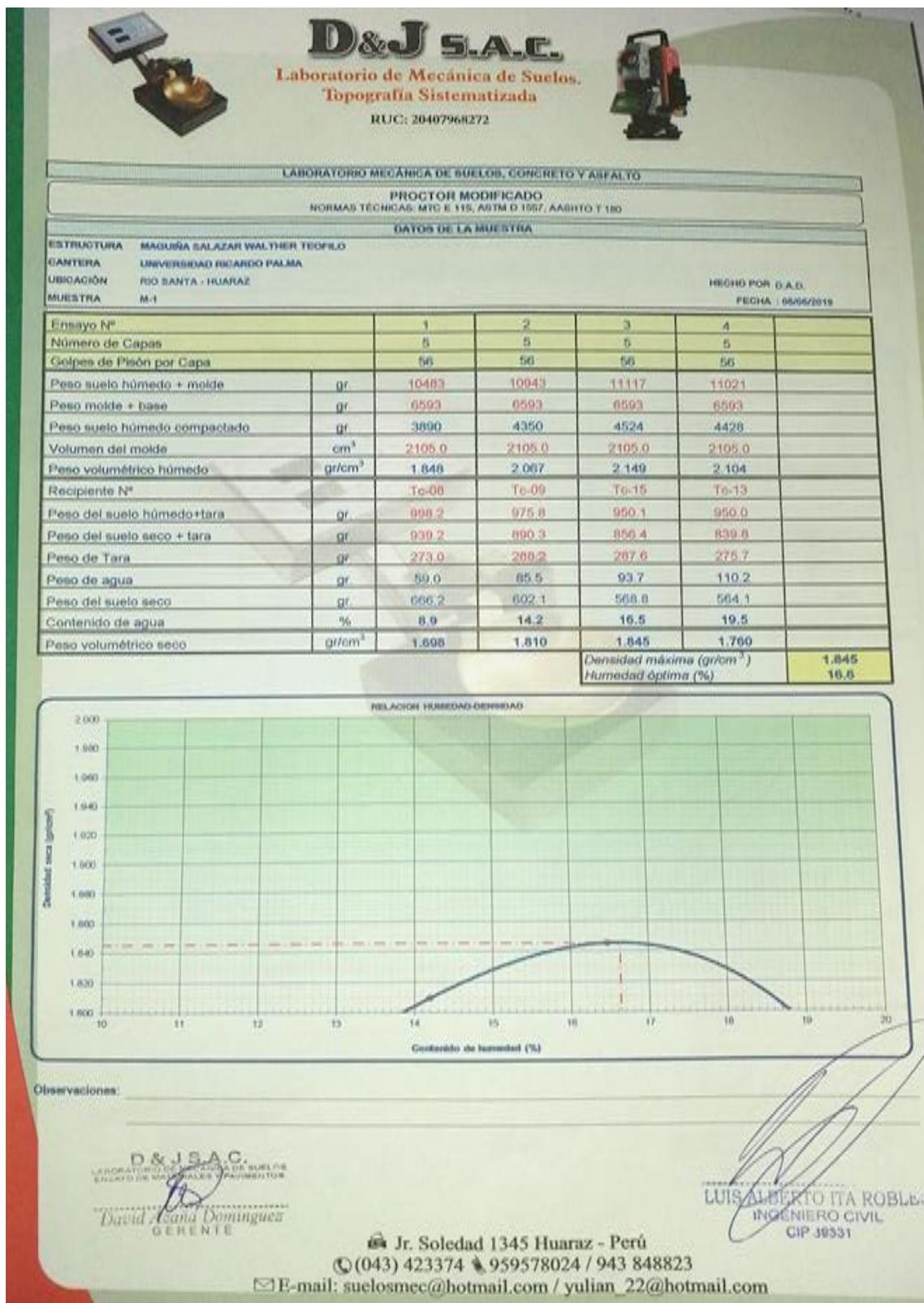
Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 01.



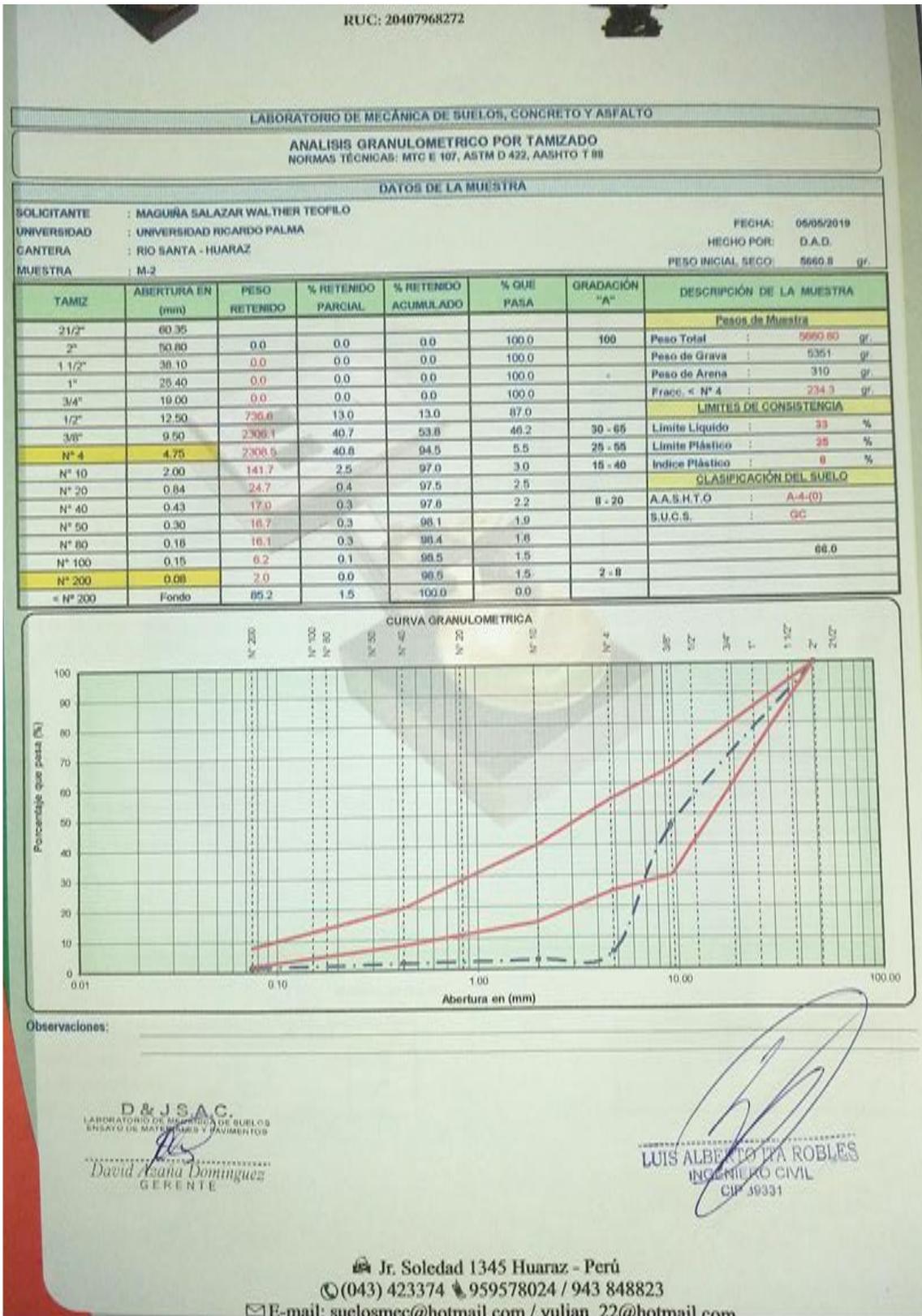
Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 01.



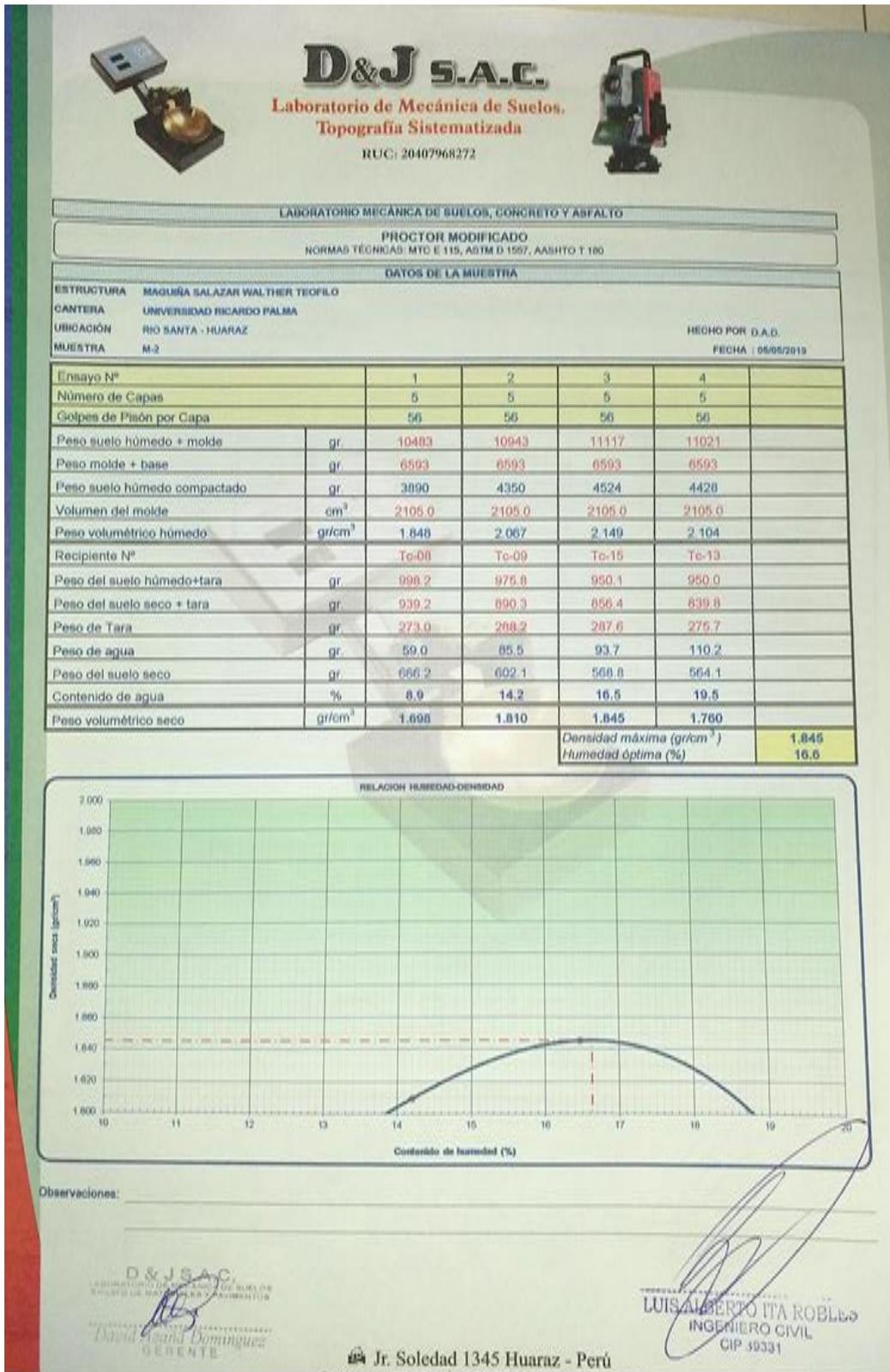
Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 02.



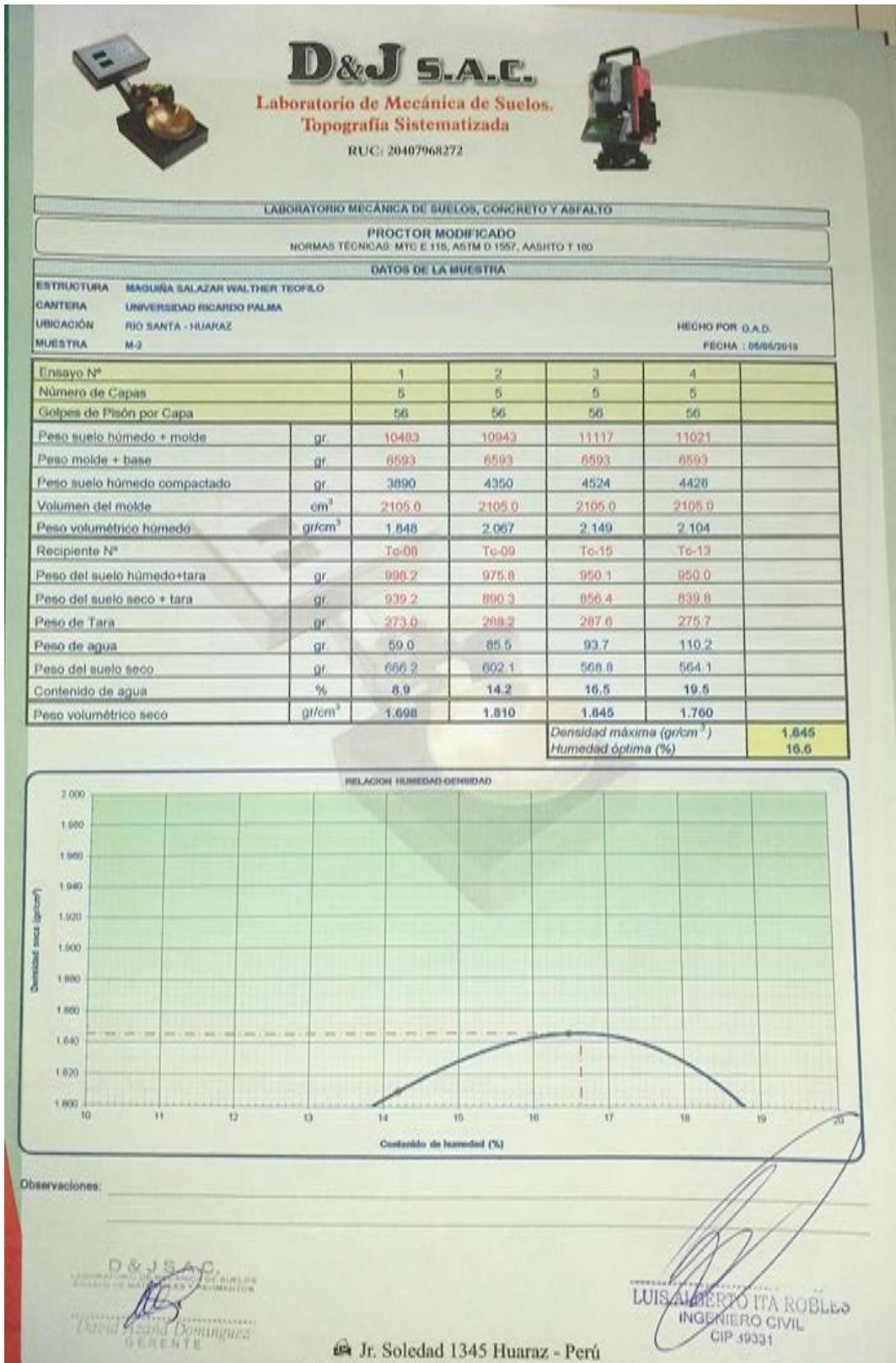
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 02.



