

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**IMPACTO DEL CONTROL DE PESOS POR EJE DE VEHÍCULOS
PESADOS SOBRE LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS**



TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR BACHILLER:

DANNY STEVE MARTINEZ RODRIGUEZ

LIMA- PERÚ

2015

AGRADECIMIENTOS:

Agradecer a Dios por darme la oportunidad de conocerlo y regalarme su amor para poder compartirlo.

A mis padres María y Daniel, por siempre ser la fuente de apoyo en todos mis años universitarios y durante mi tesis, por confiar en mí y en mi trabajo.

A mis abuelitos Daniel Martínez y Tele Quispe; a mis abuelitos y tíos que ya no están a mi lado.

A Jeison, Víctor Hugo, Michel y en especial Alessandra por darme fuerzas en todo momento y apoyarme en esta tesis.

Al M. Sc. Ing. Néstor Huamán Guerrero, por ser el gran maestro que me ha guiado con sus conocimientos y motivación, a amar tanto a mi carrera de Ingeniería Civil y a la disciplina de Pavimentos.

A la información compartida por los diversos ingenieros de LanammeUCR y de la empresa MTV Ingenieros. Y a todas aquellas personas que han sido parte de mi aprendizaje durante estos años; en especial al ingeniero Walter Aguirre, quien me brindó la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

A todos mis amigos, familiares y profesionales que ven en mí una persona en quien confiar.

Gracias por todo.

INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. Generalidades	2
1.1 Marco Situacional	2
1.2 Problematización	4
1.3 Objetivos de la Investigación	5
1.3.1 Objetivo Principal	5
1.3.2 Objetivo Especifico	5
1.4 Importancia.....	6
1.5 Alcances.....	7
1.6 Metodología.....	8
CAPÍTULO 2. Pavimento y Pesos Legales.....	11
2.1 Fundamentos de Diseño.....	11
2.1.1 Estructura del pavimento	11
2.1.2 Definiciones básicas	13
2.2 AASHTO – 93.....	17
2.2.1 Determinación de la demanda	18
2.2.2 Factores Equivalente de Carga.....	19
2.2.3 Presión de Neumáticos	26
2.2.4 Factor Camión	27
2.2.4 Ejes Equivalentes Simples.....	28
2.3 Diseño de Pavimento.....	30
2.3.1 Dimensionamiento	33

2.4	Guía MEPDG.....	35
2.4.1	Espectro de Cargas	36
2.4.2	Caracterización de materiales.....	38
2.4.3	Deterioros	39
2.4.4	Diseño de Pavimento.....	40
2.5	Pesaje	40
2.5.1	Balanzas estacionarias	41
2.5.2	Factores de influencia en pesado	42
2.6	Análisis de la vida útil	47
2.7	Base Legal	48
CAPÍTULO 3. Análisis de Ruta en Estudio.....		54
3.1	Selección de Ruta.....	54
3.2	Tramo Vial Atico - Puente Camiara.....	55
3.3	Puntos de aforo	58
3.4	Conteo Vehicular	67
3.5	Composición Vehicular	86
	Flujograma del IMDA Estaciones E1 – E2	86
	Flujograma del IMDA Estaciones E3 – E4 – E5	87
	Flujograma del IMDA Estaciones E6 – E7 – E8	87
3.6	Encuestas de Origen - Destino	88
3.7	Demanda de Transporte.....	94
3.7.1	Proyección del Tráfico Normal	94
3.7.2	Proyección del Tráfico Total.....	107

CAPÍTULO 4. Efecto de Sobrecargas	108
4.1 Pesajes.....	108
4.2 Factores Destructivos	123
4.3 Ejes Equivalentes (EE)	130
4.3.1 Escenarios de carga	133
4.3.2 Diseño de espesores	138
4.3.3 Costos de Construcción	143
Conclusiones y Recomendaciones	145
Conclusiones.....	145
Recomendaciones.....	147
Bibliografía.....	148
Anexos	150
Anexo 1 – Conteos Vehiculares	150
Anexo 2 – Pesajes	158
Anexo 3 – PU Carretera “Camaná - Matarani”	164

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA DE METODOLOGÍA	10
FIGURA 2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	12
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS.....	13
FIGURA 4 COMPRESIÓN Y TENSIÓN POR PASO DE NEUMÁTICO	16
FIGURA 5. FACTORES QUE AFECTAN AL PAVIMENTO	17
FIGURA 6 VARIACIÓN DE FEC SEGÚN EJE SIMPLE	25
FIGURA 7. VARIACIÓN DE FEC SEGÚN EJE TÁNDEM.....	25
FIGURA 8. COMPOSICIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	35
FIGURA 9. ESPECTRO DE CARGA.....	37
FIGURA 10. ENSAYO DE MODULO DE RESILENCIA	39
FIGURA 11. PENDIENTE DE NEUMÁTICOS DURANTE PESAJE	44
FIGURA 12. SUSPENSIÓN DE NEUMÁTICOS DURANTE PESAJE	45
FIGURA 13. RELACIÓN DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO E INTERVENCIÓN	47
FIGURA 14. RELACIÓN DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO E INTERVENCIÓN	48
FIGURA 15. RUTA DE ESTUDIO	56
FIGURA 16. UBICACIÓN DE ESTACIONES	60
FIGURA 17. CONTEO ESTACIÓN CAMIARA	61
FIGURA 18. CONTEO ESTACIÓN ILO	61
FIGURA 19. CENSO DE CARGA ESTACIÓN MONTALVO.....	62
FIGURA 20. CENSO DE CARGA ESTACIÓN MONTALVO.....	62
FIGURA 21. CONTEO ESTACIÓN EL FISCAL.....	63
FIGURA 22. CONTEO ESTACIÓN EL FISCAL.....	63
FIGURA 23. CONTEO ESTACIÓN DESVÍO MATARANI.....	64
FIGURA 24. CONTEO ESTACIÓN DESVÍO MATARANI.....	64
FIGURA 25. CONTEO ESTACIÓN LA JOYA.....	65
FIGURA 26. CONTEO ESTACIÓN APLAO.....	65
FIGURA 27. CONTEO ESTACIÓN APLAO.....	66

