



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

Franklin Andrey Canta Huarcaya

Katherine Soraya Vivas Jines

ASESOR:

Dra. María Ysabel García Álvarez

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

LIMS – PERÚ

2018

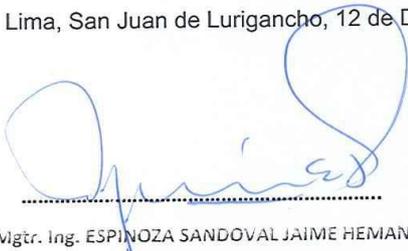
 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS</b>	Código : F07-PP-PR-02.02
		Versión : 09
		Fecha : 23-03-2018
		Página : 18 de 120

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (a), **CANTA HUARCAYA, FRANKLIN ANDREY**

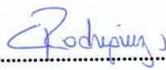
Cuyo título es: **“DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONANDO ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA, 2018.”**

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

Lima, San Juan de Lurigancho, 12 de Diciembre de 2018

  
 .....  
 Mgtr. Ing. ESPINOZA SANDOVAL JAIME HEMAN  
 PRESIDENTE

  
 .....  
 Mgtr. Ing. DELGADO ORTEGA HENRRY SAUL  
 SECRETARIO

  
 .....  
 Mgtr. Ing. RODRIGUEZ SOLIS CARMEN BEATRIZ  
 VOCAL

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

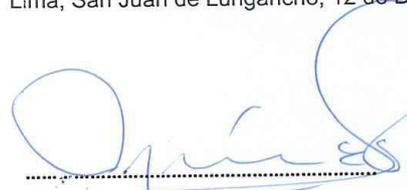
 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS</b>	Código : F07-PP-PR-
		02.02
		Versión : 09
		Fecha : 23-03-2018
		Página : 117 de 120

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (a), **VIVAS JINES, KATHERINE SORAYA**

Cuyo título es: **“DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONANDO ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA, 2018.”**

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

Lima, San Juan de Lurigancho, 12 de Diciembre de 2018



Mgtr. Ing. ESPINOZA SANDOVAL JAIME HEMAN

PRESIDENTE



Mgtr. Ing. DELGADO ORTEGA HENRRY SAUL

SECRETARIO



Mgtr. Ing. RODRIGUEZ SOLIS CARMEN BEATRIZ

VOCAL

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

### **Dedicatoria**

A nuestros padres, quienes han sido pilar fundamental para seguir ante la adversidad, igualmente a nuestros familiares por su apoyo constante. A nuestros asesores por sus consejos para mejorar la tesis.

## **Agradecimientos**

A Dios, por permitirnos contar con salud y tener la oportunidad de culminar la carrera.

A nuestros padres y familiares por brindarnos su apoyo constante e incondicional.

A los asesores, Ing. María, Ing. De La Cruz por asesorarnos en la tesis.

### **Declaratoria de autenticidad**

Yo Franklin Andrey Canta Huarcaya con DNI N° 70931749, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, declaramos bajo juramento que toda la documentación que se acompaña es veraz y auténtica. Asimismo, declaramos también bajo juramento que todos los datos e información que se tiene en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 12 de diciembre de 2018



---

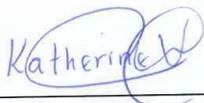
Franklin Andrey Canta Huarcaya

DNI: 70931749

### **Declaratoria de autenticidad**

Yo Katherine Soraya Vivas Jines con DNI N°48717199, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, declaramos bajo juramento que toda la documentación que se acompaña es veraz y auténtica. Asimismo, declaramos también bajo juramento que todos los datos e información que se tiene en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 12 de diciembre de 2018



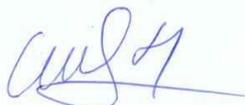
---

Katherine Soraya Vivas Jines

DNI: 48717199

## Presentación

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.”, cuyo objetivo fue diseñar una mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas y que rendimos a su atención y esperamos que obedezca con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Civil. La indagación consta de tres capítulos. En el primer capítulo se explica sobre la realidad sobre los daños en los pavimentos a nivel internacional, nacional, local, teniendo como antecedentes trabajos de investigaciones referentes a la presente tesis, además del objetivo principal que se quiere hacer llegar con la investigación; en el segundo capítulo se muestra la metodología empleada según los parámetros de investigación cuantitativa, para el objeto de estudio planteado, en el tercer capítulo se detalla los resultados previos del cálculo de índice medio que es parte del estudio para poder determinar la carga en nuestro diseño de mezcla, en el cuarto capítulo se detallan las discusiones respecto a otras investigaciones relacionadas a la investigación, por último se detallan las conclusiones y recomendaciones.



---

Franklin Canta Huarcaya

DNI: 70931749



---

Katherine Vivas Jinés

DNI: 48717199

## Índice general

Página del jurado.....	II
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Declaración de autenticidad.....	VI
Presentación.....	VIII
Índice.....	IX
Resumen.....	XVIII
Abstract.....	XIX
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>20</b>
1.1 Realidad problemática .....	22
1.2 Trabajos Previos .....	25
1.2.1 Antecedentes Internacionales .....	25
1.2.2 Antecedentes Nacionales.....	27
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	31
1.3.1 Asfalto .....	31
1.3.2 Agregados Pétreos .....	34
1.3.3 Caucho de Neumático.....	35
1.3.4 Tereftalato de polietileno.....	40
1.3.5 Mezclas asfálticas .....	41
1.3.6 Método Marshall .....	46
1.3.7 Estudio de tránsito para pavimentos.....	50
1.3.8 Tipos de Vías Metropolitanas.....	52
1.4 Formulación del problema.....	54
1.5 Justificación del estudio.....	54
1.6 Hipótesis .....	57
1.7 Objetivos.....	58
<b>II. MÉTODO.....</b>	<b>59</b>
2.1. Diseño de la investigación .....	60
2.2. Variables, Operacionalización .....	61
2.2.1. Variables.....	61
2.2.2. Operacionalización de las variables .....	61
2.3. Población y muestra.....	64

2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	65
2.5.	Métodos de análisis de datos .....	67
2.6.	Aspectos éticos .....	67
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>68</b>
3.1	Descripción de la zona de estudio.....	69
3.1.1	Ubicación .....	69
3.1.2	Características de la Vía .....	70
3.2	Estudio de tránsito de la Av. Circunvalación .....	70
3.2.1	Planificación de Estudio .....	70
3.2.2	Conteos direccionales diarios .....	70
3.2.3	Cálculo de Índice Medio Diario Anual (IMDA) .....	72
3.2.4	Cálculo del índice Medio Diario (IDM) en las estaciones de conteo .....	75
3.2.5	Cálculo de Ejes Equivalentes (ESAL).....	88
3.3	Diseño de mezcla asfáltica.....	101
3.3.1	Requisitos de calidad de los agregados .....	101
3.3.2	Agregados Pétreos.....	101
3.3.3	Cemento Asfáltico.....	111
3.3.4	Caucho de llantas recicladas .....	112
3.3.5	Tereftalato de Polietileno (PET reciclado).....	113
3.4	Método de Diseño de Mezclas Asfálticas Marshall.....	114
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIONES</b> .....	<b>167</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>170</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>172</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>174</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>178</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Los usos de un neumático reciclado.....	39
Tabla 2. Características del PET.....	41
Tabla 3. Causas y efectos de una estabilidad baja.....	43
Tabla 4. Causas y efectos de poca durabilidad.....	43
Tabla 5. Causas y efectos de una mala Trabajabilidad.....	44
Tabla 6. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga .....	45
Tabla 7. Causas y efectos por resistencia al deslizamiento .....	46
Tabla 8. Matriz de operacionalización de las variables de la investigación.....	62
Tabla 9. Coeficiente de validez por juicio de expertos.....	66
Tabla 10. Escalas de Validez.....	66
Tabla 11. Factor de Corrección Estacional Maestra.....	73
Tabla 12. Factor de Corrección Estacional Javier Prado.....	74
Tabla 13. Factor de Corrección Estacional peaje Evitamiento por mes.....	75
Tabla 14. Factor de Corrección Estacional del Mes de Estudio - febrero.....	75
Tabla 15. Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) e Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estación N° 1: Av. Circunvalación - Av. Javier Prado.....	76
Tabla 16. Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) e Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estación N° 2: Av. Circunvalación - Av. Canadá.....	78
Tabla 17. Cálculo de Índice Medio Diario Semanal(IMDS) e Índice Medio Diario Anual(IMDA) Estación N°3: Av. Circunvalación - Av. Aymaras.....	80
Tabla18.Cálculo del Índice Medio Diario Semanal(IMDS) e Índice Medio Diario Anual(IMDA) Estación N°4: Av. Circunvalación - Av. Del Aire. ....	82
Tabla 19. Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) e Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estación 5: Av. Circunvalación- Av. Nicolás Arriola.....	84
Tabla 20. Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) e Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estación N°6: Av. Circunvalación- Av. Nicolás Ayllón.....	86
Tabla 21. Peso máximo por ejes.....	88
Tabla 22. Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes.....	89
Tabla 23. Factor de Ajuste por Presión de Neumático para ejes equivalentes.....	89
Tabla 24. Cálculo de Relación de Cargas por Ejes.....	90
Tabla 25. Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño.....	92
Tabla 26. Cálculo de ESAL - Av. Javier Prado a Av. Canadá.....	93
Tabla 27. Cálculo del ESAL - Av. Canadá a Av. Aymaras .....	94
Tabla 28. Cálculo del ESAL - Av. Aymaras a Av. del Aire .....	95
Tabla 29. Cálculo del ESAL - Av. del Aire a Av. Nicolás Arriola.....	96
Tabla 30. Cálculo del ESAL - Av. Nicolás Arriola a Av. Nicolás Ayllón.....	97
Tabla 31. Cálculo del ESAL - Av. Nicolás Ayllón a Trébol Javier Prado.....	98
Tabla 32. Resumen del cálculo de ESAL al año proyectado 2040.....	99
Tabla33. Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 tn en el Carril de Diseño. ....	100
Tabla 34. Requisitos de calidad para los Agregados Gruesos.....	106
Tabla 35. Requisitos de calidad para los Agregados Finos .....	107
Tabla 36. Granulometría de los agregados gruesos.....	109

Tabla 37. Granulometría de los agregados finos .....	110
Tabla 38. Requisitos de calidad del cemento asfáltico .....	111
Tabla 39. Requisitos MAC para mezclas asfálticas en caliente. ....	114
Tabla 40. Granulometría Global de la Mezcla Convencional .....	115
Tabla 41. Gradación MAC-2 de la Mezcla Convencional .....	116
Tabla 42. Dosificación de la Mezcla Convencional .....	118
Tabla 43. Características del Método Marshall de la mezcla convencional.....	125
Tabla 44. Cálculos del Diseño Marshall.....	129
Tabla 45. Resultado de diseño de mezclas Marshall convencional de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-06 .....	130
Tabla 46. Granulometría Global de la mezcla adicionada con elastómero y PET al 1% .	131
Tabla 47. Gradación MAC-2 de la Mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 1% .....	132
Tabla 48. Dosificación de la Mezcla Adicionada con Elastómeros y PET reciclado al 1% .....	133
Tabla 49. Granulometría Global de la mezcla adicionada con elastómero y PET al 1.5 %	134
Tabla 50. Gradación MAC-2 de la Mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 1.5% .....	135
Tabla 51. Dosificación de la Mezcla Adicionada con Elastómeros y PET reciclado al 1.5% .....	136
Tabla 52. Granulometría Global de la mezcla adicionada con elastómero y PET al 2% ...	137
Tabla 53. Gradación MAC-2 de la Mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 2% .....	138
Tabla 54. Dosificación de la Mezcla Adicionada con Elastómeros y PET reciclado al 2% .....	139
Tabla 55. Características del Método Marshall de la mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 1 % . ....	145
Tabla 56. Resultados del diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 1% .....	149
Tabla 57. Resultado de diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 1% de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-06 .....	150
Tabla 58. Características del Método Marshall de la mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 1.5 % . ....	151
Tabla 59. Resultados del diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 1.5% .....	155
Tabla 60. Resultado de diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 1.5% de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-06 .....	156
Tabla 61. Características del Método Marshall de la mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 2 % . ....	157
Tabla 62. Resultados del diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 2% .....	161
Tabla 63. Resultado de diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 2% de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-06 .....	162
Tabla 64. Resumen de resultados del diseño de mezclas Marshall convencional, adicionadas con elastómeros y PET reciclado de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-6 .....	163
Tabla 65. Relación de Estabilidad .....	164
Tabla 66. Relación de flujo .....	164
Tabla 67. Relación de Vacíos de Aire .....	165

Tabla 68. Relación del Agregado Mineral (V.M.A).....	165
Tabla 69. Relación de Vacíos Llenos de Asfalto.....	166
Tabla 70.Resultados finales de las investigación y la tesis antecedente, adicionadas con elastómeros y PET reciclado de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-6 .....	168

## Índice de figuras

Figura 1. Composición de un Neumático que cumple con su función.....	36
Figura 2. Numeración según tipo de plástico. ....	40
Figura 3. Fórmula química del polietileno de tereftalato(PET).....	41
Figura 4. Tramo desde Av. Ayllón hasta Av. Javier Prado. Se representa la Av. Circunvalación desde la Av. Ayllon hasta la Av. Javier Prado.....	69
Figura 5. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N°01 Av. Javier Prado.....	77
Figura 6. IMDA 2017por tipo de vehículos - Estación N°01 Av. Javier Prado. Elaborado por los autores.....	77
Figura 7. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N°02 Av. Canadá. Elaborado por los autores. ....	79
Figura 8. IMDA 2017por tipo de vehículos - Estación N°02 Av. Canadá. Elaborado por los autores. ....	79
Figura 9. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N° 03 Av. Aymaras. Elaborado por los autores.....	81
Figura 10. IMDA 2017por tipo de vehículos - Estación N°03 Av. Aymaras. Elaborado por los autores. ....	81
Figura 11. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N° 04 Av. Del Aire. Elaborado por los autores. ....	83
Figura 12. IMDA 2017por tipo de vehículos - Estación N°04 Av. Del Aire. Elaborado por los autores. ....	83
Figura 13. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N° 05 Av. Nicolás Arriola. Elaborado por los autores.....	85
Figura 14. IMDA 2017por tipo de vehículos - Estación N°05 Av. Nicolás Arriola. Elaborado por los autores. ....	85
Figura 15. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N° 06 Av. Nicolás Ayllón. Elaborado por los autores. ....	87
Figura 16. IMDA 2017por tipo de vehículos - Estación N°06 Av. Nicolás Ayllón. Elaborado por los autores. ....	87
Figura 17. Cantera la Gloria. ....	101
Figura 18. Agregado grueso pasa por la máquina de los ángeles.....	102
Figura 19. Proceso para hallar la adherencia.....	102
Figura 20. Determinación de partículas chatas y alargadas.....	103
Figura 21. Contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua. ....	103
Figura 22. Determinación para la absorción.....	104
Figura 23. Determinación de equivalente de arena .....	104
Figura 24. Azul de metileno a 1gr. de material .....	105
Figura 25. Tamizado y Cuarteo del agregado grueso.....	108
Figura 26. Curva granulométrica de los agregados gruesos, Porcentaje que pasa (%) vs abertura de malla (mm). Elaborado por los autores.....	109
Figura 27. Curva granulométrica de los agregados finos, Porcentaje que pasa (%) vs abertura de malla (mm). Elaborado por los autores.....	110
Figura 28. Caucho rayado (utilizado en la investigación) obtenido de la empresa Stargrass. .....	112

Figura 29. Caucho granulado (utilizado en la investigación) obtenido de la empresa Stargrass. ....	112
Figura 30. Granulometría del PET, pasa por tamiz N°10 y retenido en el tamiz N°40. ...	113
Figura 31. Curva granulométrica de la gradación MAC-2 de la mezcla asfáltica patrón. Elaborado por los autores. ....	116
Figura 32. Peso de los agregados según dosificación.....	120
Figura 33. Peso de los agregados según dosificación.....	120
Figura 34. Mezcla de los agregados y el cemento asfáltico. ....	121
Figura 35. Compactación de la mezcla asfáltica patrón .....	121
Figura 36. Extracción del espécimen del molde y codificación de las briquetas .....	122
Figura 37. Medición de la altura de la briqueta .....	122
Figura 38. Peso seco de la briqueta y peso sumergido. ....	123
Figura 39. Baño maría de las briquetas a 60 °C por 30 min.....	123
Figura 40. Ensayo de Estabilidad y Flujo.....	124
Figura 41. Ensayo de Rice.....	124
Figura 42. Curva de Peso Específico Bulk vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	126
Figura 43. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores. ....	126
Figura 44. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	127
Figura 45. Curva de Flujo (mm) vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores. ....	127
Figura 46. Curva de Vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	128
Figura 47. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores. ....	128
Figura 48. Curva granulométrica de la gradación MAC-2 de la mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado al 1%. Elaborado por los autores. ....	132
Figura 49. Curva granulométrica de la gradación MAC-2 de la mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado al 1.5%. Elaborado por los autores. ....	135
Figura 50. Curva granulométrica de la gradación MAC-2 de la mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado al 2%. Elaborado por los autores. ....	138
Figura 51. Peso de los agregados según dosificación.....	140
Figura 52. Muestras llevadas al horno.....	140
Figura 53. Mezcla de los agregados y el cemento asfáltico. ....	141
Figura 54. Compactación de la mezcla asfáltica patrón .....	141
Figura 55. Extracción del espécimen del molde y codificación de las briquetas .....	142
Figura 56. Medición de la altura de la briqueta .....	142
Figura 57. Peso seco de la briqueta y peso sumergido. ....	143
Figura 58. Baño maría de las briquetas a 60 °C por 30 min.....	143
Figura 59. Ensayo de Estabilidad y Flujo.....	144
Figura 60. Ensayo de Rice.....	144
Figura 61. Curva de Peso Específico Bulk vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	146
Figura 62. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores .....	146

Figura 63. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	147
Figura 64. Curva de Flujo (mm) vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores. ....	147
Figura 65. Curva de Vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	148
Figura 66. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores .....	148
Figura 67. Curva de Peso Específico Bulk vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	152
Figura 68. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores. ....	152
Figura 69. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	153
Figura 70. Curva de Flujo (mm) vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores. ....	153
Figura 71. Curva de Vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	154
Figura 72. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores. ....	154
Figura 73. Curva de Peso Específico Bulk vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	158
Figura 74. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores. ....	158
Figura 75. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	159
Figura 76. Curva de Flujo (mm) vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	159
Figura 77. Curva de Vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.....	160
Figura 78. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores. ....	160
Figura 79. Curva de relación de estabilidad por cada diseño de mezcla Marshall (% de adicionantes agregados). Elaborado por los autores.....	164
Figura 80. Curva de relación de flujo por cada diseño de mezcla Marshall (% de adicionantes agregados). Elaborado por los autores.....	164
Figura 81. Curva de relación de % de vacíos por cada diseño de mezcla Marshall (% de adicionantes agregados). Elaborado por los autores.....	165
Figura 82. Curva de relación de % de vacíos del agregado mineral por cada diseño de mezcla Marshall (% de adicionantes agregados). Elaborado por los autores.....	165
Figura 83. Curva de relación de % de vacíos llenos de asfalto por cada diseño de mezcla Marshall (% de adicionantes agregados). Elaborado por los autores .....	166

## Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	179
Anexo 2. Instrumento de Medición .....	180
Anexo 3. Análisis Granulométrico Global .....	186
Anexo 4. Certificados de los ensayos de calidad de los agregados gruesos.....	188
Anexo 5. Certificados de los ensayos de calidad de los agregados finos.....	196
Anexo 6. Certificado del cemento Asfáltico .....	206
Anexo 7. Certificado de gradación MAC-2.....	208
Anexo 8. Certificados de calibración de los equipos de laboratorio .....	216
Anexo 9. Ficha de conteo vehicular .....	237
Anexo 10. Panel fotográfico .....	238

## **RESUMEN**

El objeto de la presente investigación es determinar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica, mediante el diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado. Para ello, se ha realizado un estudio de tráfico en la Av. Circunvalación para determinar el tipo de tránsito que recibe, para luego realizar el diseño de la mezcla de la carpeta asfáltica del pavimento según la carga de tránsito, el diseño de mezcla se realizó por el método de diseño de mezcla Marshall cumpliendo con los parámetros del Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas de la Construcción EG-2013, la cual para previamente se realizaron ensayos de calidad de los agregados pétreos y el cemento asfáltico PEN 60-70. La técnica de adición de los elastómeros y PET reciclado usado es por vía seca porque se usaron como parte del agregado fino. La gradación de los agregados empleada es el MAC-2 y la incorporación de los adicionantes fue al 1%, 1.5% y 2%.

De acuerdo a los resultados obtenidos según el proceso llevado a cabo de los 2 diseños realizados, se observa una mejora en el diseño de la mezcla modificada frente al diseño de la mezcla convencional con respecto a la estabilidad ya que al incrementar el porcentaje de los adicionantes incrementa su resistencia y pierde deformación.

Por otro lado, la utilización de adicionantes como elastómeros y PET reciclado en pavimentos flexibles, contribuyen al cuidado del medio ambiente y se pueden expandir a un mercado para hacer un proceso masivo de estos residuos sólidos.

Palabras claves: Mezcla asfáltica, Método de Diseño Marshall, elastómeros y PET.

## **ABSTRACT**

The following research aims to determine the mechanical behavior of the asphalt mix, by designing asphalt mixes by adding elastomers and recycled PET for heavy traffic loads. For this purpose, a traffic study was carried out on the Circunvalación Avenue to determine the type of traffic it receives, to then design the mix of the asphalt pavement binder according to the traffic load, the mix design was made by the Marshall mixture design method, complying with the parameters of the Road Manual-Construction Technical Specifications EG-2013, which previously carried out quality tests on the stone aggregates and asphalt cement PEN 60-70. of addition of the elastomers and recycled PET used is dry because they were used as part of the fine aggregate. The gradation of the aggregates used is the MAC-2 and the incorporation of the additives was 1%, 1.5% and 2%.

According to the results obtained according to the process carried out of the 2 designs made, an improvement is observed in the design of the modified mixture versus the design of the conventional mixture with respect to the stability since by increasing the percentage of the additives Increases its resistance and loses deformation.

On the other hand, the use of additives such as elastomers and PET recycled in flexible pavements, contribute to the care of the environment and can be expanded to a market for the massive recycling of this solid waste.

Keywords: Asphalt mix, Marshall Design Method, elastomers and PET.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El crecimiento económico de un país está influenciado por la capacidad de comunicar las regiones con infraestructura vial que facilite la comunicación en la población, con lo cual requiere pavimentos de altas prestaciones debido al crecimiento acelerado del parque automotor que afecta directamente en las propiedades mecánicas del pavimento debido a las cargas que recibe.

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones la red nacional vial actualizada hasta diciembre 2017 es de 26,792 km de las cuales solo el 70% está pavimentada, por ello representa un gran déficit en el sistema vial nacional. El incremento del parque automotor ha generado que las cargas vehiculares dañen el pavimento afectando a sus propiedades antes del tiempo de diseño estimado lo que ocasiona grietas, baches y piel de cocodrilo ocasionando más tráfico y accidentes de tránsito.

Para poder contribuir con el desarrollo del país y resolver un problema que afecta a las vías metropolitanas se busca desarrollar una mezcla capaz de resistir mayores cargas vehiculares. Así mismo se busca brindar un nuevo uso a los materiales reciclados como los elastómeros (caucho de neumático reciclado) y PET para la mejora al cuidado del medio ambiente y poder utilizarlo como adicionantes en la mezcla asfáltica para mejorar sus cualidades mecánicas como su durabilidad, trabajabilidad y resistencia a la humedad.

En síntesis, la presente investigación tiene como objetivo mejorar las propiedades en un pavimento flexible que le permita resistir a cargas que dañen su infraestructura, con el uso de adicionantes de reciclados, cumpliendo con la granulometría y los ensayos en laboratorio.

## **1.1 Realidad problemática**

El crecimiento económico y de los sectores de mayor demanda de producción dependen de las vías de comunicación para poder desarrollarse, por ello siempre hemos tenido la necesidad de construir infraestructura vial para transportarnos con facilidad, desde las grandes civilizaciones antiguas como la romana con sus calzadas que conectaban todo su imperio y servían para la movilización de sus grandes ejércitos y el transporte de mercadería hasta actualidad donde las sendas de comunicación siguen siendo un pilar importante para desarrollo de un país, las cuales por el incremento poblacional y el parque automotor requieren de pavimentos de altas prestaciones que sean técnico, económico y ambientalmente sostenibles.

La infraestructura vial es importante para el desarrollo del país, por ello es importante incrementar su red vial y brindar un adecuado mantenimiento de las vías existentes. Según el MTC La red nacional vial actualizada hasta diciembre 2017 es de 26,792 km de las cuales solo el 70% está pavimentada, está directamente relacionada al parque automotor la cual se ve afectada por la deficiencia en infraestructura vial.

El parque automotor nacional estimado es de 2 661 719 unidades, concentrándose en Lima y el Callao con 1 752 919 unidades, de acuerdo con el estimado que realizó en el año 2016 el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). La Cámara de Comercio de Lima (2018) menciona que: “Lima y el Callao concentran el 66% del número de autos existentes en el país, seguido de La Libertad y Arequipa” (p.24). Por ello la ciudad más afectada en sus vías metropolitanas es Lima la cual presenta un grave problema en el estado de sus pistas lo que genera más tráfico y accidentes de tránsito.

Según La Defensoría del Pueblo (2015) En Lima y Callo de los 250 puntos críticos supervisados en los que ocurren accidentes de tránsito, el 53% se debe a que las pistas presentan baches y grietas. Son producto de un inadecuado mantenimiento, fractura temprana por incremento de carga vehicular y pérdida prematura de sus propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

La necesidad tener pavimentos flexibles que tengan un mejor desempeño a través del tiempo y soporten el incremento de carga vehicular, genera que se busquen nuevas alternativas para mejorar sus propiedades mecánicas y a su vez un equilibrio de sostenibilidad ambiental. Por ello se busca mejorar sus propiedades mecánicas con residuos sólidos reciclados como los elastómeros (caucho de neumáticos) y tereftalato de polietileno (PET) debido a que se generan grandes volúmenes de desechos de estos materiales y se busca brindar un adecuado reciclaje y tratamiento.

Solo en el 2017 se importaron por un valor de FOB (US\$) 409,885,590 millones en neumáticos mientras que en el 2016 el valor de FOB (US\$) 400 722 013 millones según datos de la Asociación Automotriz del Perú (AAP) y la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT). Lo que genera un serio problema de salud pública debido a que los elastómeros tardan mucho tiempo en desintegrarse, según Marín (2012) “800 años es el tiempo que tarda en degradarse un solo neumático sin contar que, a veces, se almacena en condiciones inadecuadas y lo convierte en foco de enfermedades y contaminación ambiental” (p.33). La cual en su mayoría llegan a parar a vertederos informales o en ocasiones se queman debido a la complejidad de sus partes, agravando el problema, por lo que es el residuo sólido que menos se recicla.

El tereftalato de polietileno comúnmente llamado PET, pertenece a la familia de los termoplásticos es decir que se pueden moldear infinitas veces para reutilizadas. Por esta razón utilizamos frecuentemente en nuestras vidas cotidianas, lo que genera muchas veces grandes volúmenes de estos residuos, que terminan tirados en los ecosistemas dañándolo debido a que demoran en desintegrarse y existe en nuestra sociedad una poca cultura de reciclaje. Si bien se tiene por parte del sector privado el reciclaje de estos residuos sólidos no se logran cubrir al 100% por ello debido a sus propiedades mecánicas se busca adicionarlo a un diseño de mezcla asfáltica y así poder mitigar este problema de contaminación ambiental en su aplicación de pavimentos flexibles.

Una alternativa de gestión de estos residuos sólidos es en la utilización de elastómeros y tereftalato de polietileno (PET) reciclado en pavimentos flexibles para mejorar sus propiedades mecánicas a un menor costo la cual sea viable para su aplicación en la construcción y mantenimiento. Por lo tanto, este proyecto de investigación busca desempeñar un diseño de una mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado por el método de diseño de mezclas Marshall en la cual se obtendrá un inmejorable argumento de asfalto para una combinación de agregados y adicionantes que permitan mejorar su resistencia, trabajabilidad y su resistencia a la humedad lo cual sea viable para su aplicación en las vías metropolitanas de la ciudad de Lima.

## **1.2 Trabajos Previos**

### **1.2.1 Antecedentes Internacionales**

Vega (2016) en su tesis que lleva por título “Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico” estableció como objetivo realizar el estudio del comportamiento a compresión de asfalto adicionado con caucho reciclado de llantas como material del pavimento asfáltico, determinando las ventajas y desventajas de éste asfalto modificado mediante un método de diseño de mezcla donde incluyó ensayos para así poder describir el comportamiento mecánico de la misma y evaluar sus propiedades para un pavimento flexible. Basándose en la metodología experimental; obtuvo los siguientes resultados, el peso específico Bulk en la mezcla patrón aumenta hasta cierto punto y luego tienden a disminuir lo contrario sucede con la mezcla modificada ya que ésta disminuye ligeramente entre más porcentaje de caucho se incorpore. El porcentaje de vacíos en la mezcla descende mientras se le agrega más elastómero. Los valores de estabilidad en la mezcla modificada tienden a aumentar con la disminución del caucho y sucede lo contrario con la mezcla patrón ya que tienden a aumentar hasta una determinada cantidad de asfalto para luego presentar un declive a mayor cantidad de asfalto. Es así como llega a la conclusión que la incorporación del polvo de neumáticos de llantas recicladas reduce significativamente la contaminación ambiental por este material, además reduce la estabilidad Marshall y aumenta el flujo, contenido de vacíos y el ligante. Así también sintetizó que es más costoso la mezcla modificada que la tradicional, además del método por vía seca en planta no implicaría la utilización de maquinarias industriales ni equipamientos especiales ya que solo se incorporaría cuando el agregado esté en caliente.

Ramírez (2006) en su tesis “Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco” donde determinó como objetivo el análisis del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas con caucho de neumáticos por la vía seca, además que se faciliten las especificaciones para que esta mezcla asfáltica modificada mediante ensayos se evalúen sus propiedades. La cual se realizó con la finalidad de brindar un buen uso a este material en pavimentos flexibles. Aplicando la metodología experimental; se obtuvo como resultados el valor máximo para la resistencia diametral que es el 0.5% de caucho, según el método ASTM los mayores valores de Módulo Resiliente se obtienen entre 5% y 1% de caucho. Así mismo

se determinó que para mezclas con 0.5% de caucho existe menor sensibilidad al cambio de número de ciclos por mayor carga. En conclusión, la aplicación del polvo de neumático reciclado pudo utilizarse para favorecer las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, el contenido óptimo de caucho fue alrededor de 0.5% donde los valores de tracción directa, módulos y fatiga fueron superiores. Así mismo se determinó que a menor tamaño de los granos de caucho de neumáticos se obtendrán mejores resultados.

Rodríguez (2005) en su tesis titulada “Mejora de una mezcla asfáltica drenante con adición de caucho e Icopor” estableció como objetivo mejorar una mezcla asfáltica drenante modificado con caucho de neumáticos e Icopor que ayude a optimizar el comportamiento de la capa de rodadura contribuyendo a preservar el medio ambiente. Donde buscó encontrar el máximo contenido de vacíos posible la cual es compatible con la resistencia al volumen de cargas vehiculares. Aplicando la metodología experimental, se obtuvo los siguientes resultados de las leyes de fatiga de una mezcla asfáltica con adición del 50% de caucho y 50% de Icopor tuvo un mejor comportamiento que solo agregar a la mezcla Icopor. En síntesis, la incorporación del neumático desechable y el Icopor es una alternativa viable para la utilización en un pavimento flexible y la disminución de la contaminación ambiental al reutilizarlo como material granular. Respecto a los resultados de fatiga se obtuvo una mezcla con mayores propiedades que solo utilizar Icopor ya que la combinación de los dos mejoró en un 10% respecto a la resistencia de ahuellamiento.

Ortiz (2017) en su tesis titulada “Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall” menciona las propiedades y características de una mezcla convencional frente a una mezcla adicionando tereftalato de polietileno como agregado y que se cumpla según los parámetros. El análisis llevado a cabo fue la determinación por la gráfica de porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica donde se obtuvo que el porcentaje de vacíos dentro de los límites de acuerdo a la sección 401 del “Libro Azul” son de 3 a 5%, de manera que no llegan a cumplir con los parámetros. En conclusión, las características físicas y mecánicas que se analizaron no cumplen con los parámetros como la adherencia de los agregados, carga, deformación y porcentaje de vacíos. Por ello se emplean pruebas con diferentes diseños granulométricos así optimizar la calidad de una mezcla asfáltica.

Además de llevar a cabo el procedimiento con tres o cuatro probetas con diferente contenido de asfalto en la mezcla.

Ramírez (2011) en su trabajo de grado titulado “Pavimentos con polímeros reciclados” buscó comparar las propiedades mecánicas del asfalto modificado adicionando polímeros reciclados con las convencionales. En una investigación de tipo exploratorio experimental, se observó que la temperatura de mezclado fue un factor importante ya que al presentarse a una temperatura de 150°C el asfalto contenía grumos, mientras que a 180°C la textura del asfalto era pareja. En síntesis, la porosidad del polímero contribuye a que puedan adherirse en las partículas del asfalto. En cuanto al poliestireno se obtuvo que es insoluble entre la matriz asfáltica con lo que se pudo indicar que la diferencia entre ellos es la naturaleza del material.

Revelo (2014) en su tesis “Diseño de Mezclas Asfálticas en caliente modificadas con elastómeros(caucho) y tereftalato de polietileno reciclados con ligante asfáltico AC-20” busca diseñar una mezcla asfáltica que contenga la utilización de los neumáticos y residuos plásticos es decir las botellas, ambas recicladas, identificando las características de resistencia y deformación entre las mezclas, así poder resolver las fallas existentes en las carpetas asfálticas y a un menor costo. Realizó con una metodología analítico- práctico, con la que buscó las características de los materiales y luego con el diseño, para después estudiar las propiedades estáticas, estabilidad y deformación (flujo) de las mezclas asfálticas modificadas. Demostrando que una mezcla asfáltica modificada es mejor contando un 7.5% de partículas de elastómeros. Los materiales que se presentaron en la tesis como es el caucho y plástico PET, serían más factibles para su aplicación ya que así contribuiría en la conservación del ambiente.

### **1.2.2 Antecedentes Nacionales**

Salvatierra (2014) en su tesis titulada “Desarrollo de un aglomerado asfáltico con polvo de caucho, en la ciudad de Huanta-Ayacucho” estableció como objetivo obtener un conglomerado asfáltico utilizando el caucho reutilizable, la cual mediante parámetros se debe obtener una mezcla óptima. Así mismo desarrolló técnicas en el laboratorio para que sean fácilmente adaptables en las plantas asfálticas. Aplicando la metodología tipo experimental, con los resultados de los ensayos la resistencia diametral se logra con un 0.5% de caucho, la temperatura de digestión con 170 °C, el porcentaje de cemento asfáltico incorporado es de 6% y que el tiempo de digestión fue de 2 horas. Teniendo

como conclusión que el uso del caucho de neumáticos reciclados es viable para mezclas asfálticas, las mezclas modificadas con este material brindan mayor tracción indirecta con un porcentaje de 0.5% al igual que en los parámetros de Marshall.

Pereda y Cubas (2015) en la tesis titulada “Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales” estableció como objetivo demostrar que un asfalto variado con polvo de caucho de neumáticos reciclados favorezca positivamente al comportamiento mecánico y posea mejores ventajas frente a los asfaltos convencionales. Aplicando la metodología tipo experimental, los resultados que obtuvo en una mezcla asfáltica en caliente aplicada entre temperaturas de 150°C a 180°C con caucho de neumáticos mejora significativamente sus propiedades mecánicas y el costo de producción para un pavimento flexible es 26.2% superior al de una mezcla convencional. Sin embargo, el costo compensa con la mayor durabilidad de la vía y en bajo costo en mantenimiento. En conclusión, según los ensayos realizados la inclusión del polvo de caucho de neumáticos reciclados mejora el comportamiento físico-mecánico frente al asfalto convencional RC-70. Mejora la resistencia a la deformación plástica siendo un 37% más recuperable que el convencional, respecto al punto de ablandamiento aumenta en la mezcla modificada la cual garantiza el buen desempeño que tendrá trabajando a altas temperaturas. Además, el diseño de mezcla asfáltica modificada con caucho de neumáticos no altera los procedimientos usados comúnmente para la construcción de pavimentos flexibles.

Fajardo y Vergaray (2014) en la tesis titulada “Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas” propusieron el uso de los cauchos de neumáticos reciclados para el diseño de mezclas asfálticas mediante su incorporación por vía seca en pavimentos flexibles. Aplicando la metodología experimental, los resultados de vacíos varían entre el 3% y 5% en la mezcla convencional, mientras que en la mezcla modificada elaborada a 170°C cuentan con 1% de caucho. Los porcentajes entre 5.0% y 5.5% de asfalto llegan a cumplir así con las especificaciones técnicas. Con el 1% de caucho de neumáticos cumple con resultados altos de estabildades, además que los valores óptimos de asfalto según los parámetros de Marshall se encuentran entre el 5.0% y 5.5% en la mezcla modificada lo que reduce el porcentaje frente a una mezcla convencional (5. 6%). Teniendo por conclusión que el caucho de los neumáticos reciclados se puede usar para la mejora en las propiedades

mecánicas de las mezclas asfálticas, además de un manejo eco amigable con el ambiente sobre las llantas recicladas reduciendo así la contaminación que estas generan al quemarlas. Esta mezcla modificada disminuye el contenido de vacíos proporcionando mejores propiedades mecánicas. En síntesis, la relación entre costo y mantenimiento es beneficiosa al utilizar esta mezcla asfáltica con caucho de neumáticos puesto que para un plazo de 10 años los costos de mantenimiento se reducirían al 16% aproximadamente respecto a la carpeta asfáltica de un pavimento flexible.

Huamán (2011) en su tesis para optar el grado de maestro en ciencias con mención en ingeniería de transportes “ La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú” menciona un estudio sobre los mecanismos que influyen la deformación permanente en los pavimentos, presentando las características geográficas y climatológicas, con mecanismos que originan la deformación permanente, y tratar de evitar el deterioro por deformación constante en los pavimentos. Realizando una investigación bibliográfica general sobre las deformaciones y el comportamiento de las mezclas asfálticas, se obtuvo que presentan susceptibilidad a temperaturas altas tal como se constituye en la geografía del país, porque cuando se expuso a altas temperaturas esta falla por deformación permanente. Por lo que se concluyó hacer una correcta elección del tipo de ligante asfáltico de acuerdo con las zonas donde se incluya la mezcla asfáltica y evitar que la temperatura deforme al pavimento. Además, otra medida para disminuir el contenido de asfalto fue realizar granulometría y dar menores cantidades de vacíos.

Silvestre (2017) en su tesis que lleva por título “Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017” planteó como objetivo general determinar el porcentaje de la mejora con las características tanto físicas como estructurales además de soportar cargas a una mezcla asfáltica adicionando plástico reciclado comparada con una mezcla asfáltica tradicional. Siguiendo una metodología experimental, se obtuvo al comparar las muestras asfálticas en los ensayos que el contenido óptimo del asfalto de 5.6% alcanzó el nivel más adecuado para su uso, en cuanto al vacío de un 3.9%, solo 1% se agregó de plástico dando como resultado un óptimo contenido de vacíos de 3.7%. de ahí que las briquetas adicionadas con plástico superaron en flujo y resistencia a la deformación, es decir un pavimento más resistente a la deformación. Concluyendo en esta investigación del ensayo de diseño por Marshall que la deformación por carga

obtenida luego de adherirla con el plástico mejora su resistencia en un 3.11% lo cual indica mayor resistencia que la convencional.

López (2004) en su tesis de pregrado titulada “Utilización de aditivos polímeros en pavimentos flexibles” tuvo como objetivo que a través de un laboratorio se pueda comprobar en la mezcla de cemento asfáltico adicionada con los polímeros SBR además en la composición de la mezcla asfáltica. Para ello utilizo los ensayos en cada uno de los apartados a analizar, en el proceso de laboratorio debido a la baja temperatura que se presentó en la mezcla convencional, provocó que la mezcla no cierre. Concluyendo que una mezcla asfáltica que no contiene polímeros presente mayor capacidad de compactación en laboratorio, incidiendo en los valores obtenidos en relación a los vacíos. Sin embargo, uno que, si contiene polímeros, mejora en su comportamiento mecánico, ya que su estabilidad es superior.

### **1.3 Teorías relacionadas al tema**

Es importante comprender los términos que influyen en las variables de estudio, por ello se describirá las teorías relacionadas a la presente investigación.

#### **1.3.1 Asfalto**

##### **Antecedentes**

El asfalto fue uno de los primeros materiales usados. El uso que hoy en día se realiza es gracias al crecimiento de la industria y en sus diversas presentaciones que sirven para carreteras y construcción de calles.

El término asfalto proviene de una lengua hablada en Asiría, entre los años 1400 y 600 a.c. Por estas zonas se conocía la palabra “Sphalto” que significa “lo que hace caer”. Luego pasó a otras lenguas como al español como “asfalto” y al inglés “asphalt”.

Para el sector construcción, este material ha sido usado aproximadamente desde el año 3200 a.c. en excavaciones en TellAsmer, a unos 80 Km al noreste de Bagdad, constatándose por los Sumarios que había utilizado un mastic, compuesto por betún, finos minerales y paja, empleados en la realización de pavimentos interiores y como revestimiento impermeable.

##### **Definición**

Rondón y Reyes (2015) afirman que:

Los productos que se usan en un pavimento son provenientes de la destilación del petróleo de cualquiera de las maneras en que se encuentran. Para la conformación de una mezcla asfáltica este ligante se encargada de brindar mejor resistencia bajo carga monotónica, estática además de impermeabilidad y durabilidad (p.44).

El asfalto es un ligante de color oscuro y de consistencia muy variable, pierde rigidez con el aumento de temperatura. Es usado en pavimentos a altas temperaturas y al estar expuesto al medio ambiente y contacto con el oxígeno pierde sus propiedades elásticas volviéndolo duro y frágil (Minaya y Ordoñez, 2006).

Menéndez (2009) menciona que:

El asfalto es un material disperso ante los esfuerzos. La respuesta de un asfalto expuesta a esfuerzos está sujeto a la temperatura y el tiempo de carga (p.27).

### **Refinamiento del petróleo**

El refinamiento por destilación del petróleo es un proceso llevado a cabo para obtener el asfalto y utilizarlo, mejorando sus propiedades como la resistencia, para el desarrollo en el comercio y otros. Siendo este el impulso para una de las empresas encargadas de ampliar una red vial. En la actualidad las refinerías de Talara y Conchán son las principales productoras de asfaltos en el Perú, con una amplia gama de asfaltos a ser usados según el clima, terreno o condición, ofreciendo durabilidad a los caminos (PETROPERÚ, 2016).

### **Clasificación por Origen del Asfalto**

#### **Asfaltos Naturales**

Es aquel material bituminoso en estado sólido que se encuentra en la naturaleza generalmente mezclados con otros materiales. Las cuales están en la corteza desde cm de espesor a llegar a más de 1000 m de espesor, teniendo como punto de fusión los 100C° y más 300C°.

Los procesos similares que pasan en el medio ambiente han hecho que se formen depósitos de asfalto, es así que se presentan de distinta manera como en manantiales, lagos (Reyes, 2003).

Los asfaltos naturales tienen diferentes materiales que comprometen sus propiedades físicas y químicas por ello es necesario separar los demás materiales para tener el asfalto, con características idóneas para trabajos de pavimentación.

#### **Asfaltos derivados del Petróleo**

Este asfalto producto del crudo de petróleo pasa por varios procesos antes de convertirse en asfalto, el proceso inicial sería la destilación del crudo donde se procede a refinarlo, la función de este proceso es separar los compuestos del petróleo por etapas con el objetivo de tener el asfalto con las propiedades necesarias para utilizarlas en pavimentos flexibles.

El asfalto es producido mediante la destilación al vacío aproximadamente a 480 C° la cual varía dependiendo del crudo del petróleo que se está refinando (Asphalt Institute, 2014).

### **Tipos de Asfaltos**

Existen 3 tipos de asfaltos comúnmente usados en pavimentos flexibles:

**Cementos asfálticos.** – Tiene una consistencia semisólida a temperatura ambiente, es de color negro, pegajoso y altamente viscoso. Este asfalto tiene una buena resistencia, es durable a la adhesividad, ácidos, álcalis y sales por lo cual es muy usado en pavimentos flexibles (Minaya y Ordoñez, 2001).

**Emulsiones asfálticas.** – Este asfalto es producto de una mezcla entre cemento asfáltico, agua y emulsificante para mejorar su viscosidad para aplicarlo en zonas de baja temperatura, clasificados en aniónica, catiónica y no aniónica (Asphalt Institute y Asphalt Emulsion Manufacturers Association, 2001).

**Asfalto diluido o cut back.** - Es el resultado de la adición de algún destilado del petróleo al cemento asfáltico siendo menos pegajoso, la cual el solvente se pierde por evaporación quedando solo el cemento asfáltico sobre el pavimento (Minaya y Ordoñez, 2001).

### **Propiedades del Asfalto**

#### **Propiedades físicas del asfalto**

Las propiedades físicas más importantes de un asfalto para la construcción de pavimentos flexibles y mantenimiento son:

**Durabilidad.** - Es una propiedad de medida del asfalto para la capa de rodadura en un pavimento flexible cuanto puede retener un asfalto sus características originales la cual se ve reflejado en el envejecimiento del asfalto (Instituto del Asfalto, 2001).

**Adhesión y Cohesión.** -Adhesión es una propiedad que tienen los asfaltos para adherirse a los agregados gruesos a una mezcla asfáltica para un pavimento flexible, mientras que cohesión es la capacidad del asfalto de mantenerse firme (Instituto del Asfalto, 2001).

**Susceptibilidad a la Temperatura.** - los asfaltos tienen la facilidad de modificar su estado con la temperatura, esta propiedad es una de las más importantes ya que ello hace posible que se puedan unir con los agregados.

**Endurecimiento y declive de la mezcla Asfáltica.** - Debido al proceso de oxidación que sufre la mezcla al tener contacto con el oxígeno acelerando el proceso cuando el asfalto está a altas temperaturas (Instituto del Asfalto, 2001).

### **Propiedades químicas del asfalto**

La composición química de los asfaltos es múltiple al diluirlo con heptano podemos separar el asfalto en dos grupos:

**Asfáltenos.** - Los asfáltenos son de color negro o pardo oscuro, brinda color y dureza al asfalto y es soluble al heptano (Instituto del Asfalto, 2001).

**Máltenos.** - Se componen por resinas las cuales son de naturaleza polar y son altamente adhesivos, con menor peso molecular en un asfalto y son saturados por aceites viscosos de color amarillo o blanco (Menéndez, 2009).

### **1.3.2 Agregados Pétreos**

Se puede definir a un agregado como un conjunto de rocas, duro e inerte las cuales son graduadas o fragmentados en las canteras para diferentes usos en la construcción.

Según Rondón y Reyes (2015) al mencionar un agregado pétreo en pavimentos se refiere a un conglomerado como gravas, arenas (naturales) como para la preparación en una mezcla asfáltica (p 43).

Los agregados pétreos constituyen alrededor del 94% de una mezcla asfáltica en caliente, por ello los agregados gruesos y finos son importantes porque influyen en el comportamiento de la estructura del pavimento flexible (Minaya y Ordoñez, 2003).

Generalmente los agregados pétreos utilizados para mezclas asfálticas se utilizan bajo parámetros granulométricos debido a que influye significativamente en sus propiedades deseadas de la mezcla. Los agregados pétreos que son utilizados para mezclas asfálticas pavimentos flexibles deben tener una resistencia al desgaste y una geometría ideal de partículas.

### 1.3.3 Caucho de Neumático

#### Neumático

El neumático es una de las partes más importantes de un automóvil ya que ésta asegura su firmeza en la carretera. Este material está constituido de cauchos naturales y sintéticos, donde los cauchos más empleados para la fabricación son:

**Cauchos naturales.** - Se deriva de un látex lechoso y proviene de un árbol *hevea brasiliensis*, la única que se explota comercialmente. Esta se encuentra en la corteza de este árbol como un líquido lechoso la cual para extraerlo se realiza un corte en la corteza.

**Estireno-Butadieno.** - Es un caucho sintético conocido por sus siglas SBR es un copolímero formado de la mezcla de dos monómeros del Estireno y el Butadieno. Este caucho es el más conocido a nivel mundial debido a que favorece a la vulcanización.

**Polibutadienos.** - Es un material sintético usado para la fabricación de neumáticos ya que brinda una mayor resistencia para temperaturas bajas y tiene un comportamiento de envejecimiento considerable. Sin embargo, este polímero presenta una baja adherencia en superficies húmedas, por ello es usado combinándolo con caucho natural o sintético (SBR).

**Polisoprenos sintéticos.** - Es un polímero que brinda mucha más facilidad que un caucho natural, lo cual resulta ventajoso al momento de moldarse facilitando la fabricación de piezas complicadas. Sin embargo, posee poca resistencia al desgarro complicando el proceso de vulcanización a bajas temperaturas.

#### Partes de un Neumático

El neumático comprende las siguientes partes:

**Lonas de carcasa:** Es la conformación de los neumáticos, la cual está formada por capas de material textil. Las lonas reducen la elasticidad del neumático por ello generalmente están formadas con cables de fibras tejidas recubiertas de caucho.

**Lonas de cima:** Son láminas tejidas con acero que están entorno al neumático recubiertas con caucho, lo que proporciona rigidez a la estructura.

**Hombro:** Es una goma más gruesa que está al borde del neumático situado entre la banda de rodadura y el flanco. Esta parte permite distribuir el calor producido y brinda un mejor control en las curvas.

**Entalladura y surco.** - Son las rayas profundas que separan los bloques de la banda de rodadura, lo que permite dispersar el agua. A los bloques pequeño se les denomina entalladuras y son importantes para el agarre con la carpeta de rodadura.

**Talones.** - Estructura interna del neumático que se ajusta a las llantas, está fabricado con cables de acero trenzado lo que asegura el neumático evitando que patine en el mismo.

**Flanco.** - Es la parte lateral del neumático donde está toda la información técnica y la función que cumple es brindar mayor estabilidad.

**Banda de rodadura.** -Parte del neumático que está en contacto con la carretera, brindando agarre y amortiguación.

**Revestimiento de goma interior.** - Es la capa interna que está compuesta de goma, tiene la función de retener el aire interior.



Figura 1. Composición de un Neumático que cumple con su función. Conocer la formación de sus componentes contribuye a la seguridad. Adaptado de Euromaster (2018).

## Composición química de los neumáticos

La estructura química de los neumáticos es compleja debido a que cuenta con varios elementos y llegan hasta 200 compuestos químicos diferentes, donde los materiales más usados son el caucho natural, caucho sintético, agentes químicos (azufre, óxido de zinc, cadmio entre otros), aceites minerales y fibras de refuerzo (Ver Tabla 1).

Tabla 1.  
*Composición química aproximada de un neumático*

<b>Elemento</b>	<b>Porcentaje % en Peso.</b>
C(carbono)	70
H(Hidrogeno)	7
S(Azufre)	1
N <sub>2</sub> (Dinitrogeno)	0.5
O(Oxigeno)	4
ZnO(Óxido de Zinc)	1
Fe(Hierro)	16
Ácido esteárico	0.3
Halógenos	0.1
Ligandos Cupríferos	200mg/kg
Cd(Cadmio)	10mg/kg
Cr(Cromo)	90mg/kg
Ni(Níquel)	80mg/kg
Pb(Plomo)	50mg/kg

*Nota:* Se presenta cada uno de los componentes químicos aproximados que integrarían en un neumático. Adoptado de Sociedad Nuclear Española (2010).

## Vida útil de un Neumático

La vida útil de los neumáticos varía según el uso de los vehículos además del estilo de manejo como acelerar seguido, realizar vueltas rápidas en curvas y cuando se maneja al borde del pavimento. Las diferentes marcas mencionan que tienen una vida útil en promedio de cinco años la cual varía debido a que está influenciado por el estilo de manejo, la continuidad en el uso del vehículo y el estado de las vías.

## **Reciclaje de los Neumáticos**

El reciclaje de los neumáticos fuera de uso (NFU) es complejo debido a que es un material difícil de separar por los compuestos que tiene donde podemos encontrar caucho, lonas textiles y lonas metálicas. Por ello se tienen varios procesos con la que se puede reciclar siendo las más importantes las siguientes:

**Regeneración.** - Este proceso consiste en separar las cadenas que conforman el material, la cual se obtiene una materia prima que no varía mucho del original por lo que lo utilizan para fabricar otros productos de caucho.

**Termólisis.** - Consiste en calentar el caucho de neumático reciclado en un lugar determinado sin poner oxígeno la cual sirve para destruir los enlaces químicos.

**Pirólisis.** - Es un procedimiento complejo debido a la separación de los compuestos carbonados

**Incineración.** - Consiste en producir la combustión de neumáticos reciclados, lo que considera un gasto enorme. Este proceso se utiliza para poder obtener energía a través de la combustión de la misma.

**Trituración Criogénica.** - Este método es muy complejo de realizar debido que para obtener el caucho de neumáticos se requieran muchas maquinarias haciendo este trabajo poco rentable, la obtención de los materiales de baja calidad hacen que este proceso sea poco recomendable.

**Trituración Mecánica.** - Este proceso es en su totalidad mecánico, por la cual los productos resultantes son de buena calidad, siendo el más económico de los procesos, ya que consiste en fragmentar en varias partes el neumático separándolos por partes por esta razón los productos finales se pueden utilizar para generar otros o aplicarlos en distintos campos, siendo el más rentable.

## **Uso de los Neumáticos Reciclados.**

Los usos más comunes que le dan a los neumáticos fuera de uso son para pistas deportivas (Base para campo de fútbol sintético), como maseteros para plantas, barreras de protección en las pistas, alfombrillas, material de combustión para generar energía eléctrica y la utilización como agregado en una mezcla asfáltica. La utilización de los neumáticos reciclados no es nueva, se remonta a los años noventa en los Estados Unidos de América y las experiencias en Sudamérica son las de Colombia, Ecuador y Chile.

Tabla 1.  
*Los usos de un neumático reciclado*

<b>Gestión</b>	<b>Proceso</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Valorización del material</b>	Reutilización	Protección: circuitos carreteros, en postes de seguridad, en barcos, etc.
		Aplicaciones directas-segundos usos. Construcción de muros de contención Barreras en muelles costeros Barreras acústicas Drenaje
	Recauchutado y reestructurado.	Vida útil del neumático.
	Reciclaje	Regeneración Triturado y separación (obtención del polvo de caucho) Pavimentos en carreteras Pistas deportivas (gras sintético) Alfombrillas.
<b>Valorización Energética</b>	Incineración quema, combustión y pirolisis	Los Neumáticos son una compleja combinación de hidrocarburos, metales, azufre, plastificantes y aditivos, en total son en conjunto 200 elementos que conforman. Las emisiones por la combustión o incineración, son el monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, óxido de zinc, benceno, fenoles, hidrocarburos aromáticos, entre otros.
<b>Eliminación</b>	Depósito en vertedero controlado	Triturado y/o depósitos en vertedero controlado. Los verteros no admitirán llantas en desuso a o partir del 16 de julio de 2006 en buenos aires-argentina.

*Nota:* Se presenta el proceso que pasa un neumático, valorizando sus propiedades mediante algunas aplicaciones. Tomado del “Departamento de Ingeniería Mecánica”, por el Ing. Guillermo C., 2007.

### 1.3.4 Tereftalato de polietileno

#### Definición

Es una clase de plástico que se usa básicamente en envases para bebidas y textiles. Se puede abreviar con sus siglas en inglés PET (polyethylene terephthalate). Es de tipo termoplástico, poseen una característica fundamental que es fluir a presión por encima de su punto de fusión, ayudando a que se vuelvan a reutilizar, es decir son factibles para su reciclaje (Elías,2012).

El PET al tener esa característica moldeable, puede ser reprocesado. Los plásticos más comunes se conocen como “Comodities”. Estos tipos se clasifican de la siguiente manera para un mejor reciclaje (Durán,2013).



Figura 2. Numeración según tipo de plástico. Donde se describe por numeración según el tipo de plástico para un mejor reciclado de estos residuos. Adaptado de Durán, U. (2013).

El tipo de plástico a usarse presenta un comportamiento adecuado con propiedades como la firmeza al erosión y corrosión, contiene adecuado coeficiente de deslizamiento, además la factibilidad de poderse reciclar.

El uso de este material como agregado para la mezcla asfáltica es por su alta resistencia a esfuerzos constantes y a la erosión ya que presenta rigidez y dureza.

#### Composición química

El polietileno se produce a partir de dos compuestos esenciales: el ácido Tereftálico (PTA) y etilenglicol (EG). Además, se puede obtener utilizando dimetiltereftalato(DMT) en lugar del PTA. Tiene alto grado de cristalinidad y de comportamiento termoplástico por ello es transformado por procesos como extrusión, inyección, inyección – soplado y termo formado (García, 2017).

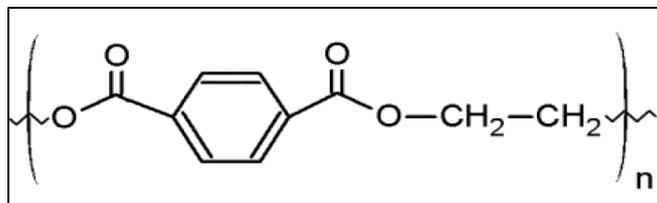


Figura 3. Fórmula química del polietileno de tereftalato(PET).

## Propiedades

En general el PET se caracteriza por su resistencia ante el calor y no absorbe agua, se forma fibras fuertes y flexibles por ser de material puro (García,2017).

Tabla2.

*Características del PET*

FÓRMULA MOLECULAR	$(C_{10}H_8O_4)_n$	
PROPIEDAD	Unidad	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,370 amorfo
		1,455 cristalino
Presión	MPa	55 – 75
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Prueba de Impacto	kJ/m <sup>2</sup>	3,6
Carga de rotura	kg/cm <sup>2</sup>	560 – 2500
		2100 – 2400
Módulo de Elasticidad	MPa	amorfo
		2800 – 3100 cristalino
Dilatación térmica	10 <sup>-4</sup> / °C	15,2 – 24
Resistencia térmica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	-----	3,65
Absorción de agua	ASTM	0,16
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Índice de refracción	-----	1,5750
Temperatura de fusión	°C	256- 271
Temperatura de transición vítrea	°C	70

*Nota:* Se presenta las propiedades más importantes que componen el PET.

### 1.3.5 Mezclas asfálticas

Son combinaciones de materiales como el agregado grueso, agregado fino en porciones exactas y diferente tipo de tema de asfalto por la

forma que prevalezca las propiedades mecánicas necesarias para asegurar la vida útil de un pavimento flexible (Rondón y Reyes, 2015).