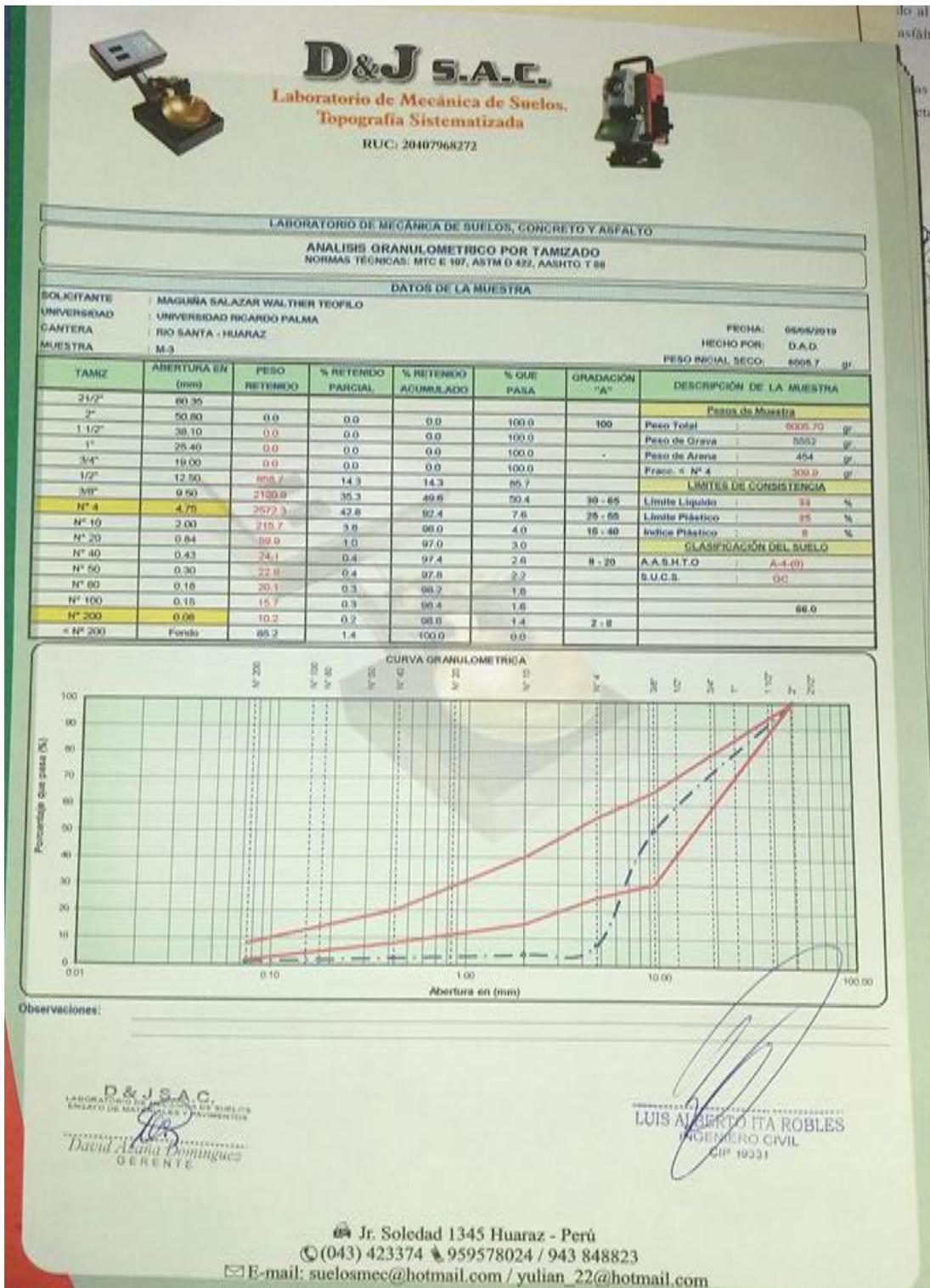
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 02.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 03.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 03.



**D&J S.A.C.**  
Laboratorio de Mecánica de Suelos.  
Topografía Sistemática  
RUC: 20407968272

---

**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

SOLICITANTE	MAGUIÑA SALAZAR WALTHER TEOFILO		
CANTERA	UNIVERSIDAD RICARDO PALMA		
UBICACIÓN	RIO SANTA - HUARAZ		
MUESTRA	M-3	HECHO POR	D.A.D.
		FECHA	05/05/2019

---

**LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)**

		T-40	T-47	T-48
N° TARA				
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	66.95	64.38	65.40
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	52.84	51.06	52.91
PESO DE AGUA	(gr.)	14.11	12.72	12.55
PESO DE LA TARA	(gr.)	14.01	13.00	14.17
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	38.83	38.06	38.74
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	36.34	33.42	32.40
NUMERO DE GOLPES		12	24	31

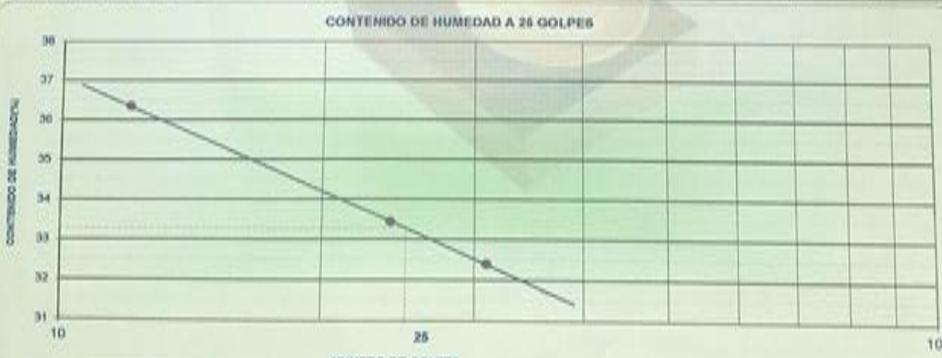
---

**LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)**

		T-40	T-50	PROMEDIO
N° TARA				
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	50.26	37.29	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	31.82	32.63	
PESO DE LA TARA	(gr.)	14.11	14.08	
PESO DEL AGUA	(gr.)	4.44	4.88	
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	17.71	18.55	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	25.07	26.12	25

---

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 26 GOLPES**




---

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	33
LÍMITE PLÁSTICO (%)	25
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	8

**OBSERVACIONES**



**LUIS ALBERTO ITA ROBLES**  
INGENIERO CIVIL  
CIP 49531

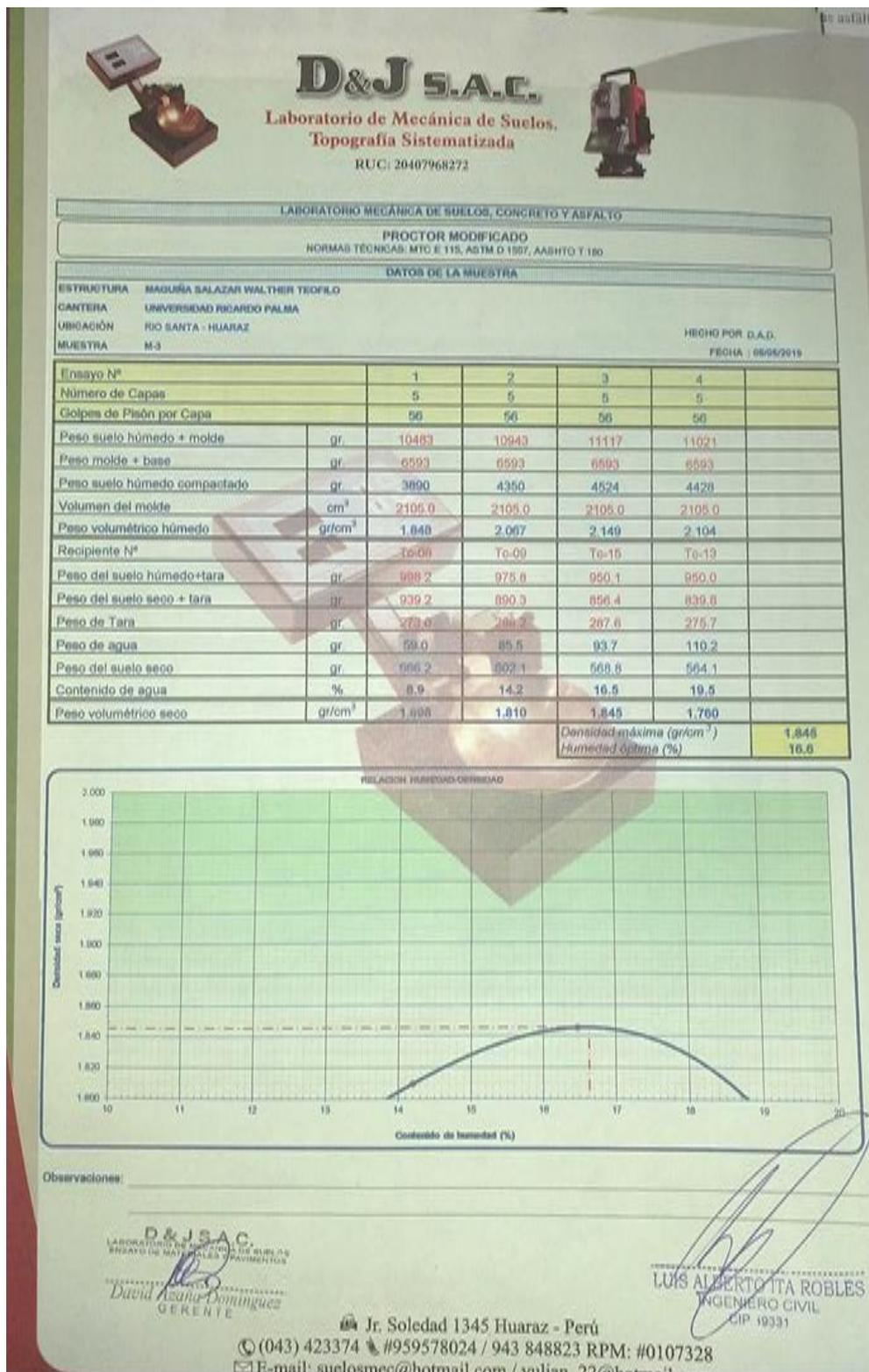
**D & J S.A.C.**  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
SERVIDOR DE MANTENIMIENTO Y PAGAMENTOS

*David Asaña Domínguez*  
GERENTE

Jr. Soledad 1345 Huaraz - Perú  
 ☎ (043) 423374 ☎ 959578024 / 943 848823  
 ✉ E-mail: suelosomec@hotmail.com / yulian\_22@hotmail.com

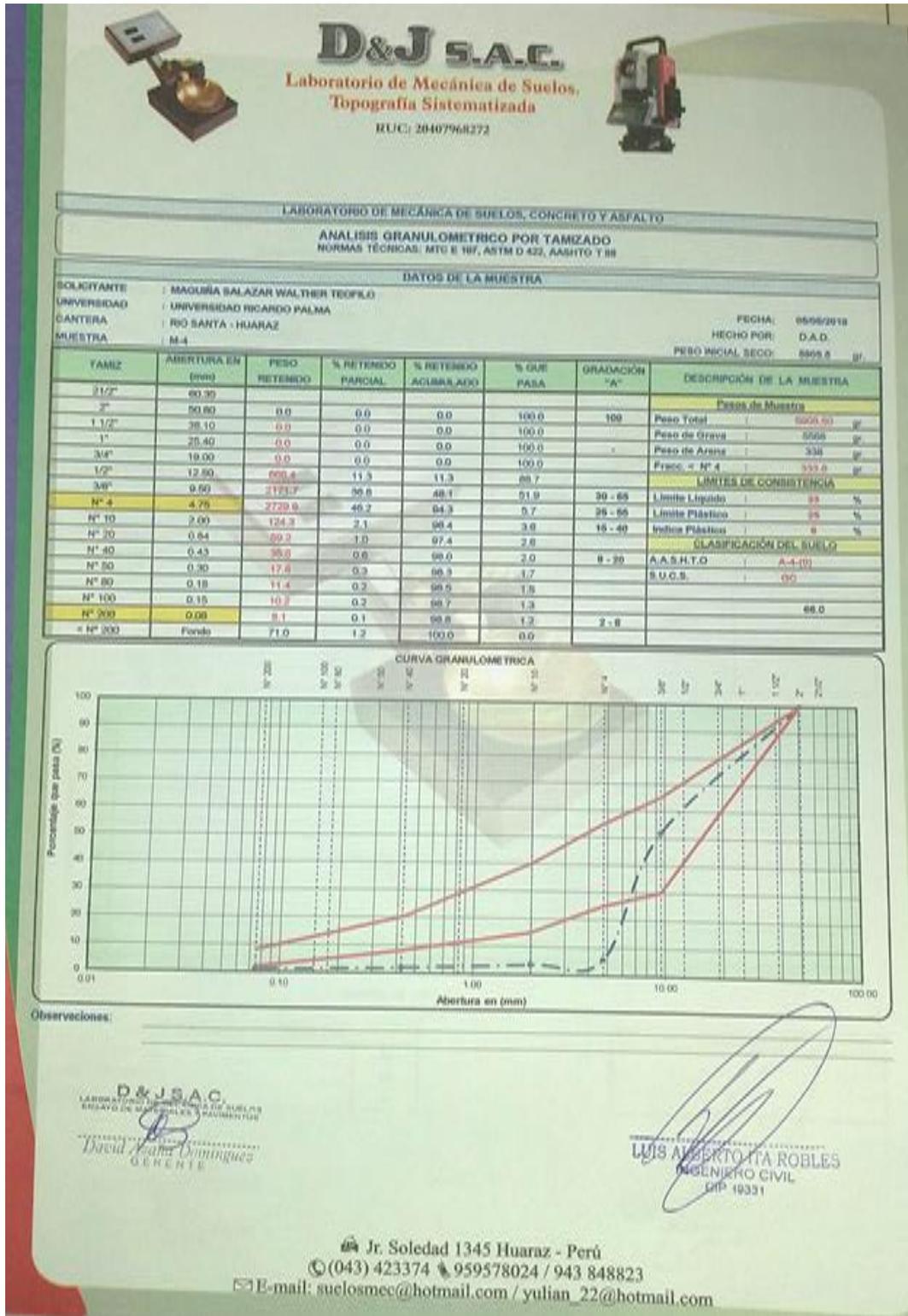
Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 03.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 04.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 04.