FIGURA 28. CENSO DE CARGA ESTACIÓN APLAO	66
FIGURA 29. IMD SEMANAL	70
FIGURA 30. TRÁFICO HORARIO DEL DÍA MÁS CARGADO	71
FIGURA 31. IMD SEMANAL	72
FIGURA 32. TRÁFICO HORARIO DEL DÍA MÁS CARGADO	73
FIGURA 33. IMD SEMANAL	74
FIGURA 34. TRÁFICO HORARIO DEL DÍA MÁS CARGADO	75
FIGURA 35. IMD SEMANAL	76
FIGURA 36. TRÁFICO HORARIO DEL DÍA MÁS CARGADO	77
FIGURA 37. IMD SEMANAL	78
FIGURA 38. TRÁFICO HORARIO DEL DÍA MÁS CARGADO	79
FIGURA 39. IMD SEMANAL	80
FIGURA 40. TRÁFICO HORARIO DEL DÍA MÁS CARGADO	81
FIGURA 41. IMD SEMANAL	82
FIGURA 42. TRÁFICO HORARIO DEL DÍA MÁS CARGADO	83
FIGURA 43. IMD SEMANAL	84
FIGURA 44. TRÁFICO HORARIO DEL DÍA MÁS CARGADO	85
FIGURA 45. FLUJOGRAMA E1- E2	86
FIGURA 46. FLUJOGRAMA E3- E4 – E5	87
FIGURA 47. FLUJOGRAMA E6- E7 – E8	88
FIGURA 48. ESPECTRO DE CARGA EJE SIMPLE	117
FIGURA 49. ESPECTRO DE CARGA EJE DUAL.....	118
FIGURA 50. ESPECTRO DE CARGA EJE TÁNDEM	119
FIGURA 51. ESPECTRO DE CARGA EJE TRIDEM.....	119
FIGURA 52.ESPECTRO DE CARGA EJE SIMPLE.....	120
FIGURA 53. ESPECTRO DE CARGA EJE DUAL.....	121
FIGURA 54. ESPECTRO DE CARGA EJE TÁNDEM	121
FIGURA 55. ESPECTRO DE CARGA EJE TRIDEM.....	122
FIGURA 56.EE DE LAS ESTACIONES EN AÑOS	132

FIGURA 57. COMPARACIÓN DE EE VS AÑOS EN VIDA ÚTIL ESTACIÓN MONTALVO	135
FIGURA 58. COMPARACIÓN DE EE VS AÑOS EN VIDA ÚTIL ESTACIÓN DESVÍO MATARANI.....	137
FIGURA 59. ESQUEMA DISEÑO ESCENARIO A	141
FIGURA 60. ESQUEMA DISEÑO ESCENARIO B	142

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. TIPOS DE CAMIÓN EN PERÚ	19
TABLA 2 CONFIGURACIÓN DE EJES.....	23
TABLA 3 FACTOR EQUIVALENTE DE CARGA POR EJE.....	24
TABLA 4 FACTOR DE CORRECCIÓN DE PRESIÓN DE NEUMÁTICOS	27
TABLA 5. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (ZR) PARA 10 O 20 AÑOS.....	31
TABLA 6. PESOS MÁXIMOS POR EJE	50
TABLA 7. PESOS Y MEDIDAS MÁXIMAS PERMITIDAS I	51
TABLA 8. PESOS Y MEDIDAS MÁXIMAS PERMITIDAS II	52
TABLA 9.PESOS Y MEDIDAS MÁXIMAS PERMITIDAS III	53
TABLA 10. ESTACIONES Y TRAMOS DE CARRETERA	59
TABLA 11. FACTOR DE CORRECCIÓN ESTACIONAL.....	68
TABLA 12. IMDA POR ESTACIÓN.....	69
TABLA 13. IMDA EN DOS SENTIDOS E-1	70
TABLA 14. IMDA EN DOS SENTIDOS E-2	72
TABLA 15. IMDA EN DOS SENTIDOS E-3	74
TABLA 16. IMDA EN DOS SENTIDOS E-4	76
TABLA 17. IMDA EN DOS SENTIDOS E-5	78
TABLA 18. IMDA EN DOS SENTIDOS E-6	80
TABLA 19. IMDA EN DOS SENTIDOS E-7	82
TABLA 20. IMDA EN DOS SENTIDOS E-8	84
TABLA 21. OD ÓMNIBUS.....	89
TABLA 22. OD CAMIONES.....	89
TABLA 23. OD SEMI TRÁILER	90
TABLA 24. OD TRÁILER	90
TABLA 25. OD ÓMNIBUS.....	90
TABLA 26. OD CAMIONES Y ACOPLADOS	91
TABLA 27. OD ÓMNIBUS.....	91