Según (Minaya y Ordoñez, 2006) Las mezclas asfálticas en caliente, HMA se divide en tres tipos: de gradación densa, mezclas abiertas o porosas y mezclas de granulometría incompleta (p.160).

## **Tipos de Mezclas asfálticas**

### **Mezclas asfálticas en Caliente**

Se diferencia del otro tipo de mezcla porque se emplea como ligante, son mezclas que se fabrican y compactan a altas temperaturas que están entre 110°C y 120°C. (Rondón y Reyes, 2015, p.96).

### **Mezclas asfálticas en Frio**

Estas mezclas presentan una granulometría de agregados pétreos mal graduada las cuales se mezclan con una emulsión asfáltica del tipo CRM y pueden extenderse y compactarse a temperatura ambiente. (Rondón y Reyes, 2015, p.96).

Las ventajas que proporciona este tipo de mezcla es que disminuyen el ruido de rodadura, facilita la construcción, son eco amigables, tienen buena textura superficial entre otros.

## **Propiedades mecánicas**

### **Estabilidad**

Es la propiedad que permite a la mezcla resistir desplazamientos y alteraciones en el producto de las cargas de tránsito y depende directamente de la fricción y adhesión interna de la mezcla. Esta propiedad se determina después de realizar un estudio de tráfico vehicular en la vía a pavimentar.

Tabla 3.  
*Causas y efectos de una estabilidad baja*

<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Exceso en asfalto en la mezcla.	I. Ondulaciones, ahuellamiento, y afloramiento o exudación.
Exceso de área de tamaño medio en la mezcla.	II. Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficiales trituradas.	Ahuellamiento y canalización.

*Nota:* Se presenta las causas que se pueden encontrar en la mezcla asfáltica y en relación al efecto sobre su estabilidad.

### **Durabilidad**

Es la propiedad que le permite a la mezcla resistir la desintegración del agregado, oxidación y la separación de la película de asfalto. Producto de la acción del clima y el tránsito. Esta propiedad es mejorada agregando más asfalto, con una graduación densa de los agregados y diseñando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad (Instituto del Asfalto,2014, p.62).

Tabla4.  
*Causas y efectos de poca durabilidad*

<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
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 rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Agregados susceptibles al agua (hidrofílicos).	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

*Nota:* Se presenta las causas que se pueden encontrar en la mezcla asfáltica y en relación al efecto sobre su estabilidad. Tomado del “Instituto del Asfalto”,2014.

## **Impermeabilidad**

Es la resistencia que ofrece la mezcla expuesta al aire y al agua hacia el interior de su estructura. Está en relación al contenido de vacíos, por ello cuando se tiene un contenido bajo de asfalto causa desgaste y desintegración en la mezcla.

## **Trabajabilidad**

Es el manejo fácil de la mezcla para poder ser colocada y amoldada a un pavimento flexible.

Tabla 5.  
*Causas y efectos de una mala trabajabilidad*

<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Tamaño máximo de partícula grande. Demasiado agregado grueso.	Superficie áspera, difícil de colocar. 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.	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Baja contenido de relleno mineral.	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral.	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable.

*Nota:* Se presenta las causas de una inadecuada trabajabilidad frente a los efectos que se puedan presentar

## **Flexibilidad**

Es la propiedad del pavimento flexible para deformarse sin agrietarse producto de la carga vehicular que soporta. Lo cual se logra logrando un equilibrio con los requisitos de estabilidad.

## **Resistencia a la Fatiga**

Es la propiedad de resistir a flexiones repetidas bajo cargas vehiculares, la cual está relacionada con la viscosidad del asfalto.

Tabla 6.

*Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga*

<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Bajo contenido de asfalto.	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos altos de diseño.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

*Nota:* Se presenta las causas de una inadecuada resistencia a la fatiga frente a los efectos que se puedan presentar.

## **Resistencia al Deslizamiento**

Propiedad en la que la capa de rodadura puede minimizarse al deslizamiento de las ruedas de los medios de transportes. Por ello se necesita que el pavimento flexible sea áspera y rugosa ya que esta impide que el agua u otros agentes estén contacto con los neumáticos de los vehículos.

Tabla 7.

*Causas y efectos por resistencia al deslizamiento*

<b>Causas</b>	<b>Efecto</b>
Exceso de asfalto.	Exudación, poca resistencia al deslizamiento.
Agregado mal graduado o con mala textura.	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo.

*Nota:* Se presenta las causas de una inadecuada resistencia al deslizamiento frente a los efectos que se puedan presentar. Tomado del “Instituto del Asfalto”,2014.

### **1.3.6 Método Marshall**

Este método fue creado por Bruce Marshall, ingeniero del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. Esta investigación fue iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Tuvo por finalidad determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla de agregados pétreos, y ser utilizada para mezclas asfálticas en caliente, se admiten 25.0mm (1pulg) o menos de tamaño para sus agregados.

#### **Descripción general**

Según el Instituto del Asfalto (2001) En el método Marshall se usa probetas de 64 mm de espesor por 102 mm de diámetro. Cada una con la misma proporción de agregados y distintos contenidos de asfalto, llevando el procedimiento definido para luego ser calentado, mezclado y compactado (p.71).

Este procedimiento esta normado por la ASTM D1559, el objetivo de este método está en determinar la densidad de los vacíos, la prueba de estabilidad y flujo.

#### **Procedimientos previos al ensayo**

Los siguientes procedimientos se encuentran normado por la norma AASHTO T245 o ASTM D1559.Los agregados pétreos y los asfaltos presentan diferentes características la cual influye directamente en el pavimento, por ello es importante es saber las cualidades que debe de tener un pavimento (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, entre otras.) para la cual se selecciona un tipo de agregado y asfalto que juntos puedan llegar a cumplir con las cualidades determinadas.

## **Selección de las Muestras de la Mezcla Asfáltica**

La primera acción que se debe realizar para la preparación de los ensayos es reunir los modelos de asfalto y agregado que serán usados en la mezcla del pavimento. Es fundamental que las muestras de asfaltos y agregados que se utilizaran en el laboratorio sean las mismas que se usen en campo con la finalidad de prevenir problemas como una falla prematura del pavimento.

### **Preparación del agregado.**

Debido a que la viscosidad y temperatura del cemento asfáltico es conocido para ser usado en el mezclado y compactación en el laboratorio. El procedimiento preliminar se enfoca a determinar las características del agregado, donde se seca el agregado, se determina el peso específico y se realiza un análisis granulométrico por lavado. (Instituto del Asfalto, 2001, p.72).

### **Preparación de las Muestras (Probetas) de Ensayo**

La preparación de la probeta de Marshall consiste en llenar una cantidad determinada de asfalto en cada una de ellas. La cantidad de asfalto en cada uno de las probetas está determinada en base a la experiencia previa con los agregados de la mezcla. Así mismo la proporción de los agregados está calculada en base a los resultados del análisis granulométrico. (Instituto del Asfalto, 2001, p.74).

## **Procedimientos del ensayo Marshall**

Los procedimientos en el método Marshall son los siguientes:

**Determinación del Peso Específico Total.** – Cuando se tiene las probetas compactadas y expuestas a temperatura ambiente, se determina el peso específico la cual es importante para hallar la densidad de vacío.

### **Ensayo de Estabilidad y Fluencia**

Según el Instituto del Asfalto (2001) este procedimiento sirve para hallar la resistencia a la deformación, y quien mide esta propiedad es la fluencia estando bajo carga que transcurre en la mezcla. (p. 75).

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Las probetas se calientan en un baño María a 60°C.

Se retira del baño, se seca y se coloca en el aparato Marshall

A través del aparato Marshall se aplica una carga sobre la muestra a una rapidez de 51mm (2 pulgadas) hasta que en la muestra figure lo contrario.

Para registrar el valor de estabilidad Marshall se registra la carga de falla y para la fluencia se anota los datos de la lectura del medidor de fluencia.

### **Valor de Estabilidad Marshall**

Según el Instituto del Asfalto (2001) La medida que se determina por Marshall, es de la carga que una probeta llega a ceder o al tener una falla (p. 76).

Es importante señalar que a mayor resistencia es decir mayor carga aplicada a la muestra, la estabilidad de la muestra es buena.

### **Valor de Fluencia Marshall**

Según el Instituto del Asfalto (2001) La medida en centésimas de la fluencia es por la briqueta al momento de tener una deformación (p. 77).

### **Análisis de Densidad y Vacíos**

En esta prueba se determina la densidad específica teórica máxima (ASTM D2041) para al menos dos muestras y un valor promedio de la gravedad específica efectivo total del agregado, se realiza promedio de la gravedad específica que fueron compactadas, además de hallar el porcentaje que absorbió el peso en el agregado seco, también cuando paso por el porcentaje de vacíos, llenados con asfalto, y adicionando el agregado pétreo (Gamica, Delgado y Sandoval, 2005 p.2)

Para el Instituto del Asfalto (2001) Se realiza el análisis para saber el porcentaje de vacíos en una mezcla compactada (p.78).

### **Análisis de Vacíos**

Se calcula con el peso específico total de cada una de las probetas compactadas y el peso teórico de la mezcla del pavimento sin vacíos. Para el cálculo del peso específico total se pasa las probetas por aire y agua. (Instituto del Asfalto, 2001, p.78).

### **Análisis de Peso Unitario.**

Según el Instituto del Asfalto (2001) Promedio del peso unitario en cada probeta se determina multiplicando el peso específico total por  $1000 \text{ kg/m}^3$  ( $62.4 \text{ lb/ft}^3$ )” (p.78).

### **Análisis de VMA**

Según el Instituto del Asfalto (2001) Los vacíos en el agregado mineral, se encuentran en las partículas de la mezcla ya compactada, se expresa como porcentaje de volumen ya que incluye los vacíos del aire y su contenido efectivo (p.78).

### **Análisis de VFA**

Para el Instituto del Asfalto (2001) Los vacíos llenos de asfalto, son el porcentaje de vacíos que surgen dentro de las partículas llenos de asfalto. El VFA se halla al restar los vacíos de aire del VMA y luego dividiéndolo (p.79)

### **Análisis de los resultados del Ensayo Marshall**

#### **Graficando los Resultados**

Para determinar las cualidades de cada una de las probetas en los resultados del ensayo Marshall, se analizan mediante gráficas.

Para el Instituto del Asfalto (2001) Las gráficas que se determinan luego del proceso de cálculo se describen los porcentajes de vacíos, los porcentajes de vacíos del agregado mineral (VMA), los porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VFA), los pesos unitarios, los valores de estabilidad Marshall y los valores de fluencia de Marshall (p.79).

## **Relaciones y Observaciones de los Resultados de los Ensayos**

Es importante graficar los resultados que se obtiene de los ensayos ya que revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla (Instituto del Asfalto,2001, p.79).

## **Determinación del Contenido Optimo de Asfalto**

Para determinar el contenido óptimo de asfalto primero se calcula el contenido de asfalto con un 4% de vacíos, segundo se evalúa las propiedades mecánicas y finalmente se compara con los criterios de diseño. Si cumplen todos los criterios de diseño es el contenido óptimo de asfalto (Instituto del Asfalto,2001, p.81).

### **1.3.7 Estudio de tránsito para pavimentos**

Es importante para la planificación y diseño de vida útil debido ya que están relacionados con la carga que soportará el pavimento en su período de diseño (MTC, 2013).

#### **Volumen de Tránsito**

Es la cantidad de vehículos que pasan por una determinada vía en un intervalo de tiempo (Menéndez, 2009).

Según (Minaya y Ordoñez, 2006) Se define por la cantidad de vehículos que transcurren en un determinado intervalo de tiempo por un carril, la unidad de medida es vehículos /día; vehículos/ hora, etc. (p.8).

#### **Tipos de vehículos**

Los tipos de vehículos están definidos en el Reglamento Nacional de Vehículos.

#### **Índice Medio Diario (IMD)**

Según (Minaya y Ordoñez, 2006) es la cantidad de transportes que se trasladan por un carril en un determinado plazo (p.8).

El índice diario se representa por el tiempo de estudio donde se analiza el índice medio diario semanal (IMDS), índice medio diario mensual (IMDM) y el índice medio diario anual (IMDA) siendo esta última utilizada para el cálculo de los ejes equivalentes.

### **Configuración de ejes y peso vehicular**

Es la configuración de ruedas que tiene un vehículo con un peso máximo independiente por eje la cual esta normado por el Reglamento Nacional de Vehículos para su circulación en nuestro país (Minaya y Ordoñez, 2006).

### **Período de diseño**

Son los años que debe soportar el pavimento el efecto acumulativo de las cargas vehiculares en el pavimento antes de recibir trabajos de rehabilitación para devolverle a la vía que sea transitable (Minaya y Ordoñez, 2006).

### **Carril de diseño**

El carril de diseño para calles y carreteras de dos carriles puede ser cualquiera de los dos sentidos, la que reciba más cargas vehiculares.

### **Crecimiento de tránsito**

El crecimiento de tránsito está relacionado con el crecimiento socioeconómico de un país, esta tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros está influenciado por el crecimiento poblacional y el crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía la cual es expresada como el Producto Bruto Interno (PBI) donde generalmente varía entre el 2% y el 6% (MTC, 2013).

### **Números de repeticiones de Ejes Equivalentes**

Según el (MTC, 2013): La causa que provoca en el tránsito es la medida de los ejes equivalentes acumulados en el período de diseño. AASHTO define EE al deterioro causado sobre el pavimento en un eje simple de dos ruedas con un peso de 8.2 tn. Los ejes equivalentes (EE) son similares con un factor destructivo en cargas, por tipo de vehículo que transita (p.78).

El número de repeticiones de Ejes Equivalentes evalúa el efecto dañino de las cargas de tránsito en el carril de diseño de un pavimento flexible (Minaya y Ordoñez,2006).

### **1.3.8 Tipos de Vías Metropolitanas**

De acuerdo con el Artículo 7, Intervención en el Sistema Vial Metropolitana, tiene a su cargo para ejecutar y realizar mantenimientos de los Proyectos de Inversión Pública, para las vías Expresas, Arteriales y Colectoras del Sistema Vial Metropolitana de intercambios viales (Ordenanza N°341,2006).

Se especifican sobre las cuatro vías de las cuales se definirán a continuación:

#### **Vías Expresas**

Para este tipo de vías donde los flujos no son interrumpidos, sirve para propiedades colindantes mediante accesos y vías de diseño especial.

Es importante recalcar que en estas vías no se permite el transporte público salvo que se gestione de manera que se desarrolle de manera ordenada con paraderos autorizados, además de señalizaciones ya antes diseñados.

Según el ámbito de jurisdicción se subdividen en Nacional /Regional, Subregional y Metropolitana. Siendo así 41 vías que conforman el tipo de vía expresa.

#### **Vías Arteriales**

Estas vías reciben un apreciable volumen de tránsito en áreas principales y velocidad media de circulación. Cuando se presenta grandes distancias es necesario la construcción de espacios donde exista desnivel y/o intercambio que garantice una mayor velocidad de circulación (Ordenanza N°341,2006).

El diseño para las intersecciones, se tiene que contemplar carriles para volteos y poder aumentar la capacidad de la vía.

Las vías arteriales permiten el tránsito de diferentes tipos de vehículos. Al igual que una vía expresa, para el transporte público se debe diseñar paraderos autorizados, así minorar que se genere interferencias viales.

A diferencia de una vía expresa, estas vías necesitan de un servicio lateral para acceso a las propiedades. “Cuando los volúmenes de tránsito así lo justifiquen, se

construirá pasos a desnivel entre la vía arterial y algunas que se intercepten” (Ordenanza N°341,2006, p.16).

Las vías arteriales se constituyen de 170 vías. “Diseñadas para cubrir el área de la ciudad por una red con vías espaciadas entre 1,000 a 2,000 metros entre sí” (Ordenanza N°341,2006, p.16).

### **Vías Colectoras**

Tienen como función llevar el tránsito desde el sector urbano hasta las vías expresas y/o arteriales. Además de unir a propiedades adyacentes.

Estas vías se encuentran semaforizadas ya que intersectan tanto como vías arteriales y otras vías colectoras. En caso se autorice transporte público también deberá establecer y diseñar paraderos.

Las vías arteriales se constituyen de 362 vías. “Diseñadas para cubrir el área de la ciudad por una red con vías espaciadas entre 400 a 800 metros entre sí” (Ordenanza N°341,2006, p.16).

### **Vías Locales**

Cumplen con tener accesos a predios u otros adyacentes. Para viviendas estarán de acuerdo a la ley, es decir municipalidades distritales, mientras que, en zonas industriales, será a solicitud de la Municipalidad Metropolitana de Lima (Ordenanza N°341,2006).

## **1.4 Formulación del problema**

### **1.4.1 Problema general**

**PG:** ¿Cómo la adición de elastómeros y PET reciclado mejora una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018?

### **1.4.2 Problemas específicos**

**PE1:** ¿Cómo la adición de elastómeros y PET reciclado mejora la resistencia de una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018?

**PE2:** ¿Cómo la adición de elastómeros y PET reciclado mejora la trabajabilidad de una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018?

**PE3:** ¿Cómo la adición de elastómeros y PET reciclado mejora la impermeabilidad de una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado, Lima 2018?

## **1.5 Justificación del estudio**

Se busca diseñar una mezcla asfáltica adicionando elastómeros y (PET) reciclado por el método de diseño de mezclas Marshall para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas en la ciudad de Lima, debido a que se tiene una infraestructura vial deficiente y gran porcentaje de pistas en mal estado con baches y grietas lo que ocasiona tráfico y accidentes de tránsito.

Uno de los problemas que tienen las pistas de la ciudad de Lima es la fractura temprana de la capa de rodadura debido a la poca resistencia a la fatiga (soportar carga vehicular constante) lo que genera baches y grietas. Por ello es necesario crear pavimentos flexibles de mejor desempeño que sean económicos, la cual cumplan su vida útil, y sean capaces de soportar la carga vehicular de un parque automotor en crecimiento.

Es justificable, dada la necesidad de mejorar la infraestructura vial con mezclas asfálticas que tengan un mejor desempeño en pavimentos flexibles y a su vez brinden

una alternativa de solución de estos residuos sólidos puesto que el creciente parque automotor de la ciudad genera grandes volúmenes de las llantas en desuso lo cual se convierte en un problema ambiental junto con los desperdicios plásticos PET.

Con la adición de elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado, se busca mejorar sus propiedades mecánicas como la resistencia, trabajabilidad, resistencia a la humedad con residuos reciclados de manera económica y sostenible ambientalmente según la normativa y criterios de diseño vigentes. Para obtener un mejor desempeño en las pistas lo cual aseguren su vida útil y sean viables contribuyendo en la parte técnica, económica y ambiental para su aplicación en las vías metropolitanas de la ciudad de Lima.

### **1.5.1 Justificación teórica**

Por medio de la práctica aplicaremos conocimientos teóricos para realizar un diseño de mezclas asfálticas adicionadas con elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.

Los materiales que componen una mezcla asfáltica son importantes debido a que estas se relacionan entre sí, la cual brinda a la capa asfáltica resistencia mecánica bajo carga monotonica, estática y/o cíclica, impermeabilidad y durabilidad por la cual es importante evaluarlas según los parámetros de calidad (Rondón y Reyes, 2015).

El método de diseño Marshall evalúa en el laboratorio una mezcla asfáltica en donde se junte agregados gruesos, agregados finos y cemento asfaltico, donde se elaboran briquetas compactando la misma cantidad de agregados pétreos y diferente porcentaje de contenido del cemento asfaltico logrando evaluar cada una de las muestras (briquetas) según la estabilidad, fluencia, densidad de la mezcla, vacíos de aire, vacíos del agregado mineral y el contenido óptimo de asfalto. (Minaya y Ordoñez,2015)

Por la teoría explicada, con la presente investigación pretendemos diseñar una mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado para cargas tránsito pesado para evaluar su posible desempeño de sus propiedades mecánicas de resistencia, trabajabilidad resistencia a la fatiga, la deformación permanente y su resistencia en un pavimento flexible.

### **1.5.2 Justificación metodológica**

El objetivo del estudio es realizarlo por medio del método Marshall, diseño de mezcla, la cual consiste en la combinación de agregados pétreos y adicionantes con distinto contenido de asfalto para evaluar sus propiedades volumétricas que nos indique el comportamiento de sus propiedades mecánicas en un pavimento flexible y obtener un contenido óptimo de asfalto según los criterios de diseño del RNE (CE010), el Instituto del Asfalto y el Manual de ensayos de materiales del MTC con los procedimientos normados por ASTM.

La metodología a seguir es determinar la carga de tránsito que se utilizará como guía para el diseño de mezcla asfáltica la metodología del Método de diseño Marshall para poder obtener un contenido óptimo de asfalto para una combinación de agregados y adicionantes reciclados.

El propósito del método Marshall de diseño de mezclas asfálticas es determinar un contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, la cual servirá como guía patrón en su aplicación en obra. Este método provee información sus propiedades de la mezcla asfáltica en caliente donde se determina las densidades y contenido óptimo de vacíos (Asphalt Institute,2014).

### **1.5.3 Justificación tecnológica**

Esta investigación está enfocada a aportar más información en el ámbito tecnológico ya que plantea diseño de una mezcla asfáltica capaz de resistir al crecimiento del parque automotor y poder combatir el problema de los baches y grietas en las pistas de la ciudad de Lima.

Un diseño adecuado proporciona un equilibrio de propiedades de ingeniería y economía que asegura un pavimento duradero que satisface tanto sus usuarios y propietarios (Asphalt Institute,2014).

#### **1.5.4 Justificación económica**

Se justifica en el uso de los neumáticos y plásticos reciclados, ya que estos materiales se pueden encontrar en desperdicios. Los neumáticos no cuentan con un adecuado proceso de reciclaje, mientras que los plásticos sí.

Ayudaría a las empresas de reciclaje de neumáticos generar más ingresos contribuyendo a que el nuevo uso que se le dé a las llantas sea para el área de infraestructura vial.

El tener más empresas que reciclen estos productos ayudaría a que estos materiales no biodegradables tengan otro uso. La adición de estos polímeros influye en sus propiedades y la mejora de un pavimento flexible que recibe cargas de tránsito pesado (Revelo,2014).

### **1.6 Hipótesis**

#### **1.6.1 Hipótesis general**

**HG:** Mejora la mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado en vías metropolitanas, Lima 2018.

#### **1.6.2 Hipótesis específicas**

**HE1:** La resistencia es mayor para una mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.

**HE2:** La trabajabilidad mejora en la mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.

**HE3:** La impermeabilidad mejora en la mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1 Objetivo general**

Determinar la mejora de una mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.

### **1.7.2 Objetivos específicos**

**OE1:** Determinar la mejora de la resistencia adicionando elastómeros y PET reciclado en una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.

**OE2:** Determinar la mejora de la trabajabilidad adicionando elastómeros y PET reciclado en una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.

**OE3:** Determinar la mejora de la impermeabilidad adicionando elastómeros y PET reciclado en una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018

## **II. MÉTODO**

## **2.1. Diseño de la investigación**

La indagación estará diseñada bajo el método científico. Palomino, Peña, Zevallos y Orizano (2015) refieren que este método ayuda a comprobar de manera empírica, verificable y reproducible, donde se busque como característica principal la ciencia. Nos permitirá descubrir conocimientos a partir de lo observado en la realidad.

Presenta un diseño experimental ya que se requiere del manejo en una de las variables. Bernal (2010) hace referencia a que cuando se habla de una investigación experimental, una variable independiente modifique un cambio predecible en una variable dependiente. Por ello a partir de que se manipulan la variable independiente ocasiona un efecto en la variable dependiente.

De acuerdo con las cualidades de la indagación, el tipo de investigación a utilizarse sería del tipo cuantitativa porque se medirá y obtendrá números. Por su finalidad de estudio esta se clasifica en aplicada ya que se podrá mejorar el problema de interés (Palomino et al., 2015).

En este estudio se busca realizar un diseño de mezcla asfáltica adicionadas con elastómeros y PET reciclado y si estas cumplen con mejorar su resistencia, trabajabilidad y resistencia a la humedad para una carga de tránsito pesado.

El nivel de investigación a utilizarse es el estudio explicativo, donde se busca profundizar sobre una variable que está siendo utilizada y tiene relación de causa-efecto con otra variable (Palomino et al., 2015).

También presenta un nivel de investigación correlacional de acuerdo a Salkind (como se citó en Bernal,2010) permite examinar las variables y los resultados que se obtenga, es decir solamente las asocia mas no relaciones de causas donde influya algún factor que pueda cambiar otro.

## **2.2. Variables, Operacionalización**

### **2.2.1. Variables**

**Variable dependiente:** Mezclas asfálticas.

Es la unión de agregados gruesos y finos con el cemento asfáltico (Rondón y Reyes, 2015).

Minaya y Ordoñez (2001) La mezcla en caliente tiene combinación de agregados y cemento asfáltico (p.102).

**Variable independiente:** Elastómeros y PET reciclado

La adición de polímeros cambia la sensibilidad térmica del asfalto, y causa una mejora en el proceso visco-elástico a las temperaturas de servicio (Montejo, 2002).

Según Montejo (2020) Los elastómeros son un polímero amorfo, que se someten al proceso de vulcanización para poder transformarse en una estructura reticulada, la cual se convierte en elástica (p.622).

### **2.2.2. Operacionalización de las variables**

La variable dependiente, mezclas asfálticas, es producto de la combinación de agregados pétreos y cemento asfáltico, para la cual previamente se determina mediante ensayos la calidad de los agregados gruesos y finos. Así mismo se determina la calidad del cemento asfáltico mediante ensayo de penetración, una vez determinado la calidad de estos se realiza el ensayo de diseño de mezclas Marshall en donde se procederá a combinar los agregados y el asfalto con el propósito de obtener el contenido óptimo de asfalto para una combinación que prevalezca sus propiedades mecánicas como la resistencia y la trabajabilidad.

La variable independiente, Elastómeros y PET reciclado, son modificadores reciclados la cual para su utilización se deben tamizar y son aquellas partículas que pasan por la malla N°10 y son retenidas en la malla N°40. De acuerdo al MAC 2 se va a determinar los porcentajes de agregado grueso, fino y como filler las partículas de caucho y PET las cuales se pasarán a peso en gramos. El peso total que deben tener para la elaboración de cada briqueta es de 1160 gramos las cuales se pondrán al horno hasta obtener una temperatura promedio en los agregados de 160 C° para proceder a realizar la mezcla y preparar las briqueta.

Tabla 8.

*Matriz de operacionalización de las variables de la investigación*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Unidad de Medición	
<b>Variable Dependiente</b>  <b>Mezclas asfálticas</b>	La unión entre agregados gruesos y finos con el cemento asfáltico (Rondón y Reyes, 2015).  Para Minaya y Ordoñez (2001) es la mezcla uniforme de agregados con el cemento asfáltico (p.102).	La variable mezclas asfálticas es producto de la combinación de agregados pétreos y cemento asfáltico, para la cual previamente se determina mediante ensayos la cualidad en los agregados gruesos y finos. Así mismo se determina la calidad del cemento asfáltico mediante ensayo de penetración, una vez determinado la calidad de estos se realiza el ensayo de diseño de mezclas Marshall en donde se procederá a combinar los agregados y el asfalto con el objetivo de obtener el contenido óptimo de asfalto para una combinación que prevalezca sus propiedades mecánicas como la resistencia y la trabajabilidad.	<b>Resistencia</b>	Estabilidad	MTC E-504	Por razón	
			Es la capacidad de resistir a desplazamientos y deformaciones bajo una carga de tránsito, donde la resistencia máxima a la deformación constante de carga es la estabilidad y la medida de esa deformación el flujo (MTC, 2016).	Flujo	MTC E-504	Por razón	
			Relación estabilidad y flujo	MTC E-504	Por razón		
				Tipo de tráfico	Manual de Carreteras 2013	Por razón	
			<b>Trabajabilidad</b>	Temperatura de la mezcla	MTC E-504	Por razón	
			La trabajabilidad describe la facilidad con la que un pavimento la mezcla puede ser colocada y compactada (Asphalt Institute, 2014).	Vacíos en el agregado Mineral Vma	MTC E-508-505	Por razón	
			<b>Impermeabilidad</b>	Granulometría del agregado Grueso	MTC E-204	Por razón	
				Es la resistencia que adquiere luego de exponerse al agua o aire al interior o sobre el. (Asphalt Institute, 2014).	Contenido de vacíos de la mezcla compactada.	MTC E-504	Por razón
				Contenido de asfalto		Por razón	

---

<p><b>Variable Independiente</b></p> <p><b>Elastómeros y PET reciclado.</b></p>	<p>La adición de polímeros cambia la sensibilidad térmica del asfalto, para una mejora en el comportamiento visco-elástico a las temperaturas de servicio (Montejo, 2002).</p>	<p>La variable Elastómeros y PET reciclado, son modificadores reciclados la cual para su utilización se deben tamizar y son aquellas partículas que pasan por la malla N°10 y son retenidas en la malla N°40. De acuerdo al MAC 2 se va a determinar los porcentajes de agregado grueso, fino y como filler las partículas de caucho y PET las cuales se pasarán a peso en gramos. El peso total que deben tener para la elaboración de cada briqueta es de 1160 gramos las cuales se pondrán al horno hasta obtener una temperatura promedio en los agregados de 160 C° para proceder a realizar la mezcla y preparar las briquetas.</p>	<p><b>Granulometría</b></p> <p>La granulometría para adicionantes como las partículas de caucho de neumáticos usados deben ser menor 6.3 mm (Rondón y Reyes, 2015).</p>	<p>Tamizado</p>	<p>MTC-E107</p>	<p>Por razón</p>
	<p>Según Montejo 2020: Los elastómeros son amorfos, que se someten a altas temperaturas para que se confine y se vuelva más elástico (p.622).</p>		<p><b>Vía Seca</b></p> <p>La partícula modificadora se reemplaza en partículas más finas y se incrementa la temperatura y estar como mezcla en el asfalto. (Rondón y Reyes, 2015).</p>	<p>Temperatura</p> <p>Dosificación</p>	<p>ASTM D-6114</p>	<p>Por razón</p> <p>Por razón</p>

---

## **2.3.Población y muestra**

### **2.3.1 Población**

Luego de haber realizado el proceso de indagación, se procede a ver el interés de que características deberán tener los sujetos u objetos de estudio antes vistos.

La población es la conformación de varios elementos que aducen de la investigación a realizarse, es decir el conjunto de un muestreo (Bernal, 2010).

Para el presente estudio se consideran las briquetas para las muestras, con un total de 80 briquetas, de las cuales 20 son para analizar la mezcla asfáltica convencional, y 60 para las mezclas adicionando elastómeros y PET reciclado.

### **2.3.2 Muestra**

Es el subconjunto de una población, en la cual se restringe de aquellas que ayudarán hacer medibles con los recursos que se disponga (Bernal, 2010).

Por lo tanto, en este estudio se tomará como modelo las 20 briquetas para la mezcla convencional donde 5 briquetas son para el análisis de Rice, y 15 briquetas para ver cada porcentaje de análisis, y para la mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado son 60 briquetas de las cuales 15 son para análisis de Rice y 45 para ver cada porcentaje de análisis.

### **2.3.3 Muestreo**

El muestreo cumple con la función de inferir sobre dicha población de estudio, es decir determina que parte de la población debería investigarse (Hernández et.al., 2018).

Se eligió muestreo No Probabilístico, la selección del ejemplar de las briquetas fue de acuerdo a los parámetros.

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

Las técnicas son un recurso para analizar y transmitir datos sobre la investigación. Son aquellos recursos de recolección de información y permiten optimizar los esfuerzos para que se pueda mejorar en los resultados (Palomino et al., 2015).

Tiene el objetivo de cumplir con los objetivos establecidos se vio conveniente delimitar las técnicas, la validez y confiabilidad de la siguiente manera:

### **2.4.1 Técnica e Instrumento**

En el presente proyecto se plantea como técnicas a los mecanismos, recursos para recolectar, analizar los datos que se obtenga del objeto de estudio (Palomino et al., 2015). Por ello que nosotros nos basamos en una técnica a través de la observación donde los instrumentos de medición serán fichas de datos de los ensayos de laboratorio para obtener de ellos resultados factibles luego de su validez.

- a) Observación Directa: cuando se tiene contacto con lo que tiene que investigar (Palella y Martins, 2012).
- b) Observación de Laboratorio: puede darse de dos maneras, por un lado, las que se realizan en lugares pre-establecidos es decir naturalmente un laboratorio. También, las realizadas por un grupo humano determinado con la finalidad de observar el comportamiento (Palella y Martins, 2012).

### **2.4.2 Validez**

La validez de un instrumento de investigación designa a un criterio de evaluación donde calcula la variable que se tiene que medir, en la posibilidad de ser exactos sobre la realidad de esta variable a investigar.

Estas a su vez se pueden examinar de la siguiente manera:

- a) Validez de criterio: Está relacionada a la medida que se cuenta para tomar algún criterio comparando las pruebas con algunas características (Palomino et al., 2015, p.170).
- b) Validez de constructo: Se relaciona consistentemente con otras mediciones que ha surgido de hipótesis y construcción de teorías y que refiere a definiciones (constructos) que son medidos. Un constructo es un atributo para explicar un fenómeno (Palomino et al., 2015, p.171).

La indagación presentada ha sido calificada por tres asesores en la materia de estudio, cuya evaluación está establecida en la siguiente tabla.

Tabla 9.

*Coefficiente de validez por juicio de expertos*

<b>Validez</b>	<b>Experto N°01</b>	<b>Experto N°02</b>	<b>Experto N°03</b>	<b>Promedio</b>
<b>Variable dependiente:</b> Mezclas asfálticas	0.80	0.80	0.85	0.82
<b>Variable independiente:</b> Elastómeros y PET reciclado	0.70	0.85	0.90	0.82
<b>Índice de Validez</b>				0.82

*Nota:* La tabla muestra la calificación de los expertos, teniendo como índice de validez el promedio de la calificación concedida por los especialistas.

Para verificar el índice de validez se tuvo como referencia la siguiente tabla de escalas.

Tabla 10.

*Escalas de Validez*

0.81 a 1.00	Muy alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy baja

*Nota:* Escalas de medición para el índice de validez. Tomado de “Instrumento y Técnicas de Investigación Educativa”, por Ruíz C. ,2002.

### **2.4.3 Confiabilidad**

Se considera al grado de consistencia que genera las evaluaciones por un jurado o especialistas en la materia. De manera que se obtenga un mismo resultado (Palomino et al., 2015).

En la presente investigación no se realizaría confiabilidad, se utilizará fichas del laboratorio.

### **2.5. Métodos de análisis de datos**

Se utilizan para interpretar los resultados del ensayo de Marshall es la revisión y clasificación de la información recolectada, el análisis y la interpretación de los datos obtenidos, haciendo referencia a los objetivos e hipótesis.

### **2.6. Aspectos éticos**

El estudio toma como referencia las citas en el estilo APA, evitando incurrir en copia sobre lo que mencionan los autores, sin faltas de ortografía.

Teniendo respeto por la propiedad intelectual, a las convicciones que sean factibles, responsabilidad tanto social como ética, protegiendo la identidad de cada autor que se considere.

En la presente investigación los investigadores van a considerar la veracidad de los resultados obtenidos en el laboratorio la misma que debe asegurar con los procedimientos estándar de las normas ASTM como la D1559, ASTM D-1664, etc.

### **III. RESULTADOS**

### 3.1 Descripción de la zona de estudio

#### 3.1.1 Ubicación

Se localiza en el tramo de la Av. Circunvalación que se inicia en la Av. Nicolás Ayllón y termina en la Av. Javier Prado. Las principales características de la ubicación son:

- Región geográfica** : Costa
- Departamento** : Lima
- Provincia** : Lima
- Distritos** : Ate Vitarte, La Victoria, San Borja y San Luis
- (Inicio de tramo)** : Av. Circunvalación – Av. Nicolás Ayllón:
- Coordenadas** : Latitud S 12° 3' 48.828'' y Longitud W 76° 59' 59.882''
- (Fin de tramo)** : Av. Circunvalación – Av. Javier Prado:
- Coordenadas** : Latitud S 12° 4' 59.438'' y Longitud W 76° 59' 5.282''
- Longitud de tramo** : 2.78 km.

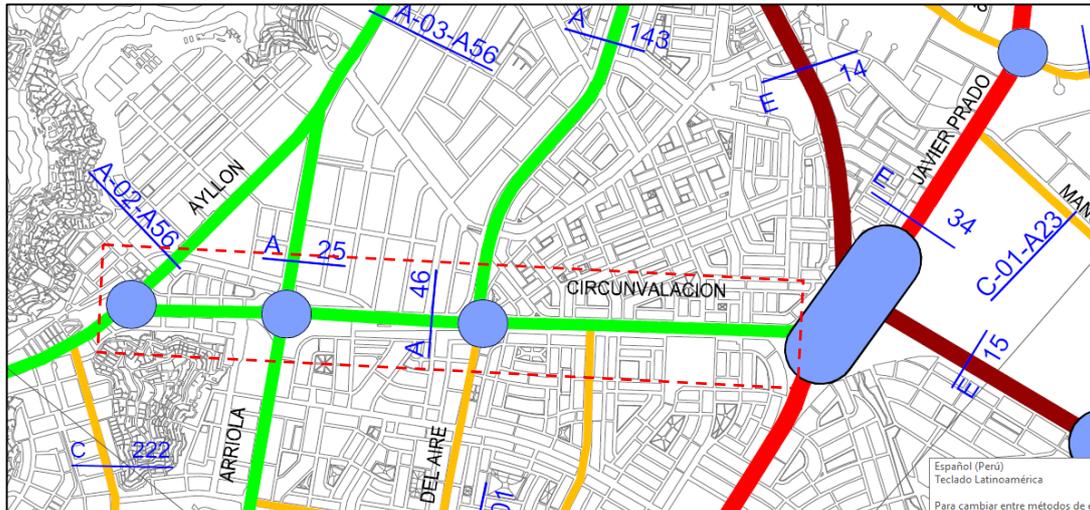


Figura 4. Tramo desde Av. Ayllón hasta Av. Javier Prado. Se representa la Av. Circunvalación desde la Av. Ayllón hasta la Av. Javier Prado.

### **3.1.2 Características de la Vía**

De acuerdo con la ordenanza N° 341 la cual establece el Plano del Sistema Vial Metropolitano de Lima, la Av. Circunvalación es una vía arterial que conecta los distritos de Ate Vitarte, La Victoria, San Luis y San Borja.

Siendo una vía importante ya que es utilizada para acceder al mercado de frutas la cual recibe gran volumen de camiones que vienen del interior del país, además recibe gran carga vehicular de la Av. Nicolás Ayllon, Av. Del Aire, Av. Canadá y la Av. Javier Prado.

## **3.2 Estudio de tránsito de la Av. Circunvalación**

### **3.2.1 Planificación de Estudio**

Para proceder a realizar el conteo vehicular en la Av. Circunvalación primero se identifica los puntos críticos en toda la vía, para luego establecer las estaciones de conteo.

Para la recolección de datos se utilizará fichas técnicas con los tipos de vehículos establecidos por el Reglamento Nacional de Vehículos. Así mismo se realizar consultas a la Municipalidad Metropolitana de Lima, EMAPE y Red de Rutas de Transporte Público para poder obtener información histórica. El procedimiento del estudio de tráfico estará siguiendo con los parámetros y criterios del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Manual de Carreteras del MTC, AASHTO y el Instituto del Asfalto.

### **3.2.2 Conteos direccionales diarios**

Los conteos direccionales se realizaron con normalidad con la ayuda de un formato desarrollado de acuerdo con la clasificación vehicular y en rangos de 15 minutos por 16 horas durante 7 días de la semana.

Los volúmenes registrados se agruparon en los formatos de campo en periodos de 15 minutos, clasificados por los giros realizados y diferenciándose los tipos de vehículos motorizados de la siguiente manera: auto particular, auto taxi. Station Wagon particular, taxi, camioneta Pick Up, panel Camioneta rural particular, público, microbús particular, Bus particular, público, camión simple, 2E, 3E, 4E, semi-Tráiler de 2S1/2S2, 2S3, 3S1/3S2, >=3S3, tráiler de 2T2, 2T3, 3T2, >=3T3.

Las estaciones de conteo son los puntos donde se realizaron los conteos vehiculares, las cuales para la Av. Circunvalación se establecieron 6 estaciones de conteo donde se eligieron los puntos más críticos a lo largo de la vía.

Las estaciones de conteo direccionales son las siguientes:

N°01-Av. Circunvalación – Av. Javier Prado



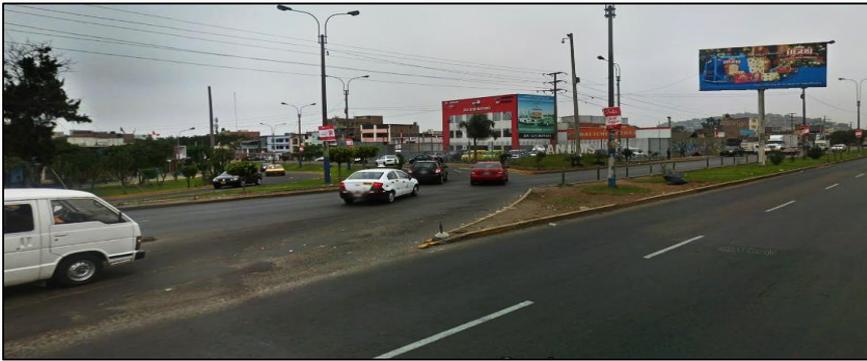
N°02-Av. Circunvalación – Av. Canadá



N° 03-Av. Circunvalación – Av. Aymaras



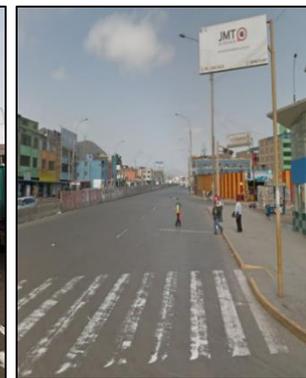
N°04-Av. Circunvalación – Av. Del Aire



N° 05- Av. Circunvalación – Av. Nicolás Arriola



N°06-Av. Circunvalación – Av. Nicolás Ayllón



### 3.2.3 Cálculo de Índice Medio Diario Anual (IMDA)

#### Índice Medio Diario Semanal (IMDS):

El índice medio diario semanal actual, es el promedio del volumen vehicular diario. Se realizó el conteo con normalidad por 16 horas en rangos de 15 min, para poder obtener el conteo las 24 horas se multiplico por el factor de corrección estacional maestra, la cual se obtiene de las estaciones de conteo de las 24 horas de vías que tienen la misma categoría.

## Factor de Corrección Estacional Maestra

El factor corrección estacional maestra se obtuvo de los puntos de control de vehículos las 24 horas del día de vías similares que tienen cargas de tránsito igual que la Av. Circunvalación con la finalidad de obtener el conteo vehicular a las 24 horas, el factor que se utilizó fue el de la Av. Javier Prado Oeste con 0.646153158 según lo determinado en la siguiente tabla.

Tabla 11.

*Factor de Corrección Estacional Maestra*

ESTACION 24 HORAS	AVENIDAS	DISTRITO	CÓDIGO	FC
ABANCAY	Prolong. Huánuco	La Victoria	E7-1	0.737707602
	Prolong. Huánuco	La Victoria	E7-2	0.737707602
	Abancay	Lima	E8-1	0.737707602
	Abancay	Lima	E8-2	0.737707602
	Abancay	Lima	E8-3	0.737707602
	9 de Octubre	SJL	E9-1	0.737707602
	9 de Octubre	SJL	E9-2	0.737707602
	Manuel Segura	Cercado	E1	0.737707602
CORPAC	Bajada de Armendáriz	Miraflores	E4	0.762701148
	Aramburu	Surquillo	E5	0.762701148
	Paseo de La Republica	Paseo de La Republica	E6-1.1	0.762701148
		Vía Expresa	E6-1.2	0.743882997
	Paseo de La Republica	Paseo de La Republica	E6-2.1	0.762701148
		Vía Expresa	E6-2.2	0.743882997
Paseo de La Republica	Vía Expresa	E6-3	0.762701148	
JAVIER PRADO OESTE	Canevaro	Lince	E2	0.646153158
	Domingo Cueto	Lince	E3	0.646153158
	Pershing	Magdalena	E10-1	0.646153158
	Pershing	Magdalena	E10-2	0.646153158
	Javier Prado Oeste	Magdalena	E14-1	0.646153158
	Javier Prado Oeste	Magdalena	E14-2	0.646153158
	Bolognesi	Magdalena	E15-1	0.646153158
	Bolognesi	Magdalena	E15-2	0.646153158
	Del Ejercito	San Isidro	E16-1	0.646153158
	Del Ejercito	San Isidro	E16-2	0.646153158
UNIVERSITARIA	La Marina	San Miguel	E11-1	0.730219331
	La Marina	San Miguel	E11-2	0.730219331
	La Marina	San Miguel	E11-3	0.730219331
	Faucett	San Miguel	E12-1	0.730219331
	Faucett	San Miguel	E12-2	0.730219331
	Universitaria	SMP	E13-1	0.730219331
	Universitaria	SMP	E13-2	0.730219331
	Universitaria	SMP	E13-3	0.730219331
	Universitaria	SMP	E13-4	0.730219331

*Nota:* Unidad de Peajes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC.

Tabla 12.

*Factor de Corrección Estacional Javier Prado*

ESTACION MAESTRA	FCe
ABANCAY	0.737707602
PASEO DE LA REPUBLICA	0.762701148
VIA EXPRESA	0.743882997
JAVIER PRADO OESTE	0.646153158
UNIVERSITARIA	0.730219331

*Nota:* Unidad de Peajes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC.

**Índice Medio Diario Anual (IMDA):**

Una vez obtenido el resultado de volumen promedio de tránsito a la semana, es decir el (IMDS) se calculó el Índice Medio Diario Anual (IMDA) la cual se determina por la siguiente fórmula:

$$IMD_A = FC \times IMD_S$$

Donde:

IMDS= Volumen clasificado promedio de la semana.

FC= Factor de corrección estacional.

IMDA= Índice Medio Diario Anual.

**Factor de Corrección Estacional**

Tiene como finalidad poder eliminar las alteraciones por el comportamiento de tránsito en un período, que se desplazan por motivos externos de ocurrencia durante el año.

Para hallar el factor de corrección estacional (FC) se utilizó el volumen vehicular obtenido en las estaciones de peaje próximas, como es el caso del peaje de Evitamiento de la Empresa Municipal Administradora de Peaje de Lima S.A., aplicada a todas las estaciones de control.

Tabla 13.

*Factor de Corrección Estacional peaje Evitamiento por mes*

MES	Vehículos Ligeros	FC Vehículos Ligeros	Vehículos Pesados	FC Vehículos Pesados	Vehículo Totales	Fc mes
Enero	2,078,378	0.845630806	487,871	0.865783543	2,566,249	1.09
Febrero	1,964,843	0.925284976	450,952	0.905722726	2,415,795	0.00
Marzo	2,148,254	0.905141417	490,483	0.935656348	2,638,737	0.00
Abril	2,089,103	0.939123656	479,464	0.957977002	2,568,567	0.00
Mayo	2,285,886	0.976482989	501,582	0.983838698	2,787,468	0.00
Junio	2,236,122	0.962124165	518,159	0.9760271	2,754,281	0.00
Julio	2,320,074	1	530,520	1	2,850,594	0.00
Agosto	2,412,369	0.973056916	544,842	0.984784901	2,957,211	0.00
Septiembre	2,376,896	1.015572359	540,516	1.005644719	2,917,412	0.00
<b>Octubre</b>	<b>2,470,467</b>	<b>0.92071779</b>	<b>553,792</b>	<b>0.933031565</b>	<b>3,024,259</b>	<b>0.9229726</b>
Noviembre	2,403,905	0	545,366	0	2,949,271	0.00
Diciembre	2,508,938	1	556,918	1	3,065,856	0.00
Promedio	2,274,603	1	516,705	1	2,791,308	0

*Nota.* Se utilizó el factor de corrección correspondiente a la Vía de Evitamiento con un valor de 0.925284976 para vehículos livianos y 0.905722726 para vehículos pesados. Tomada de Empresa Municipal Administradora de Peaje -EMAPE.

Tabla 14.

*Factor de Corrección Estacional del Mes de Estudio - febrero*

UNIDAD DE PEAJE DE CORRECCION	FACTOR DE CORRECCION	
	FEBRERO	
	LIGEROS	PESADOS
<b>Estacional de peajes</b>	0.925284976	0.905722726

*Nota:* Unidad de Peajes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC

**3.2.4 Cálculo del índice Medio Diario (IDM) en las estaciones de conteo**

Tabla 15.

*Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) e Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estación N° 1: Av. Circunvalación - Av. Javier Prado*

DIAS DE LA SEMANA	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	CAMIONETA RURAL	MICRO	BUS 2E	BUS >=3E	CAMION 2E	CAMION 3E	CAMION 4E	SEMI TRAYLE 2S1/2S2	SEMI TRAYLE 2S3	SEMI TRAYLE 3S1/3S2	SEMI TRAYLE >=3S3	TRAYLER 2T2	TRAYLER 2T3	TRAYLER 3T2	TRAYLER >=3T3	TOTAL
JUEVES	20923	0	0	0	0	0	3907	1096	402	173	2350	0	0	0	0	0	0	496	629	29976
VIERNES	16324	0	0	0	0	0	3452	972	395	171	2088	0	0	0	0	0	0	447	572	24421
SÁBADO	19236	0	0	0	0	0	3232	889	341	158	1925	0	0	0	0	0	0	400	523	26704
DOMINGO	13265	0	0	0	0	0	1620	452	141	60	960	0	0	0	0	0	0	206	254	16958
LUNES	12394	0	0	0	0	0	3378	950	385	169	2030	0	0	0	0	0	0	434	560	20300
MARTES	12484	0	0	0	0	0	3551	972	395	171	2520	0	0	0	0	0	0	447	572	21112
MIÉRCOLES	10885	0	0	0	0	0	3804	1096	402	173	2443	0	0	0	0	0	0	496	629	19928
<b>IMD a 16H</b>	<b>15073</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3278</b>	<b>918</b>	<b>352</b>	<b>154</b>	<b>2045</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>418</b>	<b>534</b>	<b>22772</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN MUESTRA	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
<b>IMD a 24H (IMDS)</b>	<b>23189</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5043</b>	<b>1412</b>	<b>542</b>	<b>237</b>	<b>3146</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>643</b>	<b>822</b>	<b>35034</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN ESTACIONAL PEAJES	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
<b>IMDA 2017</b>	<b>21566</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4589</b>	<b>1285</b>	<b>493</b>	<b>216</b>	<b>2863</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>585</b>	<b>748</b>	<b>32345</b>
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL %	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%
PERIODO DE ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>IMDA 2020</b>	<b>22702</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4831</b>	<b>1353</b>	<b>529</b>	<b>232</b>	<b>3073</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>628</b>	<b>803</b>	<b>34151</b>

Nota: El IMDS es 35034 Veh/día, el IMDA2017 es 32345 Veh/ día y el IMDA 2020 es 34151 Veh/ día. Elaborado por los autores.

La mayor cantidad que representa el Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo es el auto; tal como se representa en la Figura 5.

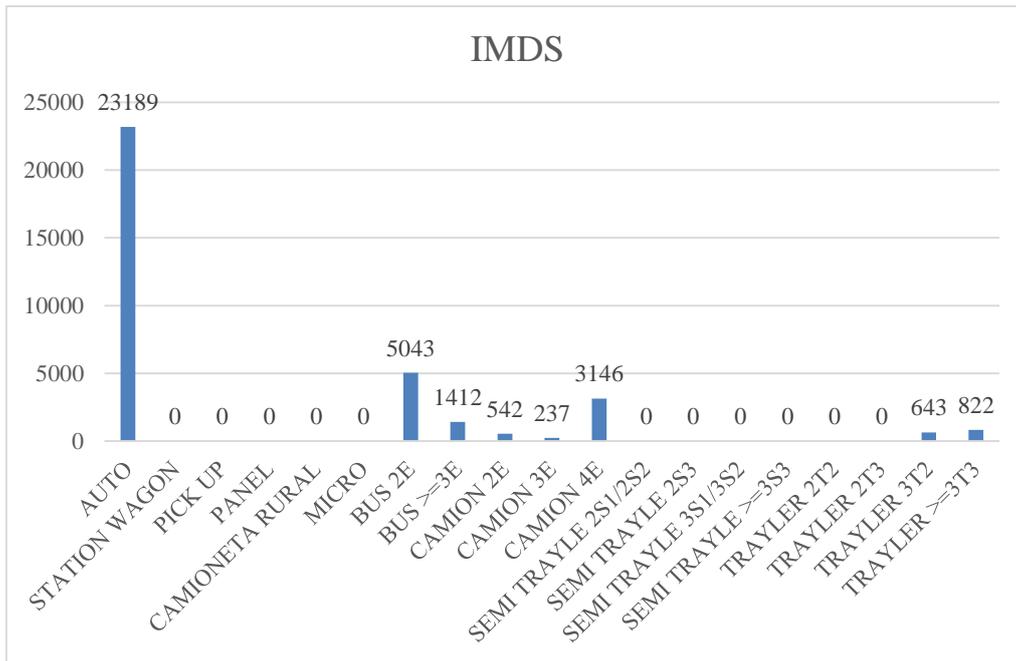


Figura 5. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N°01 Av. Javier Prado. Elaborado por los autores.

De acuerdo al Índice Medio Diario Anual 2017 el vehículo más transitado por la Estación N°01 Av. Javier Prado son autos con un total de 21566 veh/día por la Av. Circunvalación según muestra la Figura 6.

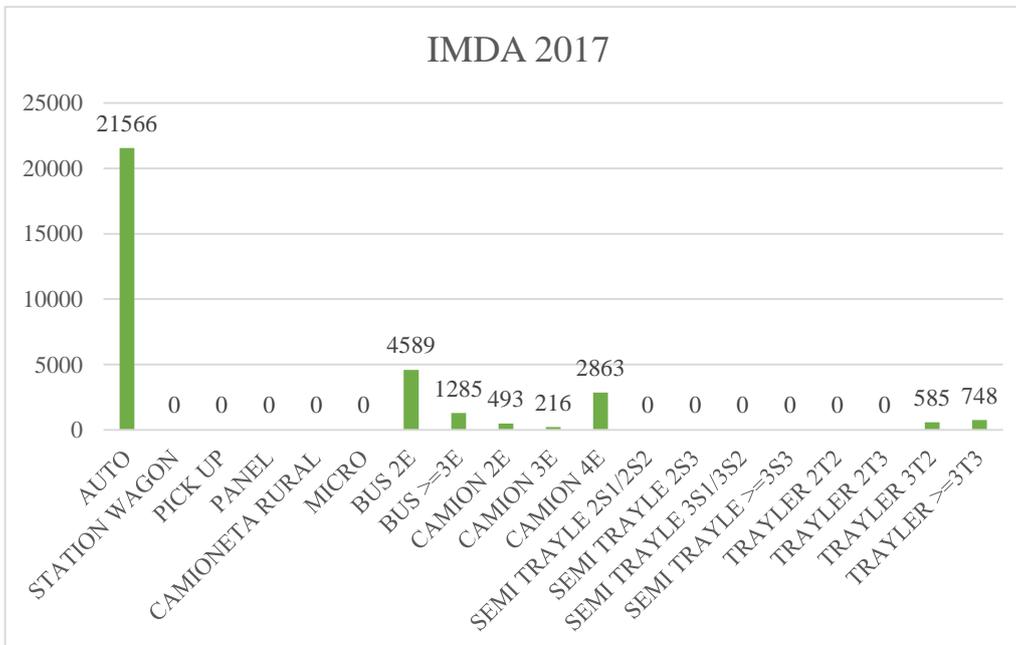


Figura 6. IMDA 2017 por tipo de vehículos - Estación N°01 Av. Javier Prado. Elaborado por los autores.

Tabla 16.

*Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) e Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estación N° 2: Av. Circunvalación - Av. Canadá*

DIAS DE LA SEMANA	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	CAMIONETA RURAL	MICRO	BUS 2E	BUS >=3E	CAMION 2E	CAMION 3E	CAMION 4E	SEMI TRAYLE 2S1/2S2	SEMI TRAYLE 2S3	SEMI TRAYLE 3S1/3S2	SEMI TRAYLE >=3S3	TRAYLER 2T2	TRAYLER 2T3	TRAYLER 3T2	TRAYLER >=3T3	TOTAL
JUEVES	9998	5579	1157	761	2452	2303	724	734	1372	397	41	57	34	85	214	41	34	97	69	26149
VIERNES	14632	8059	1678	1092	3562	3312	663	653	1267	376	41	57	34	85	199	41	34	96	69	35950
SÁBADO	17557	9674	2014	1285	4274	3971	643	631	1175	438	41	57	34	85	201	41	34	96	69	42320
DOMINGO	11799	6492	1342	904	2864	2661	271	281	958	160	0	0	0	14	68	0	0	18	0	27832
LUNES	8537	4456	817	626	2003	1841	663	525	1267	376	41	57	34	85	199	41	34	96	69	21767
MARTES	8871	5224	1103	719	2321	2158	663	653	1331	440	51	58	52	90	190	45	44	99	73	24185
MIERCOLES	9702	5348	1105	743	2363	2212	721	739	1334	411	41	57	34	85	214	41	34	96	69	25349
<b>IMD a 16H</b>	<b>11585</b>	<b>6405</b>	<b>1317</b>	<b>876</b>	<b>2834</b>	<b>2637</b>	<b>621</b>	<b>602</b>	<b>1243</b>	<b>371</b>	<b>37</b>	<b>49</b>	<b>32</b>	<b>76</b>	<b>184</b>	<b>36</b>	<b>31</b>	<b>85</b>	<b>60</b>	<b>29081</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN MUESTRA	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
<b>IMD a 24H (IMDS)</b>	<b>17823</b>	<b>9854</b>	<b>2026</b>	<b>1348</b>	<b>4360</b>	<b>4057</b>	<b>955</b>	<b>926</b>	<b>1912</b>	<b>571</b>	<b>57</b>	<b>75</b>	<b>49</b>	<b>117</b>	<b>283</b>	<b>55</b>	<b>48</b>	<b>131</b>	<b>92</b>	<b>44739</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN ESTACIONAL PEAJES	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
<b>IMDA 2017</b>	<b>16575</b>	<b>9164</b>	<b>1884</b>	<b>1254</b>	<b>4055</b>	<b>3773</b>	<b>869</b>	<b>843</b>	<b>1740</b>	<b>520</b>	<b>52</b>	<b>68</b>	<b>45</b>	<b>106</b>	<b>258</b>	<b>50</b>	<b>44</b>	<b>119</b>	<b>84</b>	<b>41503</b>
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL %	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%
PERIODO DE ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>IMDA 2020</b>	<b>17448</b>	<b>9647</b>	<b>1983</b>	<b>1320</b>	<b>4269</b>	<b>3972</b>	<b>915</b>	<b>887</b>	<b>1868</b>	<b>558</b>	<b>56</b>	<b>73</b>	<b>48</b>	<b>114</b>	<b>277</b>	<b>54</b>	<b>47</b>	<b>128</b>	<b>90</b>	<b>43754</b>

Nota: El IMDS es 44739 Veh/día, el IMDA2017 es 41503 Veh/ día y el IMDA 2020 es 43754 Veh/ día. Elaborado por los autores.