**D&J S.A.C.**  
Laboratorio de Mecánica de Suelos,  
Topografía Sistematizada  
RUC: 20407968272

---

**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

SOLICITANTE	MAGUIRA SALAZAR WALTHER TEOFILO			
CANTERA	UNIVERSIDAD RICARDO PALMA			
UBICACIÓN	RIO SANTA - HUARAZ			
MUESTRA	M-4			

HECHO POR D.A.D.  
FECHA: 05/05/2018

---

**LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)**

N° TARA		T-05	T-47	T-48
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	46.95	64.38	65.40
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	52.84	51.66	52.81
PESO DE AGUA	(gr.)	14.11	12.72	12.59
PESO DE LA TARA	(gr.)	14.01	13.00	14.17
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	38.83	38.66	38.74
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	36.34	33.42	32.40
NÚMERO DE GOLPES		12	24	31

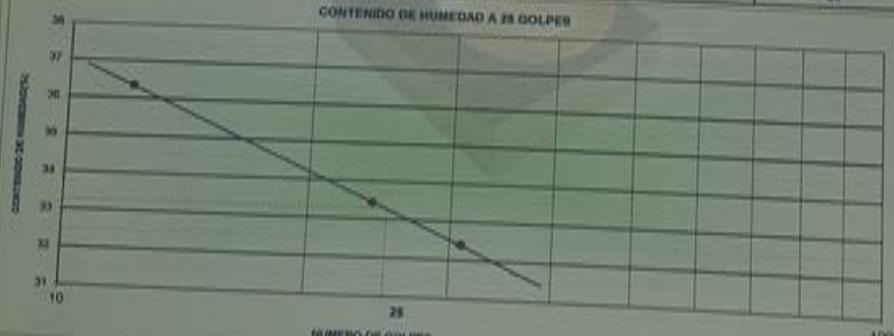
---

**LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)**

N° TARA		T-48	T-50	PROMEDIO
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	35.28	37.20	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	31.92	33.03	
PESO DE LA TARA	(gr.)	14.11	14.06	
PESO DEL AGUA	(gr.)	4.44	4.66	
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	17.71	18.56	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	25.07	25.12	25

---

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES**




---

CONSTANTES FINCAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	33
LÍMITE PLÁSTICO (%)	25
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	8

**OBSERVACIONES**

D&J S.A.C.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS,  
TOPOGRAFÍA SISTEMATIZADA Y PERITAJES

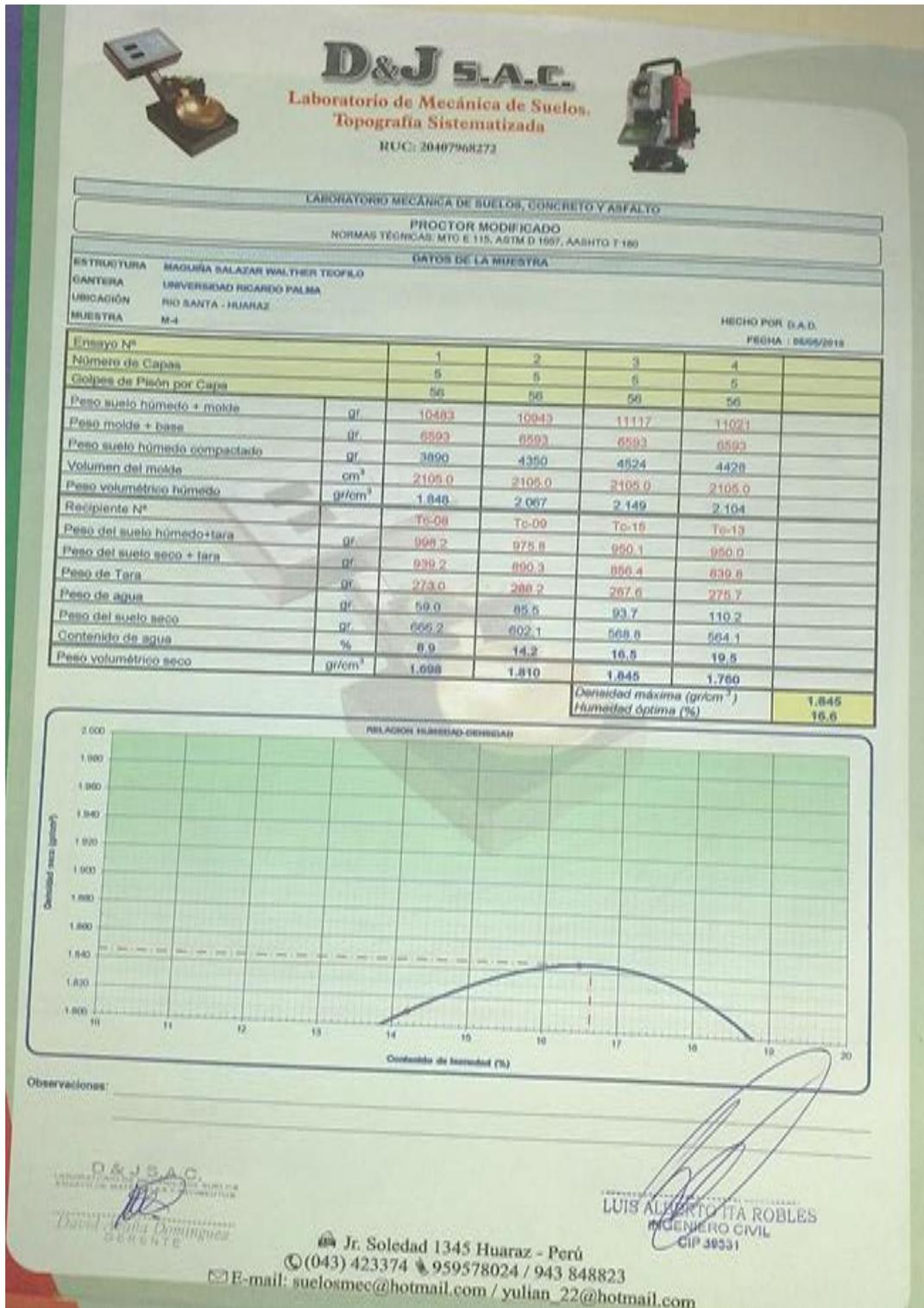
David Molina Domínguez  
GERENTE

LUIS ALBERTO TTA ROBLES  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 19331

Jr. Soledad 1345 Huaraz - Perú  
 ☎ (043) 423374 ☎ 959578024 / 943 848823  
 ✉ E-mail: suelosmcc@hotmail.com / yulian\_22@hotmail.com

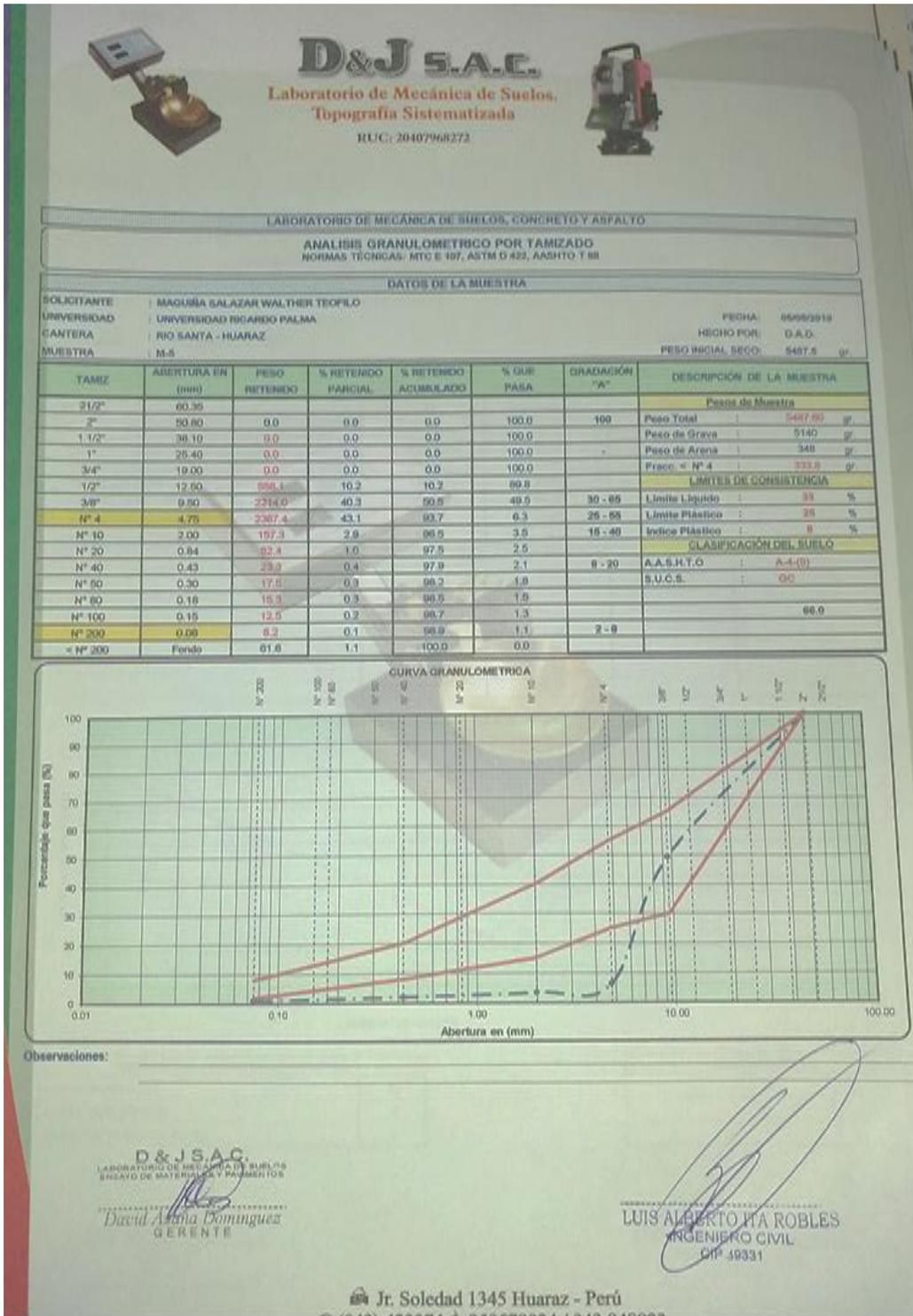
Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 04.



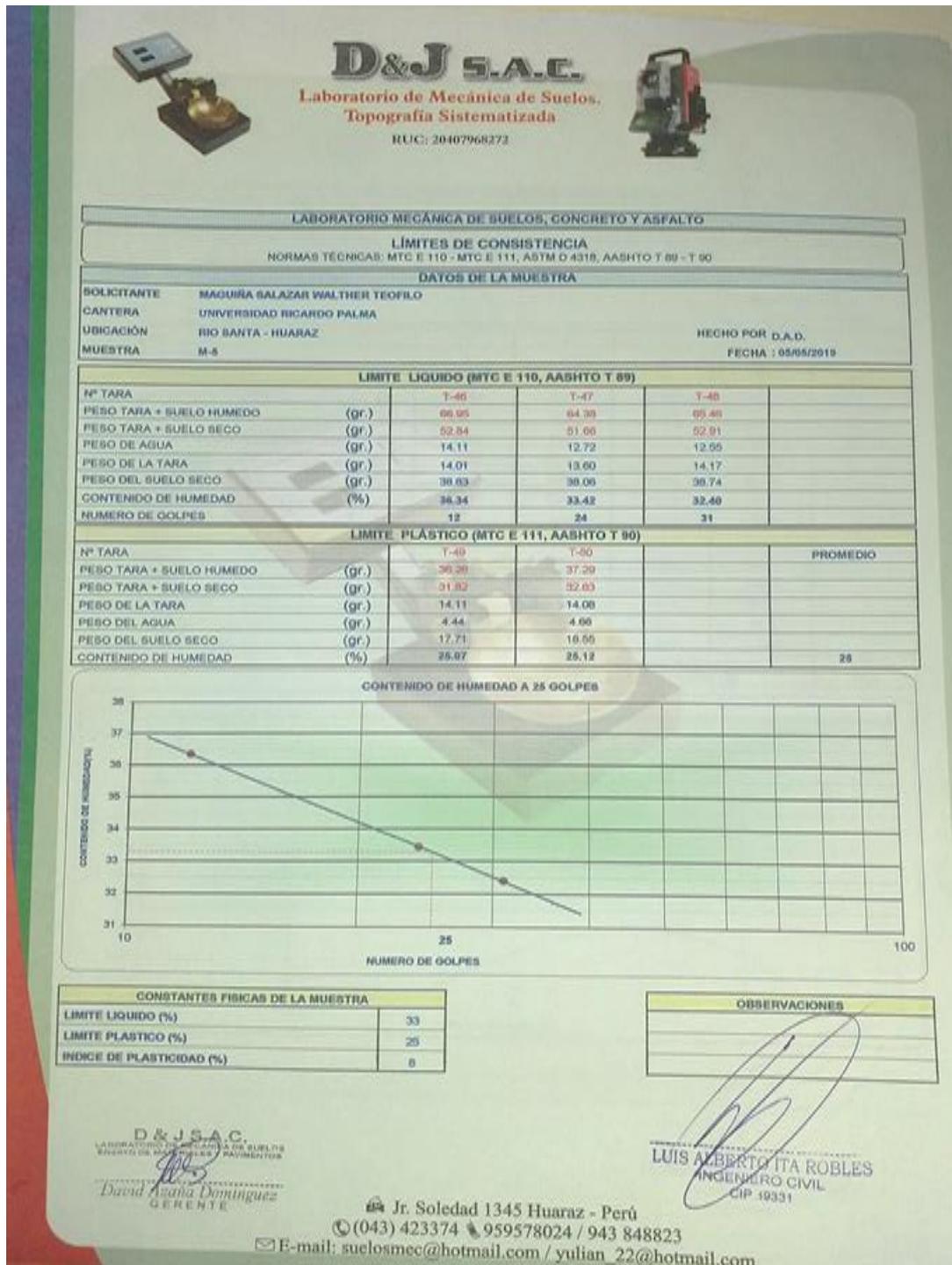
Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Análisis Granulométrico de la Muestra N° 05.