TABLA 28. OD CAMIONES Y ACOPLADOS	92
TABLA 29. OD CAMIONES.....	92
TABLA 30. OD SEMI TRÁILER	93
TABLA 31. OD TRÁILER	93
TABLA 32. VAB DEPARTAMENTAL 1994	96
TABLA 33. TASA DE CRECIMIENTO POR REGIÓN	96
TABLA 34. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN	97
TABLA 35. TASA DE CRECIMIENTO GEOMÉTRICO ANUAL.....	97
TABLA 36. INDICADORES ECONÓMICOS AREQUIPA.....	98
TABLA 37. INDICADORES ECONÓMICOS AYACUCHO	98
TABLA 38. INDICADORES ECONÓMICOS CUSCO	99
TABLA 39. INDICADORES ECONÓMICOS HUANCVELICA.....	99
TABLA 40. INDICADORES ECONÓMICOS HUÁNUCO	100
TABLA 41. INDICADORES ECONÓMICOS ICA	100
TABLA 42. INDICADORES ECONÓMICOS JUNÍN.....	101
TABLA 43. INDICADORES ECONÓMICOS LIMA	101
TABLA 44. INDICADORES ECONÓMICOS MOQUEGUA	102
TABLA 45. INDICADORES ECONÓMICOS PUNO.....	102
TABLA 46. INDICADORES ECONÓMICOS TACNA	103
TABLA 47. INDICADORES ECONÓMICOS TUMBES.....	103
TABLA 48. ELASTICIDAD SEGÚN EL TIPO DE VEHÍCULOS.....	104
TABLA 49. DISTRIBUCIÓN DE VIAJE MONTALVO	104
TABLA 50. DISTRIBUCIÓN DE VIAJE FISCAL.....	105
TABLA 51. DISTRIBUCIÓN DE VIAJE ATICO	105
TABLA 52. TASA DE CRECIMIENTO MONTALVO	106
TABLA 53. TASA DE CRECIMIENTO EL FISCAL	106
TABLA 54. TASA DE CRECIMIENTO ATICO	106
TABLA 55. PROYECCIONES DE IMDA	107
TABLA 56. PESAJES POR ESTACIÓN.....	108

TABLA 57. FRECUENCIA EJE SIMPLE SENCILLO	109
TABLA 58. FRECUENCIA EJE SIMPLE DUAL	109
TABLA 59. FRECUENCIA EJE TÁNDEM DUAL.....	110
TABLA 60. FRECUENCIA EJE TRIDEM DUAL	111
TABLA 61. FRECUENCIA EJE SIMPLE SENCILLO	112
TABLA 62. FRECUENCIA EJE SIMPLE DUAL	112
TABLA 63. FRECUENCIA EJE TÁNDEM DUAL.....	113
TABLA 64. FRECUENCIA EJE TRIDEM DUAL	114
TABLA 65. INCIDENCIA DE LOS VEHÍCULOS PESADOS EN ESTACIÓN MONTALVO	115
TABLA 66. INCIDENCIA DE LOS VEHÍCULOS PESADOS EN ESTACIÓN CAMANÁ.....	116
TABLA 67. FACTOR CAMIÓN ESTACIÓN MONTALVO	124
TABLA 68. FACTOR CAMIÓN ESTACIÓN CAMANÁ.....	124
TABLA 69. FACTOR CAMIÓN PESO MÁXIMO.....	125
TABLA 70. EFECTO SOBRECARGA EJE SENCILLO	126
TABLA 71. EFECTO SOBRECARGA EJE DUAL	126
TABLA 72 EFECTO SOBRECARGA EJE TÁNDEM.....	127
TABLA 73. EFECTO SOBRECARGA EJE TRIDEM	127
TABLA 74 EFECTO SOBRECARGA EJE SENCILLO	128
TABLA 75. EFECTO SOBRECARGA EJE DUAL	128
TABLA 76. EFECTO SOBRECARGA EJE TÁNDEM.....	129
TABLA 77. EFECTO SOBRECARGA EJE TRIDEM	129
TABLA 78. EE REALES PROYECTADOS	131
TABLA 79. COMPARACIÓN DE FACTORES CAMIÓN ESTACIÓN MONTALVO	134
TABLA 80. COMPARACIÓN DE FACTORES CAMIÓN ESTACIÓN CAMANÁ.....	136
TABLA 81. EE PROYECTADOS A 20 AÑOS PARA LOS ESCENARIOS.....	139
TABLA 82. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LA CAPA	140
TABLA 83. CONSIDERACIONES DE DISEÑO	140
TABLA 84. DISEÑO ESCENARIO A CARGAS REALES	141
TABLA 85. DISEÑO ESCENARIO B CARGAS CONTROLADAS	142

TABLA 86. PRECIOS UNITARIOS	143
TABLA 87. COSTO POR KM CON CARGAS REALES	143
TABLA 88. COSTO POR KM CON CARGAS CONTROLADAS.....	144

INTRODUCCIÓN

A largo de los últimos años en nuestro país se han desarrollado diversos proyectos de infraestructura vial con el fin de mejorar la comunicación y el transporte terrestre. La ejecución de dichos proyectos de transporte genera un aumento de la demanda vehicular, lo que a su vez produce un mayor deterioro en la estructura del pavimento. Pero si además los vehículos circulan sobrecargados el efecto sobre el pavimento se multiplica, generando un mayor costo de mantenimiento durante su vida útil.

Para evitar los daños prematuros resulta fundamental considerar no solo los pesos vehiculares sino también la sobrecarga de los vehículos en el diseño. Para dicha medición, se debe transformar de un eje cualquiera a un eje equivalente estándar, el cual representa una carga por eje simple de cuatro ruedas de 8.2 toneladas. A este factor se le denomina Ejes Equivalentes (EE).

En la presente tesis se busca demostrar que existe una influencia del sobrepeso en la vida útil del pavimento. Para ello, se determinó los Ejes Equivalentes de las cargas legales y reales sobre el pavimento de una determinada carretera de nuestro país. Asimismo, se obtuvo el porcentaje de sobrecarga por vehículo y por eje con el fin de conocer los efectos producidos a lo largo del tiempo.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Marco Situacional

A diferencia de las décadas pasadas nuestro país ha mantenido en los últimos diez años un crecimiento económico muy acelerado, lo que lo posiciona entre los líderes de América Latina. Así mismo, durante el 2000 y el 2010 el Perú obtuvo el segundo lugar del ranking en lo que se refiere a crecimiento económico per cápita, seguido de Panamá (Banco Mundial 2012). Durante el discurso del mes de Julio en el año 2014, el entonces presidente del Consejo de Ministros, René Cornejo Díaz, remarcó que “La infraestructura vial no solo sirve como un elemento que induce el crecimiento integral, sino que incorpora a poblaciones que estaban al margen del desarrollo”.