La mayor cantidad que representa el Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo, es el auto; tal como se representa en la a la Figura 7.

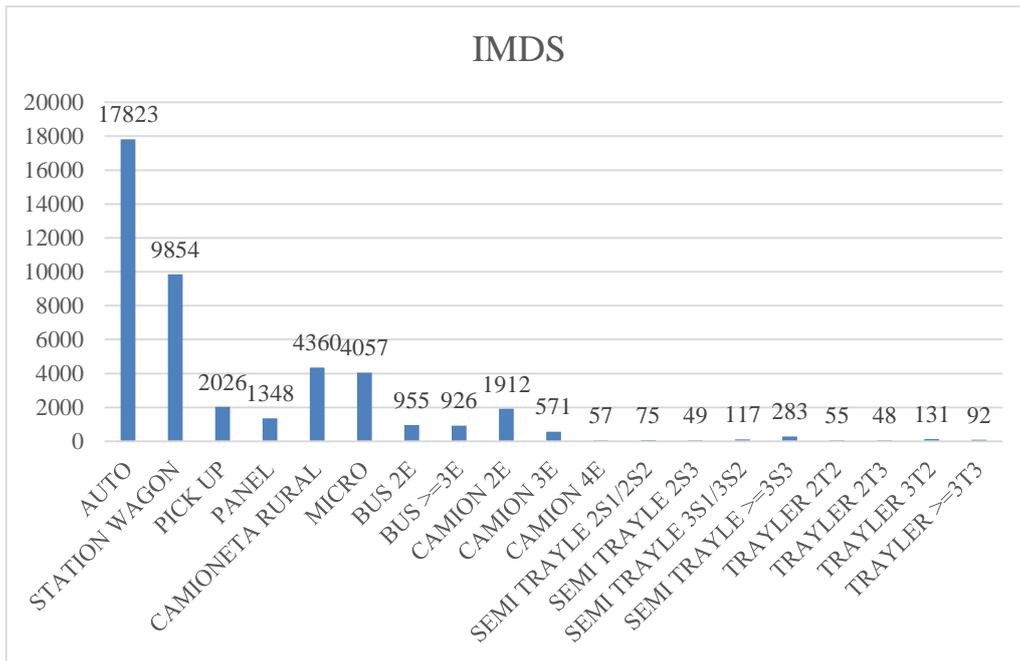


Figura 7. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N°02 Av. Canadá. Elaborado por los autores.

De acuerdo al Índice Medio Diario Anual 2017 el vehículo más transitado por la Estación N°02. Av. Canadá son autos con un total de 16575 veh/día por la Av. Circunvalación según muestra la Figura 8.

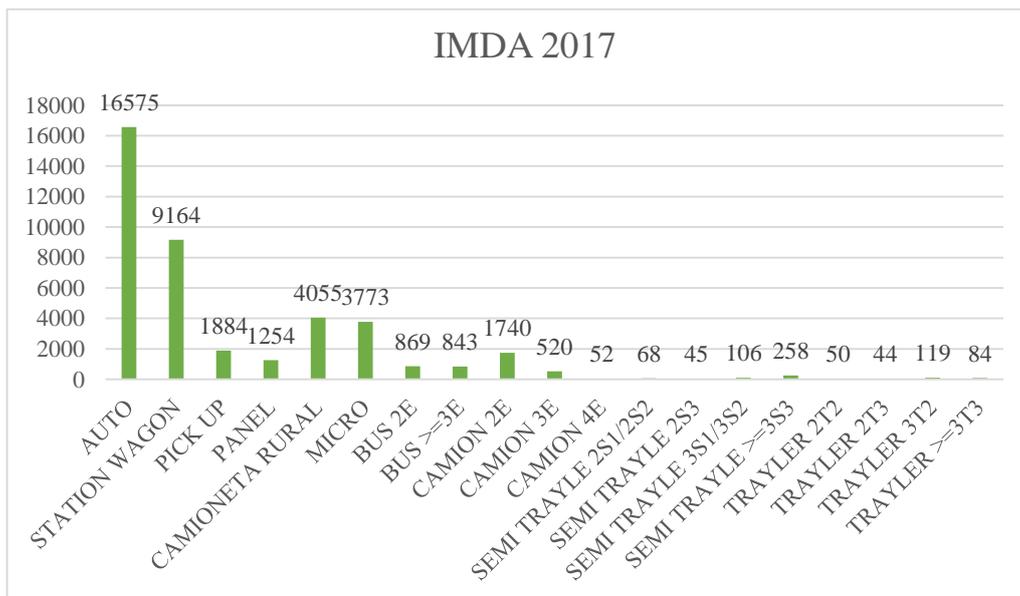


Figura 8. IMDA 2017 por tipo de vehículos - Estación N°02 Av. Canadá. Elaborado por los autores.

Tabla 17.

*Cálculo de Índice Medio Diario Semanal(IMDS) e Índice Medio Diario Anual(IMDA) Estación N°3: Av. Circunvalación - Av. Aymaras.*

DIAS DE LA SEMANA	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	CAMIONETA RURAL	MICRO	BUS 2E	BUS >=3E	CAMION 2E	CAMION 3E	CAMION 4E	SEMI TRAYLE 2S1/2S2	SEMI TRAYLE 2S3	SEMI TRAYLE 3S1/3S2	SEMI TRAYLE >=3S3	TRAYLER 2T2	TRAYLER 2T3	TRAYLER 3T2	TRAYLER >=3T3	TOTAL
JUEVES	5176	1857	513	171	447	307	1407	50	86	30	27	15	14	16	18	16	14	28	12	10204
VIERNES	8341	2193	907	294	572	428	1182	48	80	30	27	15	14	16	18	16	14	28	12	14235
SÁBADO	7539	4089	1476	171	699	307	1892	50	2	3	0	1	3	2	5	3	1	0	4	16247
DOMINGO	8199	5251	2902	1317	1481	1195	264	135	59	30	27	15	14	16	18	16	14	28	12	20993
LUNES	4596	1627	479	169	393	273	1155	50	86	30	27	15	14	16	18	16	14	28	12	9018
MARTES	4840	1669	477	160	394	271	1333	51	84	29	27	15	14	15	18	16	14	28	12	9467
MIERCOLES	4922	1603	512	171	447	307	1406	50	278	30	27	15	14	42	18	16	14	28	12	9912
<b>IMD a 16H</b>	<b>6230</b>	<b>2613</b>	<b>1038</b>	<b>350</b>	<b>633</b>	<b>441</b>	<b>1234</b>	<b>62</b>	<b>96</b>	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>11</b>	<b>12866</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN MUESTRA	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
<b>IMD a 24H (IMDS)</b>	<b>9585</b>	<b>4020</b>	<b>1597</b>	<b>538</b>	<b>974</b>	<b>678</b>	<b>1898</b>	<b>95</b>	<b>148</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>18</b>	<b>37</b>	<b>17</b>	<b>19793</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN ESTACIONAL PEAJES	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
<b>IMDA 2017</b>	<b>8914</b>	<b>3739</b>	<b>1485</b>	<b>500</b>	<b>906</b>	<b>631</b>	<b>1727</b>	<b>86</b>	<b>135</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>34</b>	<b>15</b>	<b>18358</b>
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL %	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%
PERIODO DE ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>IMDA 2020</b>	<b>9384</b>	<b>3936</b>	<b>1563</b>	<b>526</b>	<b>954</b>	<b>664</b>	<b>1818</b>	<b>91</b>	<b>145</b>	<b>39</b>	<b>34</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>36</b>	<b>16</b>	<b>19332</b>

Nota: El IMDS es 19793 Veh/día, el IMDA2017 es 18358 Veh/ día y el IMDA 2020 es 19332 Veh/ día. Elaborado por los autores.

La mayor cantidad que representa el Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo, es el auto; tal como se representa en la Figura 9.

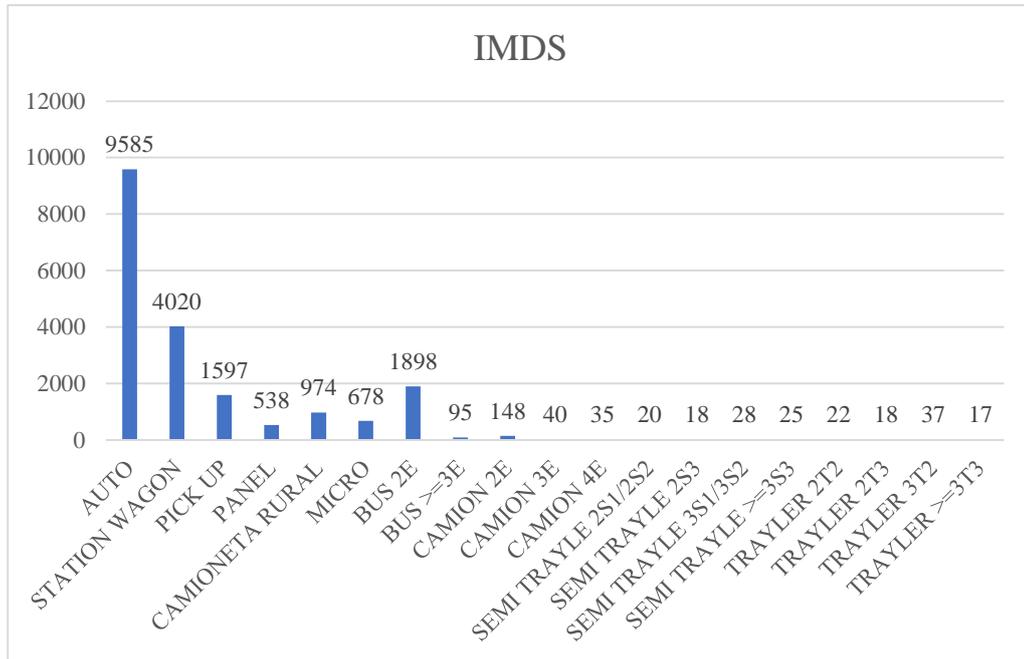


Figura 9. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N° 03 Av. Aymaras. Elaborado por los autores.

De acuerdo al Índice Medio Diario Anual 2017 el vehículo más transitado por la Estación N°03. Av. Aymaras son autos con un total de 8914 veh/día por la Av. Circunvalación según muestra la Figura 10.

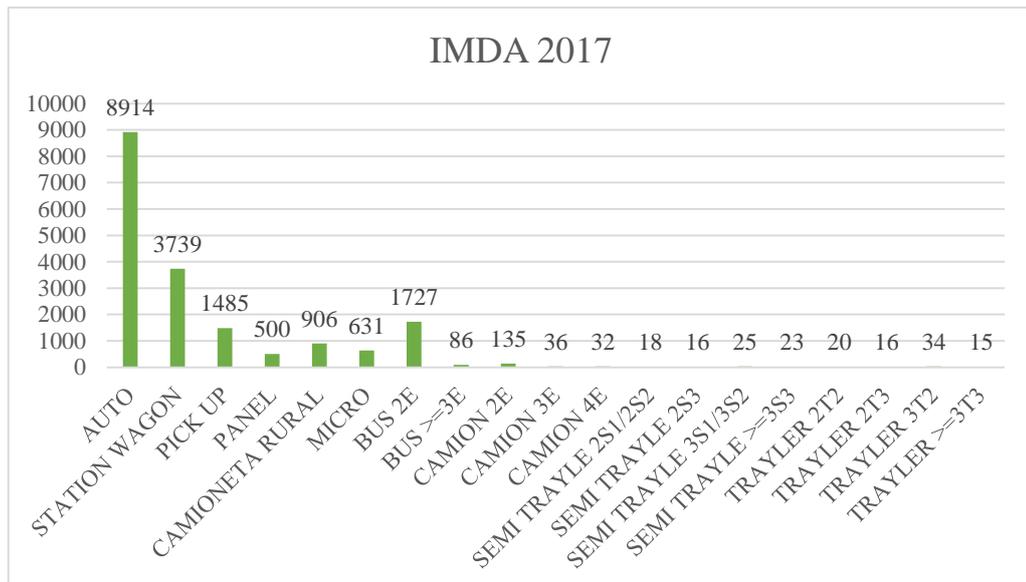


Figura 10. IMDA 2017 por tipo de vehículos - Estación N°03 Av. Aymaras. Elaborado por los autores.

Tabla18.

*Cálculo del Índice Medio Diario Semanal(IMDS) e Índice Medio Diario Anual(IMDA) Estación N°4: Av. Circunvalación - Av. Del Aire.*

DIAS DE LA SEMANA	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	CAMIONETA RURAL	MICRO	BUS 2E	BUS >=3E	CAMION 2E	CAMION 3E	CAMION 4E	SEMI TRAYLE 2S1/2S2	SEMI TRAYLE 2S3	SEMI TRAYLE 3S1/3S2	SEMI TRAYLE >=3S3	TRAYLER 2T2	TRAYLER 2T3	TRAYLER 3T2	TRAYLER >=3T3	TOTAL
JUEVES	1671	416	277	229	64	89	0	0	25	16	0	0	20	0	0	0	0	0	0	2807
VIERNES	2406	604	401	327	85	120	0	0	25	16	0	0	20	0	0	0	0	0	0	4004
SÁBADO	2871	732	489	422	117	154	5	0	29	16	0	0	19	0	0	0	0	0	0	4854
DOMINGO	1936	480	321	260	64	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3150
LUNES	1517	448	234	198	67	112	0	0	25	16	0	0	20	0	0	0	0	0	0	2637
MARTES	1507	448	312	259	74	94	65	17	26	37	5	0	20	0	0	0	0	0	0	2864
MIÉRCOLES	1592	416	277	229	64	89	0	0	25	16	0	0	20	0	0	0	0	0	0	2728
<b>IMD a 16H</b>	<b>1929</b>	<b>506</b>	<b>330</b>	<b>275</b>	<b>76</b>	<b>107</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>22</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3292</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN MUESTRA	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	
<b>IMD a 24H (IMDS)</b>	<b>2968</b>	<b>778</b>	<b>508</b>	<b>423</b>	<b>117</b>	<b>165</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>34</b>	<b>26</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5065</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN ESTACIONAL PEAJES	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	
<b>IMDA 2017</b>	<b>2760</b>	<b>724</b>	<b>472</b>	<b>393</b>	<b>109</b>	<b>153</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>31</b>	<b>24</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4709</b>
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL %	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	
PERIODO DE ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<b>IMDA 2020</b>	<b>2905</b>	<b>762</b>	<b>497</b>	<b>414</b>	<b>115</b>	<b>161</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4959</b>

Nota: El IMDS es 5065 Veh/día, el IMDA2017 es 4709 Veh/ día y el IMDA 2020 es 4959 Veh/ día. Elaborado por los autores.

La mayor cantidad que representa el Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo, es el auto; tal como se representa en la Figura 11.

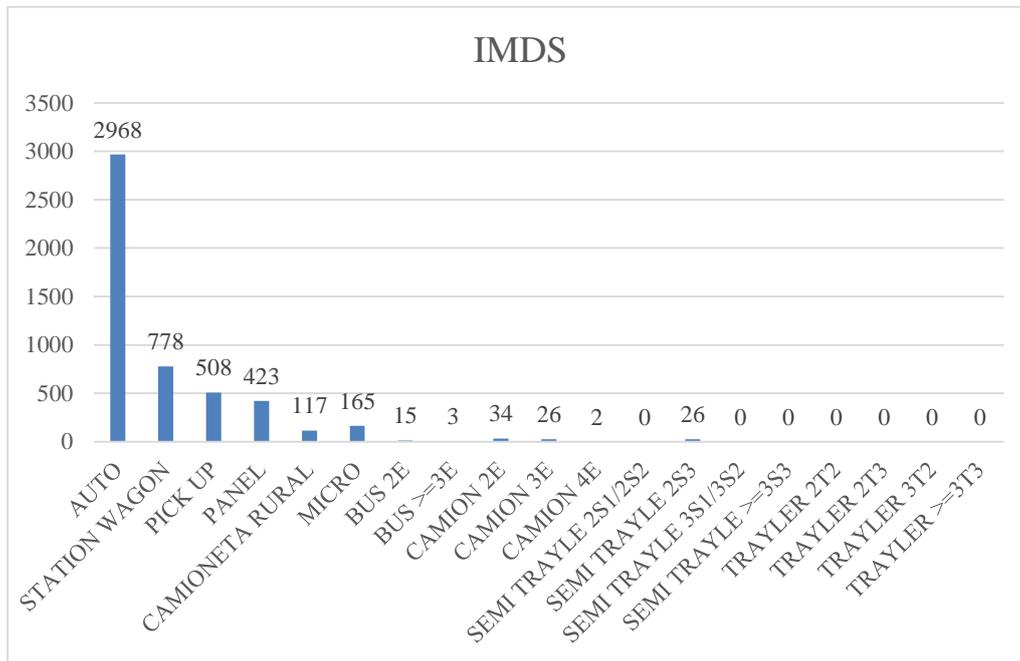


Figura 11. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N° 04 Av. Del Aire. Elaborado por los autores.

De acuerdo al Índice Medio Diario Anual 2017 el vehículo más transitado por la Estación N°04 Av. Del Aire son autos con un total de 2760 veh/día por la Av. Circunvalación según muestra la Figura 12.

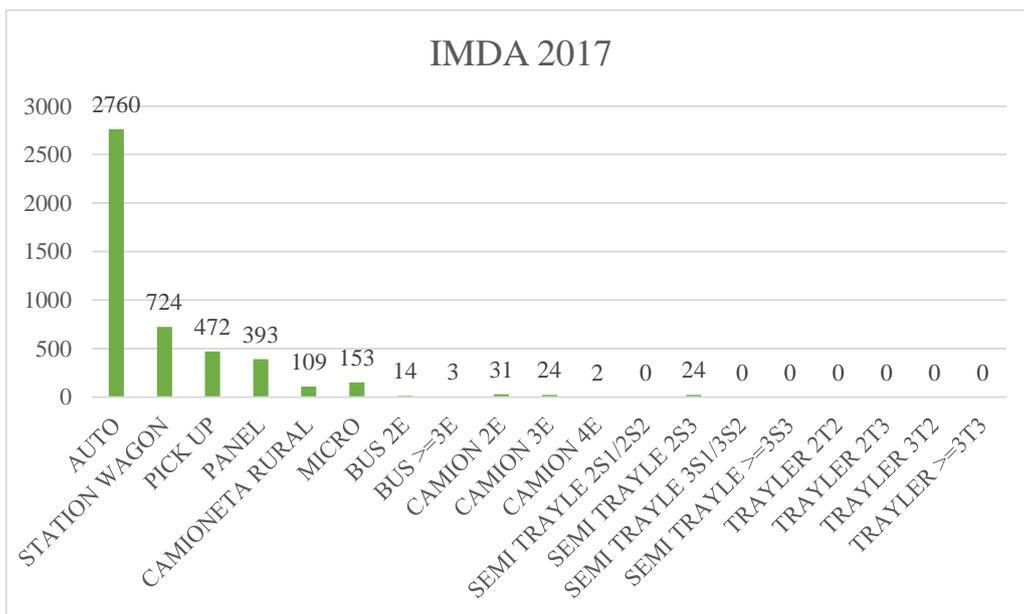


Figura 12. IMDA 2017 por tipo de vehículos - Estación N°04 Av. Del Aire. Elaborado por los autores.

Tabla 19.

*Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) e Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estación 5: Av. Circunvalación- Av. Nicolás Arriola*

DIAS DE LA SEMANA	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	CAMIONETA RURAL	MICRO	BUS 2E	BUS >=3E	CAMION 2E	CAMION 3E	CAMION 4E	SEMI TRAYLE 2S1/2S2	SEMI TRAYLE 2S3	SEMI TRAYLE 3S1/3S2	SEMI TRAYLE >=3S3	TRAYLER 2T2	TRAYLER 2T3	TRAYLER 3T2	TRAYLER >=3T3	TOTAL
JUEVES	7362	3722	2840	1800	1136	1259	2405	1231	832	524	1509	305	113	90	98	76	275	534	306	26417
VIERNES	10612	5387	4093	2595	1634	1817	2102	1083	739	462	1303	276	112	90	98	76	240	467	292	33478
SÁBADO	12719	6443	4873	3115	1957	2164	1822	1003	667	433	1229	266	110	90	98	76	231	440	279	38015
DOMINGO	8528	4343	3274	2087	1317	1461	1042	508	443	321	733	89	23	8	20	13	98	229	100	24637
LUNES	6492	3297	2562	1615	1016	1115	2060	1014	665	397	1287	276	112	90	98	76	240	467	292	23171
MARTES	6924	3511	2713	1708	1070	1176	2333	1205	759	525	1473	305	113	90	98	76	275	534	306	25194
MIERCOLES	6993	3758	2780	1753	1085	1210	2416	1255	836	524	1509	305	113	90	98	76	275	534	306	25916
<b>IMD a 16H</b>	<b>8519</b>	<b>4352</b>	<b>3305</b>	<b>2096</b>	<b>1316</b>	<b>1457</b>	<b>2026</b>	<b>1043</b>	<b>706</b>	<b>455</b>	<b>1292</b>	<b>260</b>	<b>99</b>	<b>78</b>	<b>87</b>	<b>67</b>	<b>233</b>	<b>458</b>	<b>269</b>	<b>28118</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN MUESTRA	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
<b>IMD a 24H (IMDS)</b>	<b>13106</b>	<b>6695</b>	<b>5085</b>	<b>3225</b>	<b>2025</b>	<b>2242</b>	<b>3117</b>	<b>1605</b>	<b>1086</b>	<b>700</b>	<b>1988</b>	<b>400</b>	<b>152</b>	<b>120</b>	<b>134</b>	<b>103</b>	<b>358</b>	<b>705</b>	<b>414</b>	<b>43260</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN ESTACIONAL PEAJES	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
<b>IMDA 2017</b>	<b>12189</b>	<b>6226</b>	<b>4729</b>	<b>2999</b>	<b>1883</b>	<b>2085</b>	<b>2836</b>	<b>1461</b>	<b>988</b>	<b>637</b>	<b>1809</b>	<b>364</b>	<b>138</b>	<b>109</b>	<b>122</b>	<b>94</b>	<b>326</b>	<b>642</b>	<b>377</b>	<b>40014</b>
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL %	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%
PERIODO DE ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>IMDA 2020</b>	<b>12831</b>	<b>6554</b>	<b>4978</b>	<b>3157</b>	<b>1982</b>	<b>2195</b>	<b>2985</b>	<b>1538</b>	<b>1061</b>	<b>684</b>	<b>1942</b>	<b>391</b>	<b>148</b>	<b>117</b>	<b>131</b>	<b>101</b>	<b>350</b>	<b>689</b>	<b>405</b>	<b>42239</b>

Nota: El IMDS es 43260 Veh/día, el IMDA2017 es 40014 Veh/ día y el IMDA 2020 es 42239 Veh/ día. Elaborado por los autores.

La mayor cantidad que representa el Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo, es el auto; tal como se representa en la Figura 13.

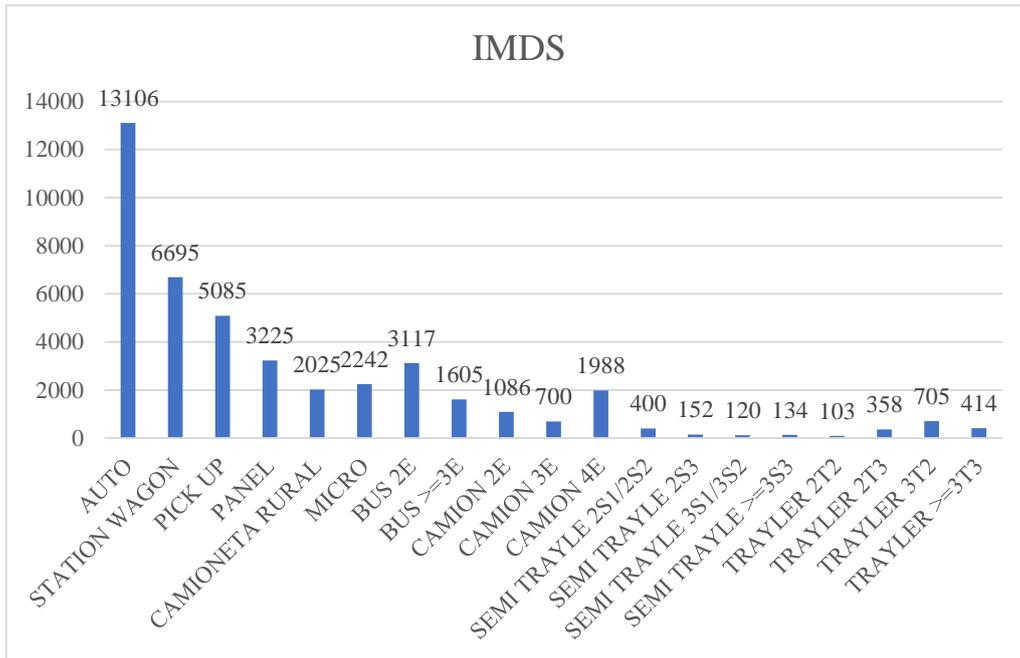


Figura 13. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N° 05 Av. Nicolás Arriola. Elaborado por los autores.

De acuerdo al Índice Medio Diario Anual 2017 el vehículo más transitado por la Estación N°05 Av. Nicolás Arriola son autos con un total de 12189 veh/día por la Av. Circunvalación según muestra la Figura 14.

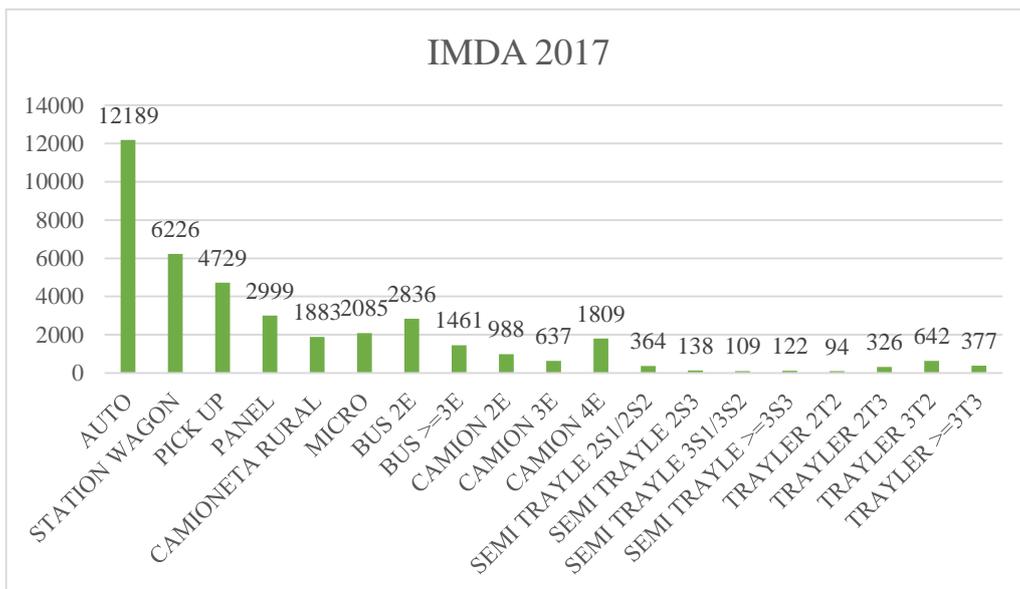


Figura 14. IMDA 2017 por tipo de vehículos - Estación N°05 Av. Nicolás Arriola. Elaborado por los autores.

Tabla20.

*Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) e Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estación N°6: Av. Circunvalación- Av. Nicolás Ayllón.*

DIAS DE LA SEMANA	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	CAMIONETA RURAL	MICRO	BUS 2E	BUS >=3E	CAMION 2E	CAMION 3E	CAMION 4E	SEMI TRAYLE 2S1/2S2	SEMI TRAYLE 2S3	SEMI TRAYLE 3S1/3S2	SEMI TRAYLE >=3S3	TRAYLER 2T2	TRAYLER 2T3	TRAYLER 3T2	TRAYLER >=3T3	TOTAL
JUEVES	6996	5336	0	0	402	3166	524	368	1128	236	2242	0	0	0	0	273	0	478	595	21744
VIERNES	10081	7841	0	0	762	4656	531	365	1014	231	1975	0	0	0	0	267	0	428	538	28689
SÁBADO	12102	9222	0	0	690	5461	424	328	920	201	1732	0	0	0	0	239	0	388	490	32197
DOMINGO	8111	6187	0	0	444	3651	214	128	579	92	944	0	0	0	0	86	0	201	252	20889
LUNES	6199	4733	0	0	385	2824	458	345	970	219	1922	0	0	0	0	260	0	416	516	19247
MARTES	6509	4973	0	0	469	2986	521	366	1096	236	2082	0	0	0	0	273	0	478	595	20584
MIERCOLES	6697	5115	0	0	402	3068	548	425	1125	236	2242	0	0	0	0	273	0	478	595	21204
<b>IMD a 16H</b>	<b>8099</b>	<b>6201</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>508</b>	<b>3687</b>	<b>460</b>	<b>332</b>	<b>976</b>	<b>207</b>	<b>1877</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>239</b>	<b>0</b>	<b>410</b>	<b>512</b>	<b>23508</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN MUESTRA	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
<b>IMD a 24H (IMDS)</b>	<b>12460</b>	<b>9540</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>782</b>	<b>5672</b>	<b>708</b>	<b>511</b>	<b>1502</b>	<b>318</b>	<b>2888</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>368</b>	<b>0</b>	<b>631</b>	<b>788</b>	<b>36168</b>
FACTOR DE CORRECCIÓN ESTACIONAL PEAJES	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
<b>IMDA 2017</b>	<b>11588</b>	<b>8872</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>727</b>	<b>5275</b>	<b>644</b>	<b>465</b>	<b>1367</b>	<b>289</b>	<b>2628</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>335</b>	<b>0</b>	<b>574</b>	<b>717</b>	<b>33481</b>
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL %	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	2.60%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%	3.61%
PERIODO DE ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>IMDA 2020</b>	<b>12198</b>	<b>9339</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>765</b>	<b>5553</b>	<b>678</b>	<b>489</b>	<b>1467</b>	<b>310</b>	<b>2821</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>360</b>	<b>0</b>	<b>616</b>	<b>770</b>	<b>35366</b>

Nota: El IMDS es 36168 Veh/día, el IMDA2017 es 33481 Veh/ día y el IMDA 2020 es 35366 Veh/ día. Elaborado por los autores.

La mayor cantidad que representa el Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo, es el auto; tal como se representa en la Figura 15.

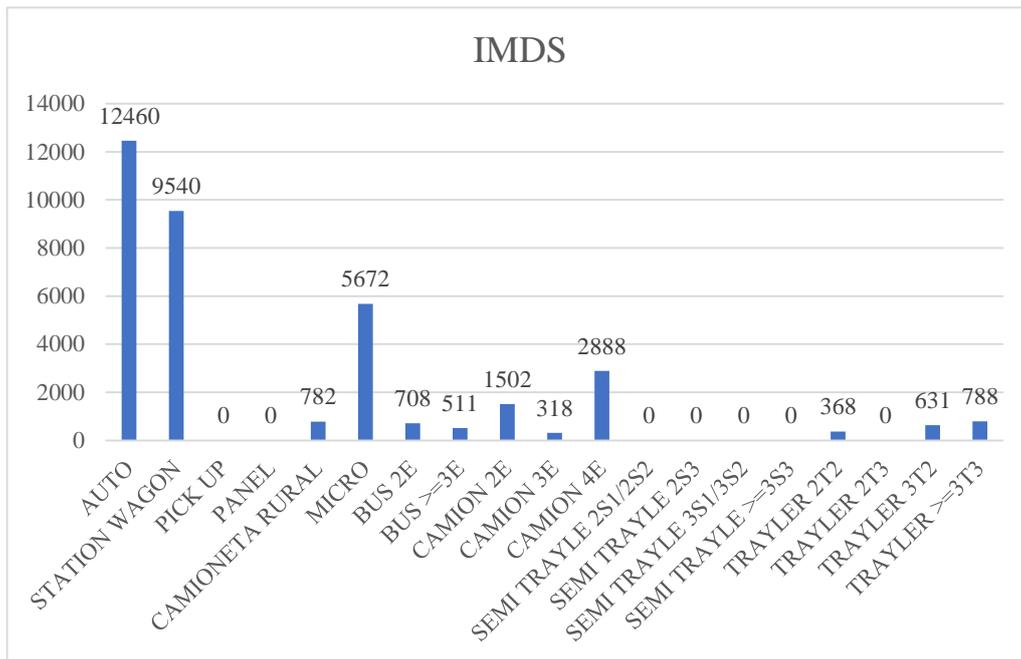


Figura 15. Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo - Estación N° 06 Av. Nicolás Ayllón. Elaborado por los autores.

De acuerdo al Índice Medio Diario Anual 2017 el vehículo más transitado por la Estación N°06 Av. Nicolás Ayllón es son autos con un total de 11588 veh/día que transitan semanalmente por la Av. Circunvalación según muestra la Figura 16.

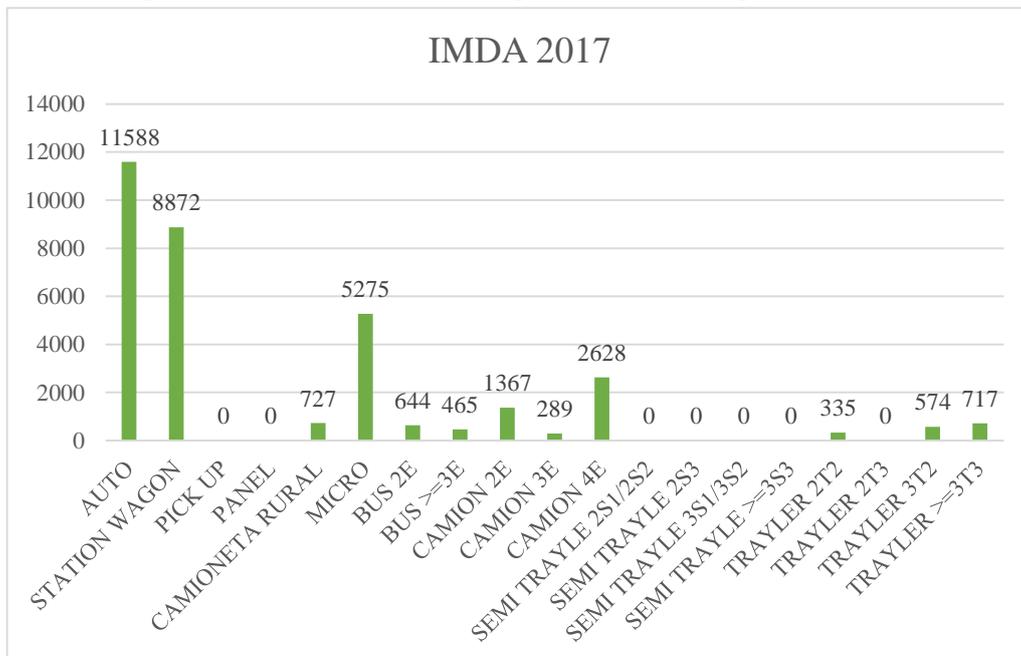


Figura 16. IMDA 2017 por tipo de vehículos - Estación N°06 Av. Nicolás Ayllón. Elaborado por los autores.

### 3.2.5 Cálculo de Ejes Equivalentes (ESAL)

Para el cálculo de los Ejes Equivalentes (ESAL) se trabaja con el IMDA 2020, considerando los vehículos con mayor carga (factores destructivos), factor direccional, factor carril, factor de ajuste por presión de neumático, crecimiento anual, periodo de diseño y factor de crecimiento acumulado.

#### Relación de cargas por eje

Para realizar el cálculo de relación de cargas por eje se determinó el tipo de eje que tienen los vehículos y se estableció el peso en toneladas que representa cada uno de los ejes, luego se realizó el cálculo de acuerdo como muestra la (Tabla 25).

Tabla 21.

*Peso máximo por ejes*

Conjunto de eje(s)	Nomenclatura	Simbología	Nº de Neumáticos	GRAFICO	Peso máximo por eje(s) (t)
Simple	1RS		02		7
Simple	1RD		04		11
Doble	1RS+1RD		06		16
Doble	2RS		04		12
Doble	2RD		08		18
Triple	3RS		06		16
Triple	1RS+2RD		10		23
Triple	3RD		12		25
Doble Separado	1RD+1RD		08		11+11

Nota:

RS : Rodada simple

RD : Rodada doble

Nota: Se presenta el peso máximo por ejes. Tomado de Reglamento Nacional de Vehículos-MTC

Tabla 22.

Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes.

Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrigidos	
Tipo de Eje	Eje Equivalente ( $EE_{S,2 \text{ tn}}$ )
Eje Simple de ruedas simples ( $EE_{S1}$ )	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles ( $EE_{S2}$ )	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TA1}$ )	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) ( $EE_{TA2}$ )	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TR1}$ )	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) ( $EE_{TR2}$ )	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	
Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93	

Nota: Ejes Equivalentes para pavimento para hallar los factores de carga destructivos, Tomado del Manual de Carreteras MTC, 2013.

El Instituto del Asfalto agrega al factor denominado por presión neumática, variando la presión neumática propiamente dicha y los espesores de la superficie de rodadura (carpeta asfáltica). En la que la presión de inflado = presión de contacto / 0.90.

Tabla 23.

Factor de Ajuste por Presión de Neumático para ejes equivalentes.

Espesor de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contacto del Neumático (PCN) en psi $PCN = 0.90 \times [\text{Presión de inflado del neumático}] (\text{psi})$						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.36	1.80	2.31	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Nota:

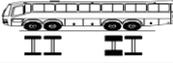
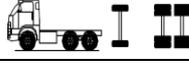
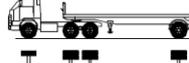
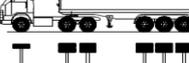
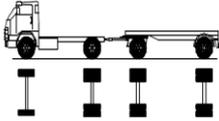
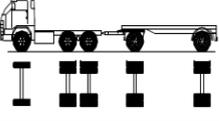
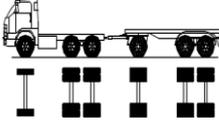
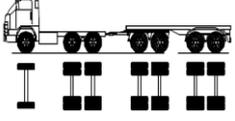
- EE = Ejes Equivalentes
- Presión de inflado del neumático (Pin): está referido al promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Presión de Contacto del neumático (PCN): igual al 90% del promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Para espesores menores de capa de rodadura asfáltica, se aplicará el Factor de Ajuste igual al espesor de 50 mm.

Fuente: Elaboración propia, en base a correlaciones con la Figura IV-4 EAL Adjustment Factor for Tire Pressures del Manual MS-1 del Instituto del Asfalto.

Nota: Factor de ajuste por presión de neumático para ejes equivalentes, Tomado del Manual de Carreteras MTC, 2013.

Tabla 24.

*Cálculo de Relación de Cargas por Ejes.*

TIPOS DE VEHÍCULOS	EJES	CARGA DE VEHÍCULO POR EJE	EJE EQUIVALENTE (EE 8.2 TN)	EJE EQUIVALENTE (EE 8.2 TN) TOTAL POR VEHÍCULO
2E		7	1.265366749	4.490708066
		11	7.716049383	
3E		7	1.265366749	1.315655648
		16	1.365944548	
4E		12	0.398856979	0.882400763
		16	1.365944548	
2E		7	1.265366749	4.490708066
		11	7.716049383	
3E		7	1.265366749	1.642290101
		18	2.019213454	
4E		7	1.265366749	1.386775173
		23	1.508183597	
2S1 / 2S2		7	1.265366749	5.565821838
		11	7.716049383	
2S3		7	1.265366749	3.562480793
		11	7.716049383	
3S1 / 3S2		7	1.265366749	3.666876528
		18	2.019213454	
>=3S3		11	7.716049383	1.663535484
		25	1.706026248	
2T2		7	1.265366749	6.103378724
		11	7.716049383	
		11	7.716049383	
		11	7.716049383	
2T3		7	1.265366749	4.679169742
		18	2.019213454	
		11	7.716049383	
		11	7.716049383	
3T2		7	1.265366749	3.25496076
		18	2.019213454	
		11	7.716049383	
3T3		18	2.019213454	1.830751778
		7	1.265366749	
		18	2.019213454	

*Nota:* Relación de Cargas por Ejes se obtiene al multiplicar el peso por eje el equivalente por eje. Elaborado por los autores.

## **Tasa de Crecimiento Anual**

La tasa de crecimiento de tránsito se calcula utilizando una progresión geométrica calculada por separado por vehículos de pasajeros y vehículos de carga.

Para el cálculo de la tasa anual de crecimiento del tránsito intervienen varios factores para los vehículos de pasajeros está asociado al crecimiento poblacional y para vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresado en Producto Bruto Interno (PBI) la cual generalmente estas tasas de crecimiento varían entre 2% a 6% (MTC, 2013).

La tasa de crecimiento considerada para la siguiente investigación para vehículos de pasajeros será de 2.60% y para vehículos de carga de 3.61 % según los datos considerados como el crecimiento poblacional y el crecimiento del PBI.

## **Período de diseño**

Para el período de diseño se estableció una vida útil de 20 años debido a que en el diseño se considera la construcción en una sola etapa.

Según el manual de diseño de pavimentos flexibles considera, 10 años para vías de bajo volumen de tránsito, 10 años para un período de diseño de dos etapas y 20 años para un período de diseño en una etapa. Quedando a criterio del Ing. Responsable de acuerdo a las características del proyecto (MTC, 2013).

## **Tránsito proyectado**

Se calcula de acuerdo al tránsito actual, periodo de diseño y por separado según la tasa de crecimiento de vehículos de pasajeros y vehículos de carga con la siguiente fórmula:

$$T_n = T_o (1+r)^{(n-1)}$$

Donde:

$T_n$ = Tránsito proyectado al año n en veh/ día

$T_o$ = Tránsito actual (año base) en veh/ día

n= Número de años del periodo de diseño

r= Tasa anual de crecimiento del tránsito

### Factor de Crecimiento Acumulado (Fca)

Se calcula de acuerdo al tránsito actual, periodo de diseño y por separado según la tasa de crecimiento de vehículos de pasajeros y vehículos de carga con la siguiente formula:

$$Fca = (1+r)^n - 1/r$$

Donde:

Fca= Factor de Crecimiento Acumulado

r = Tasa de crecimiento

n = Período de diseño en Años

### Factor de carril de diseño.

Este factor permite dar sentido cuando pase por un de los carriles de diseño, el factor que se toma es el valor de 1, para lo caminos que sean multicarril lo usan como ESAN y pueden varias entre 1 a 05 como lo indica en la siguiente tabla.

Tabla 25.

*Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño*

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

*Nota:* Tabla para calcular el Factor Direccional y Factor Carril. Tomado del Manual de Carreteras MTC, 2013.

## Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente (ESALs)

Tabla 26.

Cálculo de ESAL - Av. Javier Prado a Av. Canadá

Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente (ESALs)													
Sub Tramo													
De:		Javier Prado											
A:		Canada											
Factores	Buses		Camiones			Semitraylers				Traylers			
Destructivos (Cargas)	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1 / 2S2	2S3	3S1 / 3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3
	4.49071	1.31566	4.49071	1.64229	1.38678	5.56582	3.56248	3.66688	1.66354	6.10338	4.67917	3.25496	1.83075
Presión de Contacto	90	90	59.22	92.61	97.74	90.72	93.42	98.19	93.51	90	90	90	90
Factor por Presión Neumática	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor direccional				0.5			Tasa de crecimiento (r) Transporte de Pasajeros				2.60%		
Factor de carril				0.6			% Transporte de Carga				3.61%		
Tipos de Vehiculos	Factor destructivo (fde)	IMDA 2020	fde x IMDA 2020	Esal Anual									
				2020	2025	2030	2035	2040					
2E	4.49071	4831	21694.62										
>=3E	1.31566	1353	1780.088										
2E	4.49071	529	2375.586										
3E	1.64229	232	381.0113										
4E	1.38678	3073	4261.575										
2S1 / 2S2	5.56582		0										
2S3	3.56248		0	3.72E+06	1.98E+07	4.29E+07	6.98E+07	1.01E+08					
3S1 / 3S2	3.66688		0										
>=3S3	1.66354		0										
2T2	6.10338		0										
2T3	4.67917		0										
3T2	3.25496	628	2044.115										
3T3	1.83075	803	1470.092										
		∑	34007.09										

Nota: ESAL anual proyectado para el año 2040 es de 1.01 E+08. Elaborado por los autores.

Tabla 27.

*Cálculo del ESAL - Av. Canadá a Av. Aymaras*

Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente (ESALs)													
Sub Tramo													
De:		Canada											
A:		Aymaras											
Factores	Buses		Camiones			Semitraylers				Traylers			
	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1 / 2S2	2S3	3S1 / 3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3
Destructivos (Cargas)	4.49071	1.31566	4.49071	1.64229	1.38678	5.56582	3.56248	3.66688	1.66354	6.10338	4.67917	3.25496	1.83075
Presión de Contacto	90	90	59.22	92.61	97.74	90.72	93.42	98.19	93.51	90	90	90	90
Factor por Presión Neumática	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor direccional				0.5	Tasa de crecimiento (r)				Transporte de Pasajeros		2.60%		
Factor de carril				0.6	%				Transporte de Carga		3.61%		
Tipos de Vehiculos	Factor destructivo (fde)	IMDA 2020	fde x IMDA 2020	Esal Anual									
				2020	2025	2030	2035	2040					
2E	4.49071	915	4109										
>=3E	1.31566	887	1166.99										
2E	4.49071	1868	8388.646										
3E	1.64229	588	965.6665										
4E	1.38678	56	77.65968										
2S1 / 2S2	5.56582	73	406.3049										
2S3	3.56248	48	170.999	1.89E+06	1.01E+07	2.18E+07	3.55E+07	5.14E+07					
3S1 / 3S2	3.66688	114	418.0243										
>=3S3	1.66354	277	460.8006										
2T2	6.10338	54	329.5825										
2T3	4.67917	47	219.921										
3T2	3.25496	128	416.6349										
3T3	1.83075	90	164.7675										
		Σ	17295										

Nota: ESAL anual proyectado para el año 2040 es de 5.14 E+07. Elaborado por los autores.

Tabla 28.

Cálculo del ESAL - Av. Aymaras a Av. del Aire

Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente (ESALs)														
Sub Tramo														
De:		Aymaras												
A:		Del Aire												
Factores	Buses		Camiones				Semitraylers				Traylers			
	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1 / 2S2	2S3	3S1 / 3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
Destructivos (Cargas)	4.49071	1.31566	4.49071	1.64229	1.38678	5.56582	3.56248	3.66688	1.66354	6.10338	4.67917	3.25496	1.83075	
Presión de Contacto	90	90	59.22	92.61	97.74	90.72	93.42	98.19	93.51	90	90	90	90	
Factor por Presión Neumática	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Factor direccional				0.5				Tasa de crecimiento (r)				Transporte de Pasajeros		2.60%
Factor de carril				0.6				%				Transporte de Carga		3.61%
Tipos de Vehiculos	Factor destructivo (fde)	IMDA 2020	fde x IMDA 2020	Esal Anual										
				2020	2025	2030	2035	2040						
2E	4.49071	1818	8164.111											
>=3E	1.31566	91	119.7251											
2E	4.49071	145	651.153											
3E	1.64229	39	64.04931											
4E	1.38678	34	47.15052											
2S1 / 2S2	5.56582	19	105.7506											
2S3	3.56248	17	60.56216	1.06E+06	5.64E+06	1.22E+07	1.99E+07	2.89E+07						
3S1 / 3S2	3.66688	27	99.00576											
>=3S3	1.66354	25	41.5885											
2T2	6.10338	21	128.171											
2T3	4.67917	17	79.54589											
3T2	3.25496	36	117.1786											
3T3	1.83075	16	29.292											
			∑	9707.283										

Nota: ESAL anual proyectado para el año 2040 es de 2.89 E+07. Elaborado por los autores.

Tabla 29.

*Cálculo del ESAL - Av. del Aire a Av. Nicolás Arriola*

Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente (ESALs)													
Sub Tramo													
De:		Del Aire											
A:		Nicolas Arriola											
Factores	Buses		Camiones			Semitraylers				Traylers			
Destructivos (Cargas)	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1 / 2S2	2S3	3S1 / 3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3
	4.49071	1.31566	4.49071	1.64229	1.38678	5.56582	3.56248	3.66688	1.66354	6.10338	4.67917	3.25496	1.83075
Presión de Contacto	90	90	59.22	92.61	97.74	90.72	93.42	98.19	93.51	90	90	90	90
Factor por Presión Neumática	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor direccional				0.5	Tasa de crecimiento (r)				Transporte de Pasajeros		2.60%		
Factor de carril				0.6	%				Transporte de Carga		3.61%		
Tipos de Vehiculos	Factor destructivo (fde)	IMDA 2020	fde x IMDA 2020	Esal Anual									
				2020	2025	2030	2035	2040					
2E	4.49071	15	67.36065										
>=3E	1.31566	3	3.94698										
2E	4.49071	33	148.1934										
3E	1.64229	26	42.69954										
4E	1.38678	2	2.77356										
2S1 / 2S2	5.56582	0	0										
2S3	3.56248	26	92.62448	3.92E+04	2.08E+05	4.51E+05	7.34E+05	1.06E+06					
3S1 / 3S2	3.66688	0	0										
>=3S3	1.66354	0	0										
2T2	6.10338	0	0										
2T3	4.67917	0	0										
3T2	3.25496	0	0										
3T3	1.83075	0	0										
			Σ	357.5986									

Nota: ESAL anual proyectado para el año 2040 es de 1.06 E+06. Elaborado por los autores.

Tabla 30.

Cálculo del ESAL - Av. Nicolás Arriola a Av. Nicolás Ayllón.

Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente (ESALs)													
Sub Tramo													
De:		Nicolás Arriola											
A:		Nicolás Ayllón											
Factores	Buses		Camiones			Semitraylers				Traylers			
Destructivos (Cargas)	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1 / 2S2	2S3	3S1 / 3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3
	4.49071	1.31566	4.49071	1.64229	1.38678	5.56582	3.56248	3.66688	1.66354	6.10338	4.67917	3.25496	1.83075
Presión de Contacto	90	90	59.22	92.61	97.74	90.72	93.42	98.19	93.51	90	90	90	90
Factor por Presión Neumática	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor direccional				0.5	Tasa de crecimiento (r)				Transporte de Pasajeros		2.60%		
Factor de carril				0.6	%				Transporte de Carga		3.61%		
Tipos de Vehículos	Factor destructivo (fde)	IMDA 2020	fde x	Esal Anual									
			IMDA 2020	2020	2025	2030	2035	2040					
2E	4.49071	2985	13404.77										
>=3E	1.31566	1538	2023.485										
2E	4.49071	1061	4764.643										
3E	1.64229	684	1123.326										
4E	1.38678	1942	2693.127										
2S1 / 2S2	5.56582	391	2176.236										
2S3	3.56248	148	527.247	3.57E+06	1.90E+07	4.11E+07	6.69E+07	9.69E+07					
3S1 / 3S2	3.66688	117	429.025										
>=3S3	1.66354	131	217.9237										
2T2	6.10338	101	616.4414										
2T3	4.67917	350	1637.71										
3T2	3.25496	689	2242.667										
3T3	1.83075	405	741.4538										
		∑	32598.05										

Nota: ESAL anual proyectado para el año 2040 es de 9.69 E+07. Elaborado por los autores.

Tabla 31.

*Cálculo del ESAL - Av. Nicolás Ayllón a Trébol Javier Prado*

Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente (ESALs)													
Sub Tramo													
De:		Nicolas Ayllon											
A:		Trebol Javier Prado											
Factores Destructivos (Cargas)	Buses		Camiones			Semitraylers				Traylers			
	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1 / 2S2	2S3	3S1 / 3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3
	4.49071	1.31566	4.49071	1.64229	1.38678	5.56582	3.56248	3.66688	1.66354	6.10338	4.67917	3.25496	1.83075
Presión de Contacto	90	90	59.22	92.61	97.74	90.72	93.42	98.19	93.51	90	90	90	90
Factor por Presión Neumática	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor direccional				0.5	Tasa de crecimiento (r)				Transporte de Pasajeros	2.60%			
Factor de carril				0.6	%				Transporte de Carga	3.61%			
Tipos de Vehiculos	Factor destrutivo (fde)	IMDA 2020	fde x IMDA 2020	Esal Anual									
				2020	2025	2030	2035	2040					
2E	4.49071	678	3044.701										
>=3E	1.31566	489	643.3577										
2E	4.49071	1466	6583.381										
3E	1.64229	310	509.1099										
4E	1.38678	2821	3912.106										
2S1 / 2S2	5.56582	0	0										
2S3	3.56248	0	0	2.22E+06	1.18E+07	2.56E+07	4.17E+07	6.04E+07					
3S1 / 3S2	3.66688	0	0										
>=3S3	1.66354	0	0										
2T2	6.10338	360	2197.217										
2T3	4.67917	0	0										
3T2	3.25496	616	2005.055										
3T3	1.83075	770	1409.678										
		Σ	20304.61										

Nota: ESAL anual proyectado para el año 2040 es de 6.04 E+07. Elaborado por los autores.

## Resumen de los resultados de ESAL de las estaciones de conteo

Tabla 32.

Resumen del cálculo de ESAL al año proyectado 2040

ESTACIÓN DE CONTEO	ESAL ANUALES CADA 5 AÑOS				
	2020	2025	2030	2035	2040
Javier Prado	3.72E+06	1.98E+07	4.29E+07	6.98E+07	1.01E+08
Canada	1.89E+06	1.01E+07	2.18E+07	3.55E+07	5.14E+07
Aymaras	1.06E+06	5.64E+06	1.22E+07	1.99E+07	2.89E+07
Del Aire	3.92E+04	2.08E+05	4.51E+05	7.34E+05	1.06E+06
Nicolas					
Arriola	3.57E+06	1.90E+07	4.11E+07	6.69E+07	9.69E+07
Nicolas					
Ayllón	2.22E+06	1.18E+07	2.56E+07	4.17E+07	6.04E+07
	<b>2.09E+06</b>	<b>1.11E+07</b>	<b>2.40E+07</b>	<b>3.91E+07</b>	<b>5.66E+07</b>

Nota: ESAL anual proyectado para el año 2040 promedio es de 5.66E+07. Elaborado por los autores.

ESAL de diseño para el año 2040= **5.66E+07**

### Clasificación de número de repeticiones de Ejes Equivalentes en el periodo de diseño

Según el Manual de Carreteras del MTC, 2013 para caminos pavimentados con pavimento flexible, semirrígidos y rígidos el tipo de carga vehicular que le corresponde es pesado de tipo Tp15 de acuerdo a la tabla de número de repeticiones acumulados de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el carril de diseño.

Tabla33.

*Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 tn en el Carril de Diseño.*

<b>Tipos Tráfico Pesado Expresado en EE</b>	<b>Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE</b>	<b>Tipo de tráfico de la investigación.</b>
TP0	>75,000 EE	
	≤150,000 EE	
TP1	>150,000 EE	
	≤300,000 EE	
TP2	>300,000 EE	
	≤500,000 EE	
TP3	>500,000 EE	
	≤750,000 EE	
TP4	>750,000 EE	
	≤1 000,000 EE	
TP5	>1 000,000 EE	
	≤1 500,000 EE	
TP6	>1 500,000 EE	
	≤3 000,000 EE	
TP7	>3 000,000 EE	
	≤5 000,000 EE	
TP8	>5 000,000 EE	
	≤7 500,000 EE	
TP9	>7 500,000 EE	
	≤10 000,000 EE	
TP10	>10 000,000 EE	
	≤12500000 EE	
TP11	>12 500,000 EE	
	≤15 000,000 EE	
TP12	>15 000,000 EE	
	≤20 000,000 EE	
TP13	>20 000,000 EE	
	≤25 000,000 EE	
TP14	>25 000,000 EE	
	≤30 000,000 EE	
TP15	>30 000,000 EE	5.66 EE+07

*Nota:* Clasificación por EE para cargas de tránsito pesado para pavimentos flexibles. Elaborado por los autores.

Tomado del Manual de Carreteras MTC, 2013.

### 3.3 Diseño de mezcla asfáltica

#### 3.3.1 Requisitos de calidad de los agregados

Los agregados que son utilizados en la mezcla asfáltica para la carpeta asfáltica del pavimento deben cumplir con el tiempo de vida establecida por diseño y eso implica cumplir con la granulometría y especificaciones técnicas.

#### 3.3.2 Agregados Pétreos

De acuerdo con el Manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones se especifican dos tipos de agregados las cuales se denominan como: agregado grueso y agregado fino. El agregado grueso es aquella porción que se retiene en el tamiz 4,75mm (N°4) y agregado fino aquella porción que es retenida entre los tamices 4.75mm y 75 $\mu$ m (N°4 y N° 200).

En el procedimiento para el agregado grueso no debe considerarse partículas planas, alargadas, blandas o desintegrarles. Y los agregados finos deberán cumplir con los estándares establecidos.

<b>Cantera:</b> La Gloria	<b>Ubicación:</b> altura del Km. 14.8 de la Carretera Central.
<b>Agregado Grueso</b>	Piedra para asfalto huso 6/7
<b>Agregado fino</b>	Arena combinada (chancada y zarandeada)



Figura 17. Cantera la Gloria.

## Ensayos de Calidad de los Agregados

### Durabilidad (al sulfato de sodio o magnesio) MTC E-209

Es el proceso por el cual pasan los agregados para resistir a la gradación, que se lleva a cabo por soluciones con sulfato de sodio o con sulfato de magnesio.

### Abrasión de los Ángeles MTC E-207

Se lleva a cabo este proceso en los agregados gruesos considerándose tamaños menores a 37,5 mm es decir 1 ½" así poder determinar la resistencia en la Máquina de los Ángeles.



Figura 18. Agregado grueso pasa por la máquina de los ángeles

### Adherencia MTC E-517

Se llega a determinar el revestimiento y retención de una película bituminosa para un agregado expuesto a una superficie con presencia de agua.



Figura 19. Proceso para hallar la adherencia

### Índice de Durabilidad MTC E-214

En esta prueba se necesita verificar la resistencia relativa para que se produzca como un agregado fino cuando se someta a un sistema de gradación.

### Partículas chatas y alargadas MTC E-221

Se determinan los índices de aplanamiento y alargamiento de los agregados que se llegarán a utilizar en carreteras.



Figura 20. Determinación de partículas chatas y alargadas.

### Sales solubles – Grueso MTC E-219

Se realiza con la finalidad de establecer un método analítico de cristalización así poder evidenciar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleada para una mezcla asfáltica.



Figura 21. Contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua.

### **Caras fracturadas MTC E-210**

La cantidad proporcional en masa o de muestra de agregado grueso que contiene partículas fracturadas con los requerimientos específicos.