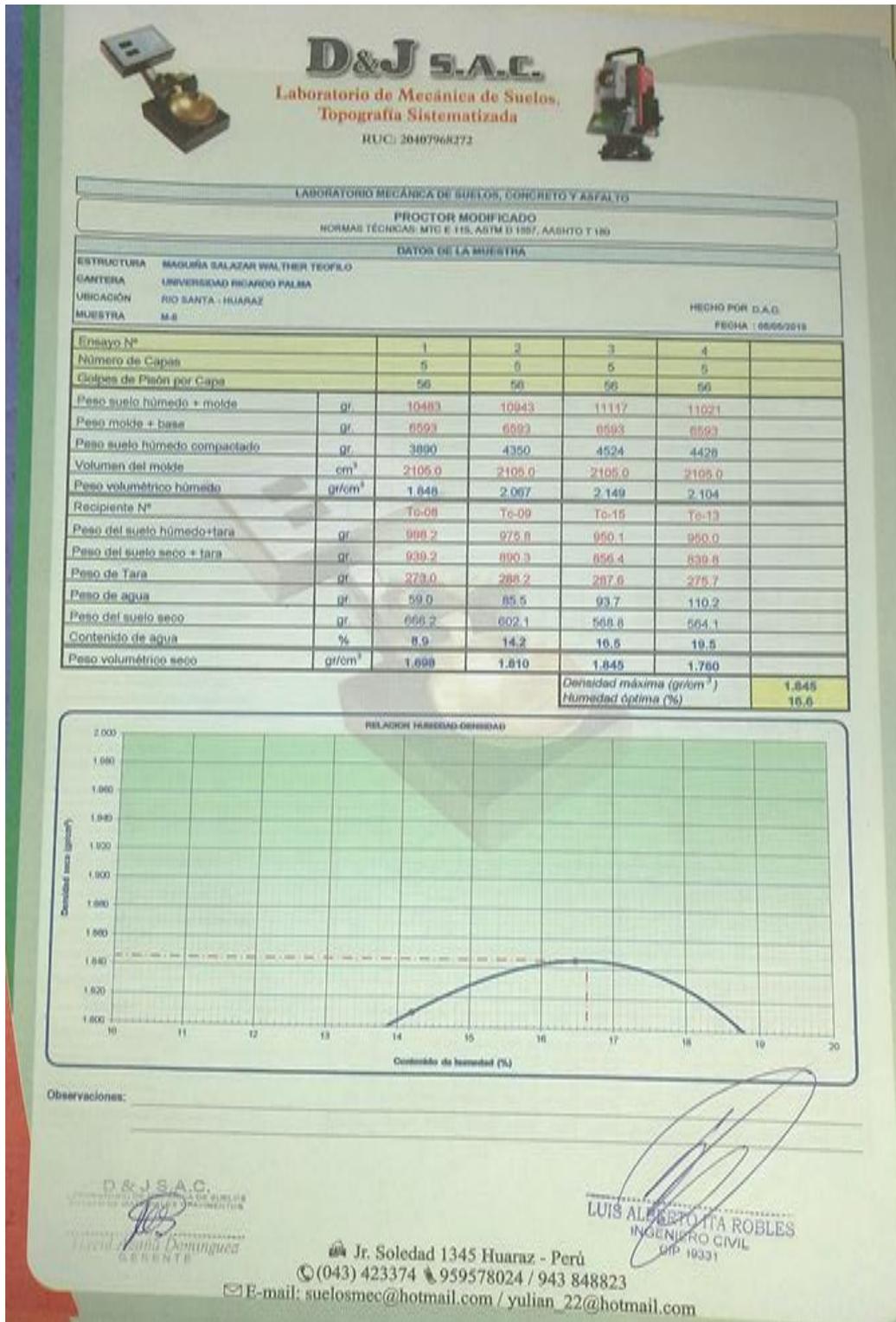
Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Análisis Limite de Consistencia de la Muestra N° 05.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Análisis de Proctor Modificado de la Muestra N° 05.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Diseño de Mezcla Asfáltica – Convencional

**D&J S.A.C.**  
Laboratorio de Mecánica de Suelos,  
Topografía Sistematizada  
RUC: 20407968272

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**  
ENSAYO MARSHALL (NORMA MTC E 504, ASTM D-1559, AASTHO T245)

PROYECTO: CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS DE ASFALTO A COMPRESION PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECANICAS

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA FECHA : 05/05/2019

MATERIAL: MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE PEN 60-70 PETROPERU CONVENCIONAL

PROPIETARIO: WALTHER MAGUÑA SALAZAR CANTERA: RIO SANTA HUARAZ

N°	ESPECIMEN N°		CANTERA: RIO SANTA HUARAZ											
			1			2			3			4		
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.5			6.0			6.5			7.0		
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	%	47.250			47.000			46.750			46.500		
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	%	47.250			47.000			46.750			46.500		
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla	%	-			-			-			-		
5	Peso Especifico del Cemento Asfáltico - aparente	gr/cc	1.000			1.000			1.000			1.000		
6	Peso Especifico Agregado Grueso - bulk	gr/cc	2.692			2.692			2.692			2.692		
7	Peso Especifico Agregado fino - bulk	gr/cc	2.680			2.680			2.680			2.680		
8	Peso Especifico Filler - aparente	gr/cc	-			-			-			-		
8	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	(mm)	62.5	63.7	62.6	64.0	63.7	64.3	62.9	62.4	62.8	63.2	63.0	63.1
9	Peso del Especimen en el aire (gr)	gr/cc	1217	1214	1201	1202	1235	1239	1235	1238	1245	1225	1228	1234
9a	Peso del Especimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	gr/cc	1228	1218	1208	1206	1239	1244	1238	1239	1247	1239	1239	1247
9b	Agua absorbida	cc	11.0	4.0	7.0	4.0	4.0	5.0	3.0	1.0	2.0	14.0	11.0	13.0
10	Peso de la Especimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	gr/cc	680	685	672	683	698	707	709	710	713	698.4	698.5	699.4
11	Volumen del Especimen por desplazamiento	cc	537	529	529	519	537	532	526	528	532	528.6	529.5	534.6
12	Peso Especifico bulk de la Especimen (MTC E 514 - 2000)	gr/cc	2.266	2.295	2.270	2.316	2.300	2.329	2.348	2.345	2.340	2.317	2.319	2.308
13	Peso Especifico Máximo ASTM D-2041	gr/cc	2.499			2.465			2.451			2.400		
14	% de Vacios	%	9.31	8.17	9.15	6.04	6.70	5.52	4.21	4.34	4.52	3.44	3.37	3.62
15	Peso Especifico Bulk del Agregado total	gr/cc	2.686			2.686			2.686			2.686		
16	VMA	cc	20.27	19.26	20.12	16.73	19.30	18.28	18.27	18.38	18.54	19.70	19.70	20.08
17	% de Vacios Llenados con C.A (MTC E 505 - 2000)	%	54.05	57.59	54.53	67.73	65.28	69.80	76.08	76.40	75.62	62.59	62.90	80.96
18	Peso Especifico del Agregado total	gr/cc	2.738			2.719			2.726			2.683		
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	cc	0.705			0.456			0.546			-0.046		
20	% de Asfalto Efectivo	%	4.833			5.571			5.989			7.043		
21	Flujo (mm)	mm	2.18	2.22	2.19	3.18	3.11	3.21	3.98	3.77	3.82	4.25	4.25	4.22
	Lectura del Dial		219	211	213	285	289	281	322	328	331	282	277	283
22	Estabilidad sin corregir (Kg)	kg	744.9	718.2	724.9	965.3	978.6	951.9	1089	1109	1119	955.2	938.5	958.6
23	Factor de Estabilidad		0.96	0.93	0.96	0.93	0.93	0.96	0.93	0.96	0.93	0.93	0.93	0.93
24	Estabilidad Corregida	kg	715.1	667.9	695.9	897.7	910.1	913.8	1013	1064	1041	885.4	872.9	891.5
25	Relación Estabilidad / flujo (kg/cm.)	kg/cm	3280	3009	3178	2823	2926	2847	2626	2824	2724	2090	2054	2113

D&J S.A.C.  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS  
ENSAYO DE MATERIALES Y PAVIMENTOS

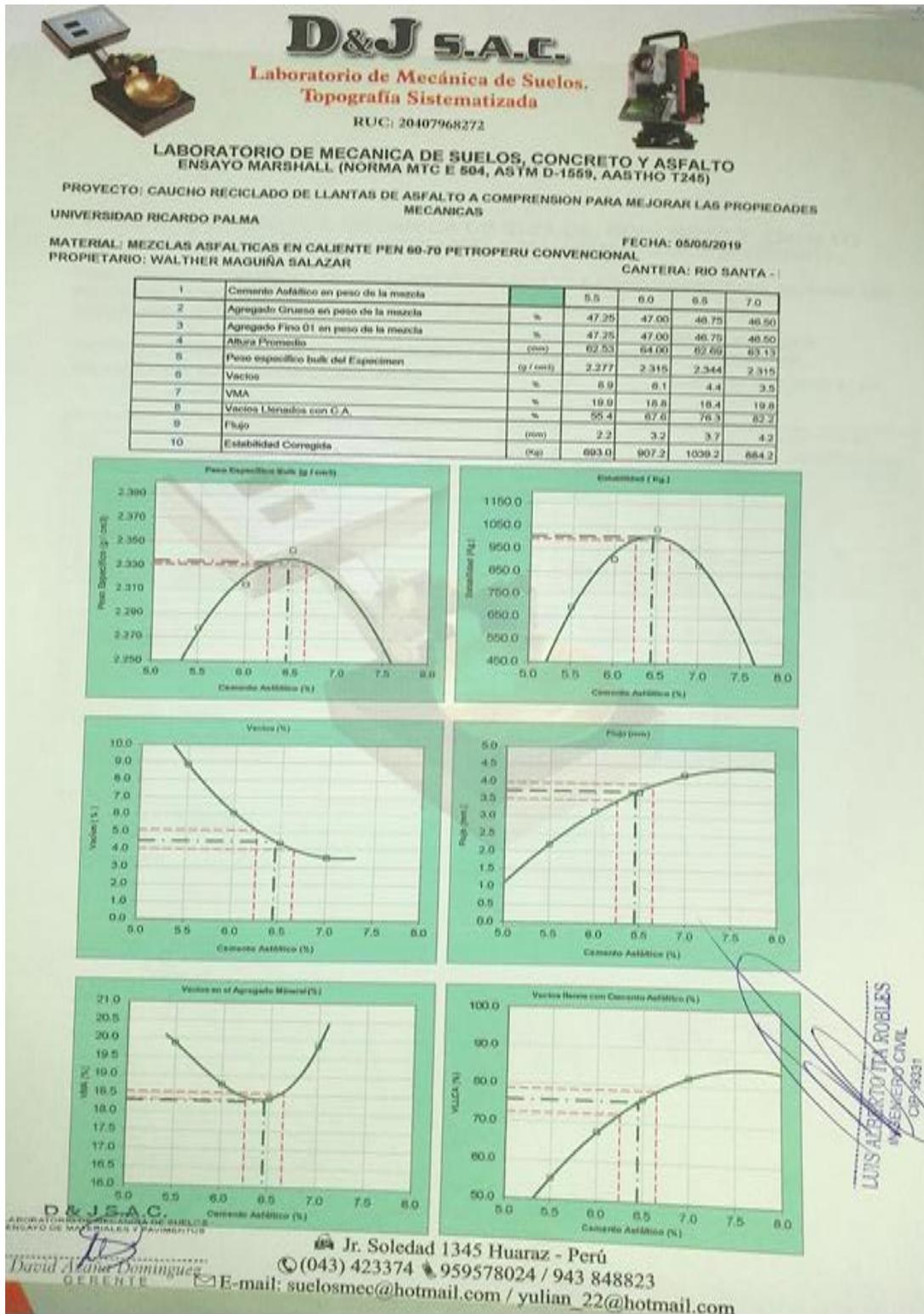
David Arana Dominguez  
GERENTE

LUIS ALBERTO ITA ROBLES  
INGENIERO CIVIL  
CIP 19331

Jr. Soledad 1345 Huaraz - Perú  
(043) 423374 / 959578024 / 943 848823  
E-mail: enlacma@hotm... / ...