Las palabras del primer ministro en la fecha mencionada refuerzan la idea en la importancia que tiene la infraestructura vial como un elemento esencial y fundamental que promueve no solo el crecimiento económico, sino el desarrollo del Perú. Sin embargo, el crecimiento económico ha sufrido una desaceleración desde el año 2014, por ejemplo, para abril del 2015 se estimó un crecimiento de la economía del 4% pero la cifra real que obtuvo fue de 2.4%. Esta desaceleración se ha visto fuertemente influenciada en el sector transporte por lo que se ha reducido la construcción de carreteras en el Perú.

La influencia de la economía del país y el desarrollo de proyectos en infraestructura vial se ve reflejada en el incremento de ventas de vehículos pesados. Por ejemplo, la empresa Isuzu registró una venta que superó las 20000 unidades de vehículos en Perú, lo que representó el mayor crecimiento para dicha compañía en la región (Takanobu Furuta 2013). Asimismo, dicha demanda de camiones se acerca a la de Colombia, Venezuela, Ecuador, e incluso supera a Chile, por lo que se proyecta que en los próximos cinco años se venderá en el mercado peruano unos 30000 camiones. Finalmente, cabe resaltar que dicho crecimiento de la demanda de vehículos pesados

es producto de la necesidad del desarrollo de infraestructura vial básica peruana y su crecimiento económico.

De esta forma se tiene que el crecimiento de vehículos pesados en el parque automotor peruano conlleva a un diseño del paquete estructural más minucioso. Asimismo, resulta fundamental que se realice un control de calidad más riguroso durante la construcción y el mantenimiento de carreteras, de tal forma que cumplan con los niveles de servicio solicitados, entre estos como el aumento de tráfico de pesado y la sobrecarga.

Por otro lado, con respecto a los efectos que produce el tránsito de vehículos pesados, se conoce que estos generan un mayor daño en la infraestructura. Si bien, cualquier tipo de vehículos origina efectos negativos tales como la congestión, las emisiones contaminantes, los accidentes, el ruido y daño a la infraestructura, los camiones tienen una mayor incidencia en el último efecto negativo mencionado. El sobrepeso en el transporte de carga es una práctica ampliamente extendida alrededor del mundo, la cual ocasiona niveles considerables de daño a los caminos que luego tienen que ser reparados con presupuestos limitados (Quintero 2004).

El daño al pavimento tiene tres peculiaridades. En primer lugar, se atribuye exclusivamente a los vehículos de carga, debido a que estos son más pesados por configuración de ejes. Otra característica principal es que su deterioro crece exponencialmente al aumentar los pesos que llevan. Finalmente, no se percibe de inmediato como los otros impactos, lo que dificulta tanto su control como la concientización de los transportistas acerca de la magnitud del daño.

Existen múltiples agentes que interactúan entre sí para un adecuado uso de la infraestructura vial. Entre ellos predomina la compleja interacción entre los derechos de los transportistas y los responsables de la carretera, ya que los primeros desean reducir sus costos operativos mediante prácticas de carga que más le convengan y los

últimos son los encargados de mantener la calidad de la infraestructura, oponiéndose a este tipo de procedimientos. Entre otros factores se encuentran, también, las facultades del planificador/autoridad de carreteras para imponer regulaciones, la relevancia del transporte de carga en la economía nacional y los presupuestos usualmente limitados del responsable del camino.

Debido a lo descrito anteriormente, resulta fundamental realizar estudios del impacto del sobrepeso en pavimentos. Por lo que, en la presente tesis se estudió el caso particular del efecto del sobrepeso por eje en la estructura del pavimento de una carretera de nuestro país bajo las leyes que la rigen.

1.2 Problematización

Los pavimentos se diseñan para resistir un número de ejes equivalentes a lo largo de su vida útil, los cuales toman en cuenta las cargas de los distintos tipos de vehículos que viajan a través de la carretera. Por lo tanto, es importante estimar dichas cargas, así como el índice medio diario anual (IMDA) y la distribución de vehículos según su clasificación.

La demanda de carga impuesta en las carreteras se ve fuertemente influenciada por el desarrollo del comercio en las diferentes zonas de un país, ya que esto produce un aumento en el flujo vehicular entre las mismas. En el caso de los vehículos pesados, como camiones o autobuses, requieren una consideración especial e importante al momento de diseñar la estructura del pavimento de una carretera. La razón principal se debe a que debido a la magnitud superior de su peso transmiten una carga mayor a la superficie por la que transitan, lo cual conlleva una mayor magnitud de daño a la estructura.

La falta de un control efectivo de pesos ante la escasez de estaciones de pesaje en el país evidencia que existe la necesidad de recalcular los factores que influyen en el diseño de pavimentos. Debido a esta escasez se debe considerar los cambios en el

volumen y distribución de los vehículos pesados que recorren las carreteras peruanas en futuros diseños. Por lo tanto, deben recalcularse los factores camión (FC) en especial para las principales carreteras de Perú.

La obtención de factores camión actualizados y la posterior aplicación de los mismos es indispensable en el diseño de pavimentos asfálticos. Utilizar factores camión que no sean representativos de las características actuales de los vehículos pesados influye negativamente en la eficiencia de la estructura del pavimento. Por ejemplo, el pavimento puede resultar incapaz de soportar las cargas a las que se ven sometidas durante su vida útil o estar sobre diseñadas, generando un gasto innecesario en el contratista.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo Principal

Evaluar el impacto real de la sobrecarga por eje de vehículos pesados sobre la estructura del pavimento en Perú y el control que sirva para tomar medidas correctivas que ayuden a preservar nuestras carreteras.