### **Absorción MTC E-206**

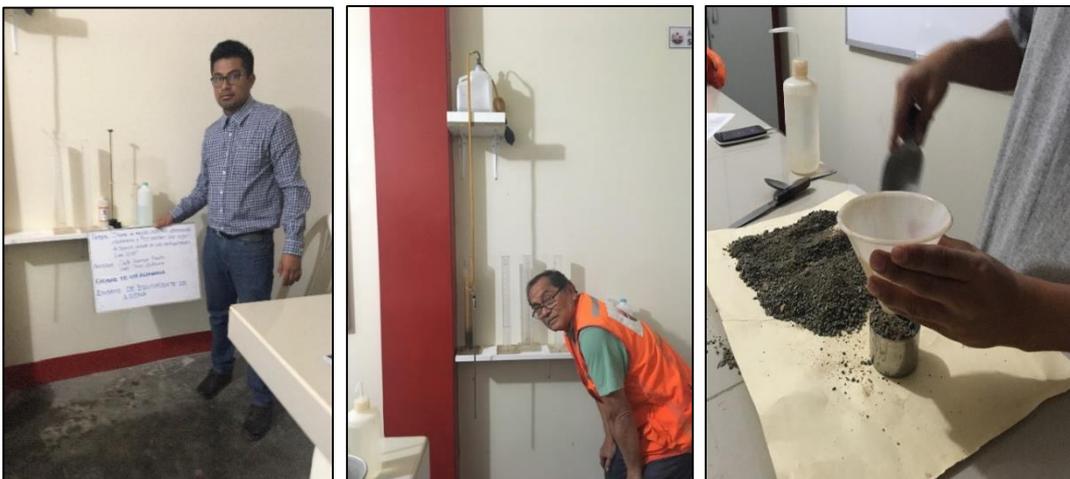
Se determina el peso específico en seco, para luego obtener un peso específico saturado, aparente y de absorción del agregado grueso luego de estar sumergido en agua durante 24 horas.



*Figura 22.* Determinación para la absorción

### **Equivalente de Arena MTC E-114**

Método de correlación rápida de campo. La determinación de “Equivalente de Arena” en la proporción de suelos granulares y fino como las que se requieren.



*Figura 23.* Determinación de equivalente de arena

### Angularidad del agregado fino MTC E-222

Se busca la resistencia al ahuellamiento a través de la relación entre el cálculo de vacíos de aire y la angularidad de agregados finos.

### Índice de Plasticidad (Malla N° 40 - Malla N°200) MTC E-111

El límite plástico de un suelo se llega a determinar a partir del límite líquido del mismo suelo, y así poder saber el cálculo del índice de plasticidad como se necesita.

### Azul de Metileno

Este valor de metileno es una cantidad en mililitro de azul de metileno que reaccione a 1 gramo de material que pase por la malla N°200 hasta que se llegue a la saturación.

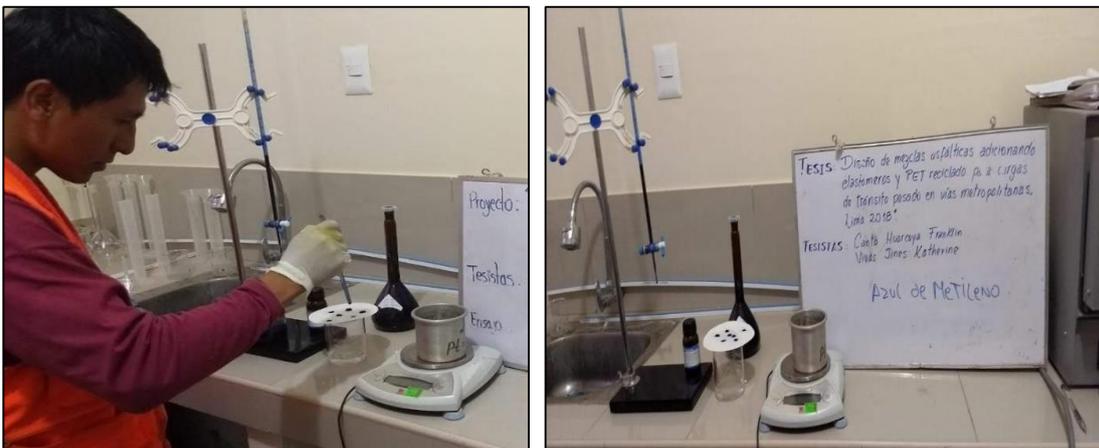


Figura 24. Azul de metileno a 1gr. de material

Tabla 34.  
*Requisitos de calidad para los Agregados Gruesos*

Ensayos:	Normas	Parámetros		Resultado De ensayos (*)
		Altitud (msnm)		
		≤3.000	>3.000	
Durabilidad (Sulfato de Magnesio)	MTC E-209	18% máx.	15% máx.	0.9%
Abrasión de Los Ángeles	MTC E-207	40% máx.	35% máx.	18.6%
Adherencia	MTC E-217	+95	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E-214	35% mín.	35% mín.	61.1%
Partículas chatas y alargadas	MTC E-221	10% máx.	10% máx.	NT
Caras fracturadas	MTC E-210	85/50	90/70	96.7%
01 cara fracturada				94.3%
02 caras fracturadas				
Sales Solubles	MTC E-219	0.5% máx.	0.5% máx.	0.0954%
Absorción	MTC E-206	1,0% máx.	1,0% máx.	0.51%

(\*) Certificados de los ensayos de calidad, en anexos.

*Nota:* Requisitos de calidad de los Agregados Gruesos. Tomado del Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción- Tabla 423-01-MTC, 2013. Elaborado por los autores.

Tabla 35.  
*Requisitos de calidad para los Agregados Finos*

Ensayos:	Normas	Parámetros		Resultado De ensayos (*)
		Altitud (msnm)		
		≤3.000	>3.000	
Equivalente de Arena	MTC E-114	60	70	78.5%
Angularidad de Agregado Fino	MTC E-222	30	40	40.3%
Azul de metileno	AASHTO TP57	8 máx.	8 máx.	7.96
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E-111	NP	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E-209	-	18% máx.	-
Índice de Durabilidad	MTC E-214	35 mín.	35 mín.	61.1%
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E-111	4 máx.	NP	NP
Sales Solubles	MTC E-219	0.5% máx.	0.5% máx.	0.1369%
Absorción (**)	MTC E-205	0.5% máx.	0.5% máx.	0.44%

(\*) Certificados de los ensayos de calidad, en anexos.

*Nota:* Requisitos de calidad de los Agregados Gruesos. Tomado del Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción- Tabla 423-02-MTC, 2013. Elaborado por los autores.

## Análisis granulométrico de los agregados pétreos

La granulometría es la clasificación de los agregados pétreos por tamaños de las partículas las cuales son obtenidos mediante la utilización de tamices las cuales tienen una malla de alambre de aberturas cuadradas de diferente diámetro, de acuerdo con el procedimiento descrito MTC E-107 “Análisis Granulométrico de suelos por tamizado” del Manual de Ensayos de Materiales del MTC-2016. A continuación, se muestra los resultados obtenidos en el laboratorio de JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.



Figura 25. Tamizado y Cuarteo del agregado grueso

Tabla 36.  
Granulometría de los agregados gruesos

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS-AGREGADO GRUESO					
MALLAS		PESO	RETENIDO	RETENIDO	PASA
SERIE	ABERTURA	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	(%)
AMERICANA	(mm)	(g)	(%)	(%)	
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100
3/4"	19.050	738.0	35	35	65
1/2"	12.700	779.7	21	56	44
3/8"	9.525	613.4	16	72	28
1/4"	6.350	589.5	26	98	2
N° 4	4.750	45.8	2	100	
N° 6	3.360				
N° 8	2.360				
N° 10	2.000				
N° 16	1.180				
N° 20	0.850				
N° 30	0.600				
N° 40	0.425				
N° 50	0.300				
N° 80	0.180				
N° 100	0.150				
N° 200	0.075				
-200	<b>MTC E 202 - 2000</b>				

Nota: Análisis Granulométrico de los agregados gruesos, según MTC E-107- del Manual de Ensayos de Materiales del MTC-2016. Elaborado por los autores.

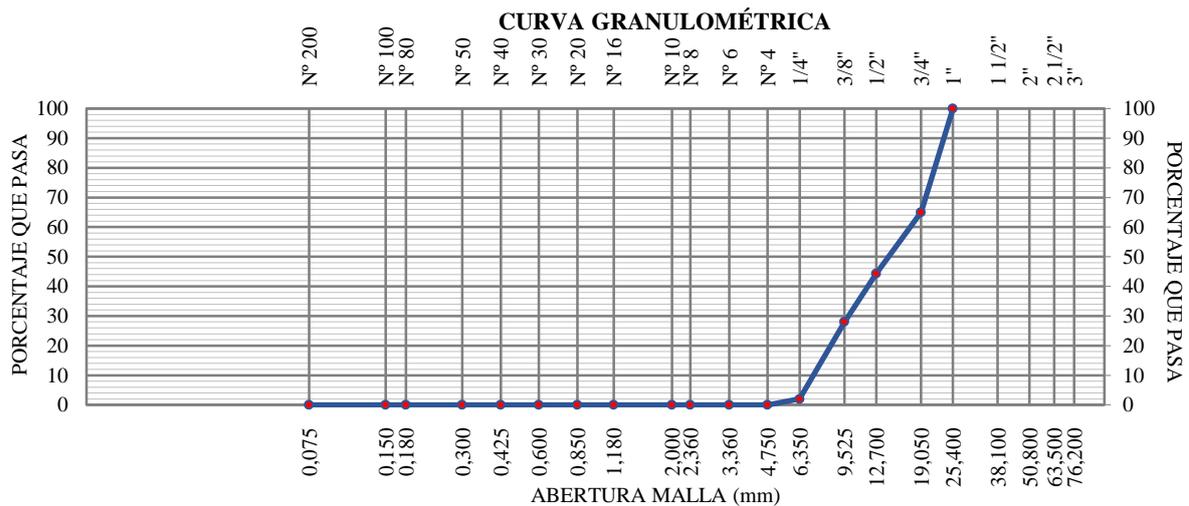


Figura 26. Curva granulométrica de los agregados gruesos, Porcentaje que pasa (%) vs abertura de malla (mm). Elaborado por los autores.

Tabla 37.  
Granulometría de los agregados finos

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS-AGREGADO FINO					
MALLAS		PESO RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO	PASA
SERIE	ABERTURA	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	(%)
AMERICANA	(mm)	(g)	(%)	(%)	
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
N° 4	4.750				100.0
N° 6	3.360	16.0	7.4	7.4	92.6
N° 8	2.360	31.3	14.5	21.9	78.1
N° 10	2.000	14.9	6.9	28.8	71.2
N° 16	1.180	43.7	20.3	49.1	50.9
N° 20	0.850	19.2	8.9	58.0	42.0
N° 30	0.600	17.3	8.0	66.0	34.0
N° 40	0.425	13.6	6.3	72.3	27.7
N° 50	0.300	11.0	5.1	77.4	22.6
N° 80	0.180	13.2	6.1	83.5	16.5
N° 100	0.150	4.8	2.2	85.7	14.3
N° 200	0.075	12.3	5.7	91.4	8.6
-200	MTC E 202 - 2000	18.5	8.6	100.0	-0

Nota: Análisis Granulométrico de los agregados finos, realizada en los laboratorios según MTC E-107- del Manual de Ensayos de Materiales del MTC-2016. Elaborado por los autores.

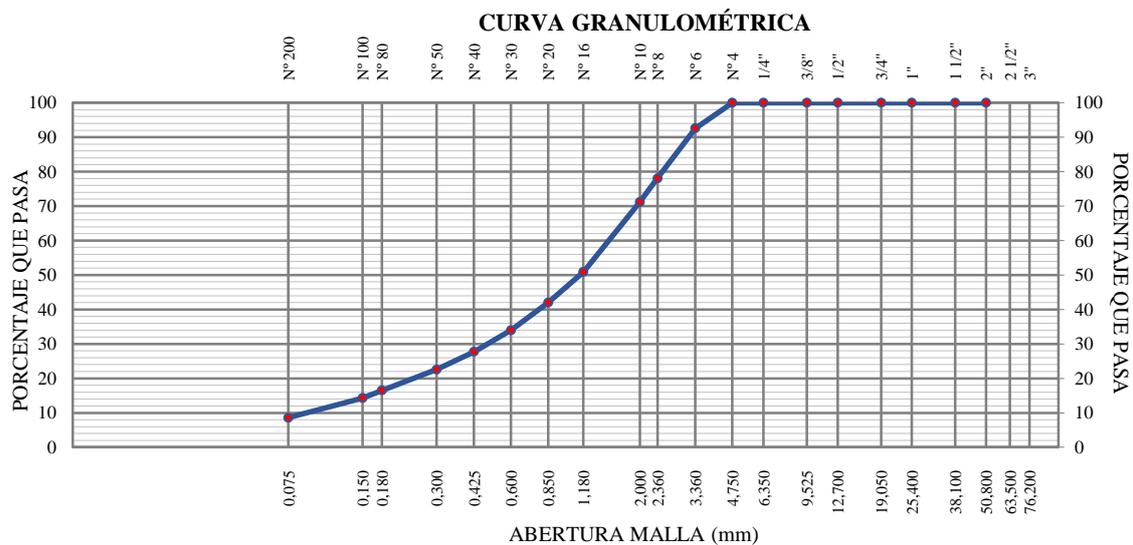


Figura 27. Curva granulométrica de los agregados finos, Porcentaje que pasa (%) vs abertura de malla (mm). Elaborado por los autores.

### 3.3.3 Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico utilizado es el PEN 60-70, de acuerdo a la clasificación de tipo de clima y tipo de tráfico para la ciudad de Lima.

El cemento asfáltico fue obtenido de la Refinería La Pampilla de Repsol, la cual es un producto que cumple con las especificaciones de calidad establecidas en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG-2013)-Tabla 415-02-Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.

Tabla 38.  
*Requisitos de calidad del cemento asfáltico*

TIPO		GRADO DE PENETRACIÓN		DATOS DEL CERTIFICADO
GRADO	ENSAYO	PEN 60-70		
		min.	máx.	
<b>Pruebas sobre el Material Bituminoso</b>				
Penetración a 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E-304	60	70	65
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		297.0
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		>105
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99.84
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) (1)	MTC E 304	-1	+1	-0.8
<b>Ensayo de la Mancha (Oliensies) (2)</b>				
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO		Negativo	-
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	M 20		Negativo	20% xileno, negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno			Negativo	-
<b>Pruebas sobre la Película Delgada a 163 °C, 3,2 mm, 5h</b>				
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		1,0	0.15
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	47+		69.2
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm(3)	MTC E 306	75		>105

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

### 3.3.4 Caucho de llantas recicladas

En nuestro país existen varias empresas que se dedican al reciclaje de neumáticos fuera de uso, las cuales están enfocadas para la utilización como base para Grass sintético donde se enfoca la trituración mecánica para dos productos caucho reciclado granuloso de granulometría 0.5-0.2 mm y rallado de una granulometría de 0.5-2.5 mm.

El caucho utilizado fue suministrado por la empresa Stargrass ubicada en calle Llumpa 830 - 1er piso - Urb. Parque del Naranjal - Los Olivos al norte de la ciudad de Lima.

El caucho triturado utilizado para la investigación es el rayado debido a que tiene las partículas más finas producto de la trituración mecánica.



Figura 28. Caucho rayado (utilizado en la investigación) obtenido de la empresa Stargrass.



Figura 29. Caucho granuloso (utilizado en la investigación) obtenido de la empresa Stargrass.

### 3.3.5 Tereftalato de Polietileno (PET reciclado)

El PET es un material derivado del petróleo, debido a una de sus características físico químicas, es que se considera uno de los materiales más reciclados. En la ciudad de Lima hay algunas municipalidades que están impulsando el cuidado al medio ambiente a través del reciclaje, así como muchas demás empresas recicladoras. Para la presente investigación el PET reciclado y triturado fue comprado por los autores de la empresa San Miguel Industrias Pet, ubicado en Av. Materiales 2354, Cercado de Lima. Por ser una de las empresas con mayor prestigio en la calidad de este material.

Para utilizar el PET en la mezcla asfáltica se requiere del más fino, por ello ha sido pasado por el tamiz N° 10 y retenido en el tamiz N°40.



Figura 30. Granulometría del PET, pasa por tamiz N°10 y retenido en el tamiz N°40.

### 3.4 Método de Diseño de Mezclas Asfálticas Marshall

Se aplica en diseño de mezclas asfálticas en caliente, la cual tiene como objetivo principal determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación específica de agregados, así mismo determina el posible comportamiento mecánico de una carpeta de rodadura. Para la siguiente investigación se realizará un diseño de mezcla asfáltica convencional (mezcla patrón) y una mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado.

#### Diseño Marshall de la mezcla patrón

Se entiende por diseño Marshall de la mezcla patrón aquellas briquetas que se elaboran sin ningún adicionante, solo con material pétreo y cemento asfáltico.

#### Gradación de la mezcla asfáltica patrón

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) patrón, establece la porción de agregados a utilizarse en el diseño la cual deberá cumplir con los husos granulométricos, de acuerdo con las especificaciones de calidad establecidas en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG-2013)-Tabla 423-03-Gradación para mezcla asfáltica en caliente.

Para la siguiente investigación se utilizará la gradación de la mezcla asfáltica en caliente MAC-2, donde se determinará los porcentajes de agregado pétreo a utilizar en la mezcla.

Tabla 39.  
*Requisitos MAC para mezclas asfálticas en caliente.*

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

*Nota:* Requisitos MAC para mezclas asfálticas en caliente. Tomado del Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción- Tabla 423-03-MTC, 2013. Elaborado por los autores.

Tabla 40.

*Granulometría Global de la Mezcla Convencional*

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	"Piedra Chancada"		"Arena Chancada"				RESULTADO DE MEZCLA		
		ABERTURA (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)
3"	76.200									
2 1/2"	63.500									
2"	50.800									
1 1/2"	38.100									
1"	25.400		100.0							
3/4"	19.050	35.0	65.0							100.0
1/2"	12.700	20.7	44.3						11.1	88.9
3/8"	9.525	16.3	28.0						8.8	80.1
1/4"	6.350	26.0	2.0						14.0	66.1
N° 4	4.760	2.0			100.0				1.1	65.0
N° 6	3.360			7.4	92.6				4.8	60.2
N° 8	2.380			14.5	78.1				9.4	50.8
N° 10	2.000			6.9	71.2				4.5	46.3
N°16	1.190			20.3	50.9				13.2	33.1
N° 20	0.840			8.9	42.0				5.8	27.3
N° 30	0.590			8.0	34.0				5.2	22.1
N° 40	0.426			6.3	27.7				4.1	18.0
N° 50	0.297			5.1	22.6				3.3	14.7
N° 80	0.177			6.1	16.5				4.0	10.7
N° 100	0.149			2.2	14.3				1.4	9.3
N° 200	0.074			5.7	8.6				3.7	5.6
-200	-			8.6	-				5.6	-
			35.0		65.0					

Nota: Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global. Elaborado por los autores.

Tabla 41.  
Gradación MAC-2 de la Mezcla Convencional

MALLAS		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN	MAC-2	
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050		100.0	100		
1/2"	12.700	11.1	88.9	80	-	100
3/8"	9.525	8.8	80.1	70	-	88
1/4"	6.350	14.0	66.1			
N° 4	4.760	1.1	65.0	51	-	68
N° 6	3.360	4.8	60.2			
N° 8	2.380	9.4	50.8			
N° 10	2.000	4.5	46.3	38	-	52
N° 16	1.190	13.2	33.1			
N° 20	0.840	5.8	27.3			
N° 30	0.590	5.2	22.1			
N° 40	0.426	4.1	18.0	17	-	28
N° 50	0.297	3.3	14.7			
N° 80	0.177	4.0	10.7	8	-	17
N° 100	0.149	1.4	9.3			
N° 200	0.074	3.7	5.6	4	-	8
- N° 200	ASTM C 117 - 04	5.6	-			

Nota: Resultado de la gradación MAC 2 de la mezcla patrón, de acuerdo con lo especificado en el Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción- Tabla 423-03-MTC, 2013. Elaborado por los autores.

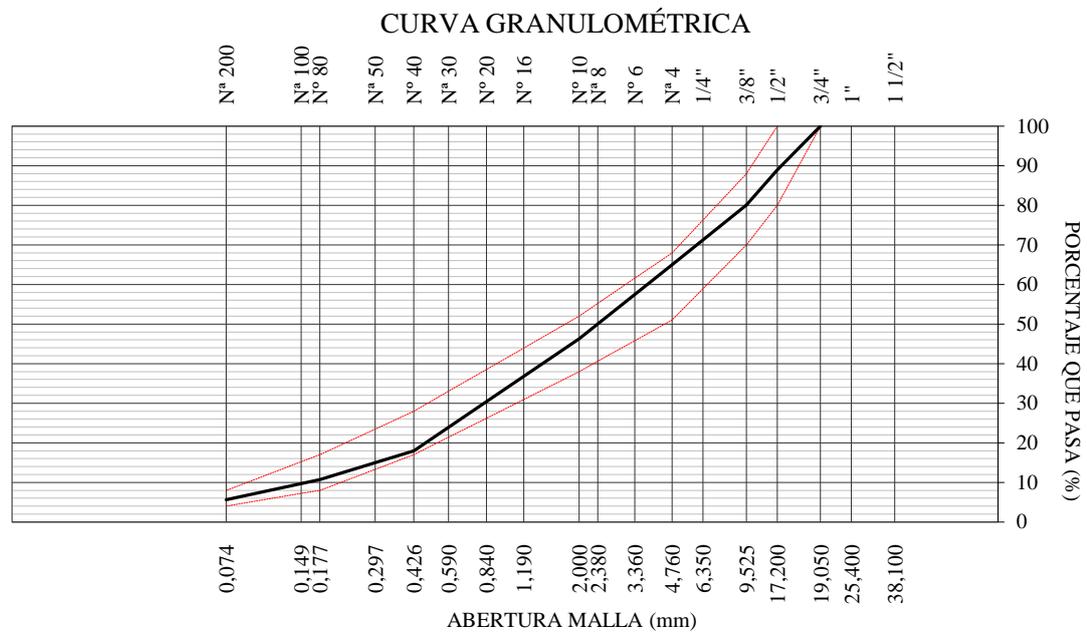


Figura 31. Curva granulométrica de la gradación MAC-2 de la mezcla asfáltica patrón. Elaborado por los autores.

Según lo determinado en la gradación MAC-2, las proporciones para el agregado grueso es 35% y el agregado fino es 65%.

### **Elaboración de Briquetas**

Las 15 briquetas se preparan en un molde de base plana, collar de extensión cilíndricos con un diámetro interior de 101.6 mm (4") y una altura aproximada de 76.2 mm. Para determinar la cantidad de agregados pétreos se pesa los agregados gruesos y finos según el porcentaje obtenidos en el MAC-2 en gramos, la cual tienen la misma dosificación en los agregados pétreos pero distinto contenido de asfalto, donde van desde 5% hasta 7%. Sumando un peso total de los agregados y el cemento asfáltico de 1160 gramos para la elaboración de cada briqueta.

Tabla 42.  
*Dosificación de la Mezcla Convencional*

Identificación		La Gloria , Piedra Chancada		La Gloria , Arena Chancada		Cal Hidratada		Peso Total (g)				
Porcentaje de Aporte		35%		65%								
Mallas												
Serie	Abertura (min)	Retenid o (%)	Peso (g)	Retenid o (%)	Peso (g)	Retenid o (%)	Peso (g)	Retenid o (%)	Peso (g)	Retenid o (%)	Peso (g)	1160
1 1/2"	38.1											
1"	25.4	2.3	9.3									9.3
			132.									
3/4"	19.1	32.7	8									132.8
1/2"	12.7	20.7	84.0									84.0
3/8"	9.5	16.3	66.2									66.2
			105.									
1/4"	6.4	26.0	6									105.6
N°4	4.8	2.0	8.1									8.1
< N° 4	<4.75	0.0	0.0	100.0	754.0	100.0		100.0		100.0	0.0	754.0
<b>Totales</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>1160.0</b>

Porcentaje de los Materiales en la Mezcla (%)	Piedra	35%	Arena	65%	Filler	0.0
Cemento Asfáltico	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	
Piedra	33.4	33.2	33.1	32.9	32.7	
Arena	62.1	61.8	61.4	61.1	60.8	
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

Pesos de Materiales					
Cemeneto Asfáltico	54.66	61.05	67.51	74.04	80.64
Agregados Pétreos	1160	1160	1160	1160	1160
<b>Total</b>	<b>1214.66</b>	<b>1221.05</b>	<b>1227.51</b>	<b>1234.04</b>	<b>1240.64</b>

**Nota:** La dosificación se divide en 35% para agregados gruesos, 65% de agregado fino.

### Equipo utilizado:

- Moldes de compactación (placa de base plana y collar de extensión)
- Martillo de compactación con base plana circular (10 lb)
- Pedestal de compactación (Pieza prismática de madera de base)
- Extractor de Muestras de Asfaltos
- Soporte para molde o porta molde
- Mordaza
- Medidor de deformación

- Prensa
- Medidor de Estabilidad
- Discos de Papel Filtrante de 4 pulg.
- Horno
- 2 recipientes de dos litros de capacidad para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.
- Tamices
- Termómetros blindados
- Balanza
- Pírex de 500 cm<sup>3</sup>
- Guantes de cuero
- Tiza para identificar las probetas
- Bandejas taradas
- Espátulas

#### Materiales

- Cemento asfáltico
- Grava y arena

#### Determinación De La Densidad Máximo Teórico (Ensayo Rice)

- Recipiente de vacío
- Balanza eléctrica
- Bomba de vacío
- Manómetro de presión residual
- Dispositivo para agitación mecánica

#### Materiales

- Muestra de ensayo

#### **Procedimiento:**

1.-Una vez lavado y secado el material hasta obtener un peso constante se procede a pesar cada uno de los agregados de acuerdo con la dosificación, en total se preparan 15 muestras.



Figura 32. Peso de los agregados según dosificación

2.- Las 15 muestras se llevan al horno hasta que tengan una temperatura de 160 °C, se calienta en el horno el cemento asfáltico hasta que tenga una viscosidad fluida con una temperatura igual a la de los agregados. Se procede a limpiar y aceitar los moldes de compactación para luego calentarlos en el horno.



Figura 33. Peso de los agregados según dosificación

3.- Se procede a pesar y agregar el porcentaje de cemento asfáltico para realizar la mezcla hasta que se tenga una masa uniforme.



Figura 34. Mezcla de los agregados y el cemento asfáltico.

4.- Se coloca un papel filtro que este aceitado en la base del molde se coloca en el martillo compactador y llena la mezcla en los moldes de compactación. Para este diseño se considera un tráfico pesado por lo cual se aplica 75 golpes en cada cara de la briqueta.



Figura 35. Compactación de la mezcla asfáltica patrón

5.-Una vez terminado de compactar las muestras se deja al ambiente externo para luego extraer el espécimen del molde y se coloca la codificación correspondiente con una tiza.



Figura 36.Extracción del espécimen del molde y codificación de las briquetas

6.- Con un vernier se mide la altura de las briquetas en tres posiciones distintas.



Figura 37.Medición de la altura de la briqueta

7.- Densidad Bulk de las mezclas compactadas. - Se procede a tomar el peso seco de las briquetas y luego se colocan en agua por 4 min cada briqueeta se seca con un trapo y se procede a pesar. Para el peso sumergido se toma los datos cuando se sumerge en agua la briqueeta, la temperatura del agua debe estar en 25 °C.



Figura 38. Peso seco de la briqueeta y peso sumergido.

8.- Se colocan las briquetas en un baño maría a 60 °C por 30 min.



Figura 39. Baño maría de las briquetas a 60 °C por 30 min.

9.-Ensayo de Estabilidad y Flujo.- Se extraen las briquetas del baño maría se secan con un trapo y se colocan en las mordazas del aparato Marshall con la cual se aplicará una carga y procede a tomar lectura de estabilidad y flujo.

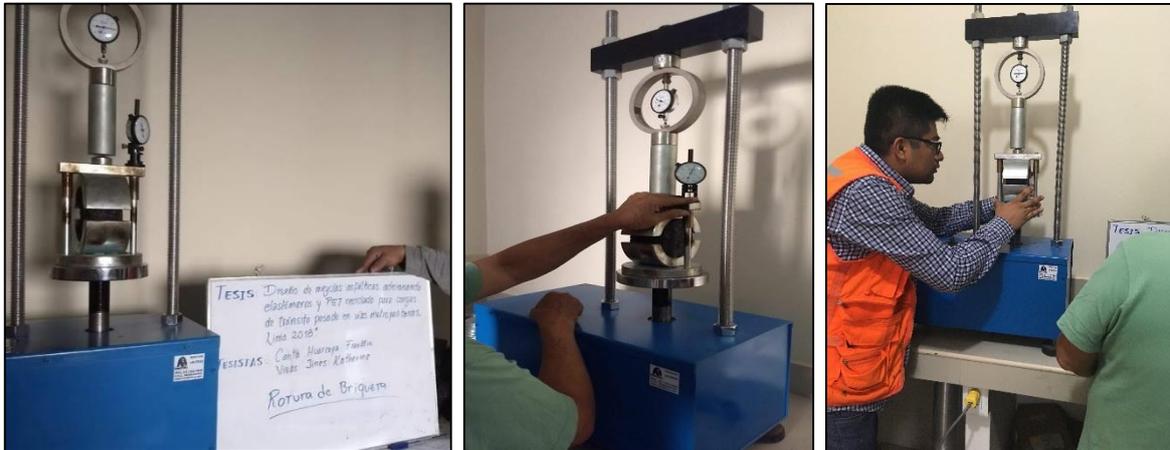


Figura 40. Ensayo de Estabilidad y Flujo

10.- Densidad máximo teórico.- Se realiza el ensayo Rice de las mezclas en caliente sin compactar, donde se dejan enfriar las muestras con diferentes porcentajes de cemento asfáltico a temperatura ambiente, la cual se colocará al recipiente de vacíos, se pesa y se agrega agua a 25 °C hasta cubrir la muestra completamente.

Removemos para liberar el aire atrapado en la muestra, luego tapamos y colocamos en el dispositivo donde se aplica la agitación progresiva de vacíos hasta presión residual del manómetro indique  $3,7 \pm 0,3\text{kpa}$  (30mm Hg) durante un periodo de 15 min. En ese periodo a través del dispositivo mantenemos la agitación después de la eliminación del aire atrapado se llena el recipiente de vacío con agua y se pesa.



Figura 41. Ensayo de Rice

Tabla 43.  
*Características del Método Marshall de la mezcla convencional*

<b>CARACTERÍSTICAS MÉTODO MARSHALL</b>					
N° DE GOLPES			75		
CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO		(%)	6.3	6.4	6.5
ESTABILIDAD	(kg)	(ASTM D 6927)	925.85	925.48	925.10
FLUJO	(mm)	(ASTM D 6927)	2.5	2.51	2.52
VACÍOS DE AIRE	(%)	(ASTM D 3203)	4.95	4.96	4.96
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A)	(%)	(ASTM D 6926)	19.24	19.36	19.5
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	(%)	(ASTM D 6926)	74.27	74.41	74.6
RELACIÓN POLVO / ASFALTO		(ASTM D 6926)		1.27	
ESTABILIDAD / FLUJO	(kg/cm)	(ASTM D 6927)	3710	3691	3673
TEMPERATURA DE ROTURA	(°C)			60.0	

*Nota:* Resultado del diseño de mezcla Marshall convencional con el 6.4% de contenido óptimo de asfalto.  
 Elaborado por los autores

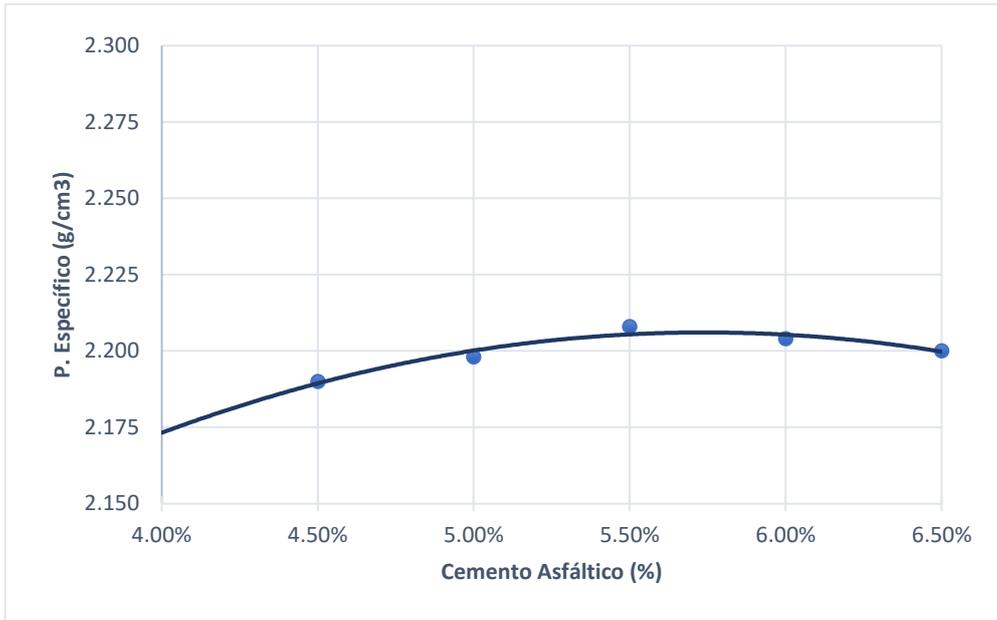


Figura 42. Curva de Peso Especifico Bulk vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

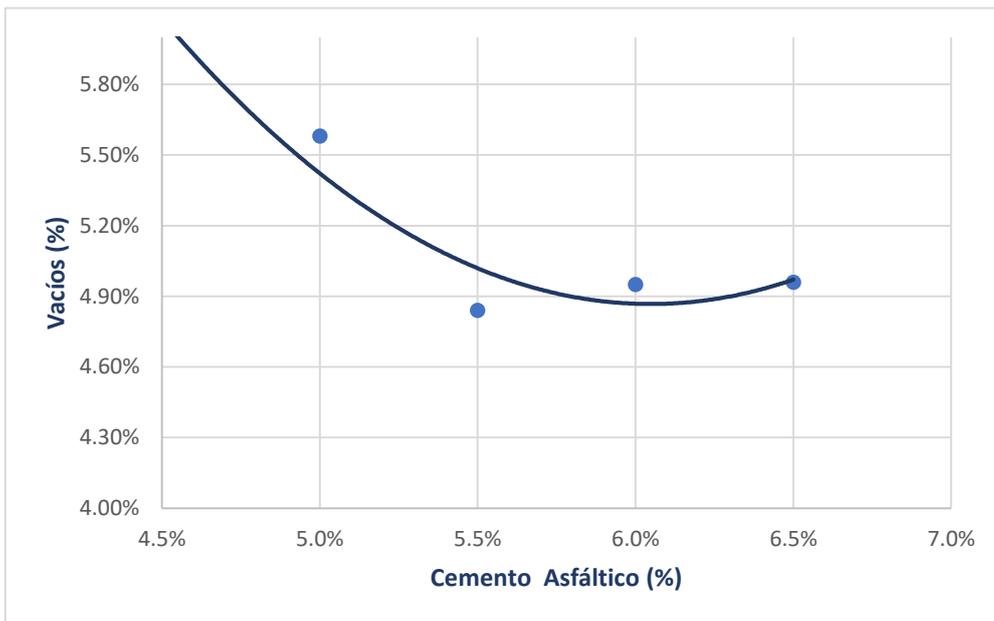


Figura 43. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

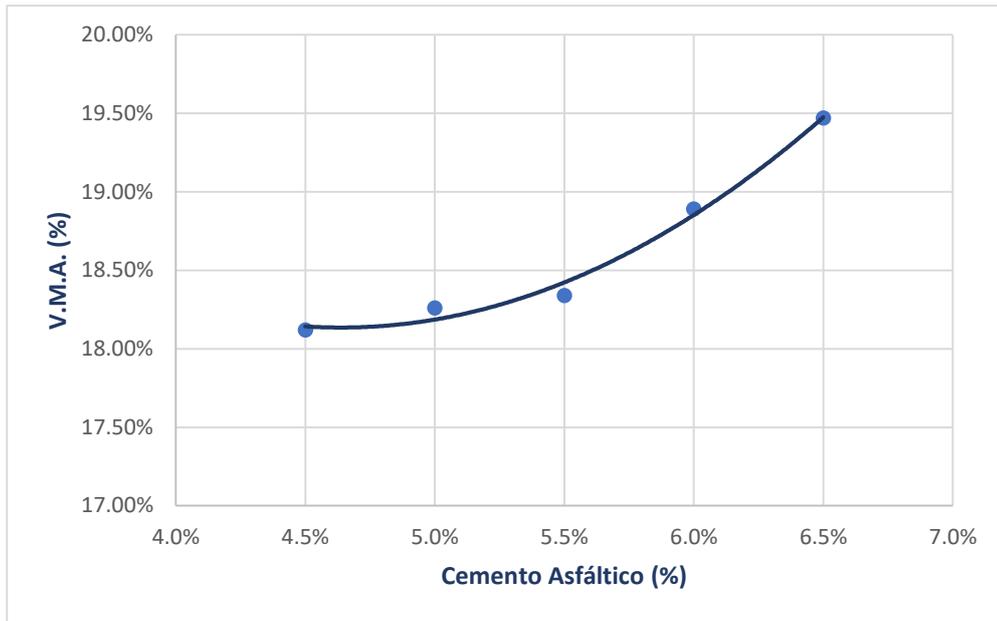


Figura 44. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

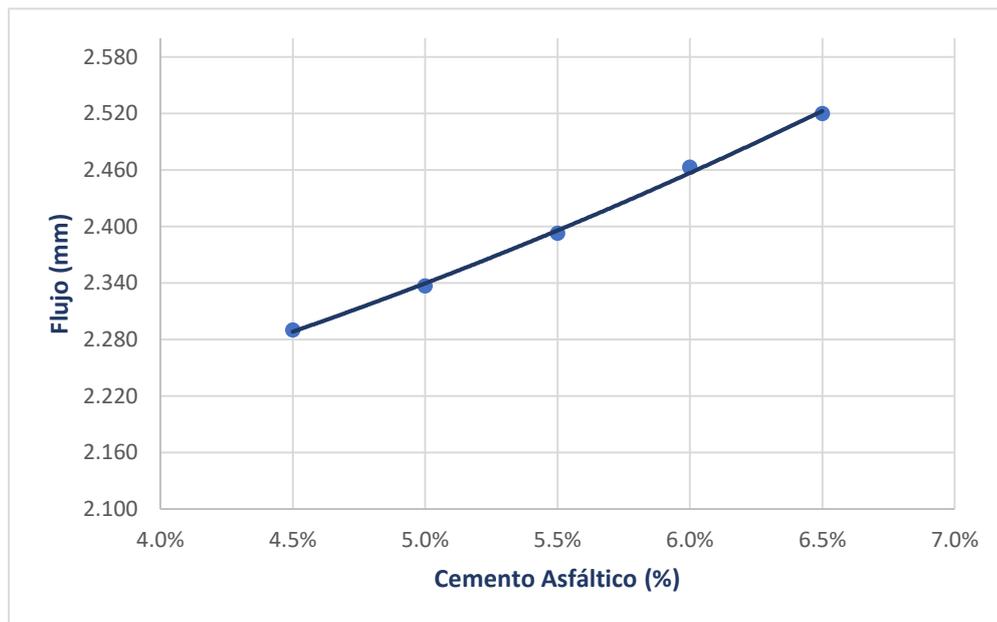


Figura 45. Curva de Flujo (mm) vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

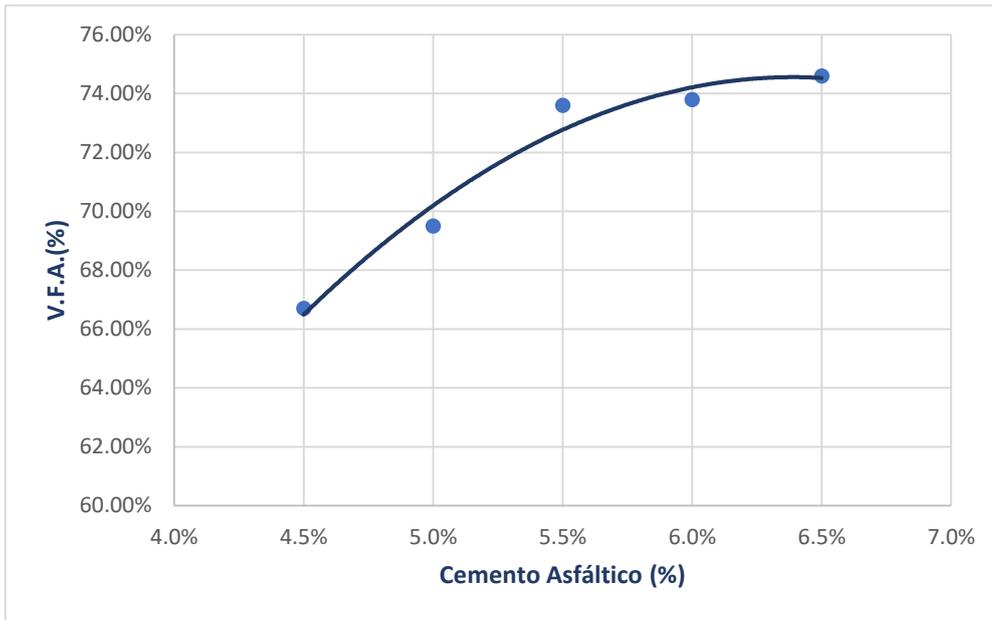


Figura 46. Curva de Vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

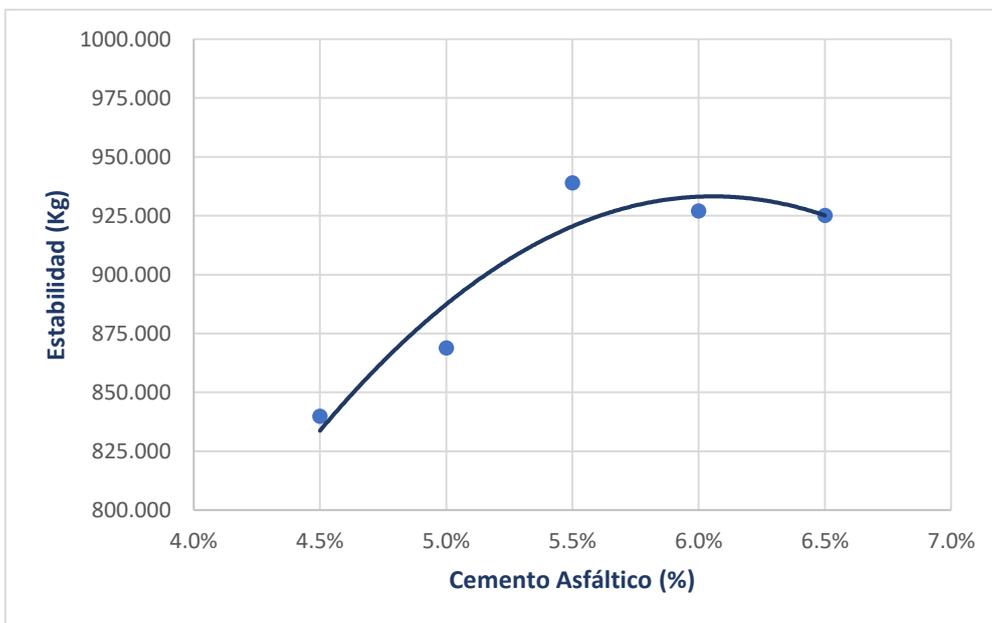


Figura 47. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

Tabla 44.  
Cálculos del Diseño Marshall

DESCRIPCIÓN	MUESTRAS (BRIQUETAS)																				
	Unidad	1A	1B	1C	Prom.	2A	2B	2C	Prom.	3A	3B	3C	Prom.	4A	4B	4C	Prom.	5A	5B	5C	Prom.
CEMENTO ASFÁLTICO TOTAL EN LA MEZCLA	(%)		4.50		4.50		5.00		5.00		5.50		5.50		6.00		6.00		6.50		6.50
AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		33.43		33.43		33.25		33.25		33.08		33.08		32.90		32.90		32.73		32.73
AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		61.75		61.75		61.75		61.75		61.43		61.43		61.10		61.10		60.78		60.78
ELASTÓMEROS	(%)																				
PET RECICLADO	(%)																				
FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO - APARENTE	(g/cm3)		1.021		1.021		1.021		1.021		1.021		1.021		1.021		1.021		1.021		1.021
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (< 1")	(g/cm3)		2.640		2.64		2.640		2.64		2.640		2.64		2.640		2.64		2.640		2.64
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	(g/cm3)		2.511		2.511		2.511		2.511		2.511		2.511		2.511		2.511		2.511		2.511
PESO ESPECÍFICO DEL ELASTÓMERO	(g/cm3)				0				0				0				0				0
PESO ESPECÍFICO DEL PET	(g/cm3)				0				0				0				0				0
PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	(g/cm3)		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0
ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	(cm)	7.00	6.36	7.12	6.83	6.35	6.37	6.44	6.3867	6.36	6.35	7.21	6.64	6.35	6.55	6.62	6.5067	6.55	6.44	6.56	6.517
PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1)	(g)	1190.20	1188.20	1185.20	1187.87	1185.5	1183.2	1180.2	1183.0	1189.50	1190.50	1189.75	1189.92	1189.00	1185.00	1186.50	1186.8	1187.30	1185.60	1187.50	1186.8
PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2)	(g)	1175.60	1172.40	1173.90	1173.97	1165	1169.2	1168.9	1167.7	1167.80	1165.50	1164.20	1165.8	1169.90	1169.38	1170.90	1170.1	1172.60	1168.90	1169.30	1170.27
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA	(g)	633.00	629.90	632.10	631.67	631.2	629.8	627.5	629.5	625.00	628.00	627.50	627.5	633.00	629.80	632.10	631.63	633.00	631.80	627.80	630.87
VOLUMEN DE LA BRIQUETA	(cm3)	542.60	542.50	541.80	542.30	533.8	539.4	541.4	538.2	542.80	537.50	536.70	539.0	536.90	539.58	538.80	538.43	539.60	537.10	541.50	539.4
PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	(g/cm3)	2.19	2.19	2.19	2.190	2.22	2.19	2.18	2.198	2.19	2.21	2.22	2.208	2.21	2.20	2.20	2.204	2.20	2.21	2.19	2.200
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (MTC E 508)	(g/cm3)		2.4003		2.40		2.3762		2.38		2.3595		2.3595		2.3435		2.3435		2.3272		2.3272
MÉTODO RICE			2.331		2.33		2.328		2.33		2.320		2.32		2.319		2.319		2.315		2.315
VACÍOS	(%)	5.90	6.04	6.16	6.03	4.60	5.78	6.36	5.58	5.54	4.53	4.45	4.84	4.50	5.30	5.04	4.95	4.95	4.65	5.27	4.96
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	(g/cm3)		2.555		2.555		2.555		2.555		2.555		2.555		2.555		2.555		2.555		2.555
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A.)	(%)	18.0	18.1	18.2	18.12	17.4	18.4	18.9	18.26	18.9	18.1	18.0	18.34	18.5	19.2	19.0	18.89	19.5	19.2	19.7	19.47
VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (VFA)	(%)	67.24	66.69	66.24	66.7	73.57	68.66	66.41	69.5	70.73	74.93	75.28	73.6	75.68	72.40	73.43	73.8	74.56	75.81	73.30	74.6
PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	(g/cm3)		2.128		2.128		2.117		2.117		2.108		2.108		2.101		2.101		2.095		2.095
ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	(%)		0.427		0.427		0.438		0.438		0.447		0.447		0.454		0.454		0.460		0.460
ASFALTO EFECTIVO	(%)		4.093		4.093		4.584		4.584		5.078		5.078		5.573		5.573		6.070		6.070
RELACIÓN POLVO / ASFALTO			1.857		1.857		1.658		1.658		1.497		1.497		1.364		1.364		1.252		1.252
FLUJO	(mm)	2.2	2.32	2.35	2.290	2.23	2.48	2.3	2.337	2.3	2.38	2.5	2.393	2.56	2.45	2.38	2.463	2.56	2.44	2.56	2.520
ESTABILIDAD SIN CORREGIR	(kg)	895	905.6	908.5	903.03	926	924	923	924.33	1007	1014	1007.85	1009.62	998	995.8	996.5	996.77	995.4	994.8	993.98	994.73
FACTOR DE ESTABILIDAD		0.930	0.930	0.930	0.930	0.960	0.930	0.930	0.940	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930
ESTABILIDAD CORREGIDA	(kg)	832.35	842.208	844.905	839.821	888.96	859.32	858.39	868.87	936.51	943.02	937.3005	938.94	928.14	926.094	926.745	926.99	925.722	925.164	924.401	925.1
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	(kg/cm)	3783	3630	3595	3669.33	3986	3465	3732	3727.67	4072	3962	3749	3927.7	3626	3780	3894	3766.7	3616	3792	3611	3673

Para obtener el resultado del % óptimo de asfalto se calcula sacando el % promedio de todos los óptimos de cada gráfica. Para nuestra investigación el porcentaje óptimo de asfalto estaría cercano a 6.4. %, la cual realizando el análisis de los resultados debe cumplir con las especificaciones del Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG-2013)-Tabla 423-06-Gradación para mezcla asfáltica en caliente.

Tabla 45.

*Resultado de diseño de mezclas Marshall convencional de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-06*

<b>Parámetros Marshall MTC E-504</b>	<b>Clase de mezcla A Tráfico Pesado</b>	<b>Resultado de Diseño de Mezcla Convencional</b>	<b>Verificación</b>
<b>Contenido óptimo de asfalto</b>		6.4%	
<b>Compactación, número de golpes por lado</b>	75	75	CUMPLE
<b>Estabilidad (mínimo)</b>	8.15 KN	925.48	CUMPLE
<b>Flujo 0.01" (025 min)</b>	8-14	9.9	CUMPLE
<b>Porcentaje de vacíos con aire (1) MTC E-505</b>	3-5	4.96	CUMPLE
<b>Vacíos en el agregado mineral</b>	Tamiz 3/4" = 14% min.	19.36	CUMPLE
<b>Vacíos llenos de asfalto</b>	65-75	74.41	CUMPLE
<b>Relación Polvo - Asfalto</b>	0,6-1,3	1.27	CUMPLE
<b>Relación Estabilidad/Flujo (Kg/cm)</b>	1.700-4.000	3691.73	CUMPLE

*Nota:* Resultado del diseño de mezcla Marshall Convencional, cumpliendo con todos los parámetros.  
Elaborado por los autores

### **Diseño Marshall de la mezcla adicionada con elastómeros y PET reciclado**

Se entiende por diseño Marshall adicionada con elastómeros y PET reciclado aquellas briquetas que se elaboran con material pétreo, cemento asfáltico, elastómeros y PET reciclado.

### **Gradación de la mezcla adicionada con elastómeros y PET reciclado.**

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) adicionada con elastómeros y PET reciclado, establece la porción de agregados a utilizarse en el diseño la cual deberá cumplir con los husos granulométricos, para la siguiente investigación se realizó 3 gradaciones con porcentajes de 1%, 1.5% y 2 % de elastómeros y PET reciclado de acuerdo con las especificaciones técnicas del MAC seleccionado.

Para la investigación se utilizará la gradación de la mezcla asfáltica en caliente MAC-2 con lo cual se podrá obtener los porcentajes de agregados pétreos, elastómeros y PET reciclado. Una vez obtenido los porcentajes para la mezcla se realiza la dosificación de la mezcla en la cual los porcentajes se pasan a un peso determinado para poder realizar la mezcla donde se obtendrán 3 dosificaciones con 1%, 1.5% y 2% de elastómeros y PET reciclado.

Tabla 46.

*Granulometría Global de la mezcla adicionada con elastómero y PET al 1%*

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN ABERTURA (mm)	"Piedra Chancada"		"Arena Chancada"		"Caucho"		"Pet"		RESULTADO DE MEZCLA	
		RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)
3"	76.200										
2 1/2"	63.500										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400		100.0								
3/4"	19.050	35.0	65.0								100.0
1/2"	12.700	20.7	44.3							11.1	88.9
3/8"	9.525	16.3	28.0							8.8	80.1
1/4"	6.350	26.0	2.0							14.0	66.1
N° 4	4.760	2.0		100.0		100.0				1.1	65.0
N° 6	3.360			7.4	92.6	0.4	99.6			4.7	60.3
N° 8	2.380			14.5	78.1	5.50	94.1			9.2	51.1
N° 10	2.000			6.9	71.2	4.40	89.7		100.00	4.3	46.8
N° 16	1.190			20.3	50.9	41.80	47.9	80.20	19.80	14.0	32.8
N° 20	0.840			8.9	42.0	25.00	22.9	13.60	6.20	6.0	26.8
N° 30	0.590			8.0	34.0	12.00	10.9	4.60	1.60	5.3	21.5
N° 40	0.426			6.3	27.7	4.40	6.5	1.50	0.10	3.9	17.6
N° 50	0.297			5.1	22.6	2.40	4.1	0.10		3.4	14.2
N° 80	0.177			6.1	16.5	2.00	2.1			3.8	10.4
N° 100	0.149			2.2	14.3	0.40	1.7			1.4	9.0
N° 200	0.074			5.7	8.6	0.80	0.9			3.6	5.4
-200	-			8.6	-	0.9				5.4	-
		35.0		63.0		1.0		1.0			

Nota: Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global. Elaborado por los autores.

Tabla 47.

Gradación MAC-2 de la Mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 1%

MALLAS		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
SERIE	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN		MAC-2
AMERICANA						
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050		100.0	100		
1/2"	12.700	11.1	88.9	80	-	100
3/8"	9.525	8.8	80.1	70	-	88
1/4"	6.350	14.0	66.1			
N° 4	4.760	1.1	65.0	51	-	68
N° 6	3.360	4.7	60.3			
N° 8	2.380	9.2	51.1			
N° 10	2.000	4.3	46.8	38	-	52
N° 16	1.190	14.0	32.8			
N° 20	0.840	6.0	26.8			
N° 30	0.590	5.3	21.5			
N° 40	0.426	3.9	17.6	17	-	28
N° 50	0.297	3.4	14.2			
N° 80	0.177	3.8	10.4	8	-	17
N° 100	0.149	1.4	9.0			
N° 200	0.074	3.6	5.4	4	-	8
- N° 200	ASTM C 117 - 04	5.4	-			

Nota: Resultado de la gradación MAC 2 de la mezcla patrón, de acuerdo con lo especificado en el Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción- Tabla 423-03-MTC, 2013. Elaborado por los autores

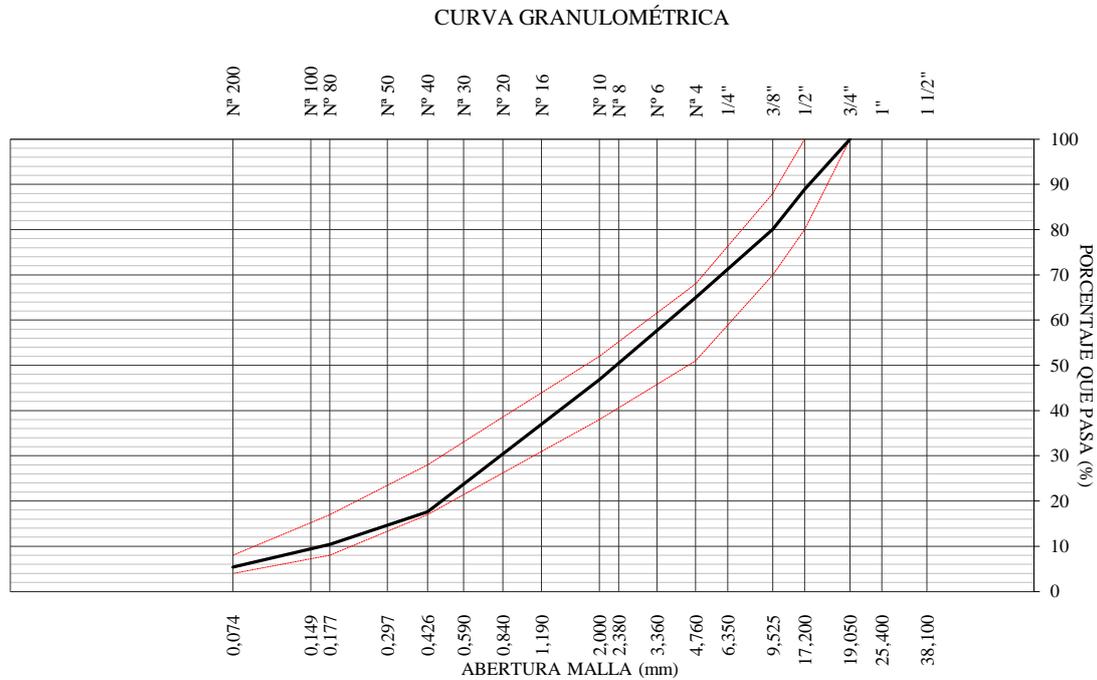


Figura 48. Curva granulométrica de la gradación MAC-2 de la mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado al 1%. Elaborado por los autores.

De acuerdo con lo determinado en la gradación MAC-2, las proporciones para cada agregado son:

Agregado grueso: 35%

Agregado fino: 63%

Elastómero: 1%

PET: 1%

Tabla 48.

*Dosificación de la Mezcla Adicionada con Elastómeros y PET reciclado al 1%*

Identificación	La Gloria, Piedra Chancada		La Gloria, Arena Chancada		Caucho		Pet				Peso Total (g)	
Porcentaje de Aporte	35%		63%		1%		1%					
Mallas		Retenido (%)	Peso (g)	Retenido (%)	Peso (g)	Retenido (%)	Peso (g)	Retenido (%)	Peso (g)	Retenido (%)	Peso (g)	1160
Serie	Abertura (min)											
Americana												
1 1/2"	38.1											
1"	25.4											
3/4"	19.1	35.0	142.1									142.1
1/2"	12.7	20.7	84.0									84.0
3/8"	9.5	16.3	66.2									66.2
1/4"	6.4	26.0	105.6									105.6
N°4	4.8	2.0	8.1									8.1
< N° 4	<4.75	0.0	0.0	100.0	730.8	100.0	11.6	100.0	11.6	100.0	0.0	754.0
<b>Total</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>1160.0</b>

Porcentaje de los Materiales en la Mezcla (%)	Piedra	35%	Arena	65%	Filler	0.0
Cemento Asfáltico	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	
Piedra	33.4	33.2	33.1	32.9	32.7	
Arena	62.1	61.8	61.4	61.1	60.8	
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

Pesos de Materiales						
Cemeneto Asfáltico	54.66	61.05	67.51	74.04	80.64	
Agregados Pétreos	1160	1160	1160	1160	1160	
<b>Total</b>	<b>1214.66</b>	<b>1221.05</b>	<b>1227.51</b>	<b>1234.04</b>	<b>1240.64</b>	

*Nota:* La dosificación se divide en 35% para agregados gruesos, 63% de agregado fino, con 1% de caucho y 1% de PET.