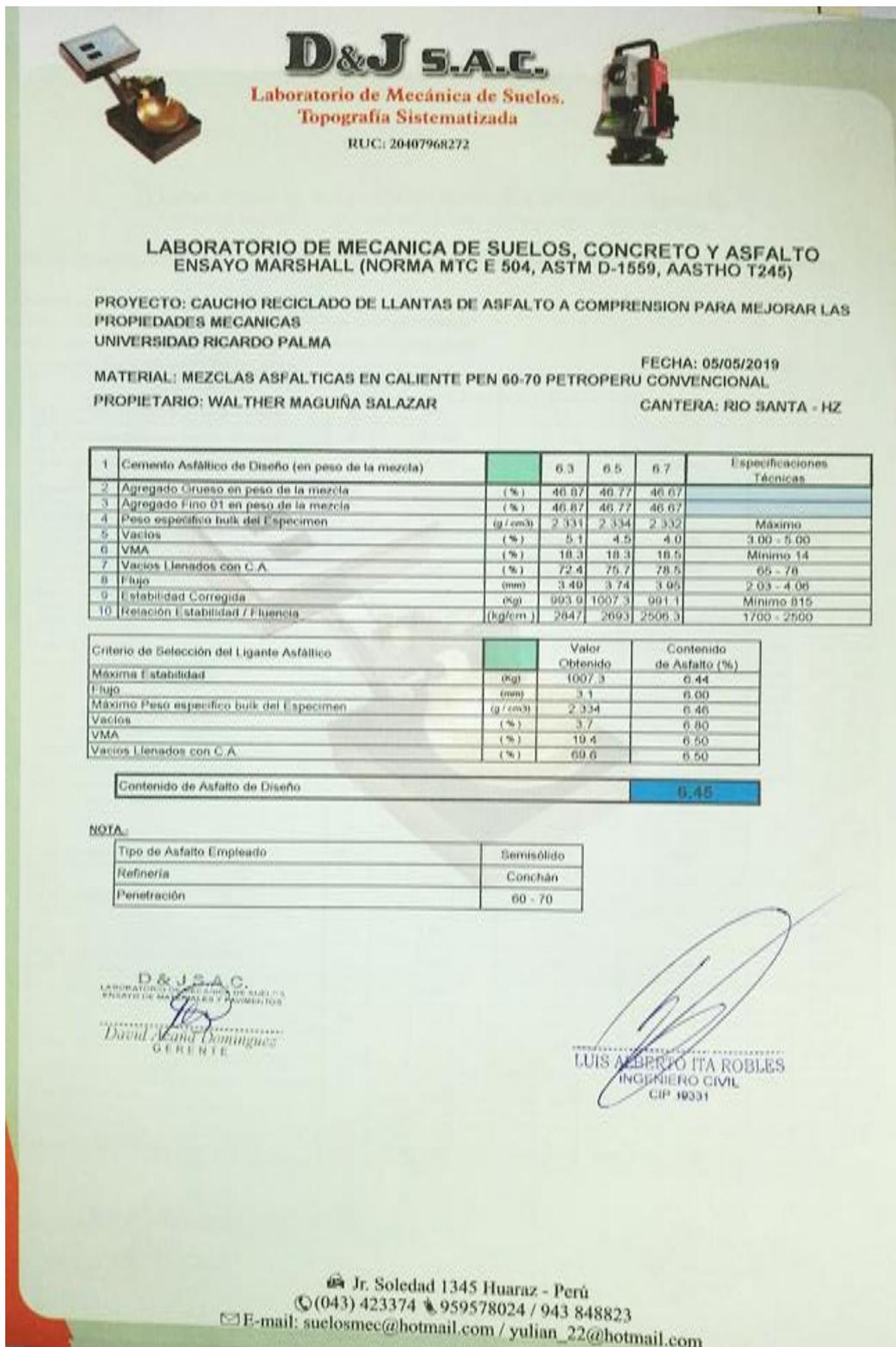
Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Resumen y Grafico del Diseño de Mezcla Asfáltica – Convencional



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica – Convencional



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Diseño de Mezcla Asfáltica – con la incorporación del grano de caucho reciclado 1%.

**D&J S.A.C.**  
Laboratorio de Mecánica de Suelos,  
Topografía Sistemática  
RUC: 20407968272

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**  
ENSAYO MARSHALL (NORMA MTC E 504, ASTM D-1559, AASTHO T245)

PROYECTO: CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS DE ASFALTO A COMPRESION PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECANICAS

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA FECHA : 05/05/2019

MATERIAL: MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE PEN 60-70 PETROPERU

DISEÑO: MEZCLA ASFALTICA CON 1% GRANO DE CAUCHO RECICLADO

PROPIETARIO: WALTHER MAGUIÑA SALAZAR CANTERA: RIO SANTA HUARAZ

N°	ESPECIMEN N°		1		2		3		4					
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.5		6.0		6.5		7.0					
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	%	54.530		54.500		54.600		54.350					
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	%	56.410		56.600		56.040		56.400					
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla	%	-		-		-		-					
5	Peso Especifico del Cemento Asfáltico - aparente	gr/cc	1.001		1.001		1.001		1.001					
6	Peso Especifico Agregado Grueso - bulk	gr/cc	2.735		2.735		2.735		2.735					
7	Peso Especifico Agregado fino - bulk	gr/cc	2.783		2.783		2.783		2.783					
8	Peso Especifico Filler - aparente	gr/cc	2.817		2.817		2.817		2.817					
8	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	(mm)	62.5	63.1	62.5	64.5	63.8	64.4	63.0	62.5	62.9	63.5	63.1	63.0
9	Peso del Especimen en el aire (gr)	gr/cc	1235	1235	1235	1237	1237	1237	1238	1238	1238	1239	1239	1239
9a	Peso del Especimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	gr/cc	1230	1236	1238	1237	1237	1237	1238	1238	1238	1239	1239	1239
9b	Agua absorbida	cc	11.0	4.0	7.0	4.0	4.0	5.0	3.0	1.0	2.0	14.0	11.0	13.0
10	Peso de la Especimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	gr/cc	675	685	670	685	690	701	705	712	714	697	700	700.1
11	Volumen del Especimen por desplazamiento	cc	560	550	565	552	547	536	533	526	524	542	539	538.9
12	Peso Especifico bulk de la Especimen (MTC E 514 - 2000)	gr/cc	2.205	2.245	2.186	2.241	2.261	2.308	2.323	2.354	2.363	2.286	2.299	2.299
13	Peso Especifico Máximo ASTM D-2041	gr/cc	2.499		2.465		2.451		2.400					
14	% de Vacios	%	11.75	10.15	12.53	9.09	8.26	6.38	5.23	3.97	3.61	4.75	4.22	4.20
15	Peso Especifico Bulk del Agregado total	gr/cc	2.521		2.521		2.521		2.521					
16	VMA	cc	20.27	19.26	20.12	18.73	19.30	18.28	18.27	18.38	18.54	19.70	19.70	20.08
17	% de Vacios Llenados con C.A (MTC E 505 - 2000)	%	42.02	47.32	37.73	51.48	57.21	65.12	71.35	78.38	80.54	75.96	78.58	79.07
18	Peso Especifico del Agregado total	gr/cc	2.582		2.594		2.596		2.593					
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	cc	0.930		1.120		1.140		1.100					
20	% de Asfalto Efectivo	%	5.468		5.253		5.239		5.282					
21	Flujo (mm)	mm	2.19	2.23	2.20	3.17	3.12	3.22	3.60	3.75	3.63	4.26	4.25	4.21
	Lectura del Dial		220	210	212	289	290	285	321	327	332	285	278	280
22	Estabilidad sin corregir (Kg)	kg	745.8	720.1	725.5	886.3	878.5	852.5	1088	1110	1120	856.2	840.1	857.3
23	Factor de Estabilidad		0.95	0.94	0.95	0.92	0.92	0.96	0.94	0.97	0.92	0.92	0.92	0.92
24	Estabilidad Corregida	kg	708.5	676.9	689.2	889	866.2	914.4	1023	1077	1030	879.7	864.9	880.7
25	Relación Estabilidad / flujo (kg/cm.)	kg/cm	2174	2208	2178	2107	2142	2249	2246	2344	2216	2151	2178	2202

D & J S.A.C.  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS  
ENSAYO DE MATERIALES Y MAQUINARIA

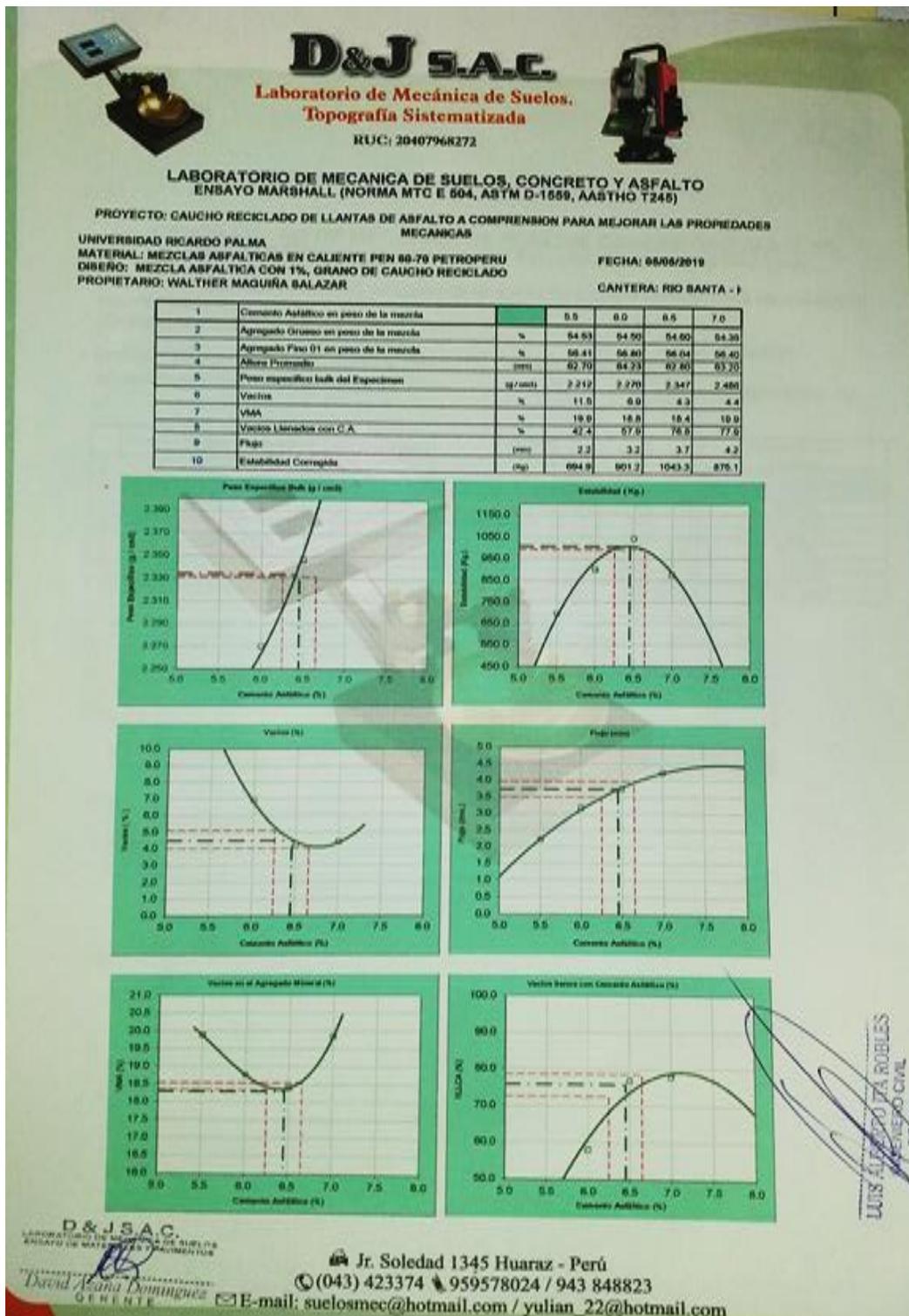
David Alana Domínguez  
GERENTE

LUIS ALBERTO ITA ROBLES  
INGENIERO CIVIL  
CIB-58331

Jr. Soledad 1345 Huaraz - Perú  
☎ (043) 423374 📠 959578024 / 943 848823

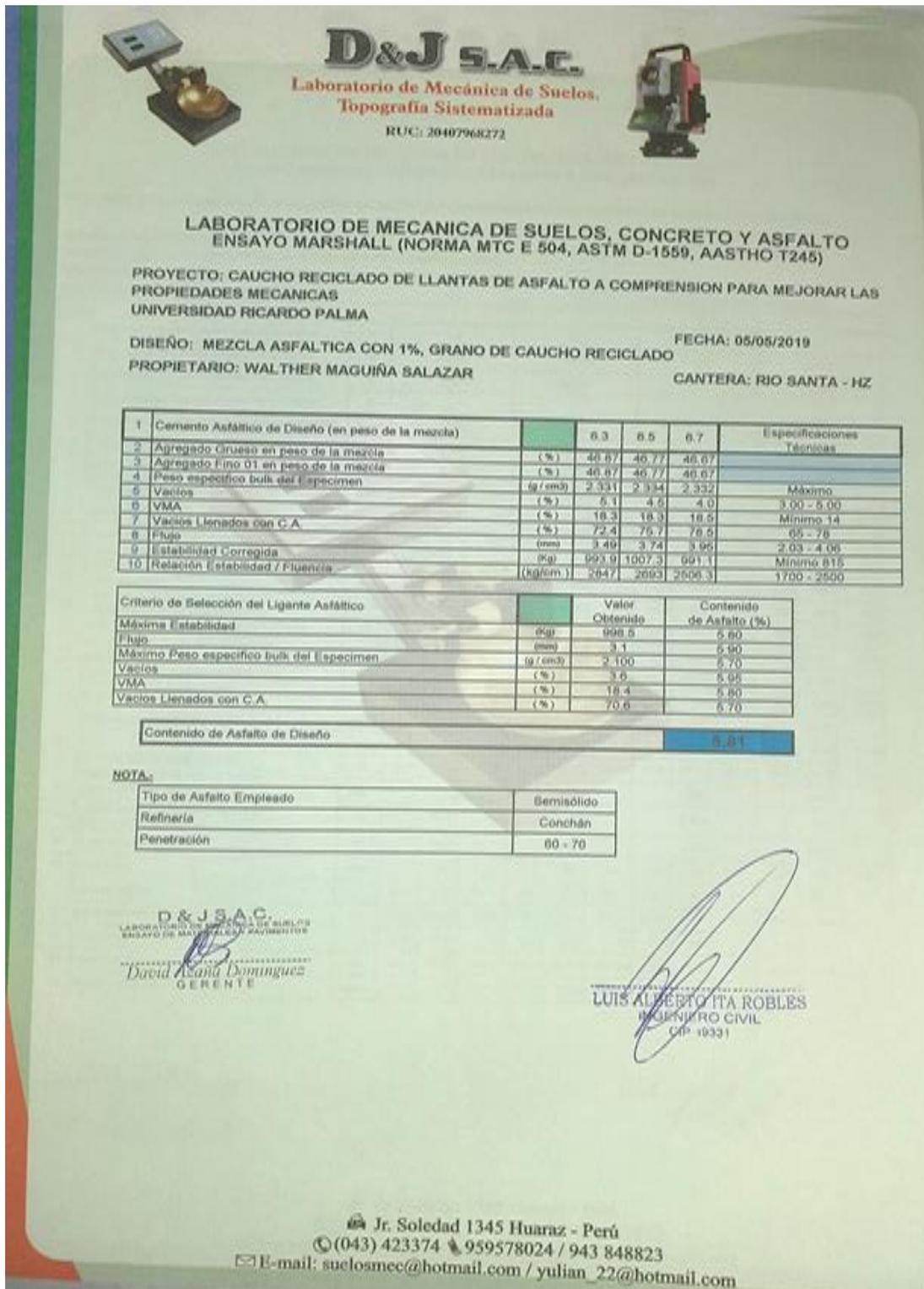
Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Resumen y Grafico del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 1%.