1.3.2 Objetivo Especifico

- Realizar pesajes por eje en la Carretera Ático – Puente Camiara (Panamericana Sur) a una muestra representativa de vehículos pesados tomando en cuenta su configuración de ejes.
- Calcular factores camión de vehículos pesados para la ruta de estudio.
- Evaluar el tráfico y pesaje bajo las cargas legales del país.
- Controlar el pesaje de vehículos bajo la carga legal Peruana para la ruta de estudio
- Determinar la diferencia del daño por los factores camión controlados y los tomados en campo.

1.4 Importancia

El objetivo principal de la construcción y conservación de carreteras es lograr conectar las poblaciones rurales con los núcleos desarrollados del país, de tal manera que se promueva la competitividad entre poblaciones. En consecuencia, se produce un incremento de volumen de tráfico de vehículos y empleo local; y además se reduce el tiempo de viaje y costos de operación vehicular y pasajes.

Dada la importancia del estado de las carreteras en la economía de un país es indispensable conocer de manera precisa los factores de mayor influencia en el diseño, tales como el índice medio diario anual y los factores camión. En caso existan deterioros en las vías, estas influirán indirectamente en el costo del producto que se transporta o del pasaje de personas. Además es importante señalar que, el aumento de las cargas permitidas en los vehículos produce mayor daño en la estructura del pavimento reduciendo de manera exponencial la vida útil. Lo anterior incrementa los niveles de intervención de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, y rehabilitación parcial o total de las estructuras de pavimento.

Esta tesis tiene como finalidad obtener factores camión que tomen en cuenta las cargas reales de los vehículos pesados permitiendo así conocer la medida del daño que este tipo de vehículos provoca sobre la superficie de rodamiento. Esto permitirá que se pueda realizar un diseño estructural del pavimento correcto, de tal forma que sea capaz de soportar adecuadamente las cargas a las que se verá expuesta la carretera. Adicionalmente se plantea verificar la importancia de regular las restricciones del peso máximo que tienen permitido llevar los vehículos pesados que recorren las carreteras peruanas, así como brindar recomendaciones con respeto a dichas limitaciones.

1.5 Alcances

El propósito de la tesis es obtener los factores camión de los vehículos que transitan en Perú. Sin embargo, debido a la magnitud de la Red Vial Nacional y a los recursos disponibles, se seleccionó una carretera representativa como lo es la Panamericana Sur en el tramo de Ático – Puente Camiara que cumple con los criterios necesarios, tal como un tránsito constante de camiones de pesos considerables.

El estudio de tráfico y de pesaje se realizó en octubre del año 2013, los factores camión y el IMDA obtenidos mediante este estudio son representativos para este periodo de tiempo. Estos datos servirán solo de referencia para el diseño de pavimentos asfálticos ya que este es el tipo de pavimento más usado y conocido en el Perú.

No se realiza un análisis económico para estimar el costo anual (inversión y tiempo) del daño provocado en las carreteras debido a la circulación vehicular y a la utilización de factores camión poco representativos durante el diseño de la estructura de pavimento. Por otro lado, se cuenta con datos relevantes de la zona para las proyecciones de Ejes Equivalentes (EE) como el crecimiento económico local.

Queda fuera del alcance de la tesis conocer y tomar en cuenta el tipo de suelos que se extiende a lo largo de la carretera seleccionada. Si bien este es necesario para conocer de manera más exacta el número estructural (SN), se utilizará valores genéricos para el diseño de pavimentos. Por lo que, antes de utilizar los factores camión obtenidos mediante esta investigación es necesario hacer un análisis de estas características a fin de determinar si es necesario aplicar alguna corrección.

La determinación de los EE así como todos los otros métodos y cálculos utilizados durante el desarrollo de esta tesis obedecen a la metodología AAHSTO 93 y del Manual de Suelos y Pavimento del MTC. Estos son exclusivamente para pavimentos asfálticos, por lo que no es recomendable aplicarlos a carreteras constituidas por

pavimentos hidráulicos. La razón principal se debe a la diferencia que estos tipos de estructuras presentan en su respuesta ante cargas.

La dificultad para conseguir datos característicos de las carreteras tales como sus IMDA por mes y porcentaje de vehículos pesados dificultó la labor de hacer un análisis más exhaustivo. Sin embargo, con el fin de llenar estos vacíos de información el tesista visitó a la empresa MTV que brinda servicios de pesaje a la concesión en la zona de estudio.

Finalmente, cabe señalar que el factor de temperatura no se tomó en cuenta en la toma de datos, pero se consideró la presión de neumáticos por vehículo que afectan a la medición de peso por ejes. Este último factor se mantuvo como constante para las diferentes proyecciones.

1.6 Metodología

Esta investigación se compuso de cinco fases principales. A continuación se presenta el diagrama de la metodología utilizada, la cual se muestra en la figura 1.

Fase 1: Información existente

La fase inicial del proyecto consistió en la recopilación de información que permitiera determinar la situación del tránsito en las principales redes nacionales del país. De esta forma se logró determinar cuáles rutas contaban con las características necesarias para poder cumplir los objetivos de esta investigación.

Con el fin de obtener la información necesaria para el desarrollo de la tesis se visitaron algunas de las empresas que desarrollan estudios viales o que tienen en concesión alguna de estas carreteras. Algunas de las empresas visitadas fueron OHL, CONCAR, OBRAINSA y MTV, de este último se obtuvieron la data necesaria la cual permitió hacer la selección de rutas.

Fase 2: Establecimiento de ruta

En esta fase se procedió a seleccionar cual era la ruta más conveniente a utilizar de todas aquellas brindadas por la empresa. Para ello se consideró cuál de ellas tendrían resultados representativos, tomando en cuenta las características de las rutas, al igual que las condiciones de los puntos de pesaje. Adicionalmente, la duración de la encuesta de carga se definió de tal forma que permita cubrir los diversos escenarios que pudieron presentarse durante el estudio de campo.