Tabla 49.

*Granulometría Global de la mezcla adicionada con elastómero y PET al 1.5 %*

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	"Piedra Chancada"		"Arena Chancada"		"Caucho"		"Pet"		RESULTADO DE MEZCLA	
		ABERTURA (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)
3"	76.200										
2 1/2"	63.500										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400		100.0								
3/4"	19.050	35.0	65.0								100.0
1/2"	12.700	20.7	44.3							11.1	88.9
3/8"	9.525	16.3	28.0							8.8	80.1
1/4"	6.350	26.0	2.0							14.0	66.1
N° 4	4.760	2.0			100.0		100.0			1.1	65.0
N° 6	3.360			7.4	92.6	0.4	99.6			4.6	60.4
N° 8	2.380			14.5	78.1	5.50	94.1			9.1	51.3
N° 10	2.000			6.9	71.2	4.40	89.7		100.00	4.4	46.9
N° 16	1.190			20.3	50.9	41.80	47.9	80.20	19.80	14.3	32.6
N° 20	0.840			8.9	42.0	25.00	22.9	13.60	6.20	6.2	26.4
N° 30	0.590			8.0	34.0	12.00	10.9	4.60	1.60	5.1	21.3
N° 40	0.426			6.3	27.7	4.40	6.5	1.50	0.10	4.0	17.3
N° 50	0.297			5.1	22.6	2.40	4.1	0.10		3.2	14.1
N° 80	0.177			6.1	16.5	2.00	2.1			3.9	10.2
N° 100	0.149			2.2	14.3	0.40	1.7			1.3	8.9
N° 200	0.074			5.7	8.6	0.80	0.9			3.6	5.3
-200	-			8.6		0.9				5.3	-
			35.0		62.0		1.5		1.5		

*Nota:* Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global. Elaborado por los autores.

Tabla 50.

Gradación MAC-2 de la Mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 1.5%

MALLAS		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
SERIE	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN		MAC-2
AMERICANA						
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050		100.0	100		
1/2"	12.700	11.1	88.9	80	-	100
3/8"	9.525	8.8	80.1	70	-	88
1/4"	6.350	14.0	66.1			
N° 4	4.760	1.1	65.0	51	-	68
N° 6	3.360	4.6	60.4			
N° 8	2.380	9.1	51.3			
N° 10	2.000	4.4	46.9	38	-	52
N° 16	1.190	14.3	32.6			
N° 20	0.840	6.2	26.4			
N° 30	0.590	5.1	21.3			
N° 40	0.426	4.0	17.3	17	-	28
N° 50	0.297	3.2	14.1			
N° 80	0.177	3.9	10.2	8	-	17
N° 100	0.149	1.3	8.9			
N° 200	0.074	3.6	5.3	4	-	8
- N° 200	ASTM C 117 - 04	5.3	-			

Nota: Resultado de la gradación MAC 2 de la mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 1.5%, de acuerdo con lo especificado en el Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción-Tabla 423-03-MTC, 2013. Elaborado por los autores

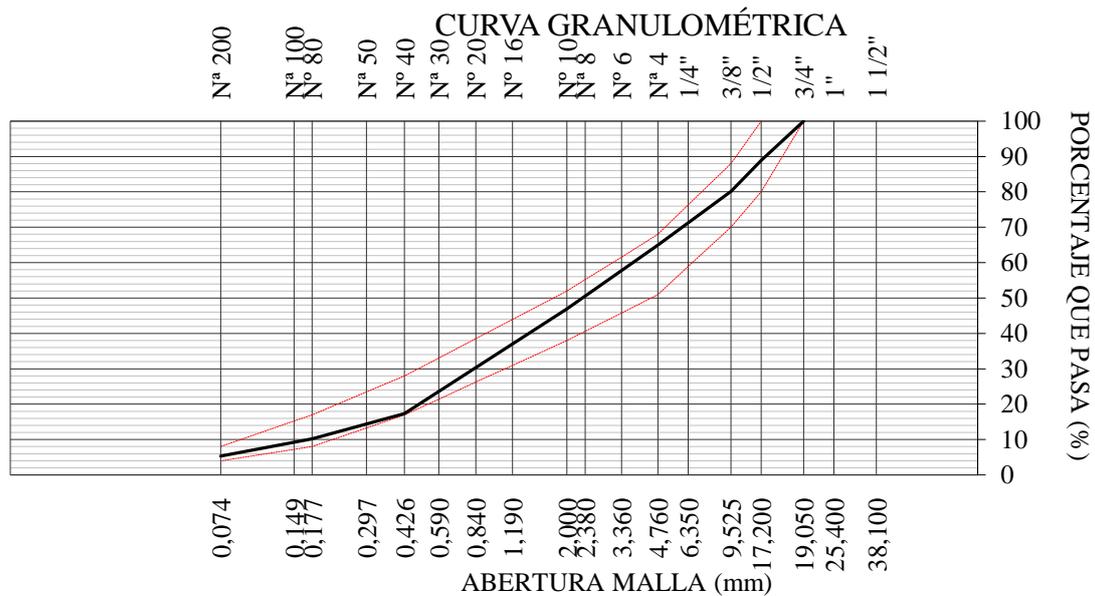


Figura 49. Curva granulométrica de la gradación MAC-2 de la mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado al 1.5%. Elaborado por los autores.

De acuerdo con lo determinado en la gradación MAC-2, las proporciones para cada agregado son:

Agregado grueso: 35%

Agregado fino: 62%

Elastómero: 1.5%

PET: 1.5%

Tabla 51.

*Dosificación de la Mezcla Adicionada con Elastómeros y PET reciclado al 1.5%*

Identificación		La Gloria, Piedra Chancada		La Gloria, Arena Chancada		Caucho		Pet		Peso Total (g)		
Porcentaje de Aporte		35%		62%		1.50%		1.50%				
Mallas		Retenido	Peso	Retenido	Peso	Retenido	Peso	Retenido	Peso	Retenido	Peso	1160
Serie	Abertura (min)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
Americana												
1 1/2"	38.1											
1"	25.4											
3/4"	19.1	35.0	142.1									142.1
1/2"	12.7	20.7	84.0									84.0
3/8"	9.5	16.3	66.2									66.2
1/4"	6.4	26.0	105.6									105.6
N°4	4.8	2.0	8.1									8.1
< N° 4	<4.75	0.0	0.0	100.0	719.2	100.0	17.4	100.0	17.4	100.0	0.0	754.0
<b>Totales</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>1160.0</b>
<b>Porcentaje de los Materiales en la Mezcla (%)</b>		<b>Piedra</b>		<b>35%</b>		<b>Arena</b>		<b>65%</b>		<b>Filler</b>		<b>0.0</b>
Cemento Asfáltico		4.5		5.0		5.5		6.0		6.5		
Piedra		33.4		33.2		33.1		32.9		32.7		
Arena		62.1		61.8		61.4		61.1		60.8		
<b>Total</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		
<b>Pesos de Materiales</b>												
Cemento Asfáltico		54.66		61.05		67.51		74.04		80.64		
Agregados Pétreos		1160		1160		1160		1160		1160		
<b>Total</b>		<b>1214.66</b>		<b>1221.05</b>		<b>1227.51</b>		<b>1234.04</b>		<b>1240.64</b>		

Nota: La dosificación se divide en 35% para agregados gruesos, 62% de agregado fino, con 1.5% de caucho y 1.5% de PET.

Tabla 52.

*Granulometría Global de la mezcla adicionada con elastómero y PET al 2%*

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	"Piedra Chancada"		"Arena Chancada"		"Caucho"		"Pet"		RESULTADO DE MEZCLA	
		ABERTURA (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)
3"	76.200										
2 1/2"	63.500										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400		100.0								
3/4"	19.050	35.0	65.0								100.0
1/2"	12.700	20.7	44.3							11.1	88.9
3/8"	9.525	16.3	28.0							8.8	80.1
1/4"	6.350	26.0	2.0							14.0	66.1
N° 4	4.760	2.0			100.0		100.0			1.1	65.0
N° 6	3.360			7.4	92.6	0.4	99.6			4.5	60.5
N° 8	2.380			14.5	78.1	5.50	94.1			9.0	51.5
N° 10	2.000			6.9	71.2	4.40	89.7		100.00	4.3	47.2
N°16	1.190			20.3	50.9	41.80	47.9	80.20	19.80	14.8	32.4
N° 20	0.840			8.9	42.0	25.00	22.9	13.60	6.20	6.2	26.2
N° 30	0.590			8.0	34.0	12.00	10.9	4.60	1.60	5.3	20.9
N° 40	0.426			6.3	27.7	4.40	6.5	1.50	0.10	3.9	17.0
N° 50	0.297			5.1	22.6	2.40	4.1	0.10		3.1	13.9
N° 80	0.177			6.1	16.5	2.00	2.1			3.8	10.1
N° 100	0.149			2.2	14.3	0.40	1.7			1.4	8.7
N° 200	0.074			5.7	8.6	0.80	0.9			3.5	5.2
-200	-			8.6		0.9				5.2	-
			35.0		61.0		2.0		2.0		

*Nota:* Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global. Elaborado por los autores.

Tabla 53.

*Gradación MAC-2 de la Mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 2%*

MALLAS		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
SERIE	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN		MAC-2
AMERICANA						
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050		100.0	100		
1/2"	12.700	11.1	88.9	80	-	100
3/8"	9.525	8.8	80.1	70	-	88
1/4"	6.350	14.0	66.1			
N° 4	4.760	1.1	65.0	51	-	68
N° 6	3.360	4.5	60.5			
N° 8	2.380	9.0	51.5			
N° 10	2.000	4.3	47.2	38	-	52
N° 16	1.190	14.8	32.4			
N° 20	0.840	6.2	26.2			
N° 30	0.590	5.3	20.9			
N° 40	0.426	3.9	17.0	17	-	28
N° 50	0.297	3.1	13.9			
N° 80	0.177	3.8	10.1	8	-	17
N° 100	0.149	1.4	8.7			
N° 200	0.074	3.5	5.2	4	-	8
- N° 200	ASTM C 117 - 04	5.2	-			

Nota: Resultado de la gradación MAC 2 de la mezcla adicionada con elastómeros y PET reciclado, de acuerdo con lo especificado en el Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción- Tabla 423-03-MTC, 2013. Elaborado por los autores

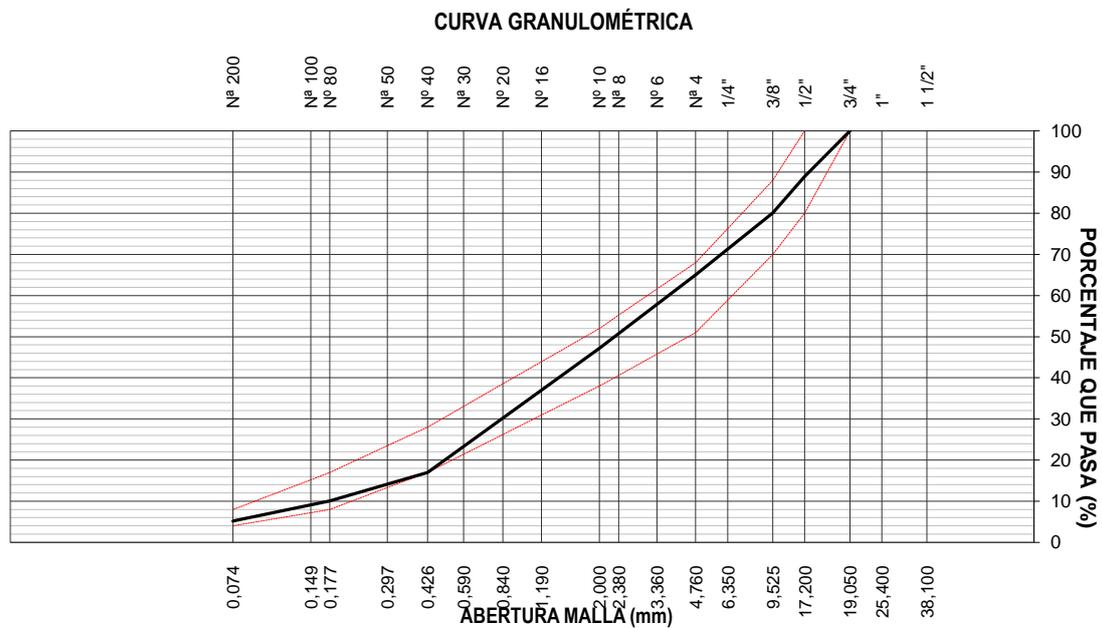


Figura 50. Curva granulométrica de la gradación MAC-2 de la mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado al 2%. Elaborado por los autores.

De acuerdo con lo determinado en la gradación MAC-2, las proporciones para cada agregado son:

Agregado grueso: 35%

Agregado fino: 61%

Elastómero: 2%

PET: 2%

Tabla 54.

*Dosificación de la Mezcla Adicionada con Elastómeros y PET reciclado al 2%*

Identificación		La Gloria, Piedra Chancada		La Gloria, Arena Chancada		Caucho		Pet		Peso Total (g)		
Porcentaje de Aporte		35%		61%		2%		2%				
Mallas		Retenido	Peso	Retenido	Peso	Retenido	Peso	Retenido	Peso	Retenido	Peso	1160
Serie Americana	Abertura (min)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
1 1/2"	38.1											
1"	25.4											
3/4"	19.1	35.0	142.1									142.1
1/2"	12.7	20.7	84.0									84.0
3/8"	9.5	16.3	66.2									66.2
1/4"	6.4	26.0	105.6									105.6
N°4	4.8	2.0	8.1									8.1
<N° 4	<4.75	0.0	0.0	100.0	707.6	100.0	23.2	100.0	23.2	100.0	0.0	754.0
<b>Totales</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>1160.0</b>

Porcentaje de los Materiales en la Mezcla (%)	Piedra	35%	Arena	65%	Filler	0.0
Cemento Asfáltico	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	
Piedra	33.4	33.2	33.1	32.9	32.7	
Arena	62.1	61.8	61.4	61.1	60.8	
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

Pesos de Materiales					
Cemento Asfáltico	54.66	61.05	67.51	74.04	80.64
Agregados Pétreos	1160	1160	1160	1160	1160
<b>Total</b>	<b>1214.66</b>	<b>1221.05</b>	<b>1227.51</b>	<b>1234.04</b>	<b>1240.64</b>

*Nota:* La dosificación se divide en 35% para agregados gruesos, 61% de agregado fino, con 2% de caucho y 2% de PET.

**Procedimiento:**

1.-Una vez lavado y secado el material pétreo hasta obtener un peso constante se procede a pesar cada uno de los agregados y adicionantes la cual tendrán en conjunto un peso total de 1160 gramos. Se van a preparar 15 muestras por cada porcentaje adicionado de elastómero y PET al 1%, 1.5% y 2%.



Figura 51. Peso de los agregados según dosificación

2.- Las 15 muestras se llevan al horno hasta que tengan una temperatura de 160 °C, se calienta en el horno el cemento asfáltico hasta que tenga una viscosidad fluida con una temperatura igual a la de los agregados. Se procede a limpiar y aceitar los moldes de compactación para luego calentarlos en el horno.



Figura 52. Muestras llevadas al horno

3.- Se procede a pesar y agregar el porcentaje de cemento asfáltico para realizar la mezcla hasta que se tenga una masa uniforme.



Figura 53. Mezcla de los agregados y el cemento asfáltico.

4.- Se coloca un papel filtro que este aceitado en la base del molde se coloca en el martillo compactador y llena la mezcla en los moldes de compactación. Para este diseño se considera un tráfico pesado por lo cual se aplica 75 golpes en cada cara de la briqueta.

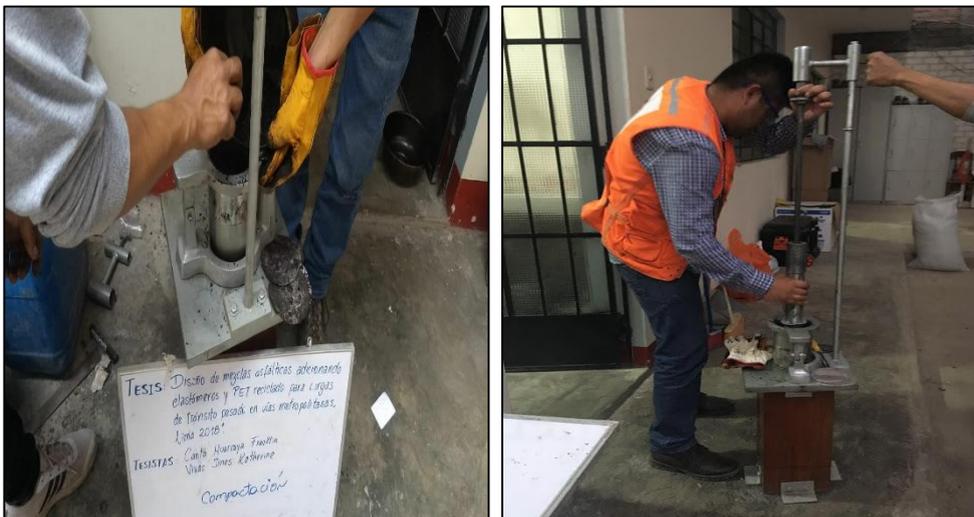


Figura 54. Compactación de la mezcla asfáltica patrón

5.-Una vez terminado de compactar las muestras se deja a temperatura ambiente para luego extraer el espécimen del molde y se coloca la codificación correspondiente con una tiza.



Figura 55.Extracción del espécimen del molde y codificación de las briquetas

6.- Con un vernier se mide la altura de las briquetas en tres posiciones distintas.



Figura 56.Medición de la altura de la briqueta

7.- La Densidad Bulk de las mezclas compactadas. - Se procede a tomar el peso seco de las briquetas y luego se colocan en agua por 4 min cada briqueta se seca con un trapo y se procede a pesar. Para el peso sumergido se toma los datos cuando se sumerge en agua la briqueta, la temperatura del agua debe estar en 25 °C.



Figura 57. Peso seco de la briqueta y peso sumergido.

8.- Se colocan las briquetas en un baño maría a 60 °C por 30 min.



Figura 58. Baño maría de las briquetas a 60 °C por 30 min.

9.-Ensayo de Estabilidad y Flujo. - Se extraen las briquetas del baño maría se secan con un trapo y se colocan en las mordazas del aparato Marshall con la cual se aplicará una carga y procede a tomar lectura de estabilidad y flujo.

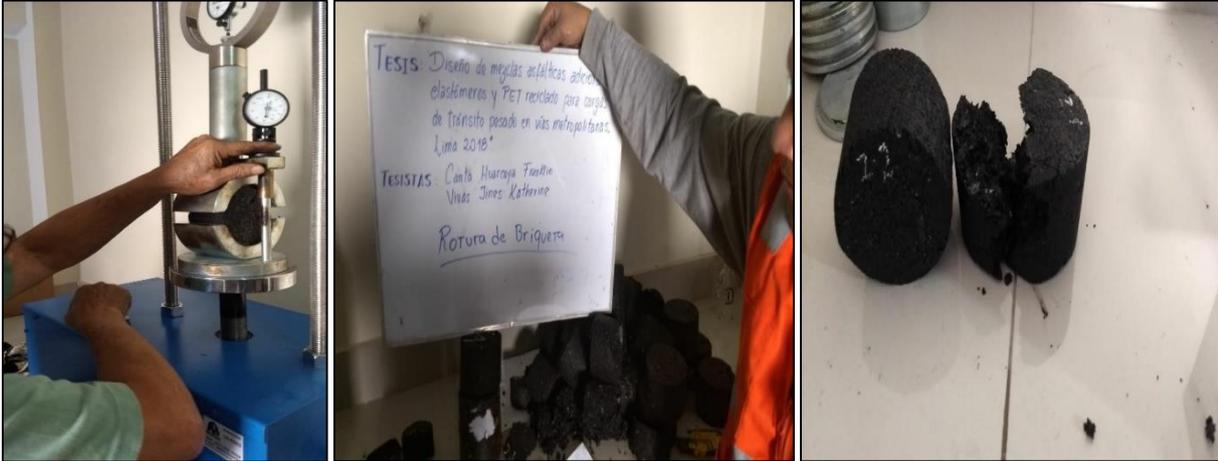


Figura 59. Ensayo de Estabilidad y Flujo

10.- Densidad máximo teórico. - Se realiza el ensayo Rice de las mezclas en caliente sin compactar, donde se dejan enfriar las muestras con diferentes porcentajes de cemento asfáltico a temperatura ambiente, la cual se coloca al recipiente de vacío, se pesa y se agrega agua a 25 °C hasta cubrir la muestra completamente.

Removemos para liberar el aire atrapado en la muestra, luego tapamos y colocamos en el dispositivo donde se aplica la agitación progresiva de vacíos hasta presión residual del manómetro indique  $3,7 \pm 0,3\text{kpa}$  (30mm Hg) durante un periodo de 15 min. En ese periodo a través del dispositivo mantenemos la agitación después de la eliminación del aire atrapado se llena el recipiente de vacío con agua y se pesa.



Figura 60. Ensayo de Rice

Terminado los ensayos en el laboratorio JR GEOCONSULTORES se procesó los datos obtenidos en los ensayos la cual a continuación se detalla por cada porcentaje de elastómero y PET adicionado al agregado fino.

### **Diseño Marshall adicionada con elastómeros y PET reciclado al 1%**

El diseño se realizó con 35% de agregado grueso, 63 % de agregado fino, 1% de elastómero y 1% de PET reciclado. Se realizó el mezclado a una temperatura de 60°C y se aplicó 75 golpes en cada cara de la briqueta.

Tabla 55.

*Características del Método Marshall de la mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 1 %.*

CARACTERÍSTICAS MÉTODO MARSHALL					
N° DE					
GOLPES				75	
CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO					
EN PESO		(%)	6.3	6.4	6.5
ESTABILIDAD	(kg)	(ASTM D 6927)	1317.62	1303.92	1290.22
FLUJO	(mm)	(ASTM D 6927)	4.38	7.61	7.84
VACÍOS DE AIRE	(%)	(ASTM D 3203)	5.8	5.76	5.73
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A)	(%)	(ASTM D 6926)	16.5	16.61	16.7
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	(%)	(ASTM D 6926)	64.87	65.33	65.8
RELACIÓN POLVO / ASFALTO		(ASTM D 6926)		1.26	
ESTABILIDAD / FLUJO	(kg/cm)	(ASTM D 6927)	1799.73	1722.53	1645.33
TEMPERATURA DE ROTURA	(°C)			60.0	

*Nota:* Resultado del diseño de mezcla Marshall con elastómero y PET al 1% teniendo un óptimo contenido en 6.4%. Elaborado por los autores

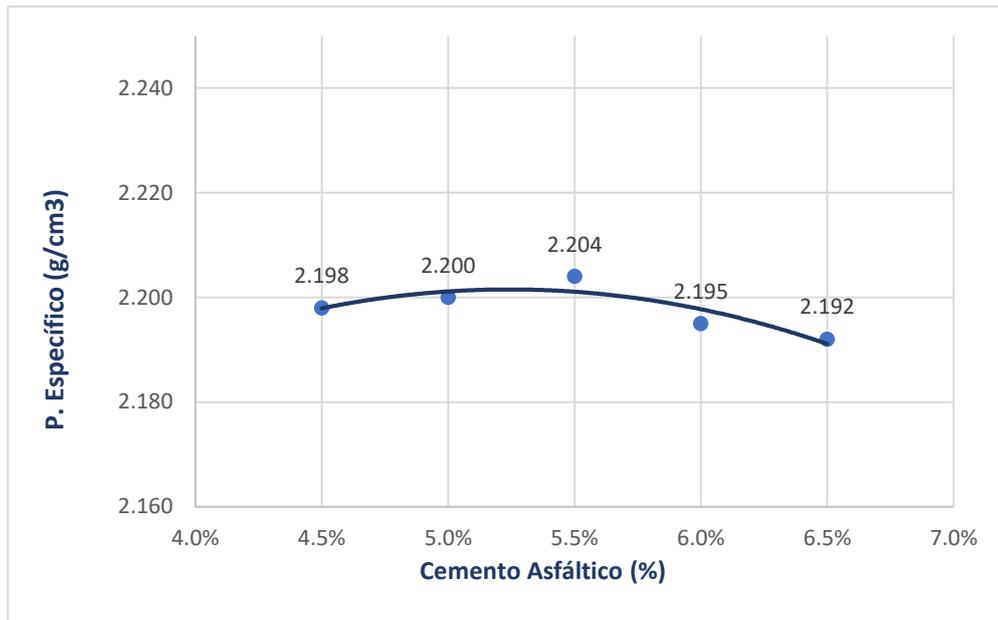


Figura 61. Curva de Peso Específico Bulk vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

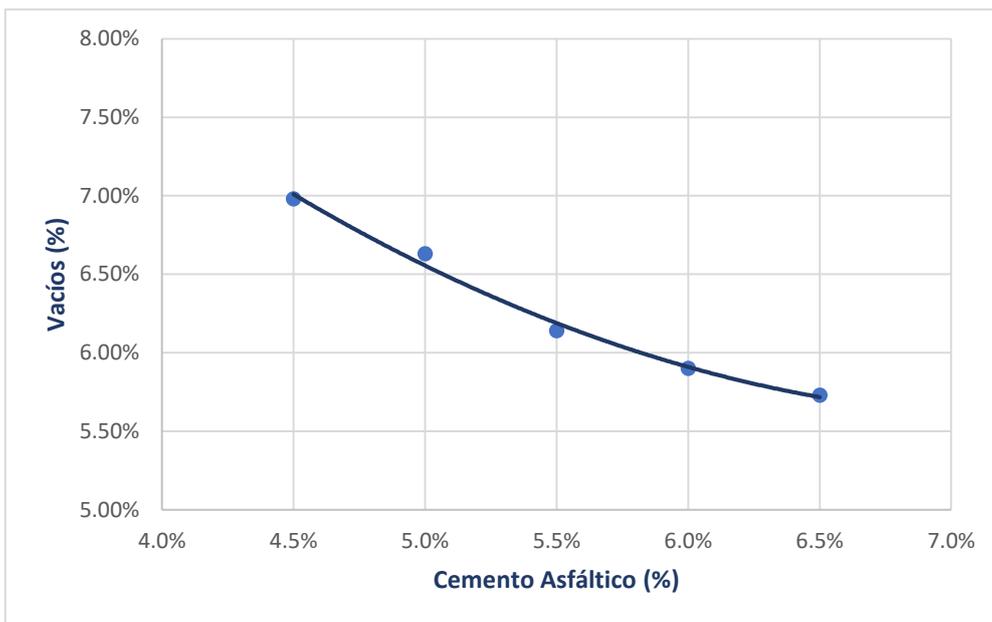


Figura 62. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores

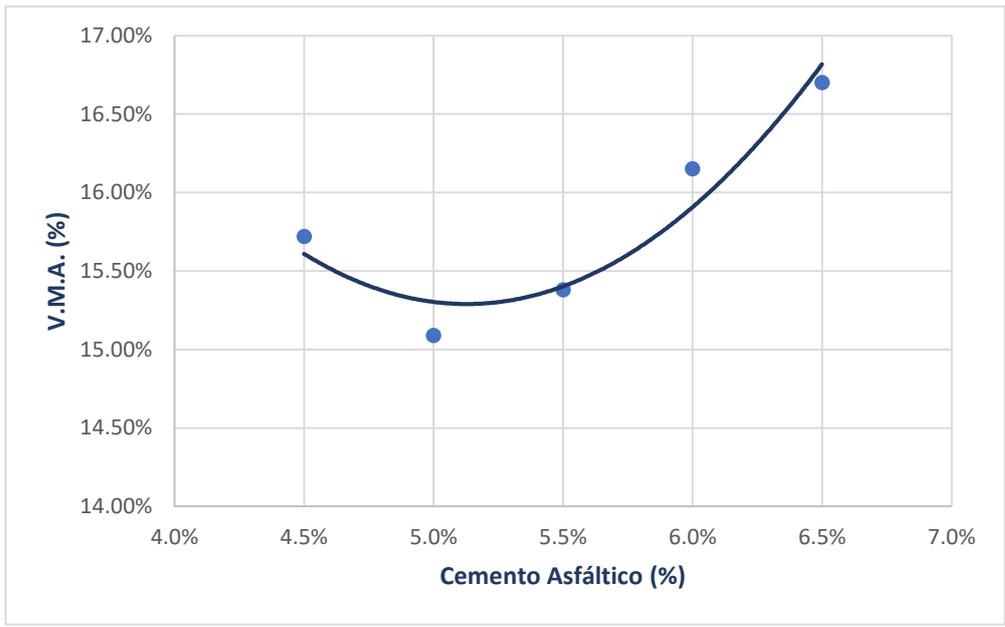


Figura 63. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

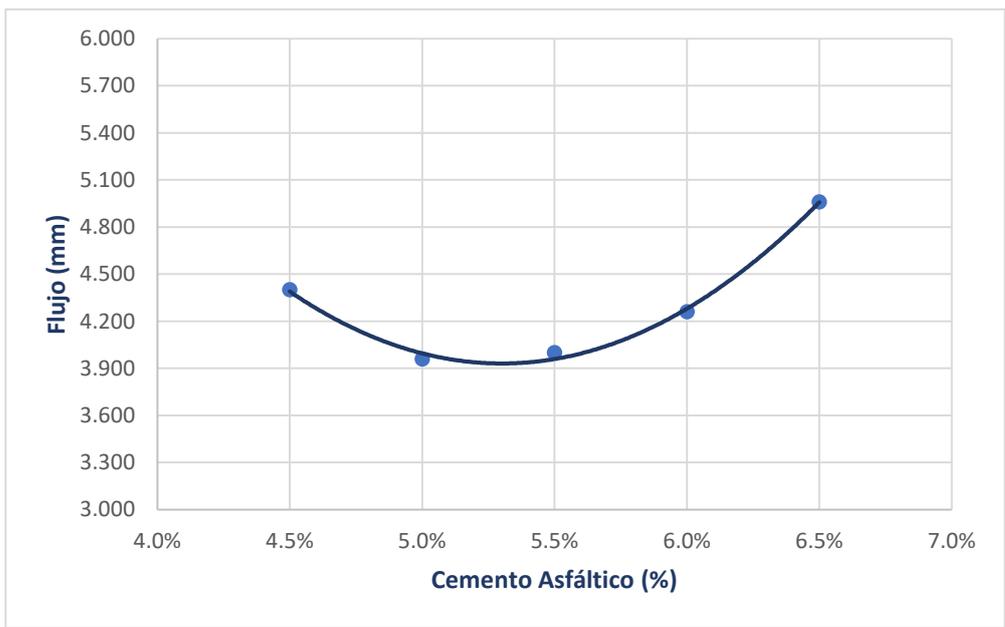


Figura 64. Curva de Flujo (mm) vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

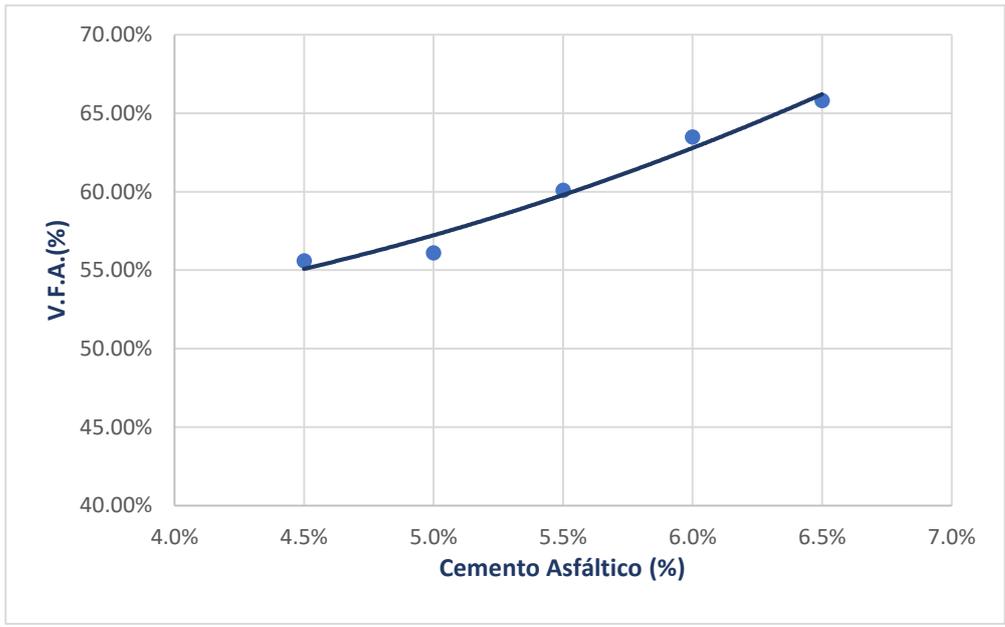


Figura 65. Curva de Vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores

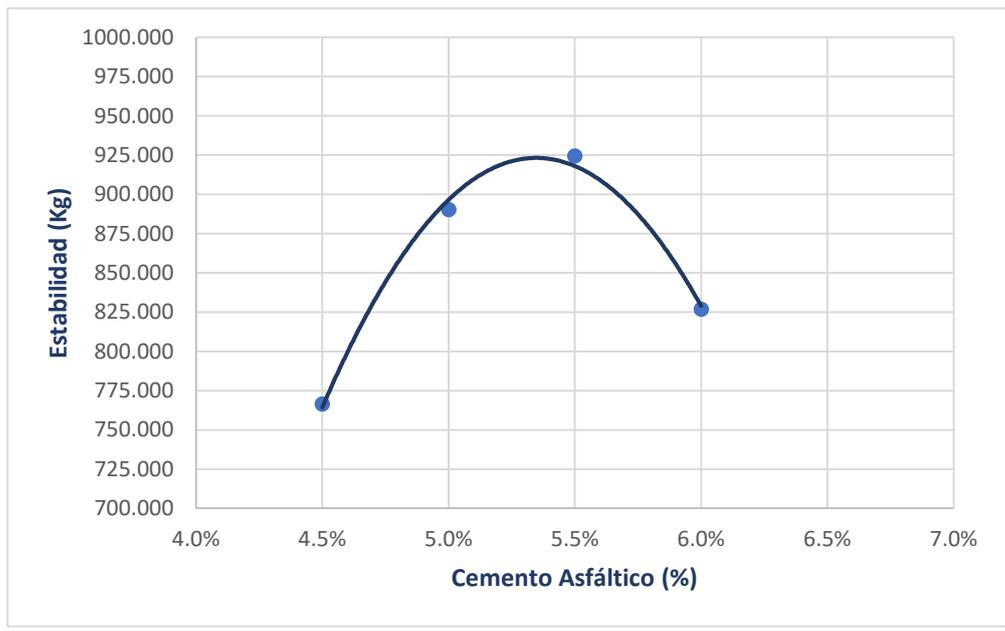


Figura 66. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores

Tabla 56. Resultados del diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 1%

DESCRIPCIÓN	Unidad	MUESTRAS (BRIQUETAS)																			
		1A	1B	1C	Prom.	2A	2B	2C	Prom.	3A	3B	3C	Prom.	4A	4B	4C	Prom.	5A	5B	5C	Prom.
CEMENTO ASFÁLTICO TOTAL EN LA MEZCLA	(%)		4.50		<b>4.50</b>		5.00		<b>5.00</b>		5.50		<b>5.50</b>		6.00		<b>6.00</b>		6.50		<b>6.50</b>
AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		33.43		<b>33.43</b>		32.60		<b>33.25</b>		32.43		<b>33.08</b>		32.25		<b>32.90</b>		32.08		<b>32.73</b>
AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		60.17		<b>60.17</b>		59.61		<b>59.85</b>		59.29		<b>59.54</b>		58.98		<b>59.22</b>		58.67		<b>58.91</b>
ELASTÓMEROS	(%)		0.955		<b>0.955</b>		1.395		<b>0.950</b>		1.390		<b>0.945</b>		1.380		<b>0.940</b>		1.375		<b>0.935</b>
PET RECICLADO	(%)		0.955		<b>0.955</b>		1.395		<b>0.950</b>		1.390		<b>0.945</b>		1.380		<b>0.940</b>		1.375		<b>0.935</b>
FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO - APARENTE	(g/cm3)		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (< 1")	(g/cm3)		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	(g/cm3)		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>
PESO ESPECÍFICO DEL ELASTÓMERO	(g/cm3)		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>
PESO ESPECÍFICO DEL PET	(g/cm3)		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>
PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	(g/cm3)		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>
ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	(cm)	<b>7.18</b>	<b>7.01</b>	<b>7.09</b>	<b>7.09</b>	<b>7.12</b>	<b>7.18</b>	<b>7.15</b>	<b>7.15</b>	<b>7.31</b>	<b>7.15</b>	<b>7.21</b>	<b>7.22</b>	<b>6.85</b>	<b>7.27</b>	<b>7.11</b>	<b>7.077</b>	<b>7.05</b>	<b>7.2</b>	<b>7.12</b>	<b>7.123</b>
PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1)	(g)	1199.90	1201.00	1200.20	<b>1200.37</b>	1205.2	1209.1	1208.7	<b>1207.7</b>	1215.90	1215.30	1214.00	<b>1215.07</b>	1219.20	1222.20	1222.70	<b>1221.37</b>	1224.70	1223.80	1224.30	<b>1224.27</b>
PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2)	(g)	1218.00	1217.00	1216.00	<b>1217.00</b>	1218	1220	1223	#####	1229.20	1229.30	1228.80	<b>1229.10</b>	1225.00	1227.00	1228.00	#####	1236.40	1239.00	1241.00	<b>1238.80</b>
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA	(g)	671.20	670.50	671.00	<b>670.90</b>	670	669	675	<b>671.333</b>	680.00	676.00	677.20	<b>677.73</b>	669.00	670.00	672.00	<b>670.33</b>	679.00	682.70	679.00	<b>680.23</b>
VOLUMEN DE LA BRIQUETA	(cm3)	546.80	546.50	545.00	<b>546.10</b>	548	551	548	<b>549</b>	549.20	553.30	551.60	<b>551.37</b>	556.00	557.00	556.00	<b>556.33</b>	557.40	556.30	562.00	<b>558.57</b>
PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	(g/cm3)	2.19	2.20	2.20	<b>2.198</b>	2.19927	2.19437	2.205657	<b>2.200</b>	2.21	2.20	2.20	<b>2.204</b>	2.19	2.19	2.20	<b>2.195</b>	2.20	2.20	2.18	<b>2.192</b>
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (MTC E.508)	(g/cm3)		2.3391		<b>2.34</b>		2.2990		<b>2.30</b>		2.2838		<b>2.2838</b>		2.2693		<b>2.2693</b>		2.2543		<b>2.25</b>
MÉTODO RICE			2.363		<b>2.36</b>		2.356		<b>2.36</b>		2.348		<b>2.348</b>		2.333		<b>2.333</b>		2.325		<b>2.325</b>
VACÍOS	(%)	7.13	7.00	6.80	<b>6.98</b>	6.65	6.86	6.38	<b>6.63</b>	5.71	6.45	6.27	<b>6.14</b>	6.01	5.95	5.74	<b>5.90</b>	5.50	5.38	6.30	<b>5.73</b>
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	(g/cm3)		2.491		<b>2.491</b>		2.461		<b>2.461</b>		2.461		<b>2.461</b>		2.461		<b>2.461</b>		2.461		<b>2.461</b>
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A.)	(%)	15.9	15.7	15.6	<b>15.72</b>	15.1	15.3	14.9	<b>15.09</b>	15.0	15.7	15.5	<b>15.38</b>	16.2	16.2	16.0	<b>16.15</b>	16.5	16.4	17.2	<b>16.7</b>
VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (VFA)	(%)	55.03	55.54	56.28	<b>55.6</b>	55.97	55.16	57.06	<b>56.1</b>	61.91	58.78	59.54	<b>60.1</b>	63.02	63.28	64.15	<b>63.5</b>	66.73	67.23	63.43	<b>65.8</b>
PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	(g/cm3)		2.131		<b>2.131</b>		2.121		<b>2.121</b>		2.111		<b>2.111</b>		2.104		<b>2.104</b>		2.097		<b>2.097</b>
ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	(%)		0.360		<b>0.360</b>		0.341		<b>0.341</b>		0.350		<b>0.350</b>		0.357		<b>0.357</b>		0.364		<b>0.364</b>
ASFALTO EFECTIVO	(%)		4.156		<b>4.156</b>		4.676		<b>4.676</b>		5.170		<b>5.170</b>		5.664		<b>5.664</b>		6.160		<b>6.160</b>
RELACIÓN POLVO / ASFALTO			1.829		<b>1.829</b>		1.625		<b>1.625</b>		1.470		<b>1.470</b>		1.342		<b>1.342</b>		1.234		<b>1.234</b>
FLUJO	(mm)	4.2	4.35	4.06	<b>4.203</b>	4.56	4.86	4.56	<b>4.660</b>	5.8	5.06	5.02	<b>5.293</b>	6.55	6.72	6.8	<b>6.690</b>	7.77	7.9	7.86	<b>7.843</b>
ESTABILIDAD SIN CORREGIR	(kg)	1305	1295	1301	<b>1300.33</b>	1418	1426	1439.8	<b>1427.93</b>	1560	1578	1568	<b>1568.67</b>	1450	1465	1468	<b>1461.00</b>	1385	1397	1380	<b>1387.33</b>
FACTOR DE ESTABILIDAD		0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>	0.960	0.930	0.930	<b>0.940</b>	0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>	0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>	0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>
ESTABILIDAD CORREGIDA	(kg)	1213.65	1204.35	1209.93	<b>1209.31</b>	1361.28	1326.18	1339.014	<b>1342.3</b>	1450.8	1467.54	1458.24	<b>1458.9</b>	1348.5	1362.45	1365.24	<b>1358.7</b>	1288.05	1299.21	1283.4	<b>1290.2</b>
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	(kg/cm)	2890	2769	2980	<b>2879.67</b>	2985	2729	2936	<b>2883.33</b>	2501	2900	2905	<b>2768.7</b>	2059	2027	2008	<b>2031.3</b>	1658	1645	1633	<b>1645.3</b>

Tabla 57.

*Resultado de diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 1% de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-06*

<b>Parámetros Marshall MTC E-504</b>	<b>Clase de mezcla A Tráfico Pesado</b>	<b>Resultado de Diseño de Mezcla adicionando Elastómeros y PET reciclado al 1%</b>	<b>Verificación</b>
<b>Contenido óptimo de asfalto</b>		6.4%	
<b>Compactación, número de golpes por lado</b>	75	75	SI
<b>Estabilidad (mínimo)</b>	8.15 KN	1303.922	SI
<b>Flujo 0.01" (025 min)</b>	8-14	30	NO
<b>Porcentaje de vacíos con aire (1) MTC E-505</b>	3-5	5.76	NO
<b>Vacíos en el agregado mineral</b>	Tamiz 3/4" = 14% min.	16.61	SI
<b>Vacíos llenos de asfalto</b>	65-75	65.33	SI
<b>Relación Polvo - Asfalto</b>	0,6-1,3	1.26	SI
<b>Relación Estabilidad/Flujo (Kg/cm)</b>	1.700-4.000	1722.53	SI

*Nota:* Resultado del diseño de mezcla Marshall con elastómero y PET al 1%. Donde el flujo y contenido de vacíos no cumplen con los parámetros. Elaborado por los autores.

### Diseño Marshall adicionada con elastómeros y PET reciclado al 1.5 %

El diseño se realizó con 35% de agregado grueso, 62 % de agregado fino, 1.5% de elastómero y 1.5% de PET reciclado. Se realizó el mezclado a una temperatura de 60°C y se aplicó 75 golpes en cada cara de la briqueta.

Tabla 58.

*Características del Método Marshall de la mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 1.5 %.*

CARACTERÍSTICAS MÉTODO MARSHALL					
N° DE GOLPES			75		
CONTENIDO DE CEMENTO					
ASFÁLTICO EN PESO		(%)	6.3	6.4	6.5
ESTABILIDAD	(kg)	(ASTM D 6927)	1415.21	1394.88	1374.54
FLUJO	(mm)	(ASTM D 6927)	8.05	8.17	8.28
VACÍOS DE AIRE	(%)	(ASTM D 3203)	6.43	6.39	6.35
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A)	(%)	(ASTM D 6926)	16.4	16.26	16.4
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	(%)	(ASTM D 6926)	60.3	60.85	61.4
RELACIÓN POLVO / ASFALTO		(ASTM D 6926)		1.26	
ESTABILIDAD / FLUJO	(kg/cm)	(ASTM D 6927)	1762.8	1711.40	1660
TEMPERATURA DE ROTURA	(°C)			60.0	

*Nota:* Resultado del diseño de mezcla Marshall con elastómero y PET al 1.5%. Siendo el 6.4% el porcentaje óptimo. Elaborado por los autores

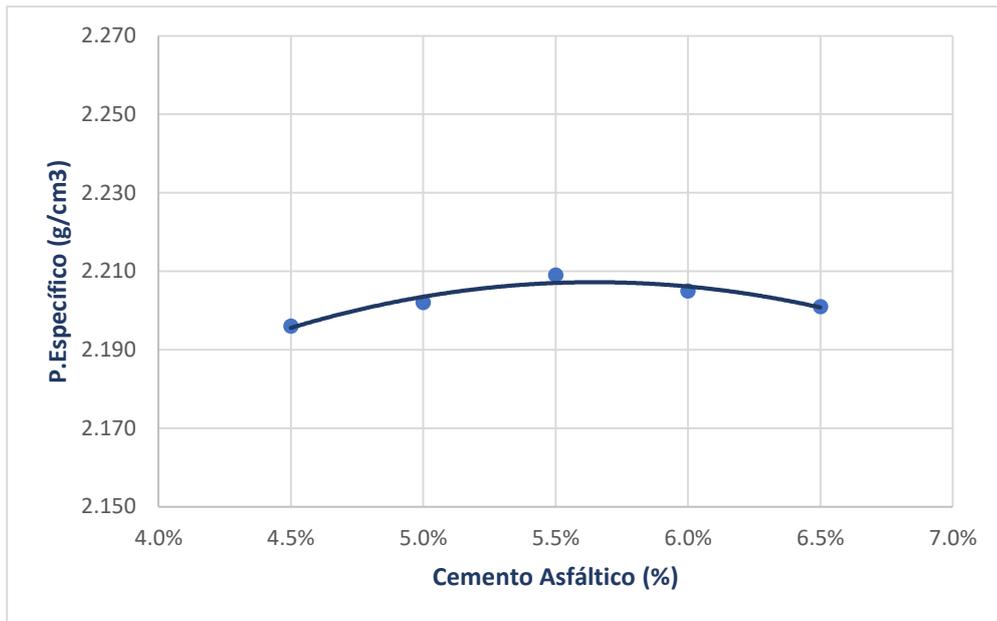


Figura 67. Curva de Peso Específico Bulk vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

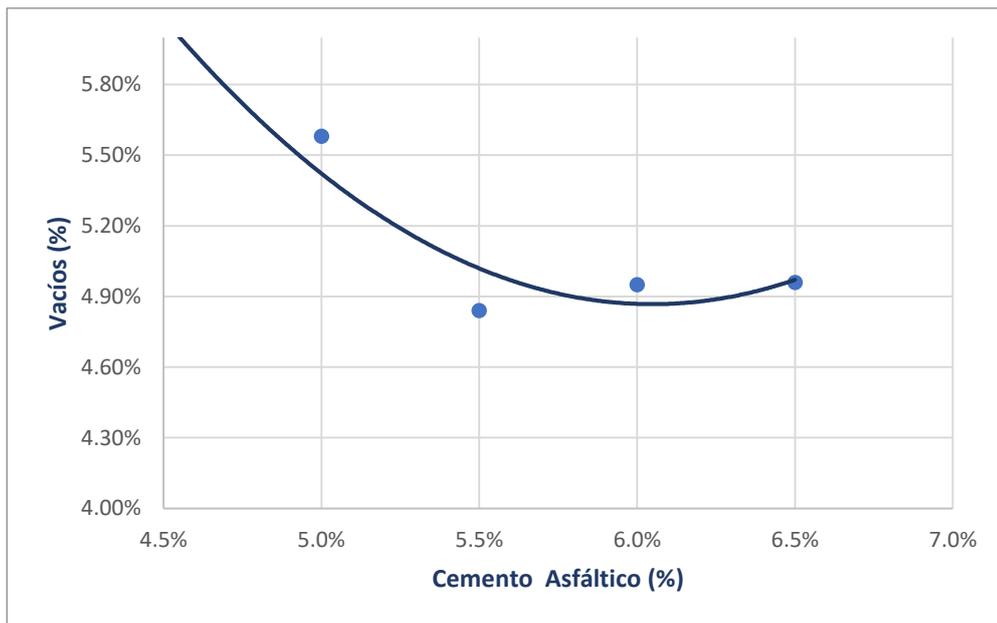


Figura 68. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

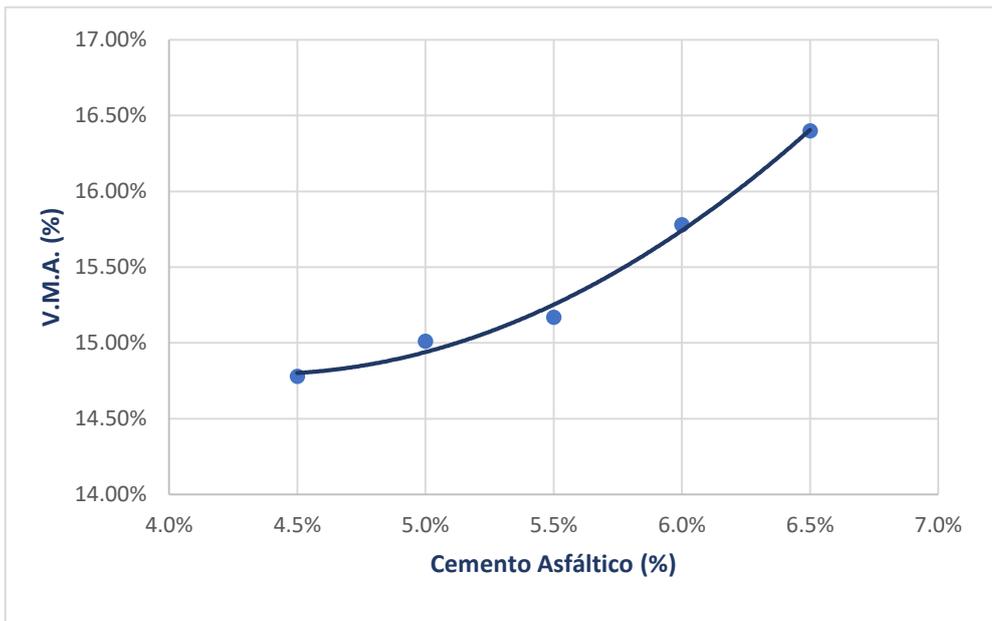


Figura 69. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

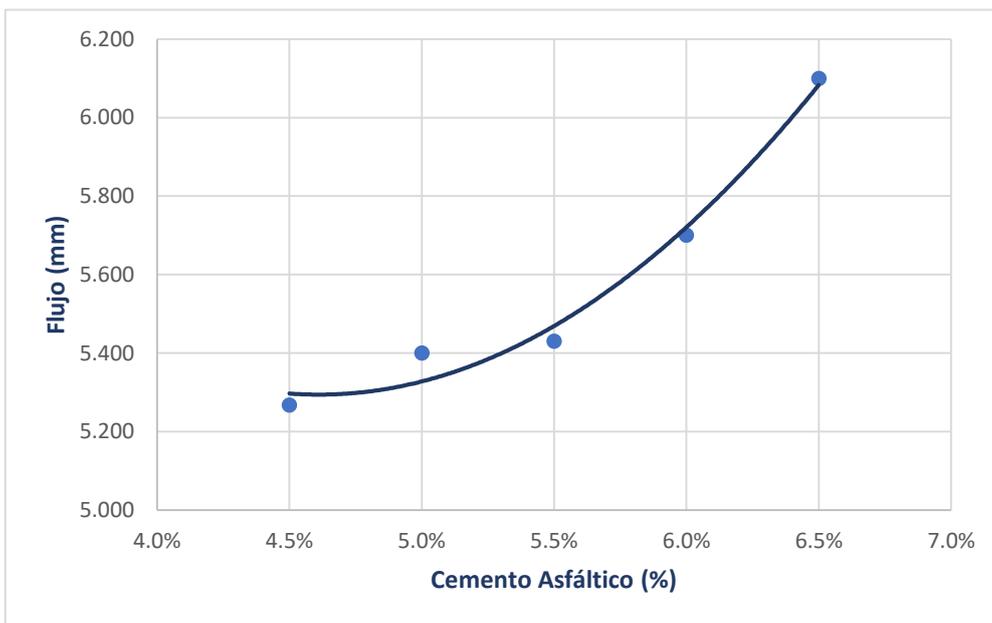


Figura 70. Curva de Flujo (mm) vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

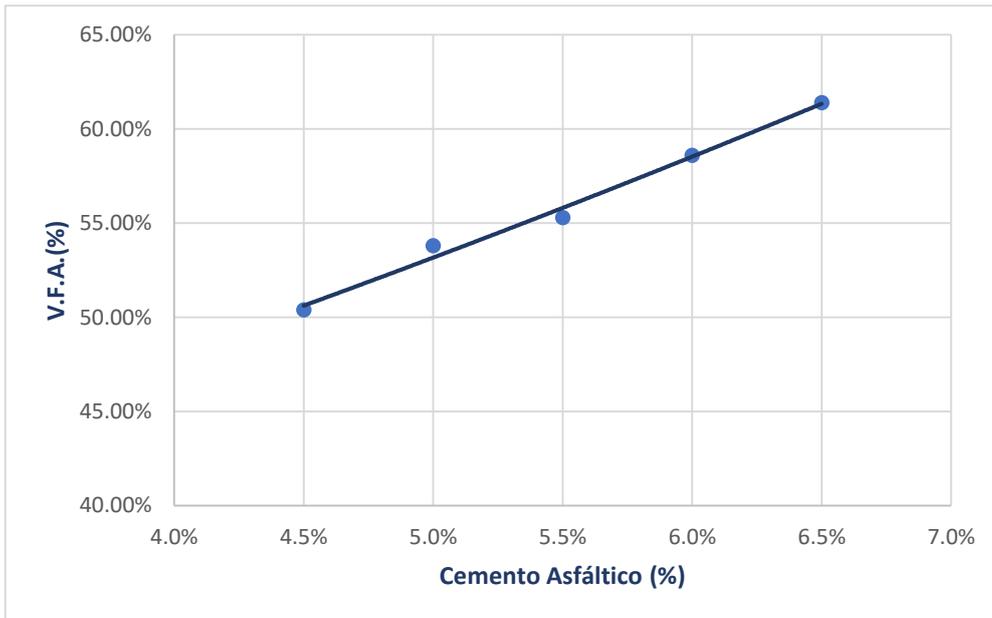


Figura 71. Curva de Vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores

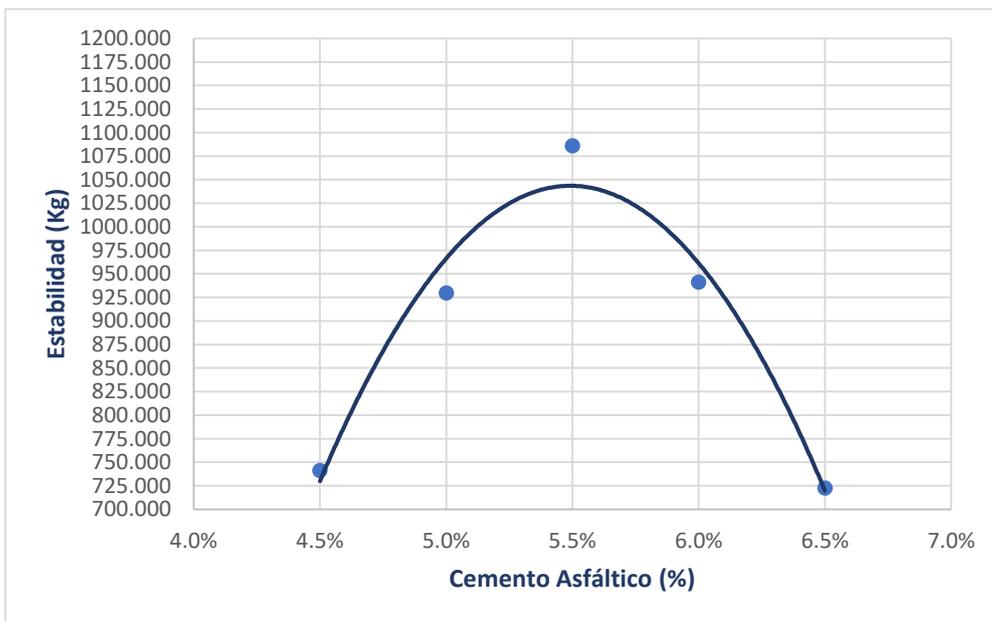


Figura 72. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

Tabla 59. Resultados del diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 1.5%

DESCRIPCIÓN	MUESTRAS (BRIQUETAS)																				
	Unidad	1A	1B	1C	Prom.	2A	2B	2C	Prom.	3A	3B	3C	Prom.	4A	4B	4C	Prom.	5A	5B	5C	Prom.
CEMENTO ASFÁLTICO TOTAL EN LA MEZCLA	(%)		4.50		<b>4.50</b>		5.00		<b>5.00</b>		5.50		<b>5.50</b>		6.00		<b>6.00</b>		6.50		<b>6.50</b>
AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		32.77		<b>32.77</b>		32.60		<b>32.60</b>		32.43		<b>32.43</b>		32.25		<b>32.25</b>		32.08		<b>32.08</b>
AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		59.92		<b>59.92</b>		59.61		<b>59.61</b>		59.29		<b>59.29</b>		58.98		<b>58.98</b>		58.67		<b>58.67</b>
ELASTÓMEROS	(%)		1.405		<b>1.405</b>		1.395		<b>1.395</b>		1.390		<b>1.390</b>		1.380		<b>1.380</b>		1.375		<b>1.375</b>
PET RECICLADO	(%)		1.405		<b>1.405</b>		1.395		<b>1.40</b>		1.390		<b>1.39</b>		1.380		<b>1.38</b>		1.375		<b>1.38</b>
FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO - APARENTE	(g/cm3)		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (< 1")	(g/cm3)		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	(g/cm3)		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>
PESO ESPECÍFICO DEL ELASTÓMERO	(g/cm3)		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>
PESO ESPECÍFICO DEL PET	(g/cm3)		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>
PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	(g/cm3)		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>
ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	(cm)	<b>7.05</b>	<b>7.08</b>	<b>7.06</b>	<b>7.06</b>	<b>7.86</b>	<b>7.01</b>	<b>6.94</b>	<b>7.27</b>	<b>7.01</b>	<b>6.22</b>	<b>7.05</b>	<b>6.76</b>	<b>6.9</b>	<b>6.83</b>	<b>6.93</b>	<b>6.887</b>	<b>6.74</b>	<b>7.01</b>	<b>6.89</b>	<b>6.880</b>
PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1)	(g)	1204.00	1206.80	1202.60	<b>1204.47</b>	1176.0	1209.9	1179.2	<b>1188.4</b>	1212.50	1216.10	1228.30	<b>1218.97</b>	1207.10	1206.70	1230.50	<b>1214.77</b>	1228.10	1229.20	1228.70	<b>1228.67</b>
PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2)	(g)	1206.00	1207.90	1204.20	<b>1206.03</b>	1206.8	1225.2	1209.7	#####	1226.50	1221.00	1223.80	<b>1223.77</b>	1222.20	1230.20	1225.20	#####	1229.30	1230.70	1230.00	<b>1230.00</b>
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA	(g)	656.30	658.80	657.60	<b>657.57</b>	671.5	676.8	674.2	<b>674.167</b>	676.90	671.50	667.60	<b>672</b>	672.00	678.00	675.00	<b>675.00</b>	678.00	667.00	670.00	<b>671.67</b>
VOLUMEN DE LA BRIQUETA	(cm3)	549.70	549.10	546.60	<b>548.47</b>	535.3	548.4	535.5	<b>539.73</b>	549.60	549.50	556.20	<b>551.77</b>	550.20	552.20	550.20	<b>550.87</b>	551.30	563.70	560.00	<b>558.33</b>
PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	(g/cm3)	2.19	2.20	2.20	<b>2.196</b>	2.196899	2.20624	2.202054	<b>2.202</b>	2.21	2.21	2.21	<b>2.209</b>	2.19	2.19	2.24	<b>2.205</b>	2.23	2.18	2.19	<b>2.201</b>
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (MTC E 508)	(g/cm3)		2.3141		<b>2.31</b>		2.2990		<b>2.30</b>		2.2838		<b>2.2838</b>		2.2693		<b>2.2693</b>		2.2543		<b>2.25</b>
MÉTODO RICE			2.370		<b>2.37</b>		2.366		<b>2.37</b>		2.370		<b>2.37</b>		2.360		<b>2.36</b>		2.350		<b>2.35</b>
VACÍOS	(%)	7.58	7.27	7.17	<b>7.34</b>	7.15	6.75	6.93	<b>6.94</b>	6.91	6.62	6.82	<b>6.78</b>	7.04	7.40	5.23	<b>6.56</b>	5.21	7.21	6.63	<b>6.35</b>
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	(g/cm3)		2.461		<b>2.461</b>		2.461		<b>2.461</b>		2.461		<b>2.461</b>		2.461		<b>2.461</b>		2.461		<b>2.461</b>
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A.)	(%)	15.0	14.7	14.6	<b>14.78</b>	15.2	14.8	15.0	<b>15.01</b>	15.3	15.0	15.2	<b>15.17</b>	16.2	16.5	14.6	<b>15.78</b>	15.4	17.2	16.6	<b>16.4</b>
VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (VFA)	(%)	49.46	50.61	50.99	<b>50.4</b>	52.98	54.50	53.81	<b>53.8</b>	54.77	55.92	55.14	<b>55.3</b>	56.58	55.23	64.10	<b>58.6</b>	66.12	57.98	60.14	<b>61.4</b>
PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	(g/cm3)		2.132		<b>2.132</b>		2.121		<b>2.121</b>		2.111		<b>2.111</b>		2.104		<b>2.104</b>		2.097		<b>2.097</b>
ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	(%)		0.329		<b>0.329</b>		0.341		<b>0.341</b>		0.350		<b>0.350</b>		0.357		<b>0.357</b>		0.364		<b>0.364</b>
ASFALTO EFECTIVO	(%)		4.186		<b>4.186</b>		4.676		<b>4.676</b>		5.170		<b>5.170</b>		5.664		<b>5.664</b>		6.160		<b>6.160</b>
RELACIÓN POLVO / ASFALTO			1.816		<b>1.816</b>		1.625		<b>1.625</b>		1.470		<b>1.470</b>		1.342		<b>1.342</b>		1.234		<b>1.234</b>
FLUJO	(mm)	5.18	5.35	5.46	<b>5.330</b>	5.98	5.7	5.86	<b>5.847</b>	6.8	6.99	6.45	<b>6.747</b>	7.5	7.86	7.75	<b>7.703</b>	8.4	8.1	8.35	<b>8.283</b>
ESTABILIDAD SIN CORREGIR	(kg)	1420	1435	1429	<b>1428.00</b>	1496	1486	1798	<b>1593.33</b>	1630	1628	1618	<b>1625.33</b>	1578	1596	1588	#####	1480	1475	1479	<b>1478.00</b>
FACTOR DE ESTABILIDAD		0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>	0.960	0.930	0.930	<b>0.940</b>	0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>	0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>	0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>
ESTABILIDAD CORREGIDA	(kg)	1320.6	1334.55	1328.97	<b>1328.04</b>	1436.16	1381.98	1672.14	<b>1497.7</b>	1515.9	1514.04	1504.74	<b>1511.6</b>	1467.54	1484.28	1476.84	<b>1476.2</b>	1376.4	1371.75	1375.47	<b>1374.5</b>
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	(kg/cm)	2549	2494	2434	<b>2492.33</b>	2402	2425	2853	<b>2560.00</b>	2229	2166	2333	<b>2242.7</b>	1957	1888	1906	<b>1917</b>	1639	1694	1647	<b>1660</b>

Tabla 60.