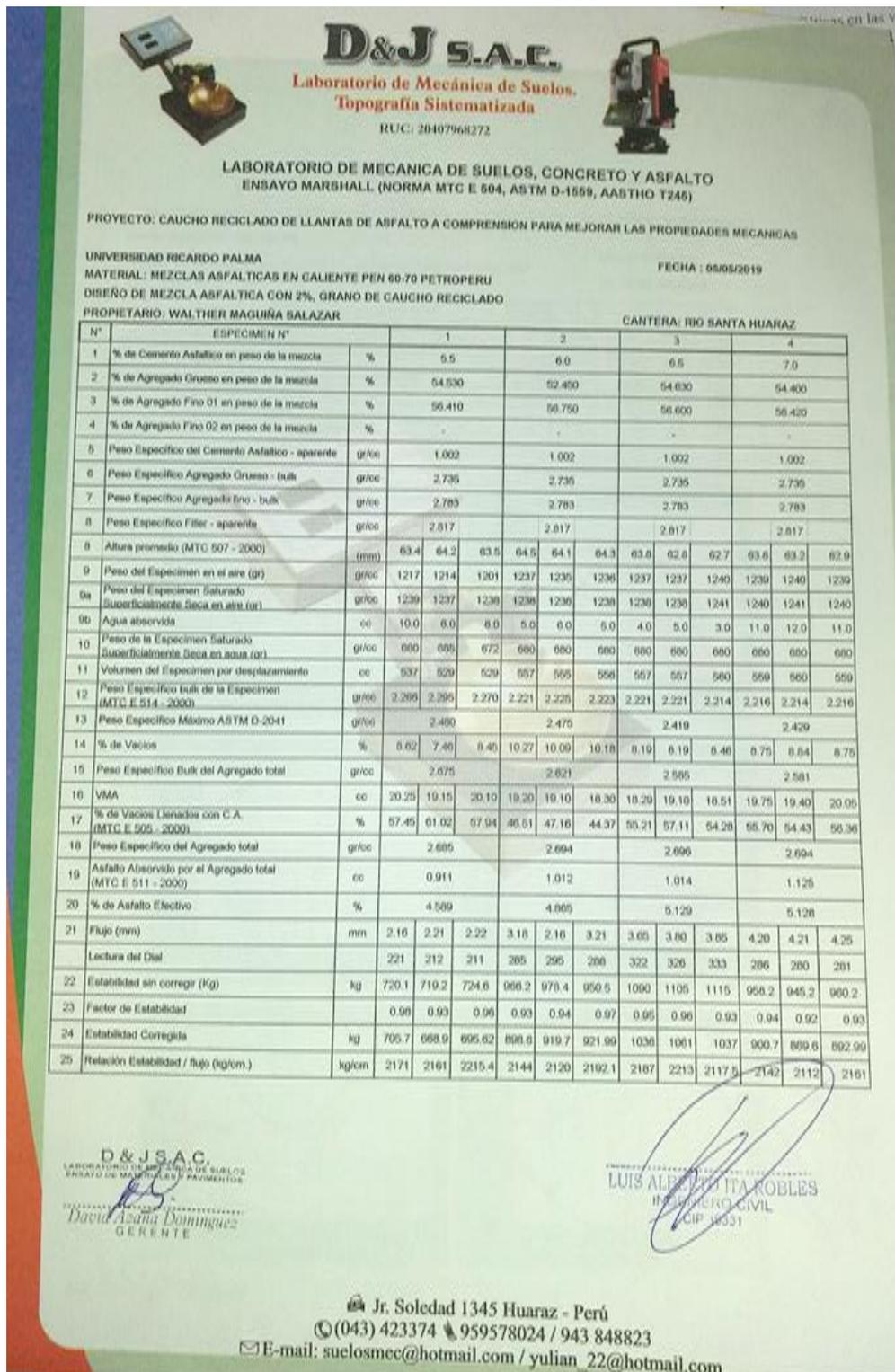
Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 1%.



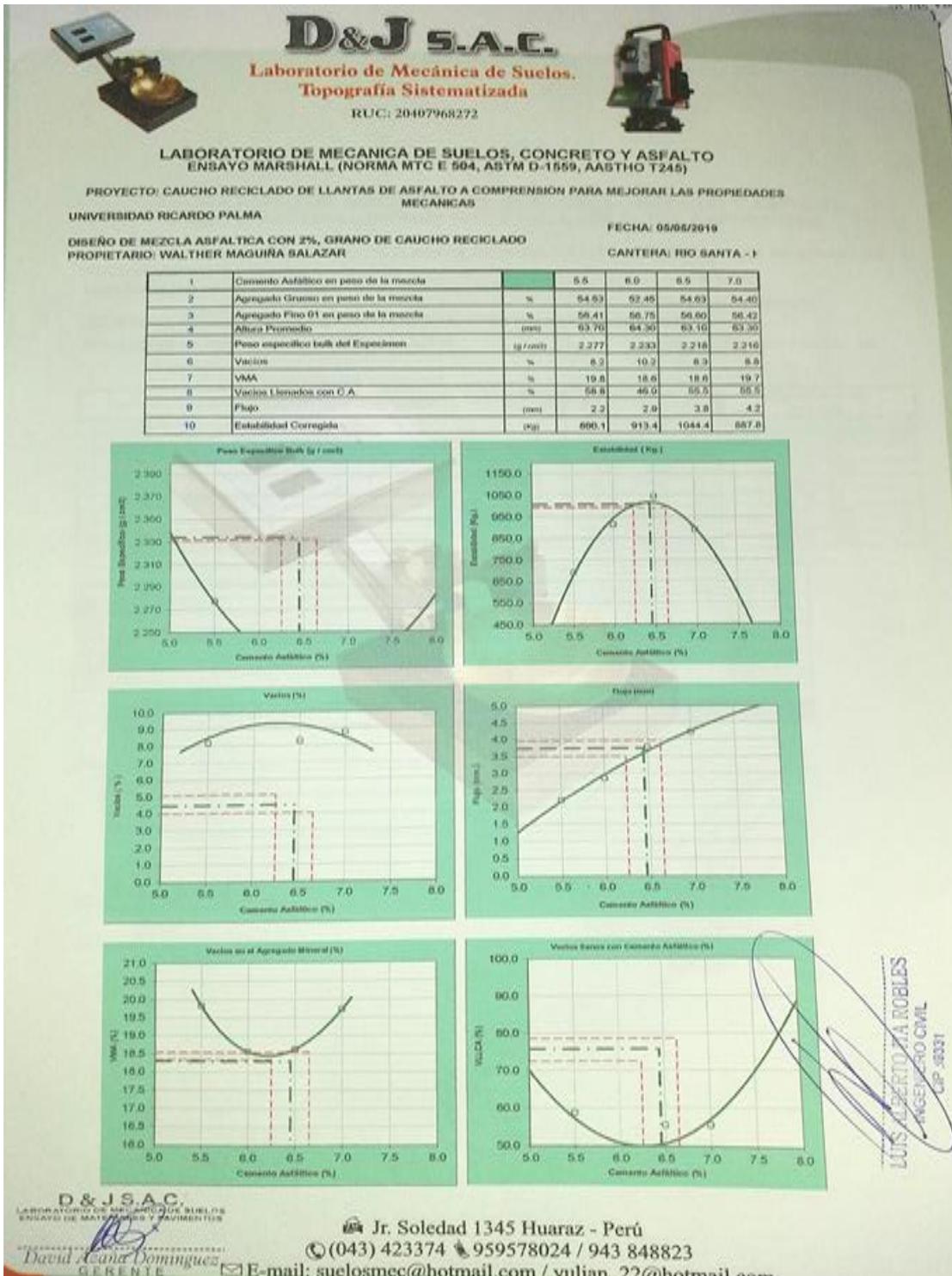
Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Diseño de Mezcla Asfáltica – con la incorporación del grano de caucho reciclado 2%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Resumen y Grafico del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 2%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 2%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Diseño de Mezcla Asfáltica – con la incorporación del grano de caucho reciclado 3%.

**D&J S.A.C.**  
Laboratorio de Mecánica de Suelos,  
Topografía Sistemizada  
RUC: 20407968272

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**  
ENSAYO MARSHALL (NORMA MTC E 504, ASTM D-1559, AASTHO T245)

PROYECTO: CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS DE ASFALTO A COMPRESION PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECANICAS

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA FECHA : 05/05/2019

MATERIAL: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICAS CON 3%, GRANO DE CAUCHO RECICLADO  
PROPIETARIO: WALTHER MAGUIÑA SALAZAR CANTERA: RIO SANTA HUARAZ

N°	ESPECIMEN N°		1 2 3 4											
1	% de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.5 6.0 6.5 7.0											
2	% de Agregado Grueso en peso de la mezcla	%	47.300 47.100 47.250 47.100											
3	% de Agregado Fino 01 en peso de la mezcla	%	47.150 47.150 46.700 46.800											
4	% de Agregado Fino 02 en peso de la mezcla	%	- - - -											
5	Peso Especifico del Cemento Asfáltico - aparente	gr/cc	1.000 1.000 1.000 1.000											
6	Peso Especifico Agregado Grueso - bulk	gr/cc	2.792 2.792 2.792 2.792											
7	Peso Especifico Agregado fino - bulk	gr/cc	2.700 2.700 2.700 2.700											
8	Peso Especifico Filler - aparente	gr/cc	- - - -											
8	Altura promedio (MTC 507 - 2000)	(mm)	63.5	63.6	62.4	63.9	64.1	64.2	62.8	62.3	62.7	62.5	63.1	63.2
9	Peso del Especimen en el aire (gr)	gr/cc	1217	1215	1202	1203	1236	1240	1236	1237	1246	1226	1227	1233
9a	Peso del Especimen Saturado Superficialmente Seca en aire (gr)	gr/cc	1229	1217	1207	1207	1240	1243	1237	1238	1246	1238	1239	1246
9b	Agua absorbida	cc	10.0	4.5	6.8	4.1	4.1	5.2	3.1	1.2	2.0	13.0	10.0	13.0
10	Peso de la Especimen Saturado Superficialmente Seca en agua (gr)	gr/cc	682	683	675	682	699	708	707	709	712	698.4	697.5	699.5
11	Volumen del Especimen por desplazamiento	cc	535	532	527	521	537	532	529	528	534	527.6	529.5	533.5
12	Peso Especifico bulk de la Especimen (MTC E 514 - 2000)	gr/cc	2.275	2.284	2.281	2.309	2.302	2.331	2.336	2.343	2.333	2.324	2.317	2.311
13	Peso Especifico Máximo ASTM D-2041	gr/cc	2.280 2.314 2.338 2.317											
14	% de Vacios	%	9.32	8.15	9.10	6.05	6.75	5.55	4.25	4.32	4.51	3.48	3.39	3.60
15	Peso Especifico Bulk del Agregado total	gr/cc	2.685 2.685 2.685 2.685											
16	VMA	cc	20.21	19.57	20.10	18.71	19.25	18.30	18.29	18.36	18.53	19.75	19.69	20.07
17	% de Vacios Llenados con C.A. (MTC E 505 - 2000)	%	54.04	57.60	54.50	67.60	65.20	69.70	76.91	76.42	75.60	82.50	82.40	80.60
18	Peso Especifico del Agregado total	gr/cc	2.732 2.718 2.721 2.681											
19	Asfalto Absorbido por el Agregado total (MTC E 511 - 2000)	cc	0.706 0.455 0.548 0.048											
20	% de Asfalto Efectivo	%	4.822 5.572 5.898 7.023											
21	Flujo (mm)	mm	2.17	2.21	2.20	3.17	3.10	3.22	3.60	3.78	3.83	4.26	4.24	4.23
	Lectura del Dial		216	212	214	286	288	280	321	329	332	283	278	282
22	Estabilidad sin corregir (Kg)	kg	744.8	717.9	743.8	965.2	978.4	951.4	1088	1108	1120	968.4	930.4	958.4
23	Factor de Estabilidad		0.97	0.94	0.95	0.94	0.94	0.95	0.94	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94
24	Estabilidad Corregida	kg	722.5	674.8	706.6	907.3	919.7	903.8	1023	1053	1053	900.4	883	900.9
25	Relación Estabilidad / flujo (kg/cm.)	kg/cm	3270	3010	3177	2880	2925	2840	2828	2820	2722	2085	2055	2115

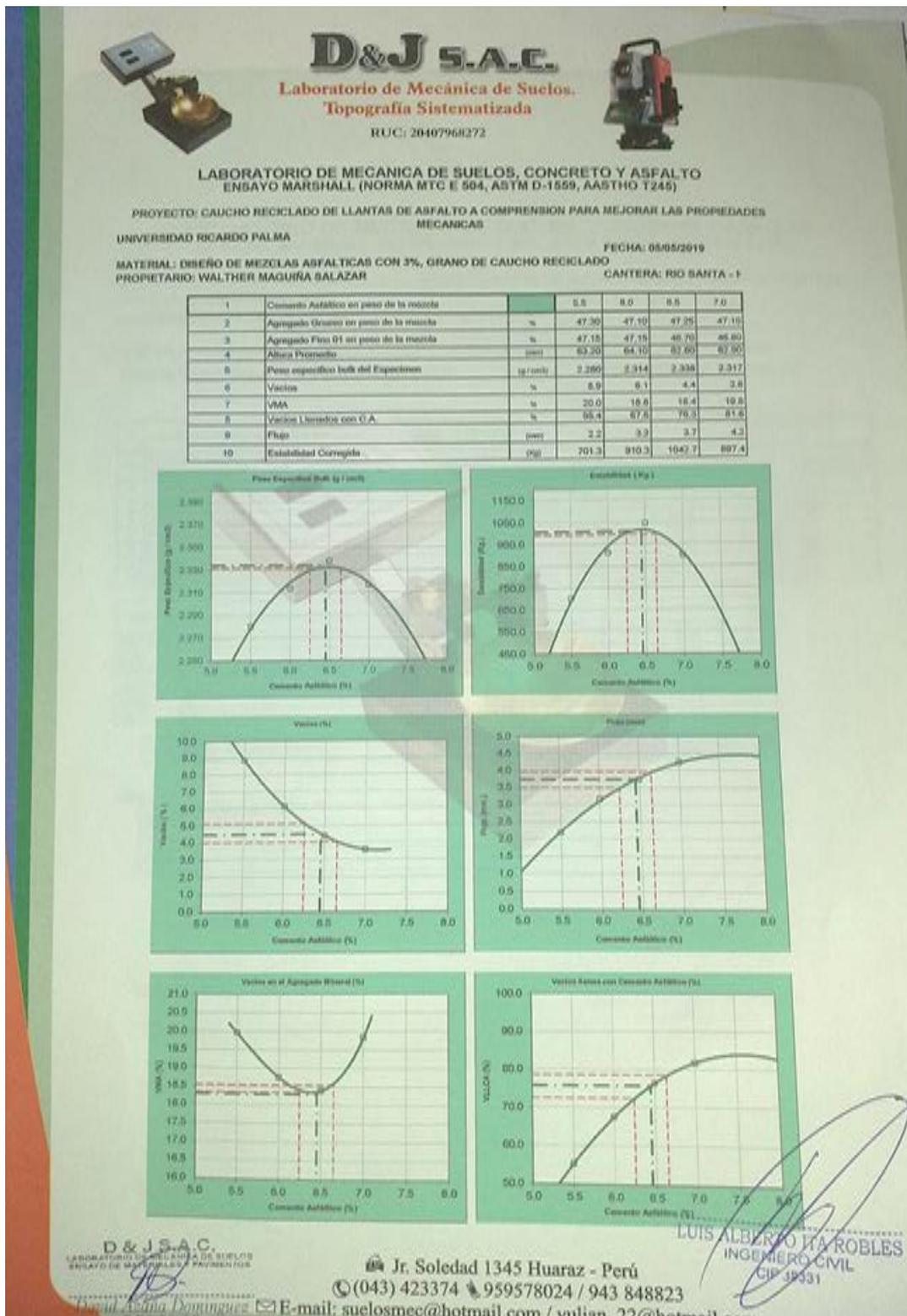
**D&J S.A.C.**  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS  
ENSAYO DE MATERIALES Y CALIBRANTES  
David Azania Domínguez  
GERENTE

**LUIS ALBERTO VA ROBLES**  
INGENIERO CIVIL  
CIP 39531

Jr. Soledad 1345 Huaraz - Perú  
(043) 423374 / 959578024 / 943 848823  
E-mail: suelosec@hotmail.com / yulian\_22@hotmail.com

Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Resumen y Grafico del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 3%.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 39. Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado 3%.**



Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Evaluación de los costos unitarios de la mezcla asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado.