Fase 3: Estudio de campo

Una vez determinada la ruta, los puntos de aforo y los periodos de muestreo se procedió a realizar la encuesta de carga para vehículos pesados. Para cada vehículo se tomó el peso por eje, el sentido de viaje, el número aproximado de pasajeros, la placa y se clasificaron de acuerdo a su origen-destino. Estas tomas de pesaje se realizaron en octubre del año 2013.

Fase 4: Análisis de resultados

Luego obtener los datos de peso en la tercera fase se determinaron los factores equivalentes de carga (FEC) y los factores camión de los vehículos pesados para la ruta seleccionada, así como para su clasificación. Posteriormente, se generaron espectros de carga para la carretera en estudio, usando las frecuencias de peso. A través de estos se determinó el porcentaje de vehículos pesados que exceden el peso límite en sus ejes y el daño adicional que estos causan a la carretera. Esto se expresa mediante la comparación de los FEC real y uno calculado con un vehículo pesado que tenga en cada uno de sus ejes el respectivo peso máximo permitido.

Fase 5: Productos

La etapa final de la tesis corresponde a la síntesis de los resultados encontrados a lo largo de todo el estudio. Asimismo, se realizan las conclusiones del trabajo y se

plantean las recomendaciones relacionadas con la metodología para el diseño de pavimentos asfálticos en el país, basándose en los resultados obtenidos.

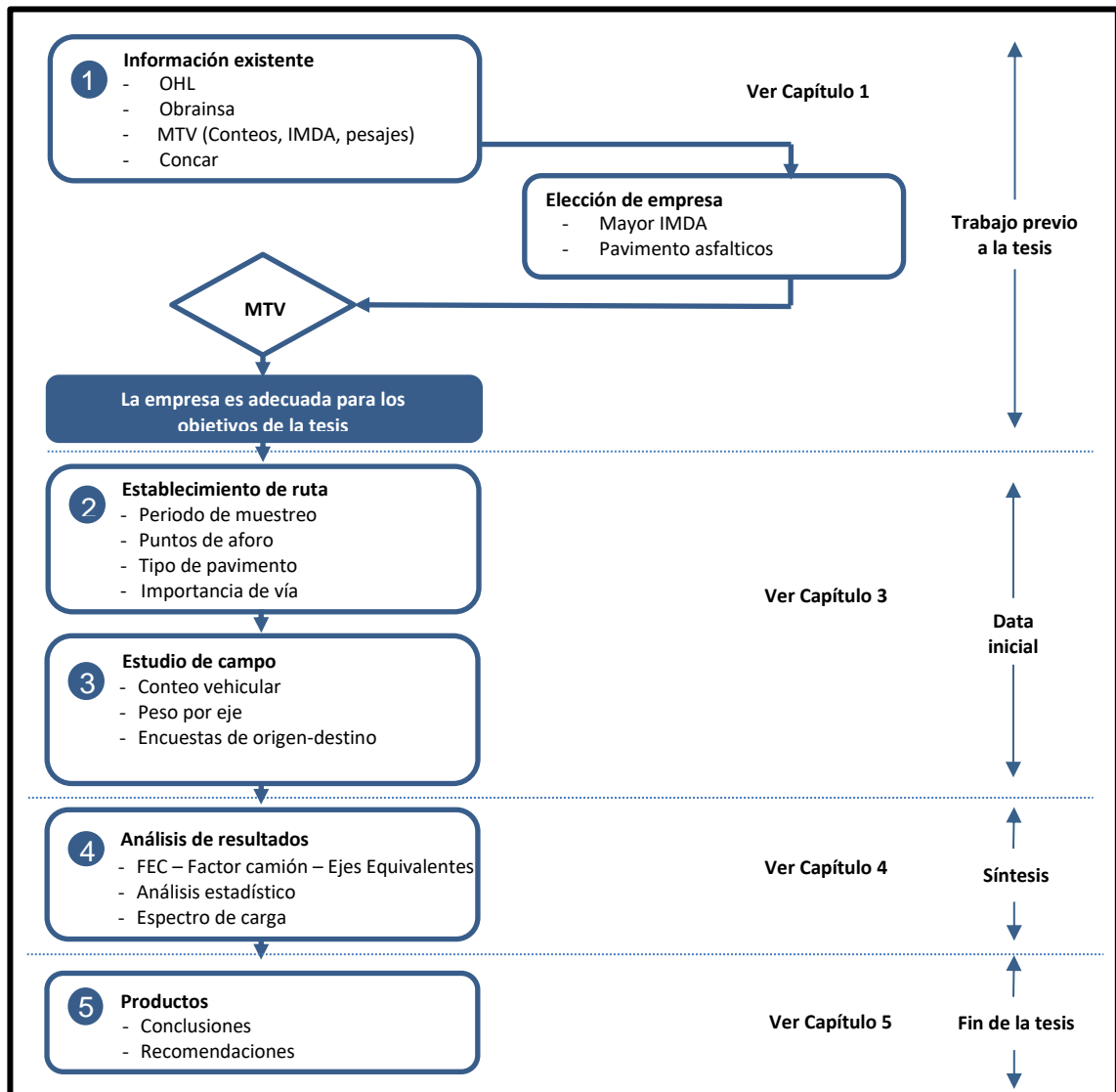


Figura 1. Diagrama de metodología

Fuente propia

CAPÍTULO 2. PAVIMENTO Y PESOS LEGALES

2.1 Fundamentos de Diseño

Un pavimento es una estructura que descansa sobre el terreno de fundación (subrasante). Además, está conformado por capas de materiales de diferentes calidades cuyos espesores están dados de acuerdo al diseño del proyecto y construido con la finalidad de soportar cargas estáticas y móviles en su tiempo de vida útil (Huamán Guerrero 2013). El pavimento es una estructura de varias capas construidas sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos; asimismo, permite mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Con la finalidad de cumplir dichos objetivos, el pavimento debe satisfacer una serie de características; entre las que se resaltan la resistencia a la repetición de cargas, la cual genera fatiga y fallas, y la disminución de los esfuerzos transmitidos al suelo sobre el que este asentado.