*Resultado de diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 1.5% de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-06*

<b>Parámetros Marshall MTC E-504</b>	<b>Clase de mezcla A Tráfico Pesado</b>	<b>Resultado de Diseño de Mezcla adicionando Elastómeros y PET reciclado al 1.5%</b>	<b>Verificación</b>
<b>Contenido óptimo de asfalto</b>		6.4%	
<b>Compactación, número de golpes por lado</b>	75	75	SI
<b>Estabilidad (mínimo)</b>	8.15 KN	1394.88	SI
<b>Flujo 0.01" (025 min)</b>	8-14	32.2	NO
<b>Porcentaje de vacíos con aire (1) MTC E-505</b>	3-5	6.39	NO
<b>Vacíos en el agregado mineral</b>	Tamiz 3/4" = 14% min.	16.26	SI
<b>Vacíos llenos de asfalto</b>	65-75	60.85	NO
<b>Relación Polvo - Asfalto</b>	0,6-1,3	1.26	SI
<b>Relación Estabilidad/Flujo (Kg/cm)</b>	1.700-4.000	1711.40	SI

*Nota:* Resultado del diseño de mezcla Marshall con elastómero y PET al 1.5%. Donde el flujo, el vacío y vacíos llenos de asfalto no cumplen con los parámetros. Elaborado por los autores

## Diseño Marshall adicionada con elastómeros y PET reciclado al 2 %

El diseño se realizó con 35% de agregado grueso, 61 % de agregado fino, 2% de elastómero y 2% de PET reciclado. Se realizó el mezclado a una temperatura de 60°C y se aplicó 75 golpes en cada cara de la briqueta.

Tabla 61.

*Características del Método Marshall de la mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado al 2 %.*

CARACTERÍSTICAS MÉTODO MARSHALL					
N° DE GOLPES			75		
CONTENIDO DE CEMENTO					
ASFÁLTICO EN PESO		(%)	6.3	6.4	6.5
ESTABILIDAD	(kg)	(ASTM D 6927)	1445.59	1436.42	1427.24
FLUJO	(mm)	(ASTM D 6927)	8.93	8.96	8.98
VACÍOS DE AIRE	(%)	(ASTM D 3203)	7.99	7.96	7.93
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A)	(%)	(ASTM D 6926)	14.75	15.04	15.3
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	(%)	(ASTM D 6926)	45.69	46.98	48.3
RELACIÓN POLVO / ASFALTO		(ASTM D 6926)		1.25	
ESTABILIDAD / FLUJO	(kg/cm)	(ASTM D 6927)	1618.67	1604	11589.33
TEMPERATURA DE ROTURA	(°C)			60.0	

*Nota:* Resultado del diseño de mezcla Marshall con elastómero y PET al 2%. El óptimo contenido se encuentra en el 6.4%. Elaborado por los autores

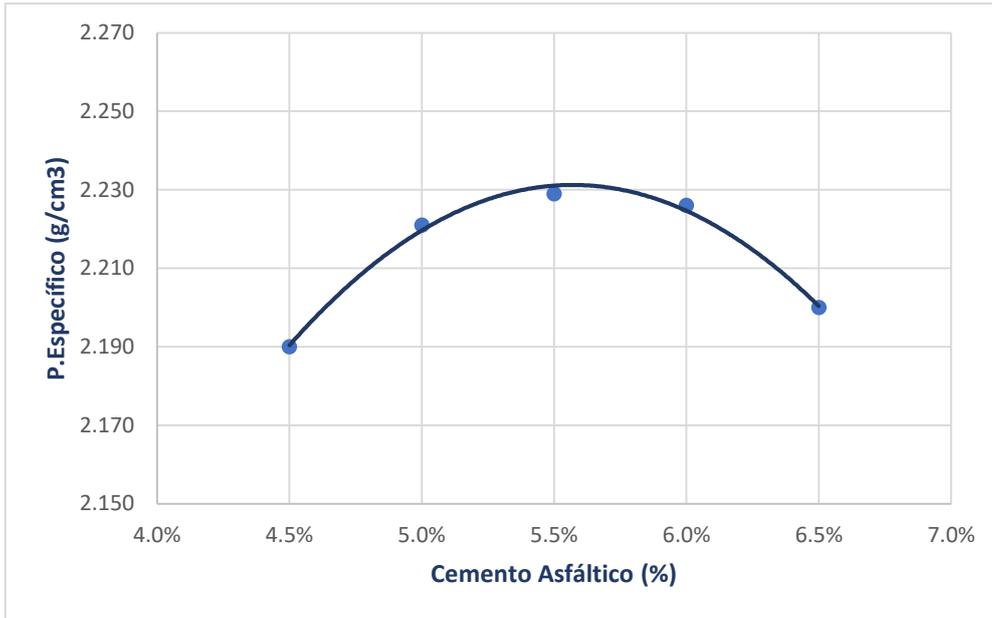


Figura 73. Curva de Peso Específico Bulk vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores

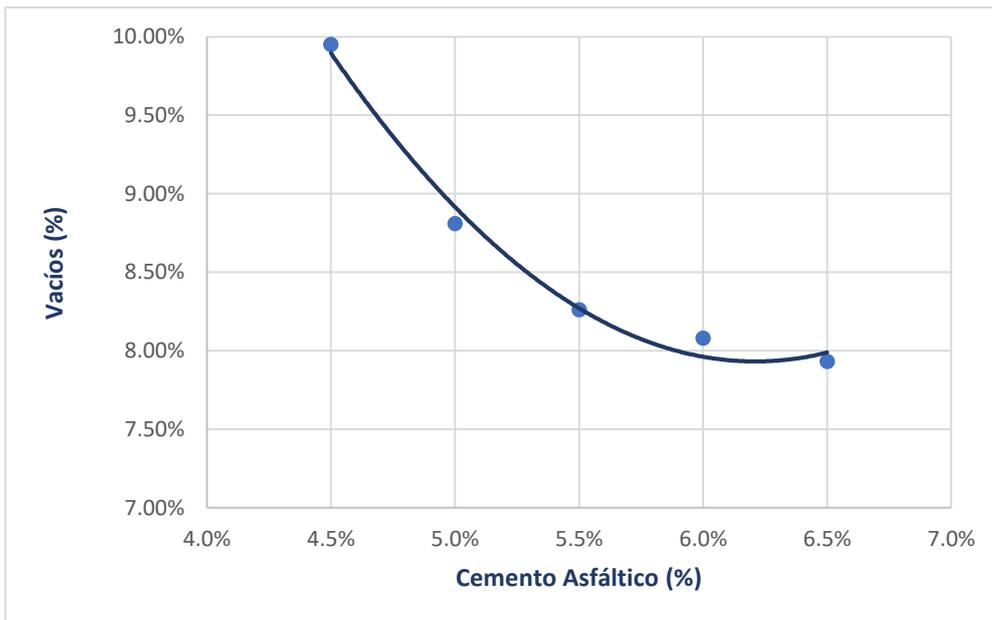


Figura 74. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

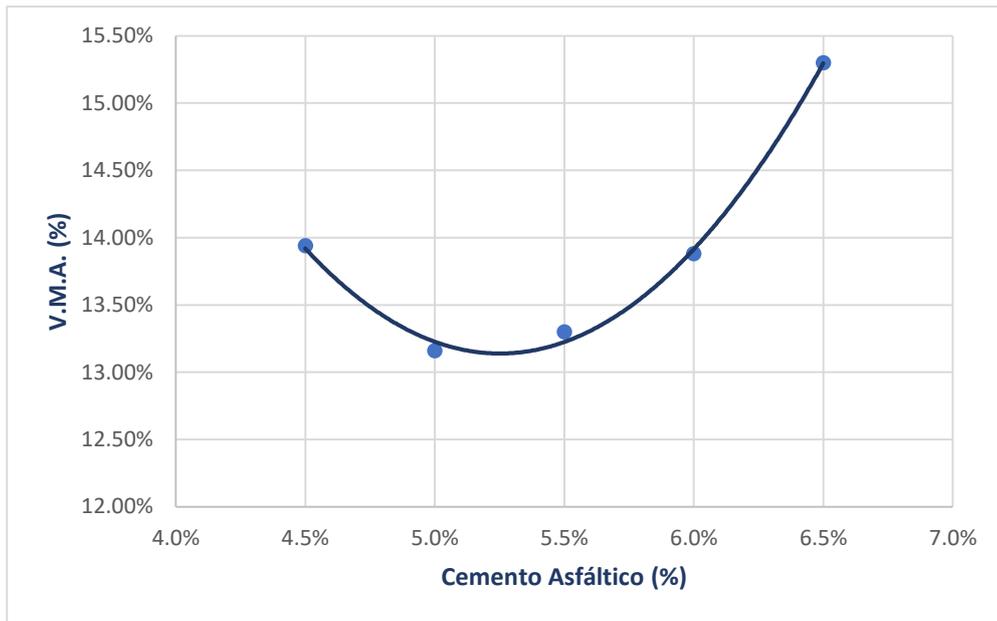


Figura 75. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores

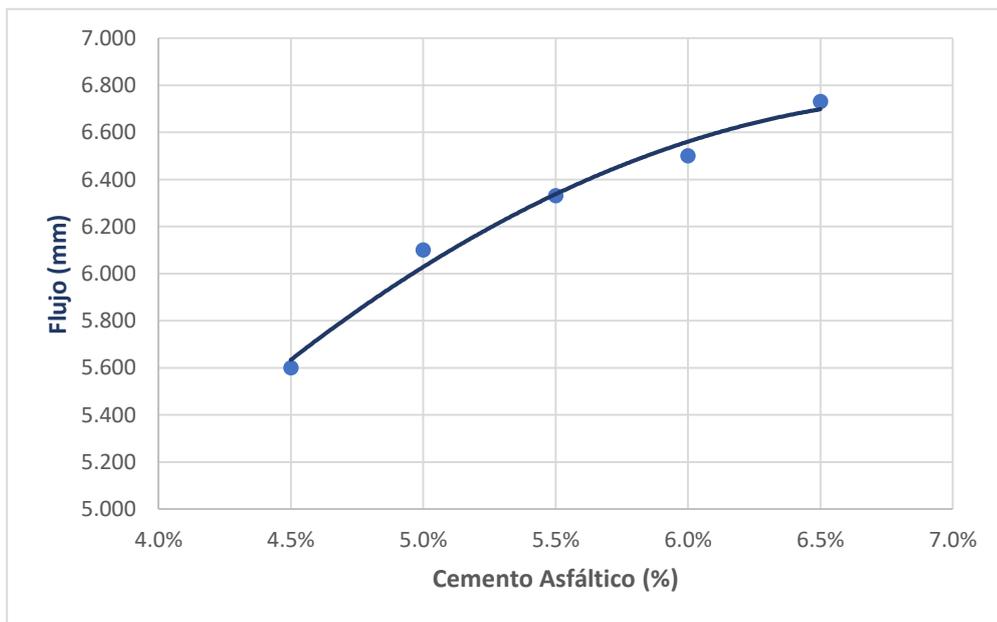


Figura 76. Curva de Flujo (mm) vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores

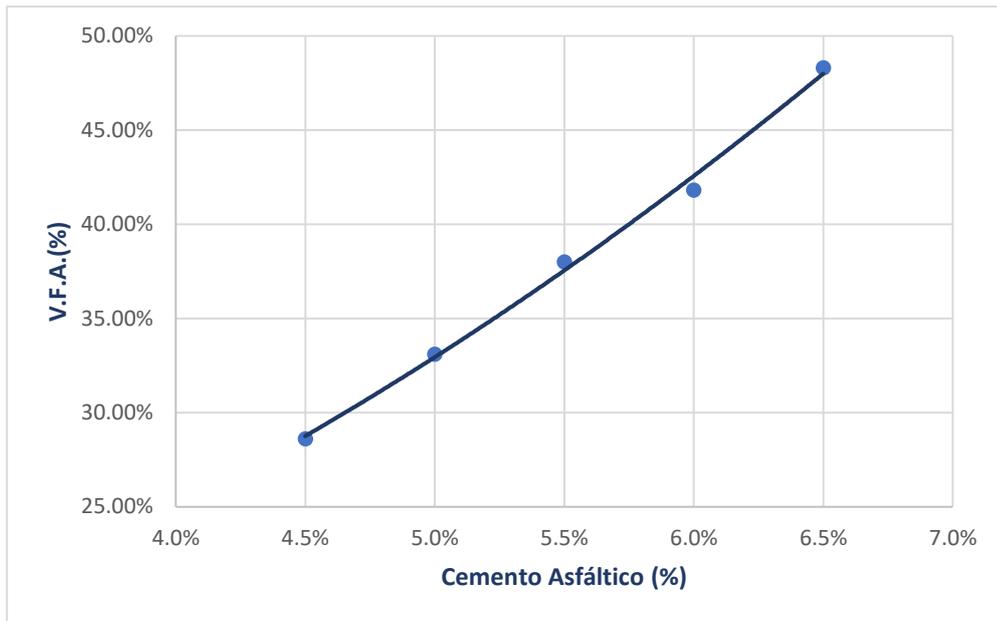


Figura 77. Curva de Vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

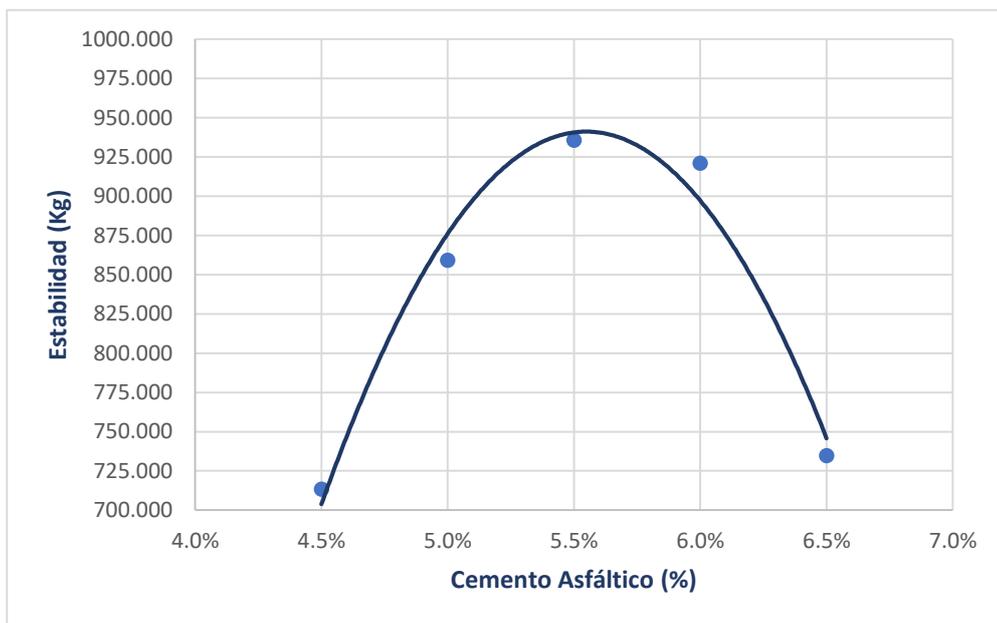


Figura 78. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto. Elaborado por los autores.

Tabla 62. Resultados del diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 2%

DESCRIPCIÓN	Unidad	MUESTRAS (BRIQUETAS)																			
		1A	1B	1C	Prom.	2A	2B	2C	Prom.	3A	3B	3C	Prom.	4A	4B	4C	Prom.	5A	5B	5C	Prom.
CEMENTO ASFÁLTICO TOTAL EN LA MEZCLA	(%)		4.50		<b>4.50</b>		5.00		<b>5.00</b>		5.50		<b>5.50</b>		6.00		<b>6.00</b>		6.50		<b>6.50</b>
AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		33.43		<b>33.43</b>		33.25		<b>33.25</b>		33.08		<b>33.08</b>		32.90		<b>32.90</b>		32.73		<b>32.73</b>
AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		58.26		<b>58.26</b>		57.95		<b>57.95</b>		57.65		<b>57.65</b>		57.34		<b>57.34</b>		57.04		<b>57.04</b>
ELASTÓMEROS	(%)		1.910		<b>1.910</b>		1.900		<b>1.900</b>		1.890		<b>1.890</b>		1.880		<b>1.880</b>		1.870		<b>1.870</b>
PET RECICLADO	(%)		1.910		<b>1.910</b>		1.900		<b>1.90</b>		1.890		<b>1.89</b>		1.880		<b>1.88</b>		1.870		<b>1.87</b>
FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	(%)		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>		0.00		<b>0.00</b>
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO - APARENTE	(g/cm3)		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>		1.021		<b>1.021</b>
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (< 1")	(g/cm3)		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>		2.640		<b>2.64</b>
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	(g/cm3)		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>		2.511		<b>2.511</b>
PESO ESPECÍFICO DEL ELASTÓMERO	(g/cm3)		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>		0.925		<b>0.925</b>
PESO ESPECÍFICO DEL PET	(g/cm3)		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>		1.39		<b>1.39</b>
PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	(g/cm3)		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>		0		<b>0</b>
ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	(cm)	<b>7.22</b>	<b>7.07</b>	<b>7.14</b>	<b>7.14</b>	<b>6.98</b>	<b>7.09</b>	<b>7.04</b>	<b>7.0367</b>	<b>6.92</b>	<b>6.96</b>	<b>6.97</b>	<b>6.95</b>	<b>7.07</b>	<b>7.09</b>	<b>7.04</b>	<b>7.067</b>	<b>6.97</b>	<b>6.94</b>	<b>6.99</b>	<b>6.967</b>
PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1)	(g)	1209.90	1198.40	1204.20	<b>1204.17</b>	1211.2	1207.7	1208.7	<b>1209.2</b>	1218.00	1216.60	1217.30	<b>1217.30</b>	1219.40	1221.50	1220.50	#####	1212.10	1211.80	1220.00	<b>1214.63</b>
PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2)	(g)	1215.60	1202.30	1209.00	<b>1208.97</b>	1219.7	1216.5	1215.5	#####	1226.90	1218.90	1225.60	<b>1223.80</b>	1223.90	1225.70	1224.80	#####	1229.00	1229.70	1229.40	<b>1229.37</b>
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA	(g)	659.10	659.00	659.10	<b>659.07</b>	672.2	675.3	671.1	<b>672.867</b>	680.80	674.70	677.80	<b>677.77</b>	678.20	675.20	676.40	<b>676.60</b>	677.20	679.70	675.20	<b>677.37</b>
VOLUMEN DE LA BRIQUETA	(cm3)	556.50	543.30	549.90	<b>549.90</b>	547.5	541.2	544.4	<b>544.37</b>	546.10	544.20	547.80	<b>546.03</b>	545.70	550.50	548.40	<b>548.2</b>	551.80	550.00	554.20	<b>552.00</b>
PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	(g/cm3)	2.17	2.21	2.19	<b>2.190</b>	2.212237	2.23152	2.220242	<b>2.221</b>	2.23	2.24	2.22	<b>2.229</b>	2.23	2.22	2.23	<b>2.226</b>	2.20	2.20	2.20	<b>2.200</b>
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (MTC E 508)	(g/cm3)		2.2877		<b>2.29</b>		2.2732		<b>2.27</b>		2.2584		<b>2.2584</b>		2.2442		<b>2.2442</b>		2.2298		<b>2.23</b>
MÉTODO RICE			2.432		<b>2.43</b>		2.436		<b>2.44</b>		2.430		<b>2.43</b>		2.422		<b>2.422</b>		2.390		<b>2.39</b>
VACÍOS	(%)	10.60	9.30	9.96	<b>9.95</b>	9.19	8.39	8.86	<b>8.81</b>	8.22	8.00	8.55	<b>8.26</b>	7.74	8.39	8.11	<b>8.08</b>	8.09	7.81	7.89	<b>7.93</b>
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	(g/cm3)		2.430		<b>2.430</b>		2.430		<b>2.430</b>		2.430		<b>2.430</b>		2.430		<b>2.430</b>		2.430		<b>2.430</b>
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A.)	(%)	14.6	13.3	13.9	<b>13.94</b>	13.5	12.8	13.2	<b>13.16</b>	13.3	13.1	13.6	<b>13.30</b>	13.6	14.2	13.9	<b>13.88</b>	15.5	15.2	15.3	<b>15.3</b>
VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (VFA)	(%)	27.16	30.13	28.57	<b>28.6</b>	32.03	34.22	32.91	<b>33.1</b>	38.07	38.75	37.04	<b>38.0</b>	42.93	40.81	41.69	<b>41.8</b>	47.74	48.69	48.41	<b>48.3</b>
PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	(g/cm3)		2.133		<b>2.133</b>		2.122		<b>2.122</b>		2.112		<b>2.112</b>		2.105		<b>2.105</b>		2.098		<b>2.098</b>
ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	(%)		0.297		<b>0.297</b>		0.308		<b>0.308</b>		0.318		<b>0.318</b>		0.325		<b>0.325</b>		0.332		<b>0.332</b>
ASFALTO EFECTIVO	(%)		4.217		<b>4.217</b>		4.707		<b>4.707</b>		5.200		<b>5.200</b>		5.694		<b>5.694</b>		6.190		<b>6.190</b>
RELACIÓN POLVO / ASFALTO			1.802		<b>1.802</b>		1.615		<b>1.615</b>		1.462		<b>1.462</b>		1.335		<b>1.335</b>		1.228		<b>1.228</b>
FLUJO	(mm)	5.9	6.23	6.1	<b>6.077</b>	6.55	6.78	6.85	<b>6.727</b>	7.12	7.16	7.45	<b>7.243</b>	8.88	8.95	8.75	<b>8.860</b>	8.95	8.98	9.01	<b>8.980</b>
ESTABILIDAD SIN CORREGIR	(kg)	1499	1510	1516	<b>1508.33</b>	1576	1589	1596	<b>1587.00</b>	1625	1675	1650	<b>1650.00</b>	1580	1596	1576	#####	1520	1536	1548	<b>1534.67</b>
FACTOR DE ESTABILIDAD		0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>	0.960	0.930	0.930	<b>0.940</b>	0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>	0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>	0.930	0.930	0.930	<b>0.930</b>
ESTABILIDAD CORREGIDA	(kg)	1394.07	1404.3	1409.88	<b>1402.75</b>	1512.96	1477.77	1484.28	<b>1491.8</b>	1511.25	1557.75	1534.5	<b>1534.5</b>	1469.4	1484.28	1465.68	<b>1473.1</b>	1413.6	1428.48	1439.64	<b>1427.2</b>
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	(kg/cm)	2363	2254	2311	<b>2309.33</b>	2310	2180	2167	<b>2219.00</b>	2123	2176	2060	<b>2119.7</b>	1655	1658	1675	<b>1662.7</b>	1579	1591	1598	<b>1589.3</b>

Tabla 63.

*Resultado de diseño de mezclas Marshall con elastómero y PET al 2% de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-06*

Parámetros Marshall MTC E-504	Clase de mezcla A Tráfico Pesado	Resultado de Diseño	
		de Mezcla adicionando Elastómeros y PET reciclado al 2%	Verificación
Contenido óptimo de asfalto		6.4%	
Compactación, número de golpes por lado	75	75	SI
Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	1436.42	SI
Flujo 0.01" (025 min)	8-14	35.2	NO
Porcentaje de vacíos con aire (1) MTC E-505	3-5	7.96	NO
Vacíos en el agregado mineral	Tamiz 3/4" = 14% min.	15.04	SI
Vacíos llenos de asfalto	65-75	46.98	NO
Relación Polvo - Asfalto	0,6-1,3	1.25	SI
Relación Estabilidad/Flujo (Kg/cm)	1.700-4.000	1604	NO

*Nota:* Resultado del diseño de mezcla Marshall con elastómero y PET al 2% Donde el flujo, vacíos, vacíos llenos de asfalto, relación de estabilidad /flujo no cumplen con los parámetros. Elaborado por los autores

### Análisis de resultados

Al analizar los resultados obtenidos del ensayo de diseño de mezcla Marshall, podemos identificar el posible comportamiento de la carpeta asfáltica con los datos de sus propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional y adicionada con elastómero y PET reciclado.

Para mayor comprensión del análisis de los resultados se trabajará con tablas y graficas en las que se muestran las diferencias en sus propiedades de las mezclas. Para que el resultado sea confiable se fabricaron la misma cantidad de briquetas Marshall con mezcla convencional y mezcla adicionada con elastómero y PET con incrementos del material reciclado de 1%, 1.5% y 2%. El incremento del cemento asfáltico se realizó con porcentajes de 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

## Resultados del Ensayo Marshall

Los resultados del ensayo y las características se realizaron con los datos del óptimo contenido de asfalto para los 4 diseños de mezclas Marshall.

Tabla 64. *Resumen de resultados del diseño de mezclas Marshall convencional, adicionadas con elastómeros y PET reciclado de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-6*

Parámetros	Clase de mezcla A	Resultado de	Resultado de diseño		
		diseño Convencional	adicionando Elastómeros y PET reciclado		
Marshall MTC E-504		Convencional	1.0%	1.5%	2.0%
Contenido óptimo		6.4	6.4	6.4	6.4
Compactación, número de golpes por lado	75	75	75	75	75
Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	925.48	1303.922	1394.88	1436.42
Flujo 0.01" (025 min)	8-14	9.9	30	32.2	35.3
Porcentaje de vacíos con aire (1) MTC E-505	3-5	4.96	5.76	6.39	7.96
Vacíos en el agregado mineral	Tamiz 3/4" = 14% min.	19.36	16.1	16.26	15.04
Vacíos llenos de asfalto	65-75	74.41	75.33	60.85	46.98
Relación Polvo - Asfalto	0,6-1,3	1.27	1.26	1.26	1.25
Relación Estabilidad/Flujo (Kg/cm)	1.700-4.000	3691.73	1722.53	1711.40	1604

*Nota:* Resultado del resumen de diseño de las mezclas Marshall se observa un incremento de la estabilidad llegando a un máximo de 1436.42 kg. Elaborado por los autores.

Las gráficas obtenidas de los resultados de cada diseño de mezcla Marshall las cuales están representadas por las gráficas de Densidad o Peso específico bulk, Porcentajes de vacíos, Porcentajes de vacíos del agregado mineral (VMA), porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA); Estabilidad y Flujo las cuales todas están condicionadas con el porcentaje de asfalto que se incrementa.

Mediante las gráficas podemos observar las tendencias entre el contenido de asfalto y sus características. A continuación, se describirá la tendencia que se puede observar en las gráficas de la mezcla patrón y las adicionadas con elastómeros y PET reciclado.

## Relación-Estabilidad

La estabilidad es la propiedad que mide la resistencia del pavimento hacia cargas vehiculares, en la siguiente investigación se pudo verificar que cuando se agrega más porcentaje de adicicionantes la estabilidad mejora significativamente.

Tabla 65.

*Relación de Estabilidad*

RELACIÓN DE ESTABILIDAD	
DISEÑO DE MEZCLA	ESTABILIDAD
Convencional	925.48
1% De Elastómero y Pet	1303.922
1.5% De Elastómero y Pet	1394.88
2% De Elastómero y Pet	1436.42

Nota: Relación de resultados de estabilidad por incremento del adicicionante.



Figura 79. Curva de relación de estabilidad por cada diseño de mezcla Marshall (% de adicicionantes agregados). Elaborado por los autores

## Relación-Flujo

El flujo en los ensayos realizados aumenta significativamente, la cual no cumple con las especificaciones técnicas del EG. 2013 del MTC la cual el rango de flujo aceptado es de 8-14 mm esto se debe a la propiedad de los adicicionantes ya que tienden a deformarse.

Tabla 66.

*Relación de flujo*

RELACIÓN DE FLUJO	
DISEÑO DE MEZCLA	FLUJO
Convencional	9.9
1% De Elastómero y Pet	30
1.5% De Elastómero y Pet	32.2
2% De Elastómero y Pet	35.3

Nota: Relación de resultados de flujo por incremento del adicicionante.

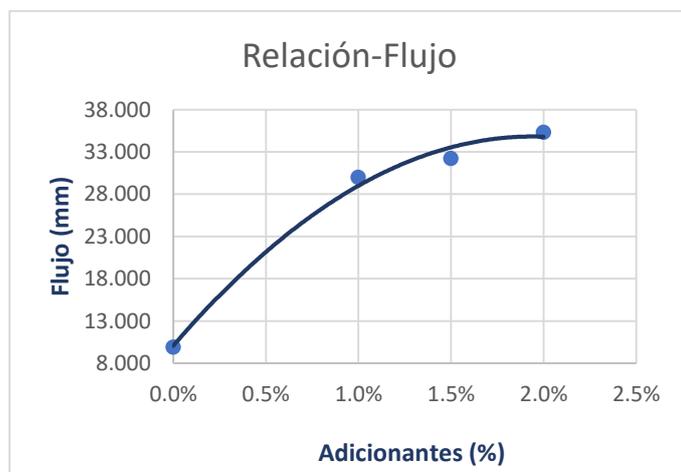


Figura 80. Curva de relación de flujo por cada diseño de mezcla Marshall (% de adicicionantes agregados). Elaborado por los autores.

## Relación-Vacíos de Aire

El contenido de vacíos tiende a aumentar en la medida en que se le incorpore más % de adiconantes, la cual no cumple con las especificaciones técnicas del EG. 2013 del MTC la cual el rango de vacíos aceptado es de 3-5 % esto se debe a que los adiconantes al no ser muy finos generan más vacíos.

Tabla 67.

*Relación de Vacíos de Aire*

RELACIÓN DE VACIOS DE AIRE	
DISEÑO DE MEZCLA	VACIOS DE AIRE
Convencional	4.96
1% De Elastómero y Pet	5.76
1.5% De Elastómero y Pet	6.39
2% De Elastómero y Pet	7.96

Nota: Relación de vacíos de aire por incremento del adiconante.

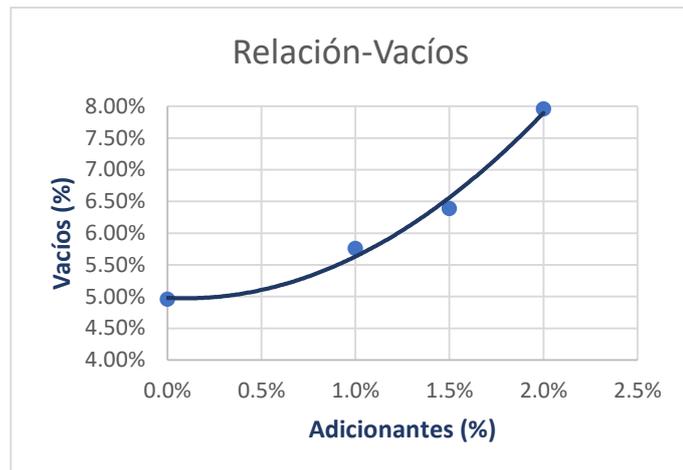


Figura 81. Curva de relación de % de vacíos por cada diseño de mezcla Marshall (% de adiconantes agregados). Elaborado por los autores

## Relación-Vacíos del Agregado Mineral

El contenido de vacíos del agregado mineral tiende a disminuir en la medida en que se le incorpore más % de adiconantes, la cual cumple con las especificaciones técnicas del EG. 2013 del MTC la cual el rango de vacíos del agregado mineral aceptado es de 14% min esto se debe a que los adiconantes al no ser muy finos generan más vacíos.

Tabla 68.

*Relación del Agregado Mineral (V.M.A)*

RELACIÓN DEL AGREGADO MINERAL V.M. A	
DISEÑO DE MEZCLA	V.M. A
Convencional	19.36
1% De Elastómero y Pet	16.1
1.5% De Elastómero y Pet	16.26
2% De Elastómero y Pet	15.04

Nota: Relación de vacíos de agregado mineral por incremento del adiconante.

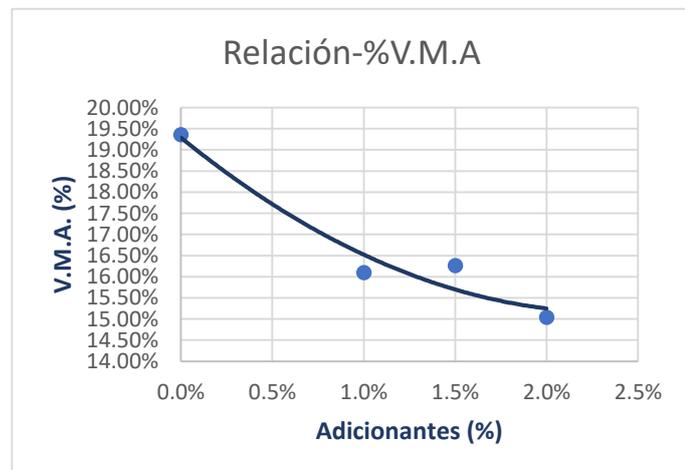


Figura 82. Curva de relación de % de vacíos del agregado mineral por cada diseño de mezcla Marshall (% de adiconantes agregados). Elaborado por los autores.

### Relación-Vacíos llenos de asfalto

El contenido de vacíos llenos de asfalto tiende a disminuir en la medida en que se le incorpore más % de adicicionantes, la cual no cumple con las especificaciones técnicas del EG. 2013 del MTC la cual el rango de vacíos llenos de asfalto aceptado es de 65%-75%.

Tabla 69.

Relación de Vacíos Llenos de Asfalto

RELACIÓN DE VACIOS LLENOS DE ASFALTO	
DISEÑO DE MEZCLA	V.F. A
Convencional	74.41
1% De Elastómero y Pet	75.33
1.5% De Elastómero y Pet	60.85
2% De Elastómero y Pet	46.98

Nota: Relación de vacíos llenos de asfalto por incremento del adicicionante.

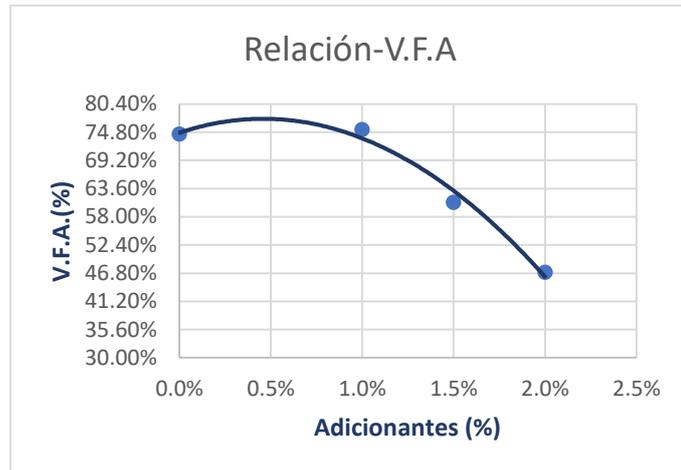


Figura 83. Curva de relación de % de vacíos llenos de asfalto por cada diseño de mezcla Marshall (% de adicicionantes agregados). Elaborado por los autores

#### **IV. DISCUSIONES**

Como consecuencia de los resultados obtenidos se comprueba que existe una relación con lo que expone Revelo Corella, Mar Elizabeth, 2014. En su tesis titulada Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente Modificadas con Elastómeros (Caucho) y Tereftalato de Polietileno Reciclados con Ligante Asfáltico AC-20, donde mencionan que los materiales como elastómeros y tereftalato son utilizados como adiconantes para mejorar la resistencia, la cual la utilización de estos adiconantes contribuye a reciclar este material con un manejo sustentable y es una alternativa para mejorar sus propiedades mecánicas.

Los resultados de este estudio tienen resultados parecidos, cabe mencionar que para la investigación se utilizó los adiconantes como material de agregado fino.

Tabla 70.

*Resultados finales de las investigación y la tesis antecedente, adicionadas con elastómeros y PET reciclado de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras 2013-Tabla 423-6*

<b>Parámetros Marshall MTC E- 504</b>	<b>Clase de mezcla A</b>	<b>Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente Modificadas con Elastómeros (Caucho) y Tereftalato de Polietileno Reciclados con Ligante Asfáltico AC-20</b>	<b>Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.</b>
		<b>Diseño A</b>	<b>Diseño B</b>
Tipo de Trafico	Tráfico pesado	Tráfico pesado	Tráfico pesado
Contenido óptimo		6.7	6.4
Contenido de adiconantes		1% 50E-50P	1%(0.5%E-0.5%P)
Compactación, número de golpes por lado	75	75	75
Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	1604.17	1303.92
Flujo 0.01" (0.25 min)	8-14	15.9	30
Porcentaje de vacíos con aire (1) MTC E- 505	3-5	6.02	5.76
Vacíos en el agregado mineral	Tamiz 3/4" = 14% min.	18	16.61
Vacíos llenos de asfalto	65-75	66.5	65.33

*Nota:* Resumen de diseño de mezcla asfáltica Marshall de los resultados de la investigación la tesis antecedente. Elaborado por los autores.

Para esta investigación se utilizaron los adicicionantes de caucho rayado y PET en láminas cortadas las cuales han sido dosificadas dentro del agregado fino.

Al comparar los resultados del diseño A y B de mezclas asfálticas Marshall se observa que se obtienen mejores resultados para el diseño A con un 6.4% y en diseño B con un 6.7% de cemento asfáltico para un 1% de adicicionantes de elastómeros y PET.

El diseño A se obtuvo una estabilidad 1604.17kg y el diseño B 1303.92 kg la cual ambas cumplen con el reglamento que pide un mínimo de 825 kg según el EG-2013 MTC.

El flujo se obtuvo con el óptimo de asfalto la cual indica que para el diseño A son 15.9 mm y el diseño B son 30 mm donde ninguno cumple con las especificaciones del MTC que establece los rangos entre 8-14.

Según el diseño A el porcentaje de vacíos es de 6.02% y en el diseño B de 5.76 la cual sobrepasa en ambos diseños el rango de vacíos establecidos por reglamento (3-5).

Las briquetas del diseño A tiene un porcentaje de vacíos de agregado mineral de 18 % y el diseño B es de 16.61 % donde cumplen con el reglamento en ambos casos ya que el mínimo que pide es de 14% min.

Respecto a los vacíos llenos de asfalto en el diseño A se obtuvo 66.5% y en el diseño B 65.33% las cuales cumplen los dos ya que el rango que especifica el MTC es de 65-75).

Los resultados de ambas investigaciones son parecidos la diferencia en los resultados está enfocada en el uso distinto que se le dieron a la adición de la mezcla.

## **V. CONCLUSIONES**

Este estudio se basa en el Manual de Carreteras-Especificaciones generales de la construcción EG-2013, capítulo IV Pavimentos Flexibles-Sección 423 Pavimentos de concreto asfáltico donde se detallan especificaciones de calidad de los agregados pétreos y los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica en caliente.

La mezcla asfáltica se realizó con el método de diseño Marshall y la aplicación de los adicionantes por vía seca como parte del agregado fino. Donde se obtuvo un mejor comportamiento según el parámetro especificados en el EG-2013 adicionando al 1% de elastómeros y PET.

El agregar elastómeros y PET reciclado en la mezcla mejora la estabilidad, los vacíos llenos de asfalto y reduce su deformación frente a un pavimento convencional. La propiedad mecánica de estabilidad incrementa en la mezcla modificada en la medida que se agregue adicionantes alcanzando el máximo valor en el diseño de mezcla con elastómeros y PET reciclado al 2 % con un valor de 1604 kg.

La mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado es trabajable por método de adición vía seca debido a que se trabaja como parte del agregado fino. Es decir se incorporó como parte del porcentaje a un agregado fino, completando entre ellos para llegar una mezcla adecuadamente según los parámetros indicados en el EG-2013, para ver su mejor comportamiento.

La mezcla asfáltica adicionada con elastómeros y PET reciclado incrementa el contenido de vacíos y reduce a la impermeabilidad de la mezcla. Llegando a 5.76% de vacíos con el diseño al 1% de adición de elastómeros y PET siendo el más bajo de los 3 diseños de mezcla la cual no llega a cumplir con las especificaciones del EG-2013.

Los materiales reciclados como elastómeros y PET, pueden ser utilizados como modificadores en una mezcla asfáltica. Así mismo contribuyen al cuidado del medio ambiente y generen un mercado de reciclaje para estos residuos sólidos enfocados en la construcción de pavimentos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

La adición de elastómeros y PET reciclado evidencia un aumento de las propiedades mecánicas frente al diseño convencional, a pesar de ello se recomienda seguir con las investigaciones, realizar más briquetas de diseño por cada porcentaje de asfalto y conseguir partículas inferiores utilizadas en la investigación.

Se recomienda ampliar el estudio realizando otros ensayos a las mezclas asfálticas como la rueda cargada de Hamburgo para tener un análisis dinámico de la mezcla.

Se recomienda realizar tramos prueba de la mezcla adicionada con elastómero y PET reciclado a fin de evaluar como pavimento terminado, así poder realizar una compactación superior a fin de eliminar vacíos.

Se recomienda utilizar partículas más homogéneas en la mezcla para realizar un análisis más preciso en el diseño.

Se recomienda utilizar porcentajes diferentes de cada adicinante para determinar la influencia que tiene cada una de ellas según su comportamiento en la mezcla.

Se recomienda utilizar filler como cal o cemento en la mezcla asfáltica adicionada para controlar el contenido de vacíos.

## **VII.REFERENCIAS**

- Asphalt Institute (2014). *Principles of Construction of Hot Asphalt Mixing Pavements*. United States of America: Asphalt Institute.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Colombia: Editorial Pearson.
- Castro, G. (2007). *Reutilización, Reciclado y Disposición final de Neumáticos*. Recuperado de [http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material\\_Complementario/Reutilizacion\\_Reciclado\\_y\\_Disposicion\\_final\\_de\\_Neumatico.pdf](http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Neumatico.pdf)
- Durán, U. (2013). *Diseño de una recicladora de PET, estrategias y cadena de suministro para su formulación*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books>
- Elías, X. (2012). *Reciclaje de residuos industriales: residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books>
- Fajardo, L. & Vergaray, D. (2014). *Efecto de la incorporación por vía seca del polvo de neumático reciclado como agregado fino en mezclas asfálticas* (tesis de pregrado). Universidad San Martín de Porres, Perú.
- Gamica, P., Delgado, H., Sandoval, C. (2005). *Análisis Comparativo de los Métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas*. Publicación Técnica N° 271.
- García, M. (2017). *Ingeniería básica de una planta de producción de Polietileno Tereftalato* (tesis fin de grado). Universidad de Sevilla, España.
- Hernández, A. (2018). *Metodología de la Investigación Científica*. Editorial de área de innovación y desarrollo.
- Huamán, N. (2011). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú* (tesis grado académico de maestro en ciencias con mención en ingeniería de transportes). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Instituto del Asfalto (2001). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Estados Unidos de América: Instituto del Asfalto.

- López, M. (2004). *Utilización de aditivos polímeros en pavimentos flexibles* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima, Perú: MTC.
- Menéndez, J. (2009). *Ingeniería de Pavimentos Materiales, Diseño y Conservación*. Lima, Perú.
- Minaya, S. y Ordoñez, A. (2001). *Manual de Laboratorio ensayos para pavimentos*. Lima, Perú: Manual.
- Minaya, S. y Ordoñez, A. (2003). *Superpave y el Diseño de Mezclas Asfálticas*. Lima, Perú.
- Minaya, S. y Ordoñez, A. (2015). *Diseño moderno de pavimento asfáltico*. Lima, Perú.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá, Colombia.
- Municipalidad Metropolitana de Lima (2006). *Aprueban el Plano del Sistema Vial Metropolitano de Lima, Ordenanza N° 341*. Perú: MML.
- Ortiz, B. (2017). *Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Palella, S. y Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación cuantitativa*. Caracas: Fedupel.
- Palomino, J., Peña, J., Zevallos, G., Orizano, L. (2015). *Metodología de la Investigación Guía para elaborar un proyecto en salud y educación*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.
- Pereda, D. y Cubas, N. (2015). *Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales* (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Perú.
- Petroperú (2016). *Asfaltos en el Perú*. Recuperado de [https://issuu.com/petroperu/docs/manual\\_asfaltos](https://issuu.com/petroperu/docs/manual_asfaltos)
- Ramírez, L. (2011). *Pavimentos con Polímeros Reciclados* (tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Colombia.
- Ramírez, N. (2006). *Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Chile.

- Revelo, M. (2014). *Diseño de mezclas asfálticas en caliente modificadas con elastómeros(caucho) y tereftalato de polietileno reciclados con ligante asfáltico AC-20* (tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.
- Reyes, F. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. Colombia: Centro Editorial Javeriano.
- Rodríguez, K. (2005). *Mejora de una mezcla asfáltica drenante con adición de caucho e Icopor* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Rondón, H. y Reyes, F. (2015). *Pavimentos Materiales, Construcción y Diseño*. 1ra ed. Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones.
- Ruíz C. (2002). *Instrumento y Técnicas de Investigación Educativa*. 3ra ed. s.l.: Danaga.
- Salvatierra, J. (2014). *Desarrollo de un aglomerado asfáltico con polvo de caucho, en la ciudad de Huanta-Ayacucho* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal, Perú.
- Silvestre, D. (2017). *Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima* (tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Perú.
- Tapia, M. (2016). *Pavimentos*. Universidad Nacional Autónoma de México, DECDFI, México.
- Vásquez, L. (2002). *Paviment Condition Index(PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Manizales, Colombia.
- Vega, D. (2016). *Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
General	General	General				
¿Cómo la adición de elastómeros y PET reciclado mejora una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018?	Determinar la mejora de una mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.	Mejora la mezcla asfáltica adicionado elastómeros y PET reciclado en vías metropolitanas, Lima 2018.	Variable Dependiente	Resistencia	Estabilidad Flujo Relación de estabilidad y flujo. Tipo de tráfico	Por razón
Específicos	Específicos	Específicos				
¿Cómo la adición de elastómeros y PET reciclado mejora la resistencia de una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018?	Determinar la mejora de la resistencia adicionando elastómeros y PET reciclado en una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.	La resistencia es mayor en la mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.	Mezclas asfálticas	Trabajabilidad	Temperatura de la mezcla Vacíos en el agregado Mineral Vma Granulometría del agregado Grueso	Por razón
				Impermeabilidad	Contenido de vacíos de la mezcla compactada. Contenido de asfalto	Por razón
¿Cómo la adición de elastómeros y PET reciclado mejora la trabajabilidad de una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018?	Determinar la mejora de la trabajabilidad adicionando elastómeros y PET reciclado en una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.	La trabajabilidad mejora en la mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.	Variable Independiente	Granulometría	Tamizado	Por razón
¿Cómo la adición de elastómeros y PET reciclado mejora la impermeabilidad de una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018?	Determinar la mejora de la impermeabilidad adicionando elastómeros y PET reciclado en una mezcla asfáltica para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.	La impermeabilidad mejora en la mezcla asfáltica adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.	Elastómeros y PET reciclado	Vía seca	Temperatura Dosificación	Por razón

## Anexo 2. Instrumento de Medición

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		<b>FICHA TÉCNICA</b>		FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		<b>ASPECTO DE VALIDACIÓN</b>
<b>PROYECTO:</b>		Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.				
<b>AUTORES:</b>		Canta Huarcaya Franklin Andrey Vivas Jines Katherine Soraya				
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTUDIO</b>						
<b>Ubicación:</b>		Av. Circunvalación		<b>Tipo de Vía</b>		Vía Arterial
<b>Región Geográfica:</b>		Costa				
<b>Departamento:</b>		Lima		<b>Provincia:</b>		Lima
<b>Distritos:</b>		Ate Vitarte, La Victoria, San Luis y San Borja				
<b>Inicio de tramo:</b>		Av. Circunvalación – Av. Nicolás Ayllón				
<b>Coordenadas</b>		Latitud S 12° 3' 48.828" y Longitud W 76° 59' 59.882"				
<b>Fin de tramo:</b>		Av. Circunvalación – Av. Javier Prado				
<b>Coordenadas</b>		Latitud S 12° 4' 59.438" y Longitud W 76° 59' 5.282"				
<b>Longitud</b>		2.78 KM				
<b>MEZCLAS ASFÁLTICAS</b>						
<b>AGREGADOS PÉTROS</b>			<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>			
<b>Agregado</b>		<b>Características</b>		<b>Procedencia</b>		<b>Refinería</b>
<b>Agregado Fino:</b>		Arena Chancada				
		Arena Natural				
<b>Agregado Grueso:</b>		Grava chancada		PEN 60-70		
<i>0.80</i>						
<b>Ensayos</b>		<b>Calidad de los agregados</b>		<b>Normativa</b>		<b>Unidad</b>
Granulometría		Agregado Fino		MTC E-204/ASTM 422		%
Equivalente de arena		Agregado Fino		ASTM D2419		%
Peso específico y absorción		Agregado Fino		ASTM C128		g/cm <sup>3</sup>
Sales solubles		Agregado Fino		MTC E-219		%
Límites de consistencia		Agregado Fino		ASTM D4318		%
Índice de durabilidad		Agregado Fino		ASTM D3744/MTC E-222		
Valor azul de Metileno		Agregado Fino		AASHTO T330		mg/g
Angularidad del agregado		Agregado Fino		MTC E-222		%
Granulometría		Agregado Fino		MTC E-204/ASTM 422		%
Durabilidad en sulfato de magnesio		Agregado Grueso		ASTM C88/MTC E-209		%
Índice de durabilidad		Agregado Grueso		ASTM D3744/MTC E-214		%
Gravedad específica y absorción		Agregado Grueso		ASTM C127/MTC E206		g/cm <sup>3</sup>
Sales solubles		Agregado Grueso		ASTM D1888 / MTC E 219		%
Porcentaje de caras fracturadas		Agregado Grueso		ASTM D5821/MTC E210		%
Partículas chatas y alargadas		Agregado Grueso		ASTM D4791		%
Abrasión de los angeles		Agregado Grueso		ASTM C131/ MTC E207		%
Penetración		Cemento asfáltico		AASHTO T49		mm
Punto de Inflamación		Cemento asfáltico		ASTM D-92/ AASHTO T48		C°
Viscosidad		Cemento asfáltico		ASTM-D 445/D 2170		C°
Elaboración de briquetas/N°Golpes		<b>Método de diseño de mezclas Marshall</b>		ASTM D-6926/ MTC E-504		N°
Densidad de la mezcla				MTC E-504		Kg/cm <sup>3</sup>
Estabilidad				ASTM D-6927/ MTC E-504		Kg
Flujo				ASTM D-6927/ MTC E-504		mm
Porcentaje de vacíos				ASTM D-3203/MTC E-505-506		%
Vacíos en el agregado mineral				ASTM D-3203/MTC E-505-506		%
Contenido de asfalto				ASTM D-6927/ MTC E-504		%

ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO			
Elastómeros		Tereftalato de Polietileno (PET)	
Planta de trituración:		Planta de reciclaje:	
Diámetro de partículas:		Diámetro de Partículas:	

0.70

Ensayos	Parámetros de diseño	Normativa	Unidad
Granulometría	Granulometría por tamizado	MTC-E 107	%
Técnica de utilización del adicinante	Vía Seca	Características técnicas para la mezcla.	
		Temperatura	Diámetro

DATOS DEL EVALUADOR			PROMEDIO DE VALIDACIÓN
Apellidos y Nombres:	LEYVA GARCILAZO, HERNAN		0.75
Registro CIP:	73228		
Teléfono:	937514504	Correo: HLEYVA@LICV.EDA.PE	

  
 Firma y sello del evaluador

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		<b>FICHA TÉCNICA</b>		FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		<b>ASPECTO DE VALIDACIÓN</b>
<b>PROYECTO:</b>		Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.				
<b>AUTORES:</b>		Canta Huarcaya Franklin Andrey Vivas Jines Katherine Soraya				
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTUDIO</b>						<b>NÚMERO DE FICHA</b>
<b>Ubicación:</b>		Av. Circunvalación		<b>Tipo de Vía</b> Vía Arterial		
<b>Región Geográfica:</b>		Costa				
<b>Departamento:</b>		Lima		<b>Provincia:</b> Lima		
<b>Distritos:</b>		Ate Vitarte, La Victoria, San Luis y San Borja				
<b>Inicio de tramo:</b>		Av. Circunvalación – Av. Nicolás Ayllón				
<b>Coordenadas</b>		Latitud S 12° 3' 48.828" y Longitud W 76° 59' 59.882"				
<b>Fin de tramo:</b>		Av. Circunvalación – Av. Javier Prado				
<b>Coordenadas</b>		Latitud S 12° 4' 59.438" y Longitud W 76° 59' 5.282"				
<b>Longitud</b>		2.78 KM				

N°  
02

MEZCLAS ASFÁLTICAS				
AGREGADOS PÉTROS			CEMENTO ASFÁLTICO	
Agregado	Características	Procedencia	Refinería	
Agregado Fino:	Arena Chancada			
	Arena Natural		Tipo	Características
Agregado Grueso:	Grava chancada		PEN 60-70	