#### 4.3.1. Análisis de costos unitarios convencional.

							
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA							
ANALISIS DE COSTO UNITARIOS MODIFICADO							
01.01.00	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE E= 2"						
Rendimiento; M2/DIA	M.O.	1800.00	E.Q.	1800.00	Costo Unitario por: M2		
Costo unitario directo por: M2							<b>56.70</b>
Codigo	Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
01.01.01	OPERARIO	hh	8.0000	0.0356	11.57	0.41	
01.01.02	OFICIAL	hh	6.0000	0.0267	9.31	0.25	
01.01.03	PEON	hh	12.0000	0.0533	8.43	0.45	
01.01.04	CONTROLADOR OFICIAL	hh	1.0000	0.0044	9.31	0.04	
							<b>1.15</b>
Materiales							
01.02.01	ARENA FINA	m3		0.0160	110.00	1.76	
01.02.02	FILLER	kg		1.0000	0.90	0.90	
01.02.03	PIEDRA CHANCADA DE 3/4" - 1/2"	m3		0.0300	70.00	2.10	
01.02.04	ARENA GRUESA	m3		0.0400	60.00	2.40	
01.02.05	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/1	gal		2.0680	8.14	16.83	
01.02.06	GRANO DE CAUCHO REICLADO	kg		0.1320	0.50	0.07	
01.02.06	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	gal		1.0000	17.02	17.02	
							<b>41.08</b>
Materiales							
01.03.01	HERRAMIENTA MANUALES	%M.O.		5.0000	1.15	0.06	
01.03.02	CAMION VOLQUETE 15 m3	hm	4.0000	0.0178	130.00	2.31	
01.03.03	COMPRESORA NEUMATICA 76 HP 125.1	hm	0.5000	0.0022	120.00	0.27	
01.03.04	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSAI	hm	1.0000	0.0044	150.00	0.67	
01.03.05	RODILLO TANDEM ESTATICO AUTOPRO	hm	1.0000	0.0044	155.00	0.69	
01.03.06	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLA	hm	1.0000	0.0044	12.00	0.05	
01.03.07	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-355HP	hm	1.0000	0.0044	165.00	0.73	
01.03.08	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69HI	hm	1.0000	0.0044	180.00	0.80	
01.03.09	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115T	hm	1.0000	0.0044	2000.00	8.89	
							<b>14.47</b>
Fuente: Propia							

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2. Análisis de costos unitarios incorporando el grano de caucho reciclado.

		UNIVERSIDAD RICARDO PALMA					
<b>ANALISIS DE COSTO UNITARIOS MODIFICADO</b>							
01.01.00	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE E= 2"						
Rendimiento; M2/DIA	M.O.	1800.00	E.Q.	1800.00	Costo Unitario por: M2		
Costo unitario directo por: M2							<b>56.70</b>
Codigo	Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
01.01.01	OPERARIO	hh	8.0000	0.0356	11.57	0.41	
01.01.02	OFICIAL	hh	6.0000	0.0267	9.31	0.25	
01.01.03	PEON	hh	12.0000	0.0533	8.43	0.45	
01.01.04	CONTROLADOR OFICIAL	hh	1.0000	0.0044	9.31	0.04	
							<b>1.15</b>
Materiales							
01.02.01	ARENA FINA	m3		0.0160	110.00	1.76	
01.02.02	FILLER	kg		1.0000	0.90	0.90	
01.02.03	PIEDRA CHANCADA DE 3/4" - 1/2"	m3		0.0300	70.00	2.10	
01.02.04	ARENA GRUESA	m3		0.0400	60.00	2.40	
01.02.05	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/1	gal		2.0680	8.14	16.83	
01.02.06	GRANO DE CAUCHO RECICLADO	kg		0.1320	0.50	0.07	
01.02.06	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	gal		1.0000	17.02	17.02	
							<b>41.08</b>
Materiales							
01.03.01	HERRAMIENTA MANUALES	%M.O.		5.0000	1.15	0.06	
01.03.02	CAMION VOLQUETE 15 m3	hm	4.0000	0.0178	130.00	2.31	
01.03.03	COMPRESORA NEUMATICA 76 HP 125.1	hm	0.5000	0.0022	120.00	0.27	
01.03.04	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSAI	hm	1.0000	0.0044	150.00	0.67	
01.03.05	RODILLO TANDEM ESTATICO AUTOPRO	hm	1.0000	0.0044	155.00	0.69	
01.03.06	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLA	hm	1.0000	0.0044	12.00	0.05	
01.03.07	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-355HP	hm	1.0000	0.0044	165.00	0.73	
01.03.08	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69HI	hm	1.0000	0.0044	180.00	0.80	
01.03.09	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE 60-115T	hm	1.0000	0.0044	2000.00	8.89	
							<b>14.47</b>
Fuente: Propia							

Fuente: Elaboración propia.



#### 4.3.4. Comparación de costos de asfaltos convencional y modificado.

		UNIVERSIDAD RICARDO PALMA	
<b>CARRETERA A ASFALTAR</b>		<b>10 KM</b>	
<b>LONGITUD</b>		<b>100000</b>	<b>MT</b>
<b>ANCHO DE VIA</b>		<b>7.6</b>	<b>MT</b>
<b>AREA A ASFALTA</b>		<b>760000</b>	<b>M2</b>
<b>COSTO DEL ASFALTO CONVENCIONAL S/.</b>		<b>57.71</b>	
<b>COSTO TOTAL S/.</b>		<b>5770504.22</b>	
<b>COSTO DEL ASFALTO MODIFICADO S/.</b>		<b>56.70</b>	
<b>COSTO TOTAL S/.</b>		<b>5669656.22</b>	
<b>DIFERENCIA EN COSTOS</b>		<b>S/100,848.00</b>	
Fuente: Propia			

Fuente: Elaboración propia.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES:**

De acuerdo a los ensayos realizados, se está llegado a demostrar que la incorporación del grano de caucho reciclado mejora el comportamiento mecánico – físico del asfalto convencional.

La incorporación del grano de caucho reciclado mejora la resistencia a la deformación plástica de una mezcla asfáltica. Esto debido a la recuperación elástica por torsión, siendo el asfalto modificado 37% más recuperable que el convencional.

El uso de los granos de caucho reciclado, el punto de ablandamiento aumenta, garantizando que el asfalto tendrá un buen desempeño trabajando a altas temperaturas.

Las mezclas asfálticas modificadas no alteran los procedimientos usados normalmente en los trabajos de pavimentación.

Los análisis de costos unitarios que se han analizados en el presente estudio existen una diferencia económica frente a la mezcla asfáltica modificada, se adjuntan los análisis de costos unitarios, en forma detallada.

## **RECOMENDACIONES.**

Se recomienda dar uso a los granos de caucho reciclado, en la mezcla asfáltica modificada porque se obtiene mayor resistencia a la compresión en condiciones secas y en condiciones de saturación, para las vías que se construyen en zonas de lluvias porque la carpeta asfáltica no va a sufrir daños en su rodadura.

Se recomienda mantener la temperatura de la mezcla asfáltica durante el proceso de pavimentar a una temperatura procedió de 180°C, caso contrario la mezcla asfáltica se vuelve muy viscosa y ya no es trabajable.

Se recomienda a todos los operadores de los volquetes que están transportando la mezcla asfáltica, mantener tapado sus unidades, para mantener el calor según las recomendaciones técnicas.

Se recomienda Gobierno central implementar en las normas de diseño de la mezcla asfáltica con la incorporación del grano de caucho reciclado, dando uso a los neumáticos que están en desuso, con esto estaremos también contribuyendo en preservar el medio ambiente. En otros países ya se está aplicando este sistema, como el caso de Colombia las normas exigen que se deba de usar el 5% de los granos de caucho reciclado, para la fabricación de la mezcla asfáltica.

Para analizar las bondades de las propiedades de la mezcla asfáltica modificada con granos de caucho reciclado a través del proceso por vía húmeda, se recomendaría emplear tramos de prueba para medir el desempeño de las mezclas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (MTC) DG-2018.

Centro de estudios y experimentación de obras públicas - company capsule. (2014). (). London: Progressive Media Group. Retrieved from ProQuest Central Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1554580566?accountid=45097>

ALVAREZ Briceño, Luis y CARRERA Sánchez, Ever. Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica. Tesis (Ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, 2017. 144 pp.

Angulo Rodríguez, R. A. y Duarte Ayala, J. L. (2005). Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6916/2/118188.pdf>

Arroyave, G. J. P., Restrepo, S. M. V., & Vásquez, D. H. G. (2017). APLICACIONES DE CAUCHO RECICLADO: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA: SCIENCE AND ENGINEERING NEOGRANADINA SCIENCE AND ENGINEERING NEOGRANADINA. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 27(2), 1-22. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1906353476?accountid=45097>

DIAZ Carlos, César y CASTRO Celis, Liliana. Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá. Tesis (Ingeniero civil). Bogotá: Universidad

Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Civil, 2017. 80 pp

Javier Eduardo, M. F., & Castañeda Pinzón, E. A. (2019). Estudio experimental del efecto del caucho reciclado y la asfaltita en el desempeño del asfalto/Assessment of simultaneous incorporation of crumb rubber and asphaltite in asphalt binders. *Dyna*, 86(208), 257-263. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v86n208.69400>

Yee Wan, Y. V., Jorge Eliécer, C. M., & Hugo Alexander Rondón Quintana. (2016). Evaluación del desgaste por abrasión de una mezcla drenante modificada con residuo de llanta triturada (GCR). *Tecnura*, 20(50), 106-118. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a08>

Henry Yecid, B. C., Sosa Martínez, P. A., Nelson Rodríguez Ramírez, & Jeimy, N. C. (2018). Fundamentos micro y macroscópicos de la modificación del asfalto convencional con polímeros: Una revisión. *Revista Inventum*, 13(24), 58-77. doi:<http://dx.doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.13.24.2018.58-77>.

Rodríguez Castro, E. (2016). Uso de polvo de caucho de llantas en pavimentos asfálticos. *Boletín técnico PITRA-LanammeUCR*, 7(4), 1-7. Recuperado de [http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitionuevo/images/boletines/Boletin\\_PITRA\\_4\\_-\\_2016.pdf](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitionuevo/images/boletines/Boletin_PITRA_4_-_2016.pdf)

- Clavijo Rey, C. M. y Aranda Rojas, C. A. (2014). Análisis del comportamiento físico - mecánico de una mezcla densa en caliente tipo mdc-2 modificada con caucho y cuero en porcentajes (25%, 75%) respectivamente. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia. Recuperado de <http://www.ustatunja.edu.co/cong-civil/images/Articulos/-ANALISIS%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20FISICO%20-%20MECANICO%20DE%20UNA%20MEZCLA%20DENSEN%20CALIENTE%20TIPO%20MDC2%20MODIFICADA%20CON%20CAUCHO%20Y%20CUERO.pdf>
- Gutiérrez Ariza, D. M. y Vivas Ramírez, S. M. (2014). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2 MDC-2 elaborada con asfalto caucho vulcanizado de suela de bota militar. Programa de Ingeniería Civil Universidad Católica de Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10983/1532>
- Ocampo, M., Caicedo, B. y González, D. (2002). Mezcla asfáltica mejoradas con caucho molido proveniente de llantas usadas. Revista de Ingeniería No 16, 175 – 180. Recuperado de <https://es.slideshare.net/hugoaliacor/mezclas-asfticas-mejoradas-con-cauchomolido-proveniente-de-llantas>
- Moreno Anselmi, L. A. (2013). Comportamiento monotónico de mezclas asfálticas MDC-2 adicionadas con desecho de caucho-cuero. Revista Academia y Virtual, 6(2) 56-66. doi:10.18359/ravi.409
- Nuha Salim. M., Asim Hassan. A., Mohamed Rehan. K. y Mahrez Abdelaziz. (2013). A Review on using crumb rubber in reinforcement of asphalt pavement. The Scientific World Journal 2014, 21. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/214612>

Navarro Dupré, N. (2013). Confección y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho nacional de neumáticos fuera de uso (NFU) mediante vía seca. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115523>

Rondón Quintana, H. A., Molano Mora, Y. y Tenjo Lancheros, A. M. (2012). Influencia de la temperatura de compactación sobre la resistencia bajo carga monotónica de mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho reciclado de llantas. Rev. Tecnológica N° 29, ISSN 0123-7799, 13-31. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/n29/n29a02.pdf>

Rondón Quintana, H. A. (2011). Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho de llanta (GCR): estado de conocimiento y análisis de utilización en Colombia. VI Jornada de Pavimentos y Mantenimiento Vial, Bogotá D.C. Colombia. Recuperado de <http://es.slideshare.net/alexa842003/articulo-asfalto-caucho>

Reyes Lizcano, F. A., Madrid Ahumada, M. F. y Salas Callejas, S. X. (2007). Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). Infraestructura Vial, No 17. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/277171116\\_Mezclas\\_asfalticas\\_modificadas\\_con\\_un\\_elastomero\\_caucho\\_y\\_un\\_plastomero\\_tiras\\_de\\_bolsas\\_de\\_leche\\_con\\_asfalto\\_80-100](https://www.researchgate.net/publication/277171116_Mezclas_asfalticas_modificadas_con_un_elastomero_caucho_y_un_plastomero_tiras_de_bolsas_de_leche_con_asfalto_80-100)

Angulo Rodríguez, R. A. y Duarte Ayala, J. L. (2005). Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6916/2/118188.pdf>

Huamán Guerrero, N. W. (2011). La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/819/1/huaman\\_gn.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/819/1/huaman_gn.pdf)

Instituto del Asfalto (1982), Manual de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS-22. Lexington, Estados Unidos: Asphalt Institute.