2.1.1 Estructura del pavimento

El pavimento asfáltico por lo general está conformado por las siguientes capas: sub-base, base y capa de rodadura, como se aprecian en la Figura 2. A continuación, se detalla la definición de cada una de dichas capas.

Capa de Rodadura. Esta capa conforma la parte superior de un pavimento, tipo bituminoso (asfáltico) cuya función es sostener directamente el tránsito.

Base. Corresponde a la capa inferior a la capa de rodadura. Asimismo, tiene como principal función sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa está conformada por material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) o tratada con asfalto.

Sub-base. Capa compuesta de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y

controlador de la capilaridad del agua. Este estrato puede obviarse, dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento; además, puede ser de material granular ($CBR \geq 40\%$) o tratada con asfalto.

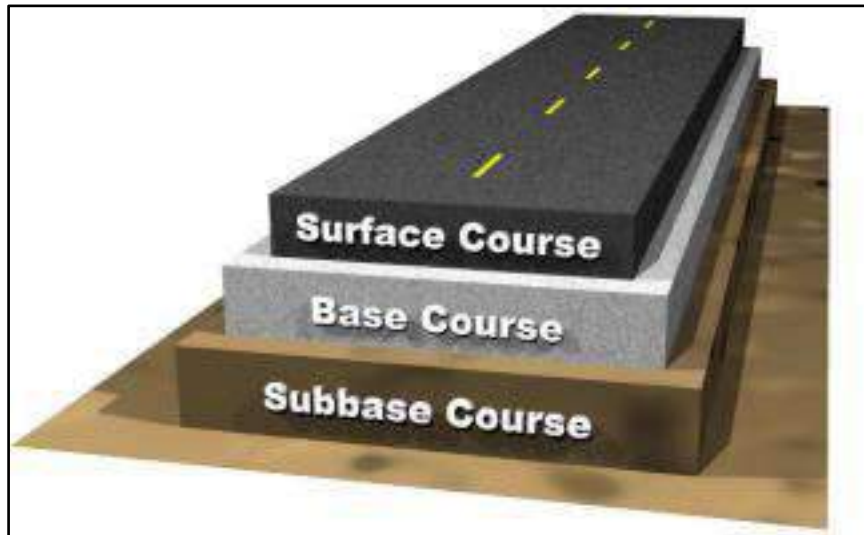


Figura 2. Estructura de Pavimento

Fuente: (Pavement Interactive 2013)

La práctica habitual al momento de diseñar este tipo de pavimentos es utilizar materiales con mayor capacidad de resistencia en las capas superiores y espesores mayores, en las inferiores. Esto se debe a que las capas superiores se someten a cargas de magnitud superior, y los estratos inferiores deben disminuir los altos costos de la carpeta de rodadura (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014).

La Figura 3 presenta la distribución de esfuerzos en la estructura de los pavimentos. De izquierda a derecha, se muestran las deflexiones al paso de un neumático sobre la carpeta asfáltica, la base y la sub base, respectivamente. Cabe señalar, que a mayor profundidad del estrato, los esfuerzos disminuyen; de esta forma se cumple el objetivo que la subrasante reciba la menor cantidad de esfuerzos.

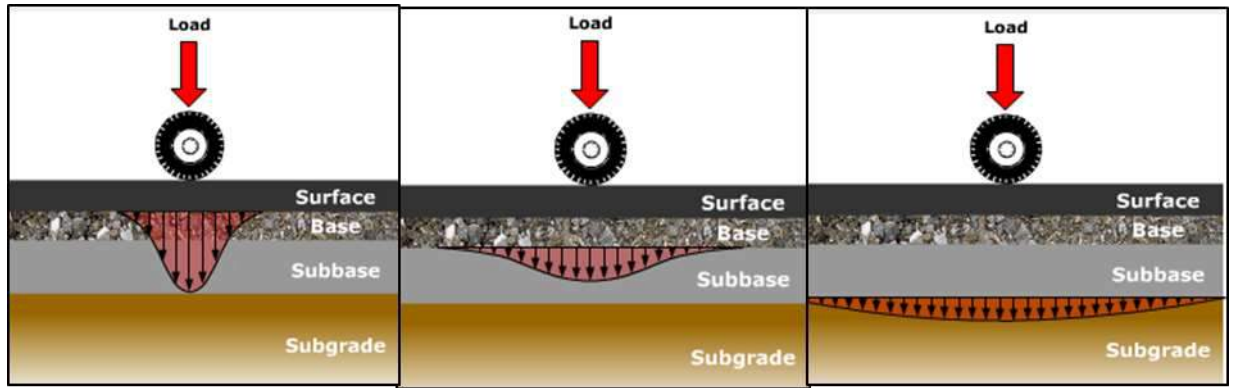


Figura 3. Distribución de Esfuerzos

Fuente: (Pavement Interactive 2013)

2.1.2 Definiciones básicas

Para realizar un diseño adecuado del pavimento se debe conocer algunos conceptos básicos. A continuación, se describen dichos conceptos según el Manual de geotécnica, suelos y pavimentos (MTC 2014).

Demanda de tráfico. Este concepto es indispensable para planificar con éxito muchos aspectos de la viabilidad de los proyectos. La necesidad de información del tráfico se define desde dos puntos de vista: el diseño estructural del pavimento y el de la capacidad de los tramos viales. Por ejemplo, la capacidad sirve para conocer hasta que límites de volúmenes de tráfico puede crecer la demanda, pues esta afectará a la estructura vial durante el periodo de análisis adoptado para un estudio.

Subrasante. La subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno). Sobre esta capa se coloca la estructura del pavimento o afirmado, es decir que constituye el asiento directo de la estructura del pavimento. Por otro lado, también forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural explanado y la estructura del pavimento. Está conformada por suelos seleccionados de características determinadas y compactado

por capas, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que viene del tráfico.