0.80

Ensayos	Calidad de los agregados	Normativa	Unidad
Granulometría	Agregado Fino	MTC E-204/ASTM 422	%
Equivalente de arena	Agregado Fino	ASTM D2419	%
Peso específico y absorción	Agregado Fino	ASTM C128	g/cm <sup>3</sup>
Sales solubles	Agregado Fino	MTC E-219	%
Límites de consistencia	Agregado Fino	ASTM D4318	%
Índice de durabilidad	Agregado Fino	ASTM D3744/MTC E-222	
Valor azul de Metileno	Agregado Fino	AASHTO T330	mg/g
Angularidad del agregado	Agregado Fino	MTC E-222	%
Granulometría	Agregado Fino	MTC E-204/ASTM 422	%
Durabilidad en sulfato de magnesio	Agregado Grueso	ASTM C88/MTC E-209	%
Índice de durabilidad	Agregado Grueso	ASTM D3744/MTC E-214	%
Gravedad específica y absorción	Agregado Grueso	ASTM C127/MTC E206	g/cm <sup>3</sup>
Sales solubles	Agregado Grueso	ASTM D1888 / MTC E 219	%
Porcentaje de caras fracturadas	Agregado Grueso	ASTM D5821/MTC E210	%
Partículas chatas y alargadas	Agregado Grueso	ASTM D4791	%
Abrasión de los angeles	Agregado Grueso	ASTM C131/ MTC E207	%
Penetración	Cemento asfáltico	AASHTO T49	mm
Punto de Inflamación	Cemento asfáltico	ASTM D-92/ AASHTO T48	C°
Viscosidad	Cemento asfáltico	ASTM-D 445/D 2170	C°
Elaboración de briquetas/N°Golpes	Método de diseño de mezclas Marshall	ASTM D-6926/ MTC E-504	N°
Densidad de la mezcla		MTC E-504	Kg/cm <sup>3</sup>
Estabilidad		ASTM D-6927/ MTC E-504	Kg
Flujo		ASTM D-6927/ MTC E-504	mm
Porcentaje de vacíos		ASTM D-3203/MTC E-505-506	%
Vacíos en el agregado mineral		ASTM D-3203/MTC E-505-506	%
Contenido de asfalto		ASTM D-6927/ MTC E-504	%

ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO			
Elastómeros		Tereftalato de Polietileno (PET)	
Planta de trituración:		Planta de reciclaje:	
Diámetro de partículas:		Diámetro de partículas:	

0.85

Ensayos	Parámetros de diseño	Normativa	Unidad
Granulometría	Granulometría por tamizado	MTC-E 107	%
Técnica de utilización del adicionante	Vía Seca	Características técnicas para la mezcla.	
		Temperatura	Diámetro

DATOS DEL EVALUADOR			PROMEDIO DE VALIDACIÓN
Apellidos y Nombres:	Ramos Suarez Alvaro		0,825
Registro CIP:	160465		
Teléfono:	945104807	Correo: aramos@ucv.edu.pe	



Firma y sello del evaluador

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		<b>FICHA TÉCNICA</b>		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		<b>ASPECTO DE VALIDACIÓN</b>	
<b>PROYECTO:</b>		Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.					
<b>AUTORES:</b>		Canta Huarcaya Franklin Andrey Vivas Jines Katherine Soraya					
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTUDIO</b>							
<b>Ubicación:</b>		Av. Circunvalación		<b>Tipo de Vía</b>		<b>NÚMERO DE FICHA</b>	
				Vía Arterial			
<b>Región Geográfica:</b>		Costa					
<b>Departamento:</b>		Lima		<b>Provincia:</b>		N° 03	
				Lima			
<b>Distritos:</b>		Ate Vitarte, La Victoria, San Luis y San Borja					
<b>Inicio de tramo:</b>		Av. Circunvalación – Av. Nicolás Ayllón					
<b>Coordenadas</b>		Latitud S 12° 3' 48.828" y Longitud W 76° 59' 59.882"					
<b>Fin de tramo:</b>		Av. Circunvalación – Av. Javier Prado					
<b>Coordenadas</b>		Latitud S 12° 4' 59.438" y Longitud W 76° 59' 5.282"					
<b>Longitud</b>		2.78 KM					

MEZCLAS ASFÁLTICAS				
AGREGADOS PÉTROS			CEMENTO ASFÁLTICO	
Agregado	Características	Procedencia	Refinería	
Agregado Fino:	Arena Chancada			
	Arena Natural		Tipo	Características
Agregado Grueso:	Grava chancada		PEN 60-70	

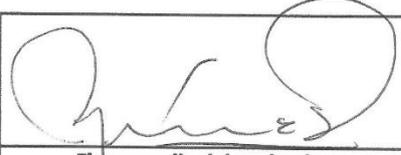
Ensayos	Calidad de los agregados	Normativa	Unidad
Granulometría	Agregado Fino	MTC E-204/ASTM 422	%
Equivalente de arena	Agregado Fino	ASTM D2419	%
Peso específico y absorción	Agregado Fino	ASTM C128	g/cm <sup>3</sup>
Sales solubles	Agregado Fino	MTC E-219	%
Límites de consistencia	Agregado Fino	ASTM D4318	%
Índice de durabilidad	Agregado Fino	ASTM D3744/MTC E-222	
Valor azul de Metileno	Agregado Fino	AASHTO T330	mg/g
Angularidad del agregado	Agregado Fino	MTC E-222	%
Granulometría	Agregado Fino	MTC E-204/ASTM 422	%
Durabilidad en sulfato de magnesio	Agregado Grueso	ASTM C88/MTC E-209	%
Índice de durabilidad	Agregado Grueso	ASTM D3744/MTC E-214	%
Gravedad específica y absorción	Agregado Grueso	ASTM C127/MTC E206	g/cm <sup>3</sup>
Sales solubles	Agregado Grueso	ASTM D1888 / MTC E 219	%
Porcentaje de caras fracturadas	Agregado Grueso	ASTM D5821/MTC E210	%
Partículas chatas y alargadas	Agregado Grueso	ASTM D4791	%
Abrasión de los angeles	Agregado Grueso	ASTM C131/ MTC E207	%
Penetración	Cemento asfáltico	AASHTO T49	mm
Punto de Inflamación	Cemento asfáltico	ASTM D-92/ AASHTO T48	C°
Viscosidad	Cemento asfáltico	ASTM-D 445/D 2170	C°
Elaboración de briquetas/N°Golpes	Método de diseño de mezclas Marshall	ASTM D-6926/ MTC E-504	N°
Densidad de la mezcla		MTC E-504	Kg/cm <sup>3</sup>
Estabilidad		ASTM D-6927/ MTC E-504	Kg
Flujo		ASTM D-6927/ MTC E-504	mm
Porcentaje de vacíos		ASTM D-3203/MTC E-505-506	%
Vacíos en el agregado mineral		ASTM D-3203/MTC E-505-506	%
Contenido de asfalto		ASTM D-6927/ MTC E-504	%

ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO			
Elastómeros		Tereftalato de Polietileno (PET)	
Planta de trituración:		Planta de reciclaje:	
Diámetro de partículas:		Diámetro de Partículas:	

0.90

Ensayos	Parámetros de diseño	Normativa	Unidad
Granulometría	Granulometría por tamizado	MTC-E 107	%
Técnica de utilización del adicionante	Vía Seca	Características técnicas para la mezcla.	
		Temperatura	Diámetro

DATOS DEL EVALUADOR			PROMEDIO DE VALIDACIÓN
Apellidos y Nombres:	ESPINOZA SANDOVAL JAIME HEMAN		0.875
Registro CIP:	159895		
Teléfono:		Correo:	

  
Firma y sello del evaluador

JAIMÉ HEMAN  
ESPINOZA SANDOVAL  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 159895

### Anexo 3. Análisis Granulométrico Global

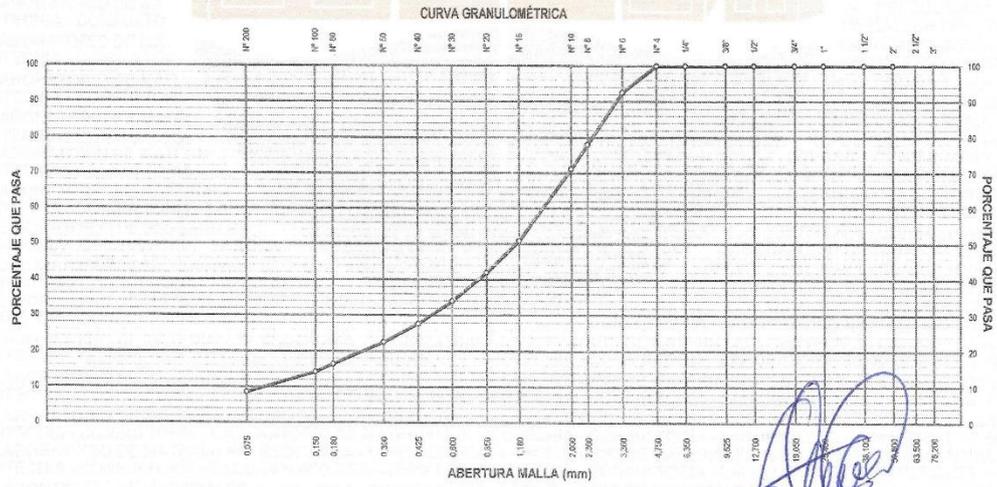
<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL GRUESO, FINO Y GLOBAL</b> <b>MTC E 204 - 2000 / NTP 339.128:1999</b> <b>ASTM C 136-05 / AASHTO T - 27</b>	<b>CÓDIGO</b> : FC - 002 <b>VERSIÓN</b> : 1.0 <b>VIGENCIA</b> : 31/12/2018
---	--

<b>PROYECTO</b> : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018 <b>ALUMNOS</b> : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA <b>ASESOR</b> : ING. MARÍA ISABEL GÁRCIA	<b>REGISTRO</b> : 114-2018/JR <b>FECHA</b> : 1/12/2018
--	---

<b>REFERENCIAS DE LA MUESTRA</b> <b>IDENTIFICACIÓN</b> : Cantera Gloria. / C-1, M-1 Agregado Fino	<b>PRESENTACIÓN</b> : 01 Saco de polipropileno.
---	---

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS					
SERIE AMERICANA	MALLAS ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
N° 4	4.750				100.0
N° 6	3.360	16.0	7.4	7.4	92.6
N° 8	2.360	31.3	14.5	21.9	78.1
N° 10	2.000	14.9	6.9	28.8	71.2
N° 16	1.180	43.7	20.3	49.1	50.9
N° 20	0.850	19.2	8.9	58.0	42.0
N° 30	0.600	17.3	8.0	66.0	34.0
N° 40	0.425	13.6	6.3	72.3	27.7
N° 50	0.300	11.0	5.1	77.4	22.6
N° 60	0.250	13.2	6.1	83.5	16.5
N° 100	0.150	4.8	2.2	85.7	14.3
N° 200	0.075	12.3	5.7	91.4	8.6
-200	MTC E 202 - 2000	18.5	8.6	100.0	-0

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO		
Muestra Seca Inicial	: 26,491.0 g	100.0 %
Material > 3"	: --	--
Material Ret. 2"	: --	--
Material Ret. 3/4"	: --	--
Material Ret. 3/8"	: --	--
Material Ret. N°4	: --	--
Material < N°4	: 26,491.0 g	100.0 %
FRACCIÓN FINA (PASA N° 4)		
Peso seco antes del lavado + Tarro	: 268.4	
Peso seco después del lavado + Tarro	: 249.9	
Peso del Tarro	: 53.2	
FRACCIONES DE GRAVA, ARENA Y FINOS		
Tamaño Máximo (mm)	: 4.750	
Porcentaje de Grava > N°4 (%)	: --	
Porcentaje de Arena < N°4 (%)	: 91	
Porcentaje de Pas. N°200 (%)	: 9	
CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
Límite líquido (%)	: --	NP
Límite plástico (%)	: --	NP
Índice plástico (%)	: --	NP
Clasificación SUCS	ASTM D 2487-05	SW-SM
Clasificación AASHTO	ASTM D 3282	A-1-b (0)
DESCRIPCIÓN DE SUELO		
SUCS	: Arena bien graduada con limo	
AASHTO	: Bueno	



OBSERVACIONES :

**RICCARDO FRANCESCO DAVILA RIOS**  
**INGENIERO CIVIL**  
 Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
 r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL GRUESO, FINO Y GLOBAL</b> MTC E 204 - 2000 / NTP 339.128:1999 ASTM C 136-05 / AASHTO T - 27	CÓDIGO	: FC - 002
	VERSIÓN	: 1.0
	VIGENCIA	: 31/12/2018

PROYECTO	: DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018	REGISTRO	: 114 - 2018/UR
ALUMNOS	: KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA	FECHA	: 1/12/2018
ASESOR	: ING. MARÍA ISABEL GÁRCIA		

REFERENCIAS DE LA MUESTRA  
IDENTIFICACIÓN           Cantera Gloria. / C-1, M-1  
Agregado Grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS					
MALLAS		PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100
3/4"	19.050	738.0	35	35	65
1/2"	12.700	779.7	21	56	44
3/8"	9.525	613.4	16	72	28
1/4"	6.350	589.5	26	98	2
N° 4	4.750	45.8	2	100	
N° 6	3.360				
N° 8	2.360				
N° 10	2.000				
N° 16	1.180				
N° 20	0.850				
N° 30	0.600				
N° 40	0.425				
N° 50	0.300				
N° 80	0.180				
N° 100	0.150				
N° 200	0.075				
-200	MTC E 202 - 2000				

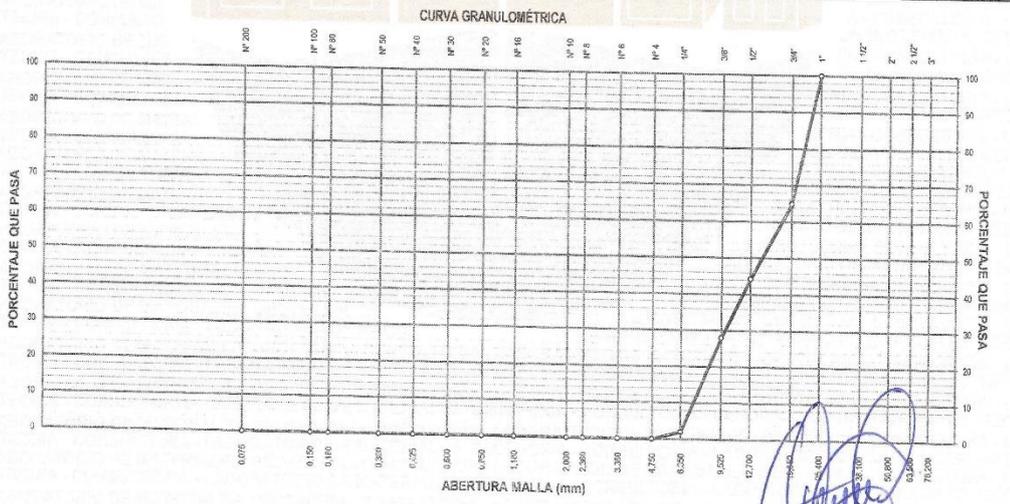
CARACTERIZACIÓN DEL SUELO		
Muestra Seca Inicial	: 30,496.0 g	100.0 %
Material > 3"		
Material Ret. 2"		
Material Ret. 3/4"	: 10,673.6 g	35.0 %
Material Ret. 3/8"	: 11,283.5 g	37.0 %
Material Ret. N°4	: 6,538.9 g	28.0 %
Material < N°4		

FRACCIÓN FINA (PASA N° 4)		
Peso seco antes del lavado + Tarro	: 2766.4	
Peso seco después del lavado + Tarro	: 2766.4	
Peso del Tarro		

FRACCIONES DE GRAVA, ARENA Y FINOS		
Tamaño Máximo (mm)	: 25.400	
Porcentaje de Grava > N°4 (%)	: 100	
Porcentaje de Arena < N°4 (%)	: 0	
Porcentaje de Pas. N°200 (%)	: 0	

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
Límite líquido (%)	: -	
Límite plástico (%)	: -	
Índice plástico (%)	: -	
Clasificación SUCS	: ASTM D 2487-05	
Clasificación AASHTO	: ASTM D 3282	

Descripción de la muestra : Piedra Natural



OBSERVACIONES: - NINGUNA

  
**RICARDO FRANCESCO DAVILA RIOS**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 203355  
938 385 323 / 955 088 036  
r.diaz@jrgeoconsultores.com  
jr.geoconsultores@gmail.com  
j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
San Martín de Porres - Lima

## Anexo 4. Certificados de los ensayos de calidad de los agregados gruesos

MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE INALTERABILIDAD DE AGREGADOS POR MEDIO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO MTC E 209-2000 / NTP 400.016:2011 ASTM C 88-05 / AASHTO T 104	CÓDIGO	: FC - 012
	VERSIÓN	: 1.0
	VIGENCIA	: 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECIDADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA  
REGISTRO : 114 - 2018/JR

UBICACIÓN : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA  
FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1  
PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.  
Agregado Grueso

DESCRIPCIÓN : Piedra Natural

### AGREGADO GRUESO

ABERTURA MALLA		N° TARRO	PESO DE LA FRAC. DE ENSAYO (g)		PÉRDIDA TOTAL (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PÉRDIDA CORREGIDA (%)
PASA	RET.		ANTES	DESPUÉS			
2 1/2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	79	673.5	991.1	1.3	37.0	0.74
1/2"	3/8"	18	330.6				
3/8"	N° 4	2	300.9	300.0	0.3	28.0	0.13

PÉRDIDA TOTAL (%)	0.9
-------------------	-----

OBSERVACIONES:

- NINGUNA

  
RICARDO FRANCESCO  
DAVILA RIOS  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
r.diaz@jrgeoconsultores.com  
jr.geoconsultores@gmail.com  
j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
San Martín de Porres - Lima

<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN EN AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b> MTC E 207-2000 / NTP 400.019:2002 ASTM C 131-03 / AASHTO T 96	CÓDIGO	: FC - 008
	VERSIÓN	: 1.0
	VIGENCIA	: 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018

REGISTRO : 114 - 2018/JR

UBICACIÓN : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA

FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1

Agregado Grueso

DESCRIPCIÓN : Piedra Natural

REFERENCIAS DEL ENSAYO	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	RESULTADOS (% DE PÉRDIDA)
GRADACIÓN "A"	5,000.0	4,068.9	18.6
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL 1"			
NÚMERO DE ESFERAS 12			

**OBSERVACIONES:**

- NINGUNA



RICARDO FRANCESCO  
DAVILA RIOS  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036

r.diaz@jrgeoconsultores.com

jr.geoconsultores@gmail.com

j.oyarce@jrgeoconsultores.com

Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
San Martín de Porres - Lima



<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR PARTÍCULAS CHATAS, PARTICULAS ALARGADAS, O PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO ASTM D 4791 - 05e1 / NTP 400.040:1999</b>	<b>CÓDIGO</b> : FC - 010
	<b>VERSIÓN</b> : 1.0
	<b>VIGENCIA</b> : 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018

REGISTRO : 114 - 2018/JR

UBICACIÓN : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA

FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GÁRCIA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1

PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.

Agregado Grueso

DESCRIPCIÓN : Piedra Natural

**A) PARTÍCULAS CHATAS**

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	NÚMERO DE PARTÍCULAS	PARTÍCULAS CHATAS (g)	PARTÍCULAS CHATAS (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE PART. CHATAS
PASA	RET.						
1 1/2"	1"	1953.8	80	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	1544.2	106	0.0	0.0	48.6	0.0
3/4"	1/2"	1196.0	320	0.0	0.0	28.8	0.0
1/2"	3/8"	685.0	166	0.0	0.0	22.6	0.0
TOTAL				0.0	0.0	100.0	0.0
PARTÍCULAS CHATAS (%)							NT

**B) PARTÍCULAS ALARGADAS**

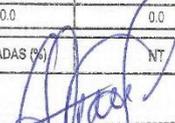
ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	NÚMERO DE PARTÍCULAS	PARTÍCULAS ALARGADAS (g)	PARTÍCULAS ALARGADAS (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE PART. ALARGADAS
PASA	RET.						
1 1/2"	1"	1953.8	80	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	1544.2	106	0.0	0.0	48.6	0.0
3/4"	1/2"	1196.0	320	0.0	0.0	28.8	0.0
1/2"	3/8"	685.0	166	0.0	0.0	22.6	0.0
TOTAL				0.0	0.0	100.0	0.0
PARTÍCULAS ALARGADAS (%)							NT

**C) PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS**

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	NÚMERO DE PARTÍCULAS	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS (g)	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE PART. CHATAS Y ALARGADAS
PASA	RET.						
1 1/2"	1"	1953.8	80	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	1544.2	106	0.0	0.0	48.6	0.0
3/4"	1/2"	1196.0	320	0.0	0.0	28.8	0.0
1/2"	3/8"	685.0	166	0.0	0.0	22.6	0.0
TOTAL				0.0	0.0	100.0	0.0
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)							NT

OBSERVACIONES:

- NINGUNA

  
 RICARDO FRANCESCO  
 DAVILA RIOS  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036

r.diaz@jrgeoconsultores.com

jr.geoconsultores@gmail.com

j.oyarce@jrgeoconsultores.com

Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
San Martín de Porres - Lima

<b>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN AGREGADOS GRUESOS ASTM D 5821-01 / MTC E 210-2000</b>	<b>CÓDIGO</b> : FC - 009
	<b>VERSIÓN</b> : 1.0
	<b>VIGENCIA</b> : 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET REICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018      REGISTRO : 114 - 2018/JR

UBICACIÓN : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA      FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GÁRCIA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1      PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.  
Agregado Grueso

DESCRIPCIÓN : Piedra Natural

**A) UNA A MÁS CARAS FRACTURADAS**

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	NÚMERO DE PARTÍCULAS	PARTÍCULAS FRACTURADAS (g)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RET.						
1 1/2"	1"	1953.8	80	1953.8	100.0	0.0	0.0
1"	3/4"	1544.2	106	1494.0	96.7	48.6	4700.6
3/4"	1/2"	1196.0	320	1137.2	95.1	28.8	2734.1
1/2"	3/8"	299.0	166	295.0	98.7	22.6	2234.6
<b>TOTAL</b>					<b>390.5</b>	<b>100.0</b>	<b>9,669.3</b>

<b>PARTÍCULAS CON UNA A MÁS CARAS DE FRACTURA (%)</b>	<b>96.7 %</b>
---	---------------

**B) DOS A MÁS CARAS FRACTURADAS**

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	NÚMERO DE PARTÍCULAS	PARTÍCULAS FRACTURADAS (g)	CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RET.						
1 1/2"	1"	1953.8	80	1909.0	97.7	0.0	0.0
1"	3/4"	1544.2	106	1429.8	92.6	48.6	4501.3
3/4"	1/2"	1196.0	320	1121.8	93.8	28.8	2696.8
1/2"	3/8"	299.0	166	295.0	98.7	22.6	2234.6
<b>TOTAL</b>					<b>362.6</b>	<b>100.0</b>	<b>9,432.6</b>

<b>PARTÍCULAS CON DOS A MÁS CARAS DE FRACTURA (%)</b>	<b>94.3 %</b>
---	---------------

OBSERVACIONES: - NINGUNA

  
**RICARDO FRANCESCO DAVILA RIOS**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
 r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

<b>MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA MTC E 219 - 2000 / NTP 339.152:2002</b>	<b>CÓDIGO</b> : FC - 017
	<b>VERSIÓN</b> : 1.0
	<b>VIGENCIA</b> : 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018 REGISTRO : 114 - 2018/JR

UBICACIÓN : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1 Agregado Grueso PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.

DESCRIPCIÓN : Piedra Natural

IDENTIFICACIÓN	AGREGADO GRUESO		RESULTADO (%)
	SALES SOLUBLES (%)		
Nº DE ENSAYO	1	2	
PESO INICIAL (BIKER DE 100 ml) (g)	65.0620	61.3571	0.0954
VOLUMEN DE SOLUCIÓN EMPLEADA (ml)	100.0	100.0	
PESO FINAL (BIKER DE 100 ml) + SALES (g)	65.0935	61.3892	
CONTENIDO DE SALES (%)	0.0945	0.0962	

OBSERVACIONES: - NINGUNA

  
 RICCARDO FRANCESCO  
 JAVILA RIOS  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
 r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

<b>MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA MTC E 219 - 2000 / NTP 339.152:2002</b>	CÓDIGO	: FC - 017
	VERSIÓN	: 1.0
	VIGENCIA	: 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018 REGISTRO : 114 - 2018/JR

UBICACIÓN : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1 PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.  
Agregado Grueso

DESCRIPCIÓN : Piedra Natural

IDENTIFICACIÓN	AGREGADO GRUESO		
	SALES SOLUBLES (%)		RESULTADO (%)
Nº DE ENSAYO	1	2	0.0954
PESO INICIAL (BIKER DE 100 ml) (g)	65.0620	61.3571	
VOLUMEN DE SOLUCIÓN EMPLEADA (ml)	100.0	100.0	
PESO FINAL (BIKER DE 100 ml) + SALES (g)	65.0935	61.3892	
CONTENIDO DE SALES (%)	0.0945	0.0962	

OBSERVACIONES: - NINGUNA

  
 RICCARDO FRANCESCO  
 JAVILA RIOS  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
 r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima



## Anexo 5. Certificados de los ensayos de calidad de los agregados finos

<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS</b> <b>MTC E 114 - 2000 / NTP 339.146:2000</b> <b>ASTM D 2419-02 / AASHTO T 176</b>	CÓDIGO	: FC - 024
	VERSIÓN	: 1.0
	VIGENCIA	: 31/12/2018

PROYECTO	: DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018	REGISTRO	: 114-2018/JR
ALUMNOS	: KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA	FECHA	: 1/12/2018
ASESOR	: ING. MARÍA ISABEL GARCÍA		

### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN	: Cantera Gloria. / C-1, M-1 Agregado Fino	PRESENTACIÓN	: 01 Saco de polipropileno.
DESCRIPCIÓN	: Arena bien gradada con limo		
TAMAÑO MÁXIMO	: 4.75 mm (N°4)		

DESCRIPCIÓN	N° DE ENSAYO			RESULTADO (%)
	1	2	3	
Tamaño Máximo de Partícula de Ensayo (mm)	4.750			78.5
Hora de Entrada a Saturación (hh:mm:ss)	02:42:00 p. m.	02:45:00 p. m.	02:48:00 p. m.	
Hora de Salida de Saturación (mas 10") (hh:mm:ss)	02:52:00 p. m.	02:55:00 p. m.	02:58:00 p. m.	
Hora de Entrada a Decantación (hh:mm:ss)	02:54:00 p. m.	02:57:00 p. m.	03:00:00 p. m.	
Hora de Salida de Decantación (mas 20") (hh:mm:ss)	03:14:00 p. m.	03:17:00 p. m.	03:20:00 p. m.	
Altura Máxima de Material Fino (pulg.)	4.1	4.0	4.0	
Altura Máxima de la Arena (pulg.)	3.2	3.1	3.2	
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	78.0	77.5	80.0	

OBSERVACIONES :

  
**RICARDO FRANCESCO**  
**DAVILA RIOS**  
**INGENIERO CIVIL**  
 Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
 r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

<b>MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS</b> <b>MTC E 214-2000</b> <b>ASTM D 3744/D 3744M-11 / AASHTO T-210</b>	CÓDIGO	: FC - 031
	VERSIÓN	: 1.0
	VIGENCIA	: 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018 REGISTRO : 114-2018/JR

ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GÁRCIA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1 Agregado Fino PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.

DESCRIPCIÓN : Arena bien gradada con limo

TAMAÑO MÁXIMO : 4.75 mm (Nº4)

**AGREGADO FINO**

DESCRIPCIÓN	Nº DE ENSAYO			RESULTADO (%)
	1	2	3	
Tamaño Máximo de Partícula de Ensayo (mm)	4.750			61.1
Hora de Entrada a 1º Saturación (hh:mm:ss)	10:18:00 a. m.	10:36:00 a. m.	10:54:00 a. m.	
Hora de Salida de 1º Saturación (mas 10") (hh:mm:ss)	10:28:00 a. m.	10:46:00 a. m.	11:04:00 a. m.	
Hora de Entrada a 2º Saturación (hh:mm:ss)	10:30:00 a. m.	10:48:00 a. m.	11:06:00 a. m.	
Hora de Salida de 2º Saturación (mas 10") (hh:mm:ss)	10:40:00 a. m.	10:58:00 a. m.	11:16:00 a. m.	
Hora de Entrada a Decantación (hh:mm:ss)	10:50:00 a. m.	11:08:00 a. m.	11:26:00 a. m.	
Hora de Salida de Decantación (mas 20") (hh:mm:ss)	11:10:00 a. m.	11:28:00 a. m.	11:46:00 a. m.	
Altura Máxima de Material Fino (pulg.)	4.9	4.8	4.7	
Altura Máxima de la Arena (pulg.)	3.0	2.9	2.9	
Índice de Durabilidad (%)	61.2	60.4	61.7	

OBSERVACIONES :



RICCARDO FRANCESCO  
DAVILA RIOS  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
 r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

<b>MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA MTC E 219 - 2000 / NTP 339.152:2002</b>	<b>CÓDIGO</b> : FC - 033
	<b>VERSIÓN</b> : 1.0
	<b>VIGENCIA</b> : 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018 REGISTRO : 114-2018/JR

ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1 PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.  
Agregado Fino

DESCRIPCIÓN : Arena bien gradada con limo

IDENTIFICACIÓN	AGREGADO FINO		RESULTADO (%)
	SALES SOLUBLES (%)		
Nº DE ENSAYO	1	2	
PESO INICIAL (BIKER DE 100 ml) (g)	65.5125	59.2475	0.1369
VOLUMEN DE SOLUCIÓN EMPLEADA (ml)	100.0	100.0	
PESO FINAL (BIKER DE 100 ml) + SALES (g)	65.5564	59.2948	
CONTENIDO DE SALES (%)	0.1317	0.1420	

OBSERVACIONES :

  
**RICCARDO FRANCESCO  
 DAVILA RIOS  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 203355**

938 385 323 / 955 088 036  
 r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO MTC E 222 - 2000</b>	<b>CÓDIGO</b> : FC - 032
	<b>VERSIÓN</b> : 1.0
	<b>VIGENCIA</b> : 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018      REGISTRO : 114-2018/JR

ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA      FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1      PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.  
Agregado Fino

DESCRIPCIÓN : Arena bien gradada con limo

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO		
	1	2	3
Nº DE ENSAYO			
PESO BULK BASE SECA (g/cm <sup>3</sup> )	2.890	2.890	2.890
VOLUMEN DEL MOLDE (ml)	100.0		
PESO DE MOLDE (g)	251.92		
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE (g)	414.2	414.10	414.30
PESO DE LA MUESTRA (g)	162.28	162.18	162.38
VACIOS SIN COMPACTAR (%)	43.8	43.9	43.8
PROMEDIO (%)	43.8		

**DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO**

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO		RESULTADOS
	1	2	
Nº DE ENSAYO			
PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIE SECA (EN AIRE) (g)	500.0	500.0	
PESO FIOLA + H <sub>2</sub> O (g)	768.3	770.9	
PESO FIOLA + H <sub>2</sub> O + MATERIAL (g)	1268.3	1270.9	
PESO FIOLA + H <sub>2</sub> O + MAT. SATURADO Y SUPERFICIE SEC. (g)	1096.0	1098.7	
VOLUMEN MASA + VOLUMEN DE VACÍOS (cm <sup>3</sup> )	172.3	172.2	
PESO MATERIAL SECO A 105 °C (g)	497.7	497.9	
VOLUMEN DE MASA (cm <sup>3</sup> )	170.0	170.1	
PESO BULK BASE SECA (g/cm <sup>3</sup> )	2.889	2.891	<b>2.890</b>
PESO BULK BASE SATURADA (g/cm <sup>3</sup> )	2.902	2.904	<b>2.903</b>
PESO APARENTE BASE SECA (g/cm <sup>3</sup> )	2.928	2.927	<b>2.927</b>
ABSORCIÓN (%)	0.46	0.42	<b>0.44</b>

**OBSERVACIONES :**

<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO</b> <b>MTC E 108 - 2000 / NTP 339.127:1998</b> <b>ASTM D 2216-05 / ASHTO T - 265</b>	<b>CÓDIGO</b> : FC - 004
	<b>VERSIÓN</b> : 1.0
	<b>VIGENCIA</b> : 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018 REGISTRO : 114-2018/JR

ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GÁRCIA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1 Agregado Fino PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.

DESCRIPCIÓN : Arena bien gradada con limo

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	370
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	841.8
Peso cápsula + suelo seco (g)	835.7
Peso del Agua (g)	6.1
Peso de la cápsula (g)	76.2
Peso del suelo seco (g)	759.5
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>0.8</b>

OBSERVACIONES :



RICARDO FRANCESCO  
DAVILA RIOS  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
r.diaz@jrgeoconsultores.com  
jr.geoconsultores@gmail.com  
j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
San Martín de Porres - Lima



<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE INALTERABILIDAD DE AGREGADOS POR MEDIO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO</b> MTC E 209-2000 / NTP 400.016:2011 ASTM C 88-05 / AASHTO T 104	CÓDIGO : FC - 027
	VERSIÓN : 1.0
	VIGENCIA : 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018      REGISTRO : 114-2018/JR  
ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA      FECHA : 1/12/2018  
ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GÁRCIA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria / C-1, M-1      PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.  
Agregado Fino  
DESCRIPCIÓN : Arena bien gradada con limo

**AGREGADO FINO**

ABERTURA MALLA		N° TARRO	PESO DE LA FRAC. DE ENSAYO (g)		PÉRDIDA TOTAL (%)	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PÉRDIDA CORREGIDA (%)
PASA	RET.		ANTES	DESPUÉS			
N° 4	N° 8	57	100.0	99.3	0.7	21.9	0.15
N° 8	N° 16	65	100.2	98.0	2.2	27.2	0.60
N° 16	N° 30	54	100.0	97.5	2.5	16.9	0.42
N° 30	N° 50	47	100.3	93.9	6.4	11.4	0.73

PÉRDIDA TOTAL (%)	1.9
-------------------	-----

OBSERVACIONES :

  
**RICCARDO FRANCESCO**  
DAVILA RIOS  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
r.diaz@jrgeoconsultores.com  
jr.geoconsultores@gmail.com  
j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
San Martín de Porres - Lima

<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO, E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS</b> <b>MTC E 110 - 2000 / MTC E 111 - 2000</b> <b>NTP 339.129:1999 / ASTM D 4318-05</b> <b>AASHTO T-89 / AASHTO T-90</b>	CÓDIGO	: FC - 005
	VERSIÓN	: 1.0
	VIGENCIA	: 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018      REGISTRO : 114-2018JR

ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA      FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

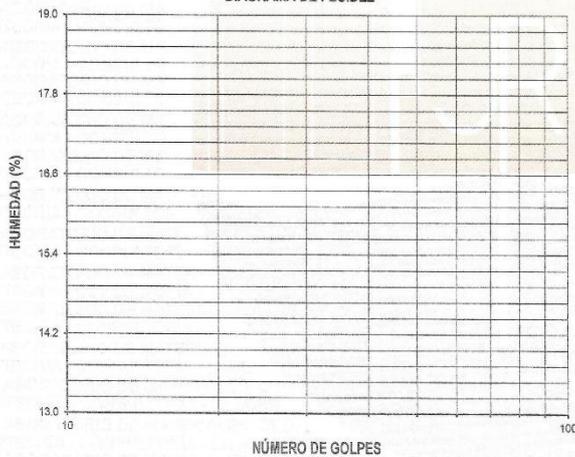
**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria. / C-1, M-1      PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.  
Agregado Fino

DESCRIPCIÓN : Arena bien gradada con limo

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	4	1	2
Ensayo N°	--	--	--	--	--	--
Cápsula N°	--	--	--	--	--	--
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	--	--	--	--	--	--
Peso cápsula + suelo seco (g)	--	--	--	--	--	--
Peso del Agua (g)	--	--	--	--	--	--
Peso de la cápsula (g)	--	--	--	--	--	--
Peso del suelo seco (g)	--	--	--	--	--	--
Contenido de humedad (%)	--	--	--	--	--	--
Número de golpes	--	--	--	--	--	--

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**



RESULTADOS DE ENSAYOS	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	NP
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NP
IND. PLASTICIDAD (%)	NP

**OBSERVACIONES:**

- Ensayo efectuado al material pasante la malla N° 40.
- La muestra se desliza en la copa de Casagrande.
- El Límite Líquido no se puede determinar.
- El límite plástico no se puede determinar.

OBSERVACIONES :

  
**RICCARDO FRANCESCO**  
**DAVILA RIOS**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. CIP N° 203355**

938 385 323 / 955 088 036  
r.diaz@jrgeoconsultores.com  
jr.geoconsultores@gmail.com  
j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
San Martín de Porres - Lima



<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y EN LLENANTES MINERALES ASTM C837 - 09 / AASHTO TP 57-01 (2004)</b>	CÓDIGO : FC - 036
	VERSIÓN : 1.0
	VIGENCIA : 31/12/2018

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018      REGISTRO : 114-2018/JR

UBICACIÓN : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA HUARCAYA      FECHA : 1/12/2018

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Gloria / C-1, M-1      PRESENTACIÓN : 01 Saco de polipropileno.

DESCRIPCIÓN : Agregado Fino

IDENTIFICACIÓN	AGREGADO FINO
PESO DE LA MUESTRA QUE PARA EL TAMÍZ N° 200 (g)	10.0
CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN (mg/ml)	9.1
VOLUMEN DE SOLUCIÓN REQUERIDA (ml)	8.8
VALOR DE AZUL DE METILENO (mg/g)	7.96

OBSERVACIONES :

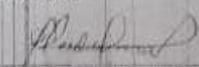
**Anexo 6. Certificado del cemento Asfáltico**

*01-11-2018*  
*o/c 10002921*



**REPORTE DE ANÁLISIS DE CEMENTO ASFALTICO**

LOTE No. 60/70-004-10-2018

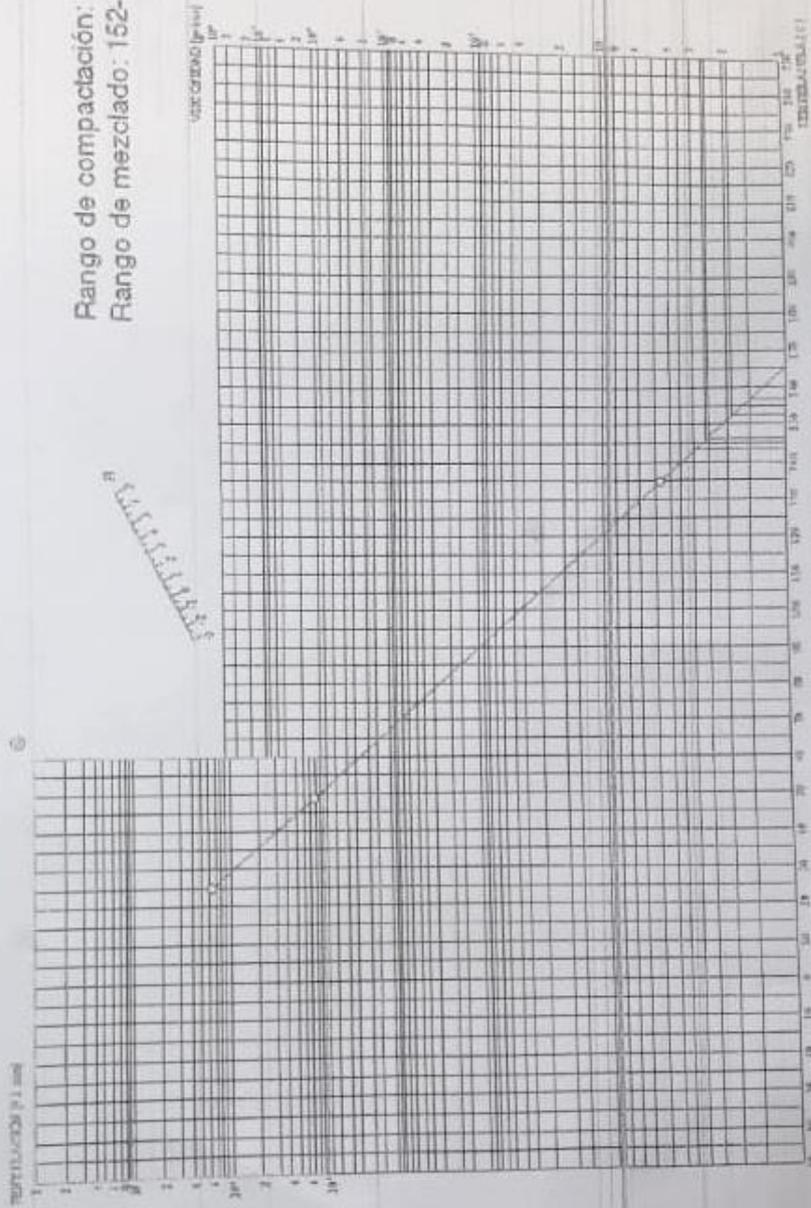
<b>REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.A.</b> Carretera a Ventanilla km 25 S/N Ventanilla, Lima – Perú	RECEPCIÓN DE LA MUESTRA 31/10/2018 09:49:45	FECHA DE CERTIFICACIÓN 01/11/2018 00:58:20
PRODUCTO Cemento Asfáltico 60/70	TANQUE 333B	DESTINO DEL PRODUCTO Operaciones de Despacho
PROCEDENCIA Almacenamiento	VOLUMEN CERTIFICADO, m <sup>3</sup> 800	BUD/E TANQUE
<b>PROPIEDADES</b>	<b>MÉTODOS</b>	<b>RESULTADOS</b>
	ASTM/OTROS	
<b>PENETRACIÓN</b>		
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	D 5 / AASHTO T 49	85
<b>DUCTILIDAD</b>		
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	> 105
<b>VOLATILIDAD</b>		
Gravedad Especifica a 15,6 °C/15,6°C	D 70 / AASHTO T 228	1.0200
Punto de Inflamación, °C	D 92 / AASHTO T 48	297.0
Gravedad API, °API	D 70 / AASHTO T 228	7.2
<b>FLUIDEZ</b>		
Punto de Ablandamiento, °C	D 36	48.9
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D 445	3800
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	D 2170 / AASHTO T 201	467
<b>ENSAYOS DE PELÍCULA FINA</b>		
Pérdida por Calentamiento, %m	D 1754 / AASHTO T 179	0.15
Penetración retenida, 100g, 5s, 1/10 mm, % del original	D 5 / AASHTO T 49	69.2
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	> 105
<b>SOLUBILIDAD</b>		
Solubilidad en tricloroetileno, % m	D 2042 / AASHTO T 44	98.84
<b>OTROS</b>		
Índice de Penetración	UNE 104-2B1 / 1-5	-0.8
Ensayo de la Mancha (Nafta-Xileno)	AASHTO T102	20% xileno, negativo
<b>OBSERVACIONES:</b>		
Producto cumple con las especificaciones ASTM D946, AASHTO M 20-70 y Norma Técnica Peruana NTP 321.051		
<b>DISTRIBUCIÓN :</b>	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	<b>LABORATORIO</b>
Original : Operaciones de despacho Copia 1 : Movimiento de Productos Copia 2 : Laboratorio	01/11/2018	 <b>Cecilia Posadas Jhong</b> Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL

Cemento Asfáltico 60/70  
60/70-004-10-2018



Rango de compactación: 143-146 °C  
Rango de mezclado: 152-157 °C



*[Signature]*  
Cecilia Posadas Jhony  
Jefe de Laboratorio

# Anexo 7. Certificado de gradación MAC-2

EXPEDIENTE N° 114-2018/JR

## INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON  
 ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA  
 ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA  
 FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 22 de Noviembre del 2018 FECHA DE EMISIÓN : Lima, 01 de Diciembre del 2018

ASTM C 136-05	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL
---------------	--

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : "Cantera Gloria"  
 - Piedra Chancada  
 - Arena Chancada  
 PRESENTACIÓN : 3 Sacos de polipropileno  
 CANTIDAD : 150 kg aprox.

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	"Piedra Chancada"		"Arena Chancada"						RESULTADO DE MEZCLA		
		ABERTURA (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)
3"	76.200											
2 1/2"	63.500											
2"	50.800											
1 1/2"	38.100											
1"	25.400			100.0								
3/4"	19.050	35.0	65.0									100.0
1/2"	12.700	20.7	44.3							11.1	88.9	
3/8"	9.525	16.3	28.0							8.8	80.1	
1/4"	6.350	26.0	2.0							14.0	66.1	
N° 4	4.750	2.0			100.0					1.1	65.0	
N° 6	3.350			7.4	92.6					4.8	60.2	
N° 8	2.350			14.5	78.1					9.4	50.8	
N° 10	2.000			6.9	71.2					4.5	46.3	
N° 16	1.190			20.3	50.9					13.2	33.1	
N° 20	0.840			8.9	42.0					5.8	27.3	
N° 30	0.590			8.0	34.0					5.2	22.1	
N° 40	0.426			6.3	27.7					4.1	18.0	
N° 50	0.297			5.1	22.6					3.3	14.7	
N° 80	0.177			6.1	16.5					4.0	10.7	
N° 100	0.149			2.2	14.3					1.4	9.3	
N° 200	0.074			5.7	8.6					3.7	5.6	
-200	-			8.6	-					5.6	-	
			35.0		65.0							

Referencias :

ASTM C 136-05 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates  
 ASTM C 117-04 Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing

El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento.

*Ricardo Francisco Davila Rios*  
 RICARDO FRANCESCO  
 DAVILA RIOS  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 20185

938 385 323 / 955 088 036  
 r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

**INFORME DE ENSAYO**

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS  
 ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY  
 ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA  
 FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 22 de Noviembre del 2018 FECHA DE EMISIÓN : Lima, 01 de Diciembre del 2018

ASTM C 136-05	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL
---------------	--

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

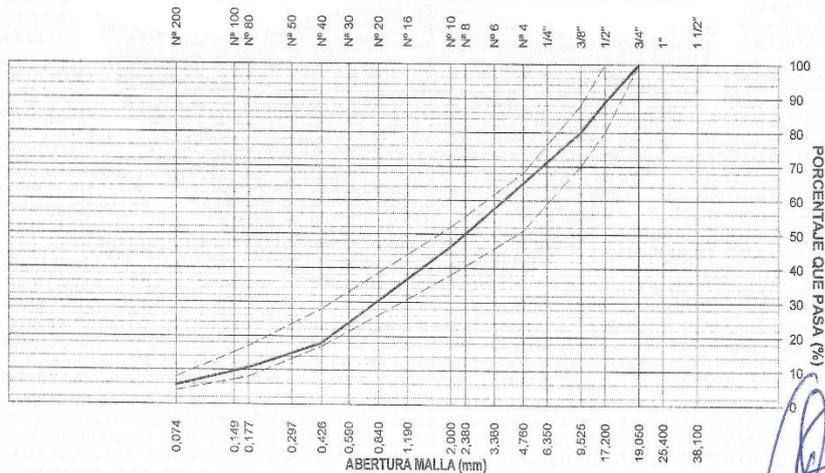
IDENTIFICACIÓN : "Cantera Gloria":  
 - Piedra Chancada  
 - Arena Chancada  
 PRESENTACIÓN : 3 Sacos de polipropileno  
 CANTIDAD : 150 kg aprox.

MALLAS		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN	MAC-2
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050		100.0	100	
1/2"	12.700	11.1	88.9	80 -	100
3/8"	9.525	8.8	80.1	70 -	88
1/4"	6.350	14.0	66.1		
N° 4	4.760	1.1	65.0	51 -	68
N° 6	3.360	4.8	60.2		
N° 8	2.380	9.4	50.8		
N° 10	2.000	4.5	46.3	38 -	52
N° 16	1.190	13.2	33.1		
N° 20	0.840	5.8	27.3		
N° 30	0.590	5.2	22.1		
N° 40	0.426	4.1	18.0	17 -	28
N° 60	0.297	3.3	14.7		
N° 80	0.177	4.0	10.7	8 -	17
N° 100	0.149	1.4	9.3		
N° 200	0.074	3.7	5.6	4 -	8
-N° 200	ASTM C 117-04	5.6			

RESUMEN DE ENSAYO	
<b>PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS</b>	
(1) "Piedra Chancada"	= 35%
(2) "Arena Chancada"	= 65%
<b>PROPORCIONES EN LA MEZCLA RESULTANTE</b>	
- AGREGADO GRUESO	= 35%
- AGREGADO FINO	= 65%

OBSERVACIONES :  
 - Muestra tomada e identificada por el solicitante.  
 - El proporcionamiento de los agregados, fué propuesto por el solicitante.  
 - Huso granulométrico "MAC-2", según EG-2000 del MTC.

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Referencias :

- ASTM C 136-05 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates
- ASTM C 117-04 Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing

El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento.

**RICARDO FRANCESCO DAVILA RIOS**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 203355  
 938 385 323 / 955 088 036

ricardo@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com

Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

**INFORME DE ENSAYO**

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018  
 ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY  
 ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GÁRCIA  
 FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 22 de Noviembre del 2018  
 FECHA DE EMISIÓN : Lima, 01 de Diciembre del 2018

ASTM C 136-05	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL</b>
---------------	---

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : "Cantera Gloria":  
 - Piedra Chancada  
 - Arena Chancada  
 PRESENTACIÓN : 3 Sacos de polipropileno  
 CANTIDAD : 150 kg aprox.

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	"Piedra Chancada"		"Arena Chancada"		"Caucho"		"Pel"		RESULTADO DE MEZCLA	
		ABERTURA (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)
3"	76.200										
2 1/2"	63.500										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400			100.0							
3/4"	19.050	35.0	65.0								100.0
1/2"	12.700	20.7	44.3							11.1	88.9
3/8"	9.525	16.3	28.0							8.8	80.1
1/4"	6.350	26.0	2.0							14.0	66.1
N° 4	4.760	2.0			100.0		100.0			1.1	65.0
N° 6	3.360			7.4	92.6	0.4	99.6			4.7	60.3
N° 8	2.380			14.5	78.1	5.50	94.1			9.2	51.1
N° 10	2.000			6.9	71.2	4.40	89.7		100.00	4.3	46.8
N° 16	1.190			20.3	50.9	41.80	47.9	80.20	19.80	14.0	32.8
N° 20	0.840			8.9	42.0	25.00	22.9	13.60	6.20	6.0	26.8
N° 30	0.590			8.0	34.0	12.00	10.9	4.60	1.60	5.3	21.5
N° 40	0.426			6.3	27.7	4.40	6.5	1.50	0.10	3.9	17.6
N° 50	0.297			5.1	22.6	2.40	4.1	0.10		3.4	14.2
N° 80	0.177			6.1	16.5	2.00	2.1			3.8	10.4
N° 100	0.149			2.2	14.3	0.40	1.7			1.4	9.0
N° 200	0.074			5.7	8.6	0.80	0.9			3.6	5.4
-200	-			8.6	-	0.9				5.4	-
			35.0		63.0		1.0		1.0		

Referencias :

ASTM C 136-05 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates  
 ASTM C 117-04 Standard test method for materials finer than 75 µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing

El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento

RICARDO FRANCESCO  
 DAVILA RIOS  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 251325

938 385 323 / 955 088 036  
 r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 jr.geoconsultores@gmail.com  
 j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Calle 21 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

**INFORME DE ENSAYO**

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018

ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 22 de Noviembre del 2018 FECHA DE EMISIÓN : Lima, 01 de Diciembre del 2018

<b>ASTM C 136-05</b>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL</b>
----------------------	---

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : "Cantera Gloria":  
 - Piedra Chancada  
 - Arena Chancada

PRESENTACIÓN : 3 Sacos de polipropileno

CANTIDAD : 150 kg aprox.

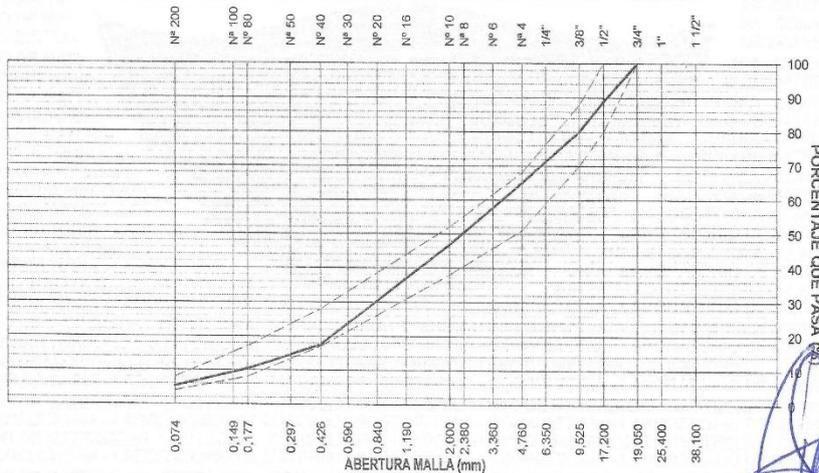
MALLAS		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN	MAC-2
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050		100.0	100	
1/2"	12.700	11.1	88.9	80	100
3/8"	9.525	8.8	80.1	70	88
1/4"	6.350	14.0	66.1		
N° 4	4.760	1.1	65.0	51	68
N° 6	3.360	4.7	60.3		
N° 8	2.380	9.2	51.1		
N° 10	2.000	4.3	46.8	38	52
N° 16	1.190	14.0	32.8		
N° 20	0.840	6.0	26.8		
N° 30	0.590	5.3	21.5		
N° 40	0.426	3.9	17.6	17	28
N° 50	0.297	3.4	14.2		
N° 60	0.177	3.8	10.4	8	17
N° 100	0.149	1.4	9.0		
N° 200	0.074	3.6	5.4	4	8
- N° 200	ASTM C 117-04	5.4	-	-	-

RESUMEN DE ENSAYO	
<b>PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS</b>	
(1) "Piedra Chancada"	= 35%
(2) "Arena Chancada"	= 63%
(3) "Caucho"	= 1.0%
(4) "Pet"	= 1.0%
<b>PROPORCIONES EN LA MEZCLA RESULTANTE</b>	
- AGREGADO GRUESO	= 35%
- AGREGADO FINO	= 65%

OBSERVACIONES :

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- El proporcionamiento de los agregados, fué propuesto por el solicitante.
- Huso granulométrico "MAC-2", según EG-2000 del MTC.

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Referencias :

ASTM C 136-05 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates

ASTM C 117-04 Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing

**RICCARDO FRANCESCO CAVILAR RIOS**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036  
 El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento. [info@jrgeoconsultores.com](mailto:info@jrgeoconsultores.com)

[jr.geoconsultores@gmail.com](mailto:jr.geoconsultores@gmail.com)  
[j.oyarce@jrgeoconsultores.com](mailto:j.oyarce@jrgeoconsultores.com)  
 Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

**INFORME DE ENSAYO**

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018

ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA

ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 22 de Noviembre del 2018

FECHA DE EMISIÓN : Lima, 01 de Diciembre del 2018

<b>ASTM C 136-05</b>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL</b>
----------------------	---

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : "Cantera Gloria":  
- Piedra Chancada  
- Arena Chancada

PRESENTACIÓN : 3 Sacos de polipropileno

CANTIDAD : 150 kg aprox.

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN ABERTURA (mm)	"Piedra Chancada"		"Arena Chancada"		"Caucho"		"Pet"		RESULTADO DE MEZCLA	
		RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)
3"	76.200										
2 1/2"	63.500										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400		100.0								
3/4"	19.050	35.0	65.0								100.0
1/2"	12.700	20.7	44.3							11.1	88.9
3/8"	9.525	16.3	28.0							8.8	80.1
1/4"	6.350	26.0	2.0							14.0	66.1
N° 4	4.760	2.0			100.0		100.0			1.1	65.0
N° 6	3.360			7.4	92.6	0.4	99.6			4.6	60.4
N° 8	2.380			14.5	78.1	5.50	94.1			9.1	51.3
N° 10	2.000			6.9	71.2	4.40	89.7		100.00	4.4	46.9
N° 16	1.190			20.3	50.9	41.80	47.9	80.20	19.80	14.3	32.6
N° 20	0.840			8.9	42.0	25.00	22.9	13.60	6.20	6.2	26.4
N° 30	0.590			8.0	34.0	12.00	10.9	4.60	1.60	5.1	21.3
N° 40	0.426			6.3	27.7	4.40	6.5	1.50	0.10	4.0	17.3
N° 50	0.297			5.1	22.6	2.40	4.1	0.10		3.2	14.1
N° 80	0.177			6.1	16.5	2.00	2.1			3.9	10.2
N° 100	0.149			2.2	14.3	0.40	1.7			1.3	8.9
N° 200	0.074			5.7	8.6	0.80	0.9			3.6	5.3
-200	-			8.6		0.9				5.3	
			35.0		62.0		1.5		1.5		

Referencias :

- ASTM C 136-05 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates
- ASTM C 117-04 Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing

El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento

**RICHARDO FRANCESCO  
DAMIÁ RÍOS  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 203355**

938 385 323 / 955 088 036

r.diaz@jrgeoconsultores.com

jr.geoconsultores@gmail.com

j.oyarce@jrgeoconsultores.com

Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
San Martín de Porres - Lima

**INFORME DE ENSAYO**

**PROYECTO** : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018  
**ALUMNOS** : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY  
**ASESOR** : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : Lima, 22 de Noviembre del 2018 **FECHA DE EMISIÓN** : Lima, 01 de Diciembre del 2018

<b>ASTM C 136-05</b>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL</b>
----------------------	---

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

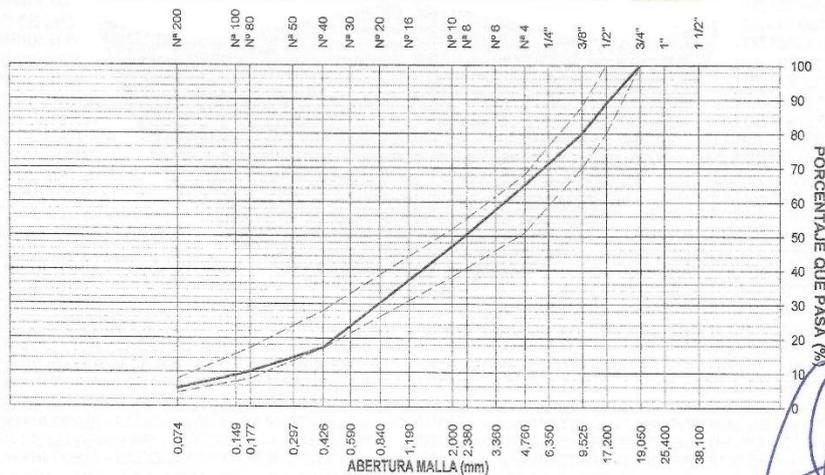
**IDENTIFICACIÓN** : "Cantera Gloria":  
 - Piedra Chancada  
 - Arena Chancada  
**PRESENTACIÓN** : 3 Sacos de polipropileno  
**CANTIDAD** : 150 kg aprox.

MALLAS		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RETENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN	MAC-2
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050		100.0	100	
1/2"	12.700	11.1	88.9	80	100
3/8"	9.525	8.8	80.1	70	88
1/4"	6.350	14.0	66.1		
N° 4	4.750	1.1	65.0	51	68
N° 6	3.350	4.6	60.4		
N° 8	2.350	9.1	51.3		
N° 10	2.000	4.4	46.9	38	52
N° 16	1.190	14.3	32.6		
N° 20	0.840	6.2	26.4		
N° 30	0.590	5.1	21.3		
N° 40	0.425	4.0	17.3	17	28
N° 50	0.297	3.2	14.1		
N° 80	0.177	3.9	10.2	8	17
N° 100	0.149	1.3	8.9		
N° 200	0.074	3.6	5.3	4	8
-N° 200	ASTM C 117-04	5.3			

RESUMEN DE ENSAYO	
<b>PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS</b>	
(1) "Piedra Chancada"	= 35%
(2) "Arena Chancada"	= 62%
(3) "Caucho"	= 1.5%
(4) "Pet"	= 1.5%
<b>PROPORCIONES EN LA MEZCLA RESULTANTE</b>	
- AGREGADO GRUESO	= 35%
- AGREGADO FINO	= 65%

**OBSERVACIONES:**  
 - Muestra tomada e identificada por el solicitante.  
 - El proporcionamiento de los agregados, fué propuesto por el solicitante.  
 - Huso granulométrico "MAC-2", según EG-2000 del MTC.