Instituto de Desarrollo Urbano (2015). Mejoras mecánicas de las mezclas asfálticas con grano de caucho reciclado – GCR. Boletín técnico N°3. Recuperado de <http://slideflix.net/doc/199037/bolet%C3%ADn-grano-de-caucho-reciclado>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013). Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Lima, Perú.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Lima, Perú.

Norma AASHTO T 283 (2003). Standard Method of Test Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture Induced Damage.

Norma AASHTO T 324 (2014). Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA).

ANEXOS

Figura 40. Tabla de salarios de Construcción Civil



## FEDERACIÓN DE TRABAJADORES EN CONSTRUCCIÓN CIVIL DEL PERÚ

Reconocido Oficialmente el 23-08-1962 por Resolución Sub-Directorial N° 56  
Afilado a la CGTP - FLEMACON - UIS

Sede Institucional: Prolongación Cangallo N° 670 - La Victoria

Telefax: 312-2034 / 201-2370 / 325-5495 Cel.: 987515423

E-mail: secretaria@ftccperu.com

Web: www.ftccperu.com

<b>TABLA DE SALARIOS Y BENEFICIOS SOCIALES</b>						
<b>PLIEGO NACIONAL 2018 - 2019</b>						
<b>(Del 01.06.2018 al 31.05.2019)</b>						
<b>OPERARIO</b>				<b>Indemnizac.</b>	<b>vacaciones</b>	
Jornal	67.20	* 8 días	403.20	diario	10.08	6.72
Jornal Dominical	11.20	* 6 días	67.20	semanal	60.48	40.32
BUC 32 %	21.50	* 6 días	129.02			
Bonif. Por Movilidad	7.20	* 6 días	43.20			
			-----			
Total Salarios			642.62		<b>Fiest. Patri.</b>	<b>Fiest. Navid.</b>
Descuento ONP 13%			77.93	diario	12.80	17.92
Descuento CONAF. 2%			9.41	mensual	384.00	537.6
Pago Neto Semanal			555.29	Total	2688.00	2688.00
				Ley N° 29351, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
<b>OFICIAL</b>				<b>Indemnizac.</b>	<b>vacaciones</b>	
Jornal	53.70	* 6 días	322.20	diario	8.06	5.37
Jornal Dominical	8.95	* 6 días	53.70	semanal	48.33	32.22
BUC 30 %	16.11	* 6 días	96.66			
Bonif. Por Movilidad	7.20	* 6 días	43.20			
			-----			
Total Salarios			515.76		<b>Fiest. Patri.</b>	<b>Fiest. Navid.</b>
Descuento ONP 13%			61.43	diario	10.23	14.32
Descuento CONAF. 2%			7.52	mensual	306.86	429.6
Pago Neto Semanal			446.81	Total	2148.00	2148.00
				Ley N° 29351, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
<b>PEON</b>				<b>Indemnizac.</b>	<b>vacaciones</b>	
Jornal	48.10	* 6 días	288.60	diario	7.22	4.81
Jornal Dominical	8.02	* 6 días	48.10	semanal	43.29	28.86
BUC 30 %	14.43	* 6 días	86.58			
Bonif. Por Movilidad	7.20	* 6 días	43.20			
			-----			
Total Salarios			466.48		<b>Gratific.</b>	<b>Fiest. Patri.</b>
Descuento ONP 13%			55.03	diario	9.16	12.83
Descuento CONAF. 2%			6.73	mensual	274.86	384.8
Pago Neto Semanal			404.72	Total	1924.00	1924.00
				Ley N° 29351, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
<b>Asignación Escolar por un hijo</b>			<b>HORAS EXTRAS</b>			
	diario	mensual	<b>Simples</b>	<b>60%</b>	<b>100%</b>	<b>Indemniz.</b>
<b>OPERARIO</b>	5.60	168.00	8.40	13.44	16.80	1.26
<b>OFICIAL</b>	4.48	134.25	6.71	10.74	13.43	1.01
<b>PEON</b>	4.01	120.25	6.01	9.62	12.03	0.90

Fuente: Capeco.

Figura 41. Especificaciones Técnicas del



PETRÓLEOS DEL PERÚ - PE

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ**

CLASE DE PRODUCTO		ASfalto Sólido		Fecha efectiva
TIPO DE PRODUCTO		Cemento ASFáltico		Reemplaza a
NOMBRE DE PRODUCTO		ASfalto Sólido 60/70 PEN		
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		AST	
	MÍN.	MÁX.		
<b>PENETRACIÓN</b> a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	60	70	D-5	
<b>VOLATILIDAD</b> Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232		D-5	
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-7	
<b>DUCTILIDAD</b> a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-1	
<b>SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO,</b> % masa	99,0		D-20	
<b>SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA</b> Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-17	
Pérdida por calentamiento, % masa		0,8		
Penetración retenida, % del original	52+		D-	
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	50		D-1	
Índice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0		
<b>FLUIDEZ</b> Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar			
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	200		D-2'	

Fuente: Asfalto – Petróleos del Perú.

Figura 42. Revistas especializadas para el análisis de costos unitarios.



Fuente: Revista Constructivo

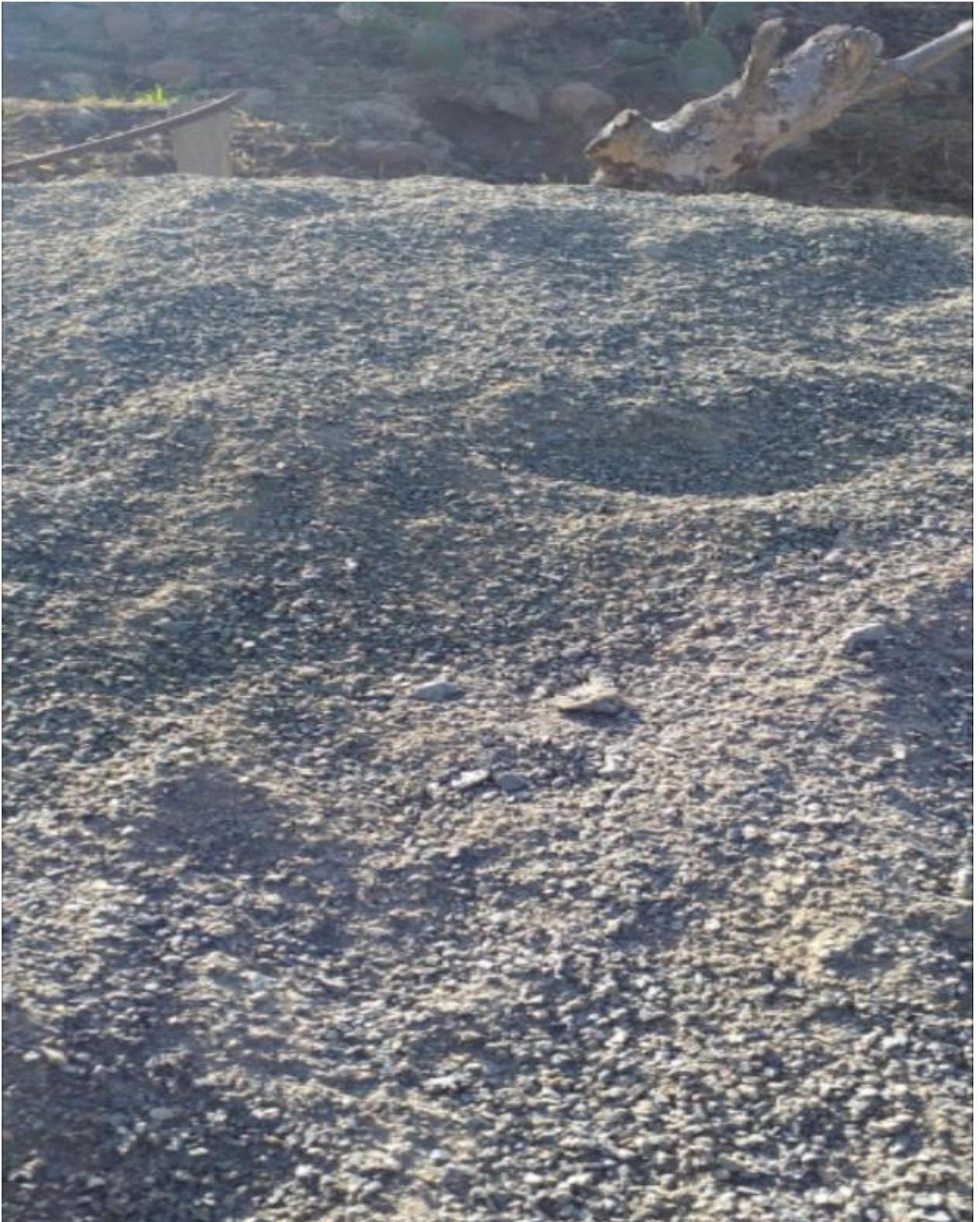
Figura 43. Revistas especializadas para el análisis de costos unitarios.



Fuente: Revista Construyendo caminos

**PANEL DE FOTOGRAFIAS.**

*Figura 44. Material de cantera arena gruesa.*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 45. Material de cantera arena fina.*



Fuente: Elaboración propia.

*Figura 46. Material de cantera piedra chancada.*



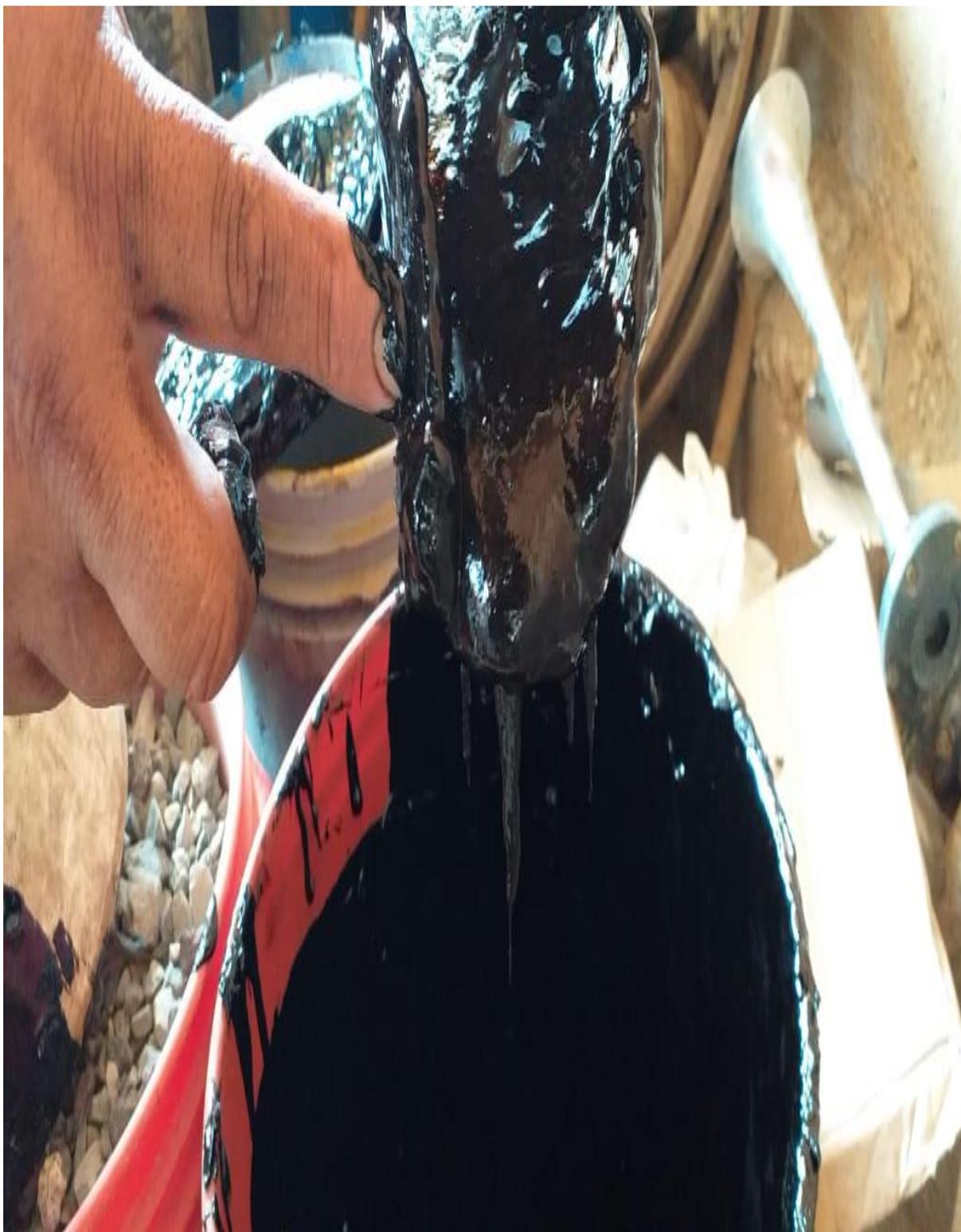
Fuente: Elaboración propia

*Figura 47. Material de cantera arena gruesa.*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 48. Asfalto PEN 60/70.*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 49. Peso del grano de caucho reciclado*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 50. Tamiz para la granulometría de los agregados y el grano de caucho reciclado.*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 51. Llantas en desuso que se utiliza como linderos de terreno.*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 52. Llantas en desuso que son acumulados en los botaderos de basura*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 53. Llantas en desuso que están en zonas de las carreteras.*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 54. Llantas en desuso que están en las viviendas.*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 55. Llantas en desuso en las zonas urbanas.*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 56. Llantas en desuso en los jardines de las ciudades.*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 57. Depósitos de los neumáticos en desuso en talleres*



Fuente: Elaboración propia.

*Figura 58. Neumáticos en desuso en zona urbanas.*



Fuente: Elaboración propia.