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



**Referencias:**

- ASTM C 136-05 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates
- ASTM C 117-04 Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing

**RICCARDO FRANCESCO DAVILA RIOS**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036

El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento.

jrgeoconsultores@gmail.com

j.oyarce@jrgeoconsultores.com

Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

**INFORME DE ENSAYO**

**PROYECTO** : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018

**ALUMNOS** : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY CANTA

**ASESOR** : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA

**FECHA DE RECEPCIÓN** : Lima, 22 de Noviembre del 2018 **FECHA DE EMISIÓN** : Lima, 01 de Diciembre del 2018

<b>ASTM C 136-05</b>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL</b>
----------------------	---

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

**IDENTIFICACIÓN** : "Cantera Gloria":  
 - Piedra Chancada  
 - Arena Chancada

**PRESENTACIÓN** : 3 Sacos de polipropileno

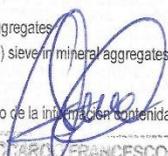
**CANTIDAD** : 150 kg aprox.

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	"Piedra Chancada"		"Arena Chancada"		"Caucho"		"Pet"		RESULTADO DE MEZCLA	
		ABERTURA (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)
3"	76.200										
2 1/2"	63.500										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400		100.0								
3/4"	19.050	35.0	65.0								100.0
1/2"	12.700	20.7	44.3							11.1	88.9
3/8"	9.525	16.3	28.0							8.8	80.1
1/4"	6.350	26.0	2.0							14.0	66.1
N° 4	4.760	2.0			100.0		100.0			1.1	65.0
N° 6	3.360			7.4	92.6	0.4	99.6			4.5	60.5
N° 8	2.380			14.5	78.1	5.50	94.1			9.0	51.5
N° 10	2.000			6.9	71.2	4.40	89.7		100.00	4.3	47.2
N°16	1.190			20.3	50.9	41.80	47.9	80.20	19.80	14.8	32.4
N° 20	0.840			8.9	42.0	25.00	22.9	13.60	6.20	6.2	26.2
N° 30	0.590			8.0	34.0	12.00	10.9	4.60	1.60	5.3	20.9
N° 40	0.426			6.3	27.7	4.40	6.5	1.50	0.10	3.9	17.0
N° 50	0.297			5.1	22.6	2.40	4.1	0.10		3.1	13.9
N° 80	0.177			6.1	16.5	2.00	2.1			3.8	10.1
N° 100	0.149			2.2	14.3	0.40	1.7			1.4	8.7
N° 200	0.074			5.7	8.6	0.80	0.9			3.5	5.2
-200	-			8.6		0.9				5.2	-
		35.0		61.0		2.0		2.0			

**Referencias :**

- ASTM C 136-05 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates
- ASTM C 117-04 Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing

El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento

  
 RICARDO FRANCESCO r.diaz@jrgeoconsultores.com  
 DANIELARIOS jrgeoconsultores@gmail.com  
 INGENIERO CIVIL j.oyarce@jrgeoconsultores.com  
 Reg. CIP N° 203355  
 Calle 2 MZ. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen  
 San Martín de Porres - Lima

**INFORME DE ENSAYO**

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON ELASTOMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018  
 ALUMNOS : KATHERINE VIVAS JINES / FRANKLIN ANDREY  
 ASESOR : ING. MARÍA ISABEL GARCÍA  
 FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 22 de Noviembre del 2018  
 FECHA DE EMISIÓN : Lima, 01 de Diciembre del 2018

**ASTM C 136-05 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL**

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

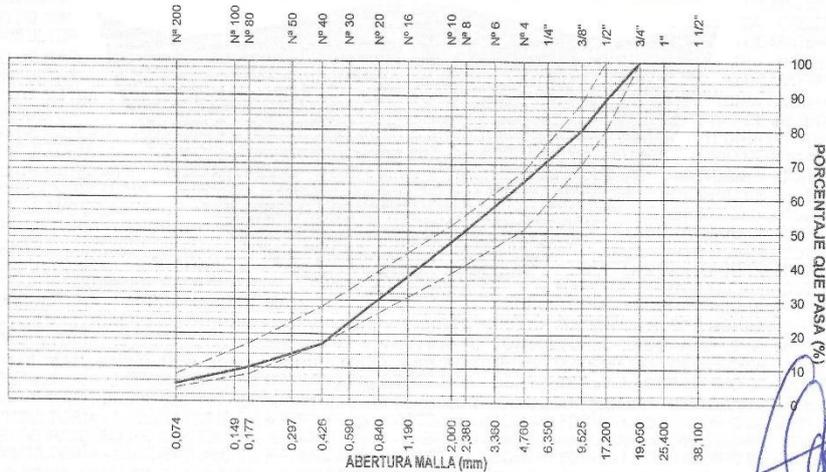
IDENTIFICACIÓN : "Cantera Gloria":  
 - Piedra Chancada  
 - Arena Chancada  
 PRESENTACIÓN : 3 Sacos de polipropileno  
 CANTIDAD : 150 kg aprox.

MALLAS		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RETENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN	MAC-2
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050		100.0	100	
1/2"	12.700	11.1	88.9	80	100
3/8"	9.525	8.8	91.1	70	88
1/4"	6.350	14.0	86.0		
N° 4	4.750	1.1	98.9	51	66
N° 6	3.350	4.5	95.5		
N° 8	2.380	9.0	91.0		
N° 10	2.000	4.3	95.7	38	52
N° 16	1.190	14.8	85.2		
N° 20	0.840	6.2	93.8		
N° 30	0.600	5.3	94.7		
N° 40	0.425	3.9	96.1	17	28
N° 60	0.250	3.1	96.9		
N° 80	0.175	3.8	96.2	8	17
N° 100	0.149	1.4	98.6		
N° 200	0.075	3.5	96.5	4	8
- N° 200	ASTM C 117-04	5.2			

RESUMEN DE ENSAYO	
PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS	
(1) "Piedra Chancada"	= 35%
(2) "Arena Chancada"	= 61%
(3) "Caucho"	= 2.0%
(4) "Pet"	= 2.0%
PROPORCIONES EN LA MEZCLA RESULTANTE	
- AGREGADO GRUESO	= 35%
- AGREGADO FINO	= 65%

OBSERVACIONES :  
 - Muestra tomada e identificada por el solicitante.  
 - El proporcionamiento de los agregados, fué propuesto por el solicitante.  
 - Huso granulométrico "MAC-2", según EG-2000 del MTC.

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Referencias :

- ASTM C 136-05 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates
- ASTM C 117-04 Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing

**RICCARDO FRANCESCO DAVILA RIOS**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 203355

938 385 323 / 955 088 036

El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento.

jrgeoconsultores.com

jrgeoconsultores@gmail.com

j.oyarce@jrgeoconsultores.com

Calle 2 Mz. D Lt. 24, Asociación Virgen del Carmen

San Martín de Porres - Lima

## Anexo 8. Certificados de calibración de los equipos de laboratorio



### PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

#### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 349 - 2018

Página : 1 de 6

Expediente : T 404-2018  
Fecha de Emisión : 2018-10-12

1. Solicitante : JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.

Dirección : CAL. MZ D LT24 AS AS VIRGEN DEL CARMEN SCT0181 MZT019  
MZA. MZ LOTE. LT24 URB. AS VIRGEN DEL CARMEN - SAN  
MARTIN DE PORRES - LIMA

2. Descripción del Equipo : ANILLO DE CARGA DE PRENSA MARSHALL

Marca de Prensa : NO INDICA

Marca de Anillo : ELE INTERNATIONAL

Modelo de Anillo : PR-60

Serie de Anillo : 16040000243

Capacidad del Anillo : 6000 lbs

Marca del Dial : ELE

Modelo del Dial : 88-4020

Serie del Dial : 160642436

Procedencia : USA

3. Lugar y fecha de Calibración

LABORATORIO DE GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.  
SAN MARTIN DE PORRAS - LIMA  
11 - Octubre - 2018

4. Método de Calibración

La calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 090-2018	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	22,8	23,2
Humedad %	69	69

7. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

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



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 349 - 2018

Página : 2 de 6

TABLA N° 1

SISTEMA ANALÓGICO "A" DIVISIONES	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)			PROMEDIO "B" kgf
	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	
100	343,50	343,05	342,00	342,85
200	678,00	677,20	677,65	677,62
300	1 017,50	1 016,65	1 018,05	1 017,40
400	1 353,40	1 352,20	1 353,35	1 352,98
500	1 685,60	1 685,85	1 687,45	1 686,30
600	2 021,05	2 021,95	2 022,70	2 021,90
700	2 342,70	2 343,55	2 345,65	2 343,97

### NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

Coefficiente Correlación:  $R^2 = 1,0000$

Ecuación de ajuste para valores en kgf :  $y = 3,3385x + 12,5214$

Donde: x : Lectura del dial  
y : Fuerza promedio (kgf)

Ecuación de ajuste para valores en lbf :  $y = 7,3602x + 27,6050$

Donde: x : Lectura del dial  
y : Fuerza promedio (lbf)



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Página 3 de 6

## CARTA DE CALIBRACIÓN EN kgf

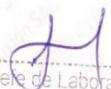
Página 3 de 6

Marca de Prensa	NO INDICA	Marca del Dial	ELE
Modelo de Anillo	PR-60	Modelo del Dial	88-4020
Capacidad del Anillo	6000 lbs	Serie del Dial	160642436

$$y = 3,3385x + 12,5214$$

Divisiones del Dial	Valores Ajustados en kgf									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	346,37	349,71	353,05	356,39	359,73	363,06	366,40	369,74	373,08	376,42
110	379,76	383,09	386,43	389,77	393,11	396,45	399,79	403,13	406,46	409,80
120	413,14	416,48	419,82	423,16	426,50	429,83	433,17	436,51	439,85	443,19
130	446,53	449,86	453,20	456,54	459,88	463,22	466,56	469,90	473,23	476,57
140	479,91	483,25	486,59	489,93	493,27	496,60	499,94	503,28	506,62	509,96
150	513,30	516,63	519,97	523,31	526,65	529,99	533,33	536,67	540,00	543,34
160	546,68	550,02	553,36	556,70	560,04	563,37	566,71	570,05	573,39	576,73
170	580,07	583,40	586,74	590,08	593,42	596,76	600,10	603,44	606,77	610,11
180	613,45	616,79	620,13	623,47	626,81	630,14	633,48	636,82	640,16	643,50
190	646,84	650,17	653,51	656,85	660,19	663,53	666,87	670,21	673,54	676,88
200	680,22	683,56	686,90	690,24	693,58	696,91	700,25	703,59	706,93	710,27
210	713,61	716,94	720,28	723,62	726,96	730,30	733,64	736,98	740,31	743,65
220	746,99	750,33	753,67	757,01	760,35	763,68	767,02	770,36	773,70	777,04
230	780,38	783,71	787,05	790,39	793,73	797,07	800,41	803,75	807,08	810,42
240	813,76	817,10	820,44	823,78	827,12	830,45	833,79	837,13	840,47	843,81
250	847,15	850,48	853,82	857,16	860,50	863,84	867,18	870,52	873,85	877,19
260	880,53	883,87	887,21	890,55	893,89	897,22	900,56	903,90	907,24	910,58
270	913,92	917,25	920,59	923,93	927,27	930,61	933,95	937,29	940,62	943,96
280	947,30	950,64	953,98	957,32	960,66	963,99	967,33	970,67	974,01	977,35
290	980,69	984,02	987,36	990,70	994,04	997,38	1 000,72	1 004,06	1 007,39	1 010,73
300	1 014,07	1 017,41	1 020,75	1 024,09	1 027,43	1 030,76	1 034,10	1 037,44	1 040,78	1 044,12
310	1 047,46	1 050,79	1 054,13	1 057,47	1 060,81	1 064,15	1 067,49	1 070,83	1 074,16	1 077,50
320	1 080,84	1 084,18	1 087,52	1 090,86	1 094,20	1 097,53	1 100,87	1 104,21	1 107,55	1 110,89
330	1 114,23	1 117,56	1 120,90	1 124,24	1 127,58	1 130,92	1 134,26	1 137,60	1 140,93	1 144,27
340	1 147,61	1 150,95	1 154,29	1 157,63	1 160,97	1 164,30	1 167,64	1 170,98	1 174,32	1 177,66
350	1 181,00	1 184,33	1 187,67	1 191,01	1 194,35	1 197,69	1 201,03	1 204,37	1 207,70	1 211,04
360	1 214,38	1 217,72	1 221,06	1 224,40	1 227,74	1 231,07	1 234,41	1 237,75	1 241,09	1 244,43
370	1 247,77	1 251,10	1 254,44	1 257,78	1 261,12	1 264,46	1 267,80	1 271,14	1 274,47	1 277,81
380	1 281,15	1 284,49	1 287,83	1 291,17	1 294,51	1 297,84	1 301,18	1 304,52	1 307,86	1 311,20
390	1 314,54	1 317,87	1 321,21	1 324,55	1 327,89	1 331,23	1 334,57	1 337,91	1 341,24	1 344,58
400	1 347,92	1 351,26	1 354,60	1 357,94	1 361,28	1 364,61	1 367,95	1 371,29	1 374,63	1 377,97
410	1 381,31	1 384,64	1 387,98	1 391,32	1 394,66	1 398,00	1 401,34	1 404,68	1 408,01	1 411,35
420	1 414,69	1 418,03	1 421,37	1 424,71	1 428,05	1 431,38	1 434,72	1 438,06	1 441,40	1 444,74
430	1 448,08	1 451,41	1 454,75	1 458,09	1 461,43	1 464,77	1 468,11	1 471,45	1 474,78	1 478,12
440	1 481,46	1 484,80	1 488,14	1 491,48	1 494,82	1 498,15	1 501,49	1 504,83	1 508,17	1 511,51
450	1 514,85	1 518,18	1 521,52	1 524,86	1 528,20	1 531,54	1 534,88	1 538,22	1 541,55	1 544,89
460	1 548,23	1 551,57	1 554,91	1 558,25	1 561,59	1 564,92	1 568,26	1 571,60	1 574,94	1 578,28
470	1 581,62	1 584,95	1 588,29	1 591,63	1 594,97	1 598,31	1 601,65	1 604,99	1 608,32	1 611,66
480	1 615,00	1 618,34	1 621,68	1 625,02	1 628,36	1 631,69	1 635,03	1 638,37	1 641,71	1 645,05
490	1 648,39	1 651,72	1 655,06	1 658,40	1 661,74	1 665,08	1 668,42	1 671,76	1 675,09	1 678,43
500	1 681,77	1 685,11	1 688,45	1 691,79	1 695,13	1 698,46	1 701,80	1 705,14	1 708,48	1 711,82
510	1 715,16	1 718,49	1 721,83	1 725,17	1 728,51	1 731,85	1 735,19	1 738,53	1 741,86	1 745,20



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631



**PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.**  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Página 4 de 6

**Punto de Precisión SAC**

Divisiones del Dial	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
520	1 748,54	1 751,88	1 755,22	1 758,56	1 761,90	1 765,23	1 768,57	1 771,91	1 775,25	1 778,59
530	1 781,93	1 785,26	1 788,60	1 791,94	1 795,28	1 798,62	1 801,96	1 805,30	1 808,63	1 811,97
540	1 815,31	1 818,65	1 821,99	1 825,33	1 828,67	1 832,00	1 835,34	1 838,68	1 842,02	1 845,36
550	1 848,70	1 852,03	1 855,37	1 858,71	1 862,05	1 865,39	1 868,73	1 872,07	1 875,40	1 878,74
560	1 882,08	1 885,42	1 888,76	1 892,10	1 895,44	1 898,77	1 902,11	1 905,45	1 908,79	1 912,13
570	1 915,47	1 918,80	1 922,14	1 925,48	1 928,82	1 932,16	1 935,50	1 938,84	1 942,17	1 945,51
580	1 948,85	1 952,19	1 955,53	1 958,87	1 962,21	1 965,54	1 968,88	1 972,22	1 975,56	1 978,90
590	1 982,24	1 985,57	1 988,91	1 992,25	1 995,59	1 998,93	2 002,27	2 005,61	2 008,94	2 012,28
600	2 015,62	2 018,96	2 022,30	2 025,64	2 028,98	2 032,31	2 035,65	2 038,99	2 042,33	2 045,67
610	2 049,01	2 052,34	2 055,68	2 059,02	2 062,36	2 065,70	2 069,04	2 072,38	2 075,71	2 079,05
620	2 082,39	2 085,73	2 089,07	2 092,41	2 095,75	2 099,08	2 102,42	2 105,76	2 109,10	2 112,44
630	2 115,78	2 119,11	2 122,45	2 125,79	2 129,13	2 132,47	2 135,81	2 139,15	2 142,48	2 145,82
640	2 149,16	2 152,50	2 155,84	2 159,18	2 162,52	2 165,85	2 169,19	2 172,53	2 175,87	2 179,21
650	2 182,55	2 185,88	2 189,22	2 192,56	2 195,90	2 199,24	2 202,58	2 205,92	2 209,25	2 212,59
660	2 215,93	2 219,27	2 222,61	2 225,95	2 229,29	2 232,62	2 235,96	2 239,30	2 242,64	2 245,98
670	2 249,32	2 252,65	2 255,99	2 259,33	2 262,67	2 266,01	2 269,35	2 272,69	2 276,02	2 279,36
680	2 282,70	2 286,04	2 289,38	2 292,72	2 296,06	2 299,39	2 302,73	2 306,07	2 309,41	2 312,75
690	2 316,09	2 319,42	2 322,76	2 326,10	2 329,44	2 332,78	2 336,12	2 339,46	2 342,79	2 346,13
700	2 349,47	2 352,81	2 356,15	2 359,49	2 362,83	2 366,16	2 369,50	2 372,84	2 376,18	2 379,52
710	2 382,86	2 386,19	2 389,53	2 392,87	2 396,21	2 399,55	2 402,89	2 406,23	2 409,56	2 412,90
720	2 416,24	2 419,58	2 422,92	2 426,26	2 429,60	2 432,93	2 436,27	2 439,61	2 442,95	2 446,29
730	2 449,63	2 452,96	2 456,30	2 459,64	2 462,98	2 466,32	2 469,66	2 473,00	2 476,33	2 479,67
740	2 483,01	2 486,35	2 489,69	2 493,03	2 496,37	2 499,70	2 503,04	2 506,38	2 509,72	2 513,06
750	2 516,40	2 519,73	2 523,07	2 526,41	2 529,75	2 533,09	2 536,43	2 539,77	2 543,10	2 546,44
760	2 549,78	2 553,12	2 556,46	2 559,80	2 563,14	2 566,47	2 569,81	2 573,15	2 576,49	2 579,83
770	2 583,17	2 586,50	2 589,84	2 593,18	2 596,52	2 599,86	2 603,20	2 606,54	2 609,87	2 613,21
780	2 616,55	2 619,89	2 623,23	2 626,57	2 629,91	2 633,24	2 636,58	2 639,92	2 643,26	2 646,60
790	2 649,94	2 653,27	2 656,61	2 659,95	2 663,29	2 666,63	2 669,97	2 673,31	2 676,64	2 679,98
800	2 683,32	2 686,66	2 690,00	2 693,34	2 696,68	2 700,01	2 703,35	2 706,69	2 710,03	2 713,37
810	2 716,71	2 720,04	2 723,38							



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Página 5 de 6

## CARTA DE CALIBRACIÓN EN lbf

Página 5 de 6

Marca de Prensa	NO INDICA	Marca del Dial	ELE
Modelo de Anillo	PR-60	Modelo del Dial	88-4020
Capacidad del Anillo	6000 lbs	Serie del Dial	160642436

$$y = 7,3602x + 27,6050$$

### Valores Ajustados en lbf

Divisiones del Dial	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	763,63	770,99	778,35	785,71	793,07	800,43	807,79	815,15	822,51	829,87
110	837,23	844,59	851,95	859,31	866,67	874,03	881,39	888,75	896,11	903,47
120	910,83	918,19	925,55	932,91	940,27	947,63	954,99	962,35	969,71	977,07
130	984,43	991,79	999,15	1006,51	1013,87	1021,23	1028,59	1035,95	1043,31	1050,67
140	1058,03	1065,39	1072,75	1080,11	1087,47	1094,83	1102,19	1109,55	1116,91	1124,27
150	1131,64	1139,00	1146,36	1153,72	1161,08	1168,44	1175,80	1183,16	1190,52	1197,88
160	1205,24	1212,60	1219,96	1227,32	1234,68	1242,04	1249,40	1256,76	1264,12	1271,48
170	1278,84	1286,20	1293,56	1300,92	1308,28	1315,64	1323,00	1330,36	1337,72	1345,08
180	1352,44	1359,80	1367,16	1374,52	1381,88	1389,24	1396,60	1403,96	1411,32	1418,68
190	1426,04	1433,40	1440,76	1448,12	1455,48	1462,84	1470,20	1477,56	1484,92	1492,28
200	1499,65	1507,01	1514,37	1521,73	1529,09	1536,45	1543,81	1551,17	1558,53	1565,89
210	1573,25	1580,61	1587,97	1595,33	1602,69	1610,05	1617,41	1624,77	1632,13	1639,49
220	1646,85	1654,21	1661,57	1668,93	1676,29	1683,65	1691,01	1698,37	1705,73	1713,09
230	1720,45	1727,81	1735,17	1742,53	1749,89	1757,25	1764,61	1771,97	1779,33	1786,69
240	1794,05	1801,41	1808,77	1816,13	1823,49	1830,85	1838,21	1845,57	1852,93	1860,29
250	1867,66	1875,02	1882,38	1889,74	1897,10	1904,46	1911,82	1919,18	1926,54	1933,90
260	1941,26	1948,62	1955,98	1963,34	1970,70	1978,06	1985,42	1992,78	2000,14	2007,50
270	2014,86	2022,22	2029,58	2036,94	2044,30	2051,66	2059,02	2066,38	2073,74	2081,10
280	2088,46	2095,82	2103,18	2110,54	2117,90	2125,26	2132,62	2139,98	2147,34	2154,70
290	2162,06	2169,42	2176,78	2184,14	2191,50	2198,86	2206,22	2213,58	2220,94	2228,30
300	2235,67	2243,03	2250,39	2257,75	2265,11	2272,47	2279,83	2287,19	2294,55	2301,91
310	2309,27	2316,63	2323,99	2331,35	2338,71	2346,07	2353,43	2360,79	2368,15	2375,51
320	2382,87	2390,23	2397,59	2404,95	2412,31	2419,67	2427,03	2434,39	2441,75	2449,11
330	2456,47	2463,83	2471,19	2478,55	2485,91	2493,27	2500,63	2507,99	2515,35	2522,71
340	2530,07	2537,43	2544,79	2552,15	2559,51	2566,87	2574,23	2581,59	2588,95	2596,31
350	2603,68	2611,04	2618,40	2625,76	2633,12	2640,48	2647,84	2655,20	2662,56	2669,92
360	2677,28	2684,64	2692,00	2699,36	2706,72	2714,08	2721,44	2728,80	2736,16	2743,52
370	2750,88	2758,24	2765,60	2772,96	2780,32	2787,68	2795,04	2802,40	2809,76	2817,12
380	2824,48	2831,84	2839,20	2846,56	2853,92	2861,28	2868,64	2876,00	2883,36	2890,72
390	2898,08	2905,44	2912,80	2920,16	2927,52	2934,88	2942,24	2949,60	2956,96	2964,32
400	2971,69	2979,05	2986,41	2993,77	3001,13	3008,49	3015,85	3023,21	3030,57	3037,93
410	3045,29	3052,65	3060,01	3067,37	3074,73	3082,09	3089,45	3096,81	3104,17	3111,53
420	3118,89	3126,25	3133,61	3140,97	3148,33	3155,69	3163,05	3170,41	3177,77	3185,13
430	3192,49	3199,85	3207,21	3214,57	3221,93	3229,29	3236,65	3244,01	3251,37	3258,73
440	3266,09	3273,45	3280,81	3288,17	3295,53	3302,89	3310,25	3317,61	3324,97	3332,33
450	3339,70	3347,06	3354,42	3361,78	3369,14	3376,50	3383,86	3391,22	3398,58	3405,94
460	3413,30	3420,66	3428,02	3435,38	3442,74	3450,10	3457,46	3464,82	3472,18	3479,54
470	3486,90	3494,26	3501,62	3508,98	3516,34	3523,70	3531,06	3538,42	3545,78	3553,14
480	3560,50	3567,86	3575,22	3582,58	3589,94	3597,30	3604,66	3612,02	3619,38	3626,74
490	3634,10	3641,46	3648,82	3656,18	3663,54	3670,90	3678,26	3685,62	3692,98	3700,34
500	3707,71	3715,07	3722,43	3729,79	3737,15	3744,51	3751,87	3759,23	3766,59	3773,95
510	3781,31	3788,67	3796,03	3803,39	3810,75	3818,11	3825,47	3832,83	3840,19	3847,55



Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631



**PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.**  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Página 6 de 6

**Punto de Precisión SAC**

Divisiones del Dial	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
520	3 854,91	3 862,27	3 869,63	3 876,99	3 884,35	3 891,71	3 899,07	3 906,43	3 913,79	3 921,15
530	3 928,51	3 935,87	3 943,23	3 950,59	3 957,95	3 965,31	3 972,67	3 980,03	3 987,39	3 994,75
540	4 002,11	4 009,47	4 016,83	4 024,19	4 031,55	4 038,91	4 046,27	4 053,63	4 060,99	4 068,35
550	4 075,72	4 083,08	4 090,44	4 097,80	4 105,16	4 112,52	4 119,88	4 127,24	4 134,60	4 141,96
560	4 149,32	4 156,68	4 164,04	4 171,40	4 178,76	4 186,12	4 193,48	4 200,84	4 208,20	4 215,56
570	4 222,92	4 230,28	4 237,64	4 245,00	4 252,36	4 259,72	4 267,08	4 274,44	4 281,80	4 289,16
580	4 296,52	4 303,88	4 311,24	4 318,60	4 325,96	4 333,32	4 340,68	4 348,04	4 355,40	4 362,76
590	4 370,12	4 377,48	4 384,84	4 392,20	4 399,56	4 406,92	4 414,28	4 421,64	4 429,00	4 436,36
600	4 443,73	4 451,09	4 458,45	4 465,81	4 473,17	4 480,53	4 487,89	4 495,25	4 502,61	4 509,97
610	4 517,33	4 524,69	4 532,05	4 539,41	4 546,77	4 554,13	4 561,49	4 568,85	4 576,21	4 583,57
620	4 590,93	4 598,29	4 605,65	4 613,01	4 620,37	4 627,73	4 635,09	4 642,45	4 649,81	4 657,17
630	4 664,53	4 671,89	4 679,25	4 686,61	4 693,97	4 701,33	4 708,69	4 716,05	4 723,41	4 730,77
640	4 738,13	4 745,49	4 752,85	4 760,21	4 767,57	4 774,93	4 782,29	4 789,65	4 797,01	4 804,37
650	4 811,74	4 819,10	4 826,46	4 833,82	4 841,18	4 848,54	4 855,90	4 863,26	4 870,62	4 877,98
660	4 885,34	4 892,70	4 900,06	4 907,42	4 914,78	4 922,14	4 929,50	4 936,86	4 944,22	4 951,58
670	4 958,94	4 966,30	4 973,66	4 981,02	4 988,38	4 995,74	5 003,10	5 010,46	5 017,82	5 025,18
680	5 032,54	5 039,90	5 047,26	5 054,62	5 061,98	5 069,34	5 076,70	5 084,06	5 091,42	5 098,78
690	5 106,14	5 113,50	5 120,86	5 128,22	5 135,58	5 142,94	5 150,30	5 157,66	5 165,02	5 172,38
700	5 179,75	5 187,11	5 194,47	5 201,83	5 209,19	5 216,55	5 223,91	5 231,27	5 238,63	5 245,99
710	5 253,35	5 260,71	5 268,07	5 275,43	5 282,79	5 290,15	5 297,51	5 304,87	5 312,23	5 319,59
720	5 326,95	5 334,31	5 341,67	5 349,03	5 356,39	5 363,75	5 371,11	5 378,47	5 385,83	5 393,19
730	5 400,55	5 407,91	5 415,27	5 422,63	5 429,99	5 437,35	5 444,71	5 452,07	5 459,43	5 466,79
740	5 474,15	5 481,51	5 488,87	5 496,23	5 503,59	5 510,95	5 518,31	5 525,67	5 533,03	5 540,39
750	5 547,76	5 555,12	5 562,48	5 569,84	5 577,20	5 584,56	5 591,92	5 599,28	5 606,64	5 614,00
760	5 621,36	5 628,72	5 636,08	5 643,44	5 650,80	5 658,16	5 665,52	5 672,88	5 680,24	5 687,60
770	5 694,96	5 702,32	5 709,68	5 717,04	5 724,40	5 731,76	5 739,12	5 746,48	5 753,84	5 761,20
780	5 768,56	5 775,92	5 783,28	5 790,64	5 798,00	5 805,36	5 812,72	5 820,08	5 827,44	5 834,80
790	5 842,16	5 849,52	5 856,88	5 864,24	5 871,60	5 878,96	5 886,32	5 893,68	5 901,04	5 908,40
800	5 915,77	5 923,13	5 930,49	5 937,85	5 945,21	5 952,57	5 959,93	5 967,29	5 974,65	5 982,01
810	5 989,37	5 996,73	6 004,09							



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 339 - 2018

Página : 1 de 2

Expediente : T 404-2018  
Fecha de emisión : 2018-10-12

1. Solicitante : JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.

Dirección : CAL MZ D LT24 AS AS VIRGEN DEL CARMEN SCT0181 MZT019  
MZA. MZ LOTE. LT24 URB. AS VIRGEN DEL CARMEN - SAN  
MARTIN DE PORRES - LIMA

2. Descripción del Equipo : PRENSA CBR

Marca de Prensa : NO INDICA

Marca de Celda : KELI

Modelo de Celda : AS-FED

Serie de Celda : AQS 9202

Capacidad de Celda : 5 t

Identificación de Celda : S-01

Marca de indicador : HIGH WEIGHT

Modelo de Indicador : 315-X2

Serie de Indicador : 0283996

Identificación del Indicador : I-01

3. Lugar y fecha de Calibración

LABORATORIO DE JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.  
11 - OCTUBRE - 2018

4. Método de Calibración

La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4 .

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 090-2018	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	22,6	22,6
Humedad %	69	69

7. Resultados de la Medición

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Req. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 339 - 2018

Página : 2 de 2

TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kgf	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
500	504,20	503,80	-0,84	-0,76	504,00	-0,79	0,08
1000	1001,25	1003,25	-0,13	-0,33	1002,25	-0,22	-0,20
1500	1504,35	1499,90	-0,29	0,01	1502,13	-0,14	0,30
2000	2003,25	2002,80	-0,16	-0,14	2003,03	-0,15	0,02
2500	2500,15	2500,70	-0,01	-0,03	2500,43	-0,02	-0,02
3000	3000,20	3000,50	-0,01	-0,02	3000,35	-0,01	-0,01
3500	3499,25	3498,65	0,02	0,04	3498,95	0,03	0,02
4000	4000,55	4000,20	-0,01	0,00	4000,38	-0,01	0,01

**NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN**

- 1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:  

$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = Error(2) - Error(1)$$
- 2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %
- 3.- Coeficiente Correlación:  $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste :  $y = 1,0012x - 4,1092$

Donde: x : Lectura de la pantalla  
y : Fuerza promedio (kgf)

GRÁFICO N° 1

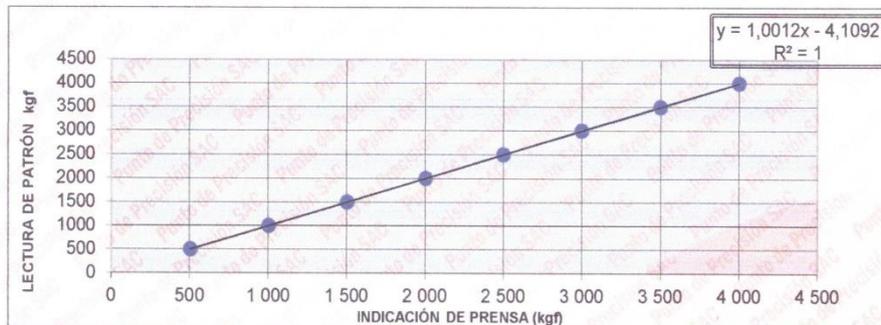
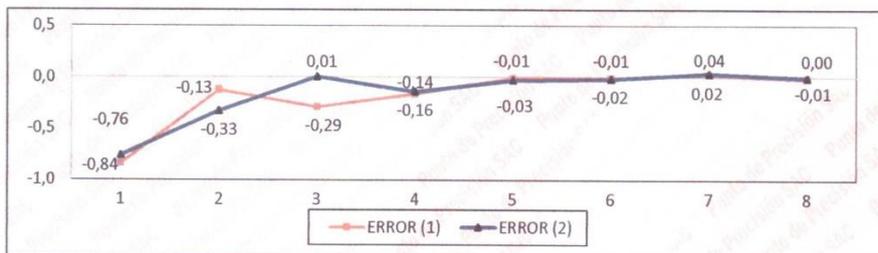


GRÁFICO DE ERRORES



FIN DEL DOCUMENTO

Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LB - 877 - 2018

Página: 1 de 3

Expediente : T 404-2018  
Fecha de Emisión : 2018-10-12

1. Solicitante : JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.

Dirección : CAL.MZ D LT24 AS AS VIRGEN DEL CARMEN SCT0181 MZT019 MZA. MZ LOTE. LT24 URB. AS VIRGEN DEL CARMEN - SAN MARTIN DE PORRES - LIMA

2. Instrumento de Medición : BALANZA

Marca : OHAUS

Modelo : R31P30

Número de Serie : 8337090625

Alcance de Indicación : 30000 g

División de Escala de Verificación ( e ) : 10 g

División de Escala Real (d) : 1 g

Procedencia : NO INDICA

Identificación : B-01

Tipo : ELECTRÓNICA

Ubicación : LABORATORIO

Fecha de Calibración : 2018-10-11

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarán las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

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

#### 3. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-001 3ra Edición, 2009; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIIB del SNM-INDECOPI.

#### 4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.  
CAL.MZ D LT24 AS AS VIRGEN DEL CARMEN SCT0181 MZT019 MZA. MZ LOTE. LT24 URB. AS VIRGEN DEL CARMEN - SAN MARTIN DE PORRES - LIMA



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LB - 877 - 2018

Página: 2 de 3

### 5. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20,6 °C	20,7 °C
Humedad Relativa	63 %	63 %

### 6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL - DM	Pesas (exactitud F1 y F2)	M-0660-2018
		LM-323-2018 / LM-324-2018
		LM-325-2018 / LM-356-2018
		LM-093-2018 / LM-094-2018
		LM-095-2018

### 7. Observaciones

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

### 8. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

#### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 15 000 g			Carga L2= 30 000 g		
	I(g)	ΔI(g)	E(g)	I(g)	ΔI(g)	E(g)
1	15 000	0,8	-0,3	30 000	0,6	-0,1
2	15 000	0,7	-0,2	30 001	0,3	1,2
3	15 000	0,5	0,0	30 000	0,8	-0,3
4	15 000	0,9	-0,4	30 000	0,5	0,0
5	15 000	0,8	-0,3	30 001	0,4	1,1
6	15 000	0,6	-0,1	30 001	0,5	1,0
7	15 001	0,4	1,1	30 000	0,8	-0,3
8	15 001	0,5	1,0	30 000	0,7	-0,2
9	15 000	0,8	-0,3	30 001	0,4	1,1
10	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,9	-0,4
Diferencia Máxima			1,5	1,6		
Error máximo permitido ±			20 g	± 30 g		



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095  
 www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

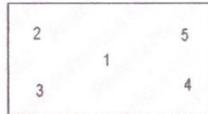


Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LB - 877 - 2018

Página: 3 de 3



Vista Frontal

### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E <sub>s</sub>				Determinación del Error corregido				
	Carga mínima (g)	l(g)	ΔL(g)	E <sub>0</sub> (g)	Carga (g)	l(g)	ΔL(g)	E(g)	E <sub>c</sub> (g)
1	10	10	0,6	-0,1	10 000	10 000	0,8	-0,3	-0,2
2		10	0,8	-0,3		10 000	0,5	0,0	0,3
3		10	0,9	-0,4		10 000	0,3	0,2	0,6
4		10	0,6	-0,1		10 000	0,4	0,1	0,2
5		10	0,8	-0,3		10 001	0,5	1,0	1,3
Error máximo permitido : ± 20 g									

(\*) valor entre 0 y 10 e

### ENSAYO DE PESAJE

Carga L(g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp(**)
	l(g)	ΔL(g)	E(g)	E <sub>c</sub> (g)	l(g)	ΔL(g)	E(g)	E <sub>c</sub> (g)	
10	10	0,6	-0,1						10
20	20	0,8	-0,3	-0,2	20	0,6	-0,1	0,0	10
100	100	0,9	-0,4	-0,3	100	0,7	-0,2	-0,1	10
500	500	0,7	-0,2	-0,1	500	0,6	-0,1	0,0	10
1 000	1 000	0,8	-0,3	-0,2	1 000	0,6	-0,1	0,0	10
5 000	5 000	0,9	-0,4	-0,3	5 000	0,8	-0,3	-0,2	10
10 000	10 000	0,3	0,2	0,3	10 000	0,6	-0,1	0,0	20
15 000	15 000	0,8	-0,3	-0,2	15 000	0,3	0,2	0,3	20
20 000	20 000	0,4	0,1	0,2	20 001	0,4	1,1	1,2	20
25 000	25 001	0,5	1,0	1,1	25 001	0,5	1,0	1,1	30
30 000	30 000	0,9	-0,4	-0,3	30 000	0,9	-0,4	-0,3	30

(\*\*) error máximo permitido

#### Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 0,0000104 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{0,727 \text{ g}^2 + 0,00000000471 \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza    ΔL: Carga Incrementada    E: Error encontrado    E<sub>c</sub>: Error en cero    E<sub>c</sub>: Error corregido

R: en g

FIN DEL DOCUMENTO



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. C.I.P. N° 152631

PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095  
 www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com



Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 382 - 2018

Página : 1 de 4

Expediente : T 404-2018  
Fecha de emisión : 2018-10-12

1. Solicitante : JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.  
Dirección : CAL.MZ D LT24 AS AS VIRGEN DEL CARMEN SCT0181  
MZT019 MZA. MZ LOTE. LT24 URB. AS VIRGEN DEL CARMEN -  
SAN MARTIN DE PORRES - LIMA

2. Instrumento de Medición : ESTUFA  
Indicación : DIGITAL  
Marca del Equipo : RUMISTONE  
Modelo del Equipo : NO INDICA  
Capacidad del Equipo : 476 L  
Marca de indicador : AUTONICS  
Modelo de indicador : TZN4M  
Temperatura calibrada : 110 °C  
Código de Identificación : H-02

El instrumento de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

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

3. Lugar y fecha de Calibración  
LABORATORIO DE JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.  
11 - OCTUBRE - 2018

4. Método de Calibración  
La calibración se efectuó según el procedimiento de calibración PC-018 del Servicio Nacional de Metrología del Indecopi.

### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
TERMOMETRO DIGITAL	DELTA OHM	LT - 075 - 2018	INACAL - DM
TERMOMETRO DIGITAL	FLUKE	LT - 0747 - 2017	INACAL - DM

### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	22,6	22,8
Humedad %	70	72

### 7. Conclusiones

La estufa se encuentra dentro de los rangos 110 °C ± 5 °C para la realización de los ensayos de laboratorio según la norma ASTM.

### 8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 382 - 2018

Página : 2 de 4

### CALIBRACIÓN PARA 110 °C

Tiempo (min.)	Ind. ( °C ) Temperatura del equipo	TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T. prom. (°C)	ΔTMax. - TMin. (°C)
		NIVEL INFERIOR					NIVEL SUPERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	108,0	106,6	108,8	106,3	107,9	107,6	105,4	108,1	108,3	107,9	108,0	107,5	3,4
2	108,0	106,3	108,5	106,2	107,9	107,5	105,3	108,8	108,3	107,8	108,5	107,5	3,5
4	108,0	106,4	108,2	106,5	107,8	107,6	105,2	108,5	108,3	107,8	108,6	107,5	3,4
6	108,0	106,3	108,8	106,2	107,2	107,4	105,3	108,1	108,3	107,8	108,5	107,4	3,5
8	108,0	106,3	108,8	106,3	107,5	107,3	105,3	108,2	108,2	107,4	108,6	107,4	3,5
10	108,0	106,3	108,5	106,4	107,4	107,2	105,3	108,1	108,5	107,7	108,7	107,4	3,4
12	108,0	106,2	108,4	106,2	107,6	107,4	105,6	108,0	108,2	107,6	108,6	107,4	3,0
14	108,0	106,3	108,8	106,3	107,6	107,2	105,4	108,0	108,2	107,9	108,5	107,4	3,4
16	108,0	106,2	108,5	106,5	107,5	107,3	105,2	108,2	108,0	107,8	108,9	107,4	3,7
18	108,0	106,5	108,8	106,3	107,3	107,2	105,6	108,2	108,0	107,7	108,5	107,4	3,2
20	108,0	106,4	108,8	106,2	107,5	107,5	105,2	108,3	108,2	107,6	108,6	107,4	3,6
22	108,0	106,3	108,2	106,3	107,4	107,9	105,3	108,2	108,3	107,8	108,5	107,4	3,2
24	108,0	106,5	108,3	106,3	107,4	107,5	105,2	108,2	108,2	107,8	108,4	107,4	3,2
26	108,0	106,3	108,2	106,3	107,4	107,7	105,4	108,2	108,4	107,7	108,3	107,4	3,0
28	108,0	106,6	108,6	106,2	107,3	107,4	105,3	108,2	108,2	107,6	108,5	107,4	3,3
30	108,0	106,2	108,4	106,2	107,4	107,2	105,6	108,2	108,3	107,9	108,6	107,4	3,0
32	108,0	106,5	108,7	106,2	107,2	107,3	105,1	108,2	108,2	107,8	108,9	107,4	3,8
34	108,0	106,4	108,5	106,1	107,1	107,6	105,2	108,2	108,2	107,6	108,5	107,3	3,3
36	108,0	106,5	108,2	106,5	107,6	107,2	105,3	108,2	108,2	107,5	108,2	107,3	2,9
38	108,0	106,3	108,3	106,3	107,3	107,5	105,2	108,2	108,3	107,8	108,1	107,3	3,1
40	108,0	106,6	108,6	106,3	107,2	107,4	105,4	108,3	108,2	107,5	108,5	107,4	3,2
42	108,0	106,2	108,2	106,5	107,0	107,5	105,2	108,0	108,4	107,6	108,3	107,3	3,2
44	108,0	106,4	108,6	106,1	107,0	107,6	105,3	108,0	108,1	107,5	108,2	107,3	3,3
46	108,0	106,0	108,5	106,2	107,3	107,6	105,2	108,0	108,2	107,6	108,5	107,3	3,3
48	108,0	106,5	108,2	106,2	107,2	107,5	105,1	108,3	108,3	107,8	108,3	107,3	3,2
50	108,0	106,3	108,9	106,3	107,4	107,4	105,2	108,3	108,2	107,6	108,5	107,4	3,7
52	108,0	106,5	108,4	106,3	107,8	107,8	105,6	108,2	108,3	107,6	108,2	107,5	2,8
54	108,0	106,2	108,5	106,2	107,5	107,6	105,2	108,4	108,2	107,4	108,3	107,4	3,3
56	108,0	106,3	108,6	106,3	107,6	107,4	105,3	108,5	108,5	107,5	108,2	107,4	3,3
58	108,0	106,4	108,2	106,1	107,5	107,8	105,2	108,3	108,3	107,4	108,5	107,4	3,3
60	108,0	106,5	108,5	106,2	107,5	107,5	105,3	108,2	108,2	107,8	108,3	107,4	3,2
<b>T. PROM</b>	108,0	106,4	108,5	106,3	107,4	107,5	105,3	108,2	108,2	107,7	108,4	107,4	
<b>T. MAX</b>	108,0	106,6	108,9	106,5	107,9	107,9	105,6	108,8	108,5	107,9	108,9		
<b>T. MIN</b>	108,0	106,0	108,2	106,1	107,0	107,2	105,1	108,0	108,0	107,4	108,0		
<b>DTT</b>	0,0	0,6	0,7	0,4	0,9	0,7	0,5	0,8	0,5	0,5	0,9		

Parámetro	Valor ( °C )	Incertidumbre Expandida ( °C )
Máxima Temperatura Medida	108,9	0,4
Mínima Temperatura Medida	105,1	0,5
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,9	0,2
Desviación de Temperatura en el Espacio	3,2	0,3
Estabilidad Media ( ± )	0,45	0,02
Uniformidad Media	3,8	0,1

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición  
 Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.  
 La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631



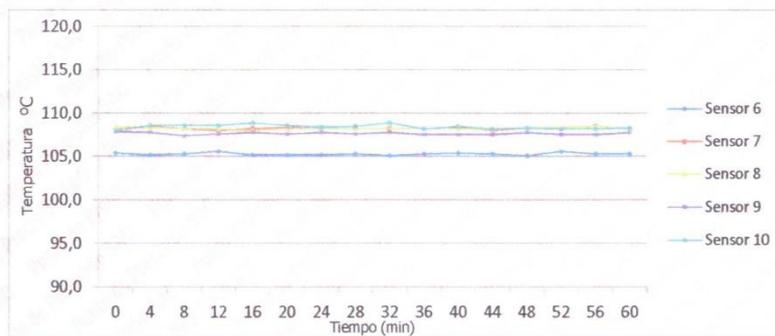
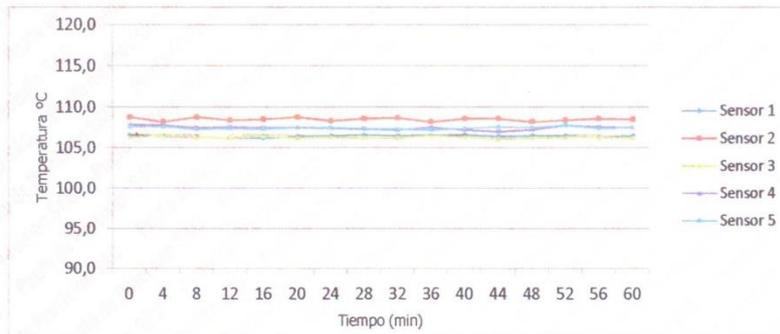
Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 382 - 2018

Página : 3 de 4

## TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



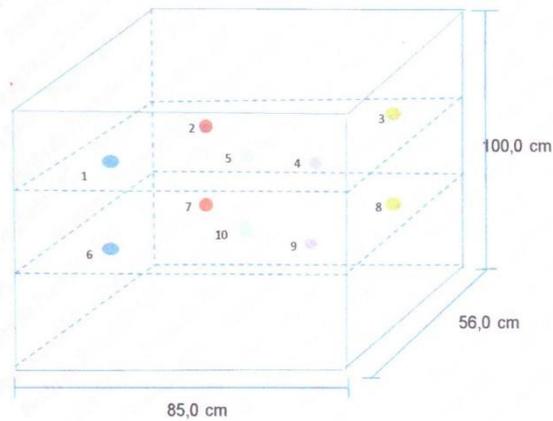
Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 382 - 2018

Página : 4 de 4

### DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES EN EL EQUIPO



- Los Sensores 5 y 10 se ubicaron sobre sus respectivos niveles.
- Los demas sensores se ubicaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y del frente del equipo.
- Los Sensores del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm por encima de la altura mas alta que emplea el usuario.
- Los Sensores del nivel inferior se ubicaron a 1,5 cm por debajo de la parrilla más baja.

FIN DEL DOCUMENTO



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 386 - 2018

Página : 1 de 2

Expediente : T 404-2018  
Fecha de emisión : 2018-10-12

1. Solicitante : JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.

Dirección : CAL. MZ D LT24 AS AS VIRGEN DEL CARMEN SCT0181 MZT019  
MZA. MZ LOTE. LT24 URB. AS VIRGEN DEL CARMEN - SAN  
MARTIN DE PORRES - LIMA

2. Instrumento de Medición : BAÑO MARIA

Marca : RUMISTONE

Modelo : LA-0201

Marca de Indicador : AUTONICS

Modelo de Indicador : TZN4S

Identificación : H-05

Punto de Precisión S.A.C. utiliza en sus verificaciones y calibraciones patrones con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

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

#### 3. Lugar y fecha de Calibración

LABORATORIO DE JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.  
11 - OCTUBRE - 2018

#### 4. Método de Calibración

Por Comparación con patrones Certificados.

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
TÉRMOMETRO	DELTA OHM	LT - 075 - 2018	INACAL - DM

#### 6. Condiciones Ambientales

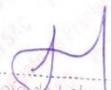
	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	21,3	21,5
Humedad %	69	69

#### 7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento. Tiempo de estabilización del equipo no menor a 30 minutos.

La incertidumbre ha sido determinada con un factor de cobertura  $k=2$  para un nivel de confianza del 95 %



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 386 - 2018

Página : 2 de 2

### Resultados

1	2	3
4	5	6

ZONA	TEMPERATURA BAÑO MARÍA	TEMPERATURA PATRÓN	CORRECCIÓN (°C)
1	60	59,8	-0,2
2	59	60,1	1,1
3	60	60,1	0,1
4	60	60,4	0,4
5	61	59,9	-1,1
6	61	60,9	-0,1

LA TEMPERATURA CONVENCIONAL VERDADERA (TCV) RESULTA DE LA RELACIÓN  
 $TCV = \text{INDICACIÓN DEL BAÑO} + \text{CORRECCIÓN}$

FIN DEL DOCUMENTO



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152831



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 383 - 2018

Página : 1 de 2

Expediente : T 404-2018  
Fecha de emisión : 2018-10-12

1. Solicitante : JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.

Dirección : CAL.MZ D LT24 AS AS VIRGEN DEL CARMEN SCT0181  
MZT019 MZA. MZ LOTE. LT24 URB. AS VIRGEN DEL CARMEN -  
SAN MARTIN DE PORRES - LIMA

2. Instrumento de Medición : MUFLA

Indicación : DIGITAL

Marca de Equipo : FAEL

Modelo de Equipo : ME3L

Serie del Equipo : 240417

Marca de Indicador : AUTONICS

Modelo de Indicador : TX45

Identificación : H-03

Punto de Precisión S.A.C. utiliza en sus verificaciones y calibraciones patrones con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

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

#### 3. Lugar y fecha de Calibración

LABORATORIO DE JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.  
11 - OCTUBRE - 2018

#### 4. Método de Calibración

La calibración se efectuó según el procedimiento de calibración PC - 017 del servicio nacional de metrología, del INDECOPI.

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
TERMOMETRO DIGITAL	FLUKE	CT - 003 - 2018	INACAL - DM

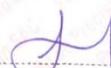
#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	22,3	22,5
Humedad %	71	71

#### 7. Resultados de la Medición

Los resultados de las mediciones se muestran en la página siguiente, tiempo de estabilización del Termómetro no menor a 05 minutos. La Incertidumbre a sido determinada con un factor de cobertura  $k=2$  para un nivel de confianza del 95 %.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 383 - 2018

Página : 2 de 2

### Resultados de la Medición

INDICACIÓN DEL EQUIPO (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	CORRECCIÓN (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
401	406,1	4,8	2,1
701	706,3	5,1	3,2

LA TEMPERATURA CONVENCIONAL VERDADERA (TCV) RESULTA DE LA RELACION  
 $TCV = \text{INDICACIÓN DEL TERMÓMETRO} + \text{CORRECCIÓN}$

FIN DEL DOCUMENTO



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 384 - 2018

Página : 1 de 2

Expediente : T 404-2018  
Fecha de emisión : 2018-10-12

Punto de Precisión S.A.C. utiliza en sus verificaciones y calibraciones patrones con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

1. Solicitante : JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.

Dirección : CAL.MZ D LT24 AS AS VIRGEN DEL CARMEN SCT0181  
MZT019 MZA. MZ LOTE. LT24 URB. AS VIRGEN DEL CARMEN -  
SAN MARTIN DE PORRES - LIMA

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

2. Instrumento de Medición : PLANCHA

Indicación : ANALÓGICO

Marca : RUMISTONE

Modelo : LS-0017

Marca de indicador : AUTONICS

Modelo de indicador : TAS

Identificación : H-04

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

#### 3. Lugar y fecha de Calibración

LABORATORIO DE JR GEOCONSULTORES E INGENIEROS S.R.L.  
11 - OCTUBRE - 2018

#### 4. Método de Calibración

La calibración se efectuó por el método de comparación utilizando patrones certificados

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
TERMÓMETRO DIGITAL	DÉLTA OHM	LT - 075 - 2018	INACAL - DM

#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	22,7	23,2
Humedad %	70	70

#### 7. Resultados de la Medición

Los resultados de las mediciones se muestran en la página siguiente, tiempo de estabilización del Termómetro no menor a 05 minutos. La Incertidumbre a sido determinada con un factor de cobertura  $k=2$  para un nivel de confianza del 95 %.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capch.  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 384 - 2018

Página : 2 de 2

### Resultados de la Medición

INDICACIÓN DE LA PLANCHA (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	CORRECCIÓN (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
150,0	152,73	3,14	0,2
200,0	204,59	4,91	0,2

LA TEMPERATURA CONVENCIONAL VERDADERA (TCV) RESULTA DE LA RELACIÓN  
 $TCV = \text{INDICACIÓN DEL TERMÓMETRO} + \text{CORRECCIÓN}$

FIN DEL DOCUMENTO



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

## Anexo 9.Ficha de conteo vehicular

CONTEO VEHICULAR DIARIO

PUNTO DE CONTROL SENTIDO	UBICACION			AV. CIRCUNVALACION			DISTRITO														
	FECHA			DIA			CODIGO														
HORA CADA 15 Min	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	CAMIONETA RURAL	MICRO	BUS 2E	BUS >-3E	CAMION 2E	CAMION 3E	CAMION 4E	SEMI TRAYLE 2S1/2S2	SEMI TRAYLE 2S3	SEMI TRAYLE 3S1/3S2	SEMI TRAYLE >-3S3	TRAYLER 2T2	TRAYLER 2T3	TRAYLER 3T2	TRAYLER >-3T3	TOTAL	
06:00 a 06:15																					
06:15 a 06:30																					
06:30 a 06:45																					
06:45 a 07:00																					
07:00 a 07:15																					
07:15 a 07:30																					
07:30 a 07:45																					
07:45 a 08:00																					
08:00 a 08:15																					
08:15 a 08:30																					
08:30 a 08:45																					
08:45 a 09:00																					
09:00 a 09:15																					
09:15 a 09:30																					
09:30 a 09:45																					
09:45 a 10:00																					
10:00 a 10:15																					
10:15 a 10:30																					
10:30 a 10:45																					
10:45 a 11:00																					
11:00 a 11:15																					
11:15 a 11:30																					
11:30 a 11:45																					
11:45 a 12:00																					
12:00 a 12:15																					
12:15 a 12:30																					
12:30 a 12:45																					
12:45 a 13:00																					
13:00 a 13:15																					
13:30 a 13:45																					
13:45 a 14:00																					
14:00 a 14:15																					
14:15 a 14:30																					
14:30 a 14:45																					
14:45 a 15:00																					
15:00 a 15:15																					
15:15 a 15:30																					
15:30 a 15:45																					
15:45 a 16:00																					
16:00 a 16:15																					
16:15 a 16:30																					
16:30 a 16:45																					
16:45 a 17:00																					
17:00 a 17:15																					
17:15 a 17:30																					
17:30 a 17:45																					
17:45 a 18:00																					
18:00 a 18:15																					
18:15 a 18:30																					
18:30 a 18:45																					
18:45 a 19:00																					
19:00 a 19:15																					
19:15 a 19:30																					
19:30 a 19:45																					
19:45 a 20:00																					
20:00 a 20:15																					
20:15 a 20:30																					
20:30 a 20:45																					
20:45 a 21:00																					
21:00 a 21:15																					
21:15 a 21:30																					
21:30 a 21:45																					
21:45 a 22:00																					
<b>TOTAL Veh/dia</b>																					

Responsable

Supervisor

**Anexo 10. Panel fotográfico**







**ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD  
DE TESIS**

Código : F06-PP-PR-02.02  
Versión : 09  
Fecha : 23-03-2018  
Página : 1 de 1

Yo, María Ysabel García Álvarez, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo sede Lima Este, revisor (a) de la tesis titulada

"Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.", de los estudiantes Santa Huarcaya Franklin Andrey y Vivas Jines Katherine Soraya constato que la investigación tiene un índice de similitud de 2.0% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

San Juan de Lurigancho, 12 de diciembre del 2018.

*M. Y. G. A.*

.....  
María Ysabel García Álvarez

DNI: 21453567.....

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018.

#### TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

#### AUTORES:

Franklin Andrey Canta Huarcaya

Katherine Soraya Vivas Jines

#### ASESOR:

Dra. María Ysabel García Álvarez

#### LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

### Resumen de coincidencias

# 20 %

Se están viendo fuentes estándar

[Ver fuentes en inglés \(Beta\)](#)

#### Coincidencias

1	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	4 %
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3 %
3	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %
4	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %
5	www.slideshare.net Fuente de Internet	1 %
6	Entregado a Universida...	1 %







# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL, DRA. ING. MARIA YSABEL GARCIA ALVAREZ A LA RECEPCIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN SOLICITADA PARA LA ENTREGA DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

CANTA HUARCAYA, FRANKLIN ANDREY

INFORME TITULADO:

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONANDO ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018.

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

---

INGENIERO CIVIL

SUSTENTADO EN FECHA: San Juan de Lurigancho, 12 de diciembre del 2018

NOTA O MENCIÓN: 14 (Catorce)



*garcía*

DRA. MARÍA YSABEL GARCÍA ÁLVAREZ



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL, DRA. ING. MARIA YSABEL GARCIA ALVAREZ A LA RECEPCIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN SOLICITADA PARA LA ENTREGA DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

VIVAS JINES, KATHERINE SORAYA

INFORME TÍTULADO:

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONANDO ELASTÓMEROS Y PET RECICLADO PARA CARGAS DE TRÁNSITO PESADO EN VÍAS METROPOLITANAS, LIMA 2018.

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

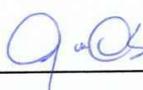
---

INGENIERO CIVIL

SUSTENTADO EN FECHA: San Juan de Lurigancho, 12 de diciembre del 2018

NOTA O MENCIÓN: 14 (Catorce)



  
DRA. MARÍA YSABEL GARCÍA ÁLVAREZ