Otra de las características principales de esta capa es que los suelos que lo conforman se describen mediante dos parámetros: el Valor Relativo de Soporte (CBR) y el Módulo de Resiliencia (MR). Por ejemplo, los suelos que han sido muestreados mediante calicatas por debajo del nivel superior de la subrasante en una profundidad no mayor a 0.60 m deben ser suelos estables con $\text{CBR} \geq 6\%$. De lo contrario, se debe estabilizar según el manual del MTC.

Clima. Este parámetro está compuesto principalmente por dos factores que influyen el comportamiento del pavimento: la temperatura y las precipitaciones. Por otro lado, si bien el clima es un factor que actualmente no toma tanta relevancia durante el diseño en el país, es determinante debido al comportamiento visco-elástico de la mezcla asfáltica. Esto quiere decir que presenta propiedades elásticas o plásticas de acuerdo a los factores externos; por ejemplo, la temperatura afecta las propiedades del pavimento. Debido a esto conviene utilizar pavimentos más rígidos en zonas con temperaturas promedio altas; contrariamente, los pavimentos menos rígidos son adecuados para zonas con temperaturas promedio bajas. De acuerdo a lo señalado, el manual del MTC cuenta con mapas de precipitaciones y temperatura máximas/mínimas brindadas por el SENAMHI.

Drenaje. El sistema de drenaje y sub drenaje de una carretera está previsto para eliminar humedad del pavimento. El agua es uno de los elementos que contribuyen en mayor medida al deterioro del pavimento por lo que su rápida evacuación es un factor de gran importancia a considerarse durante el diseño. Las principales causas de presencia de agua en las carreteras son las lluvias y aguas freáticas; estas pueden provocar diversos problemas tales como corrosión, erosión, envejecimiento de los

asfaltos, entre otros. Debido a esto es necesario crear un diseño estructural y geométrico que asegure el rápido desalojo del agua en la superficie de rodamiento.

Esfuerzos y deformaciones. Las distintas magnitudes de las cargas aplicadas en el pavimento durante su vida útil generan diferentes respuestas, tales como la deformación o daño. El pavimento reacciona a estas cargas según el espesor de sus capas y por los materiales que lo conforman. Esto provoca que el pavimento sea un material complejo cuyo diseño no puede generalizarse dentro de un país, ya que deben tomarse en cuenta diferentes factores, los cuales poseen gran variabilidad en el tiempo y el espacio. Por ejemplo, el tránsito promedio diario, el porcentaje de vehículos pesados, condiciones climáticas, entre otros. Cabe señalar que algunos factores son totalmente ajenos al control humano tales como el último mencionado.

Existen diversos indicadores del comportamiento de un pavimento asfáltico; sin embargo, generalmente se da mayor importancia a estos cuatro: deflexión superficial, deformación por tensión en la carpeta asfáltica, deformaciones por compresión en la subrasante y materiales granulares. La deflexión superficial y la máxima deformación a la tensión en el plano interior de la capa asfáltica están relacionadas con las grietas que se presentan en el concreto asfáltico debido a la fatiga. Los esfuerzos y deformaciones de compresión en la subrasante se relacionan con las deformaciones permanentes de la estructura de pavimentos.

La Figura 4 muestra el comportamiento de los componentes del pavimento debido a un EE. De manera específica, se observa que la carpeta asfáltica trabaja a tensión y la base a compresión (Instituto del Asfalto, MS-1).

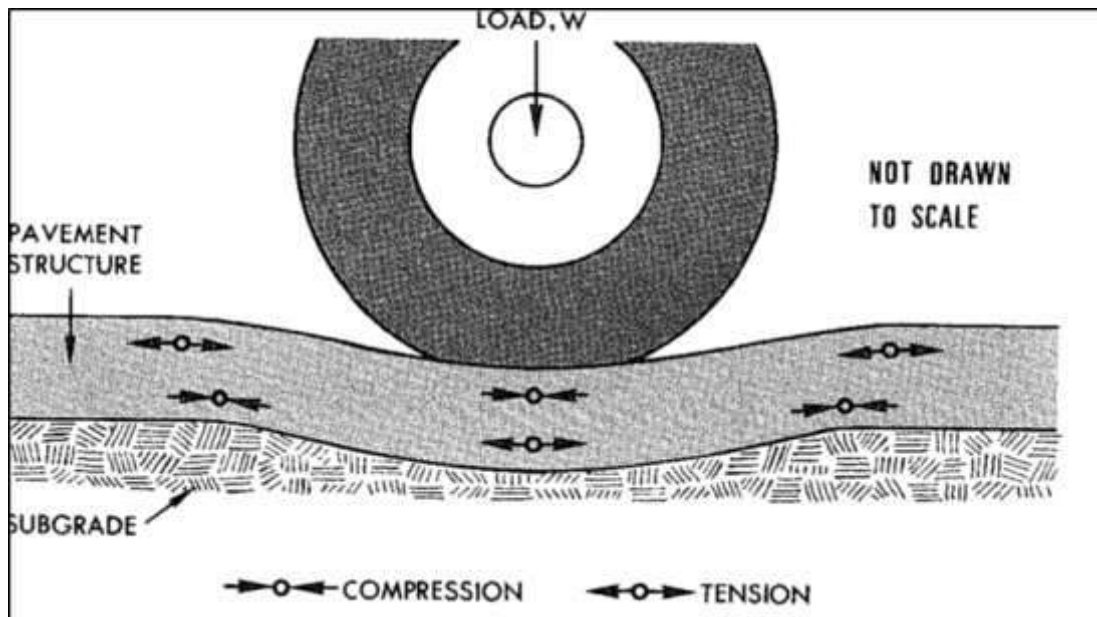


Figura 4 Compresión y Tensión por paso de Neumático

Fuente: (Instituto del Asfalto 1991)

La vida de diseño de un pavimento es resultado de la interacción de todas estas variables. Entre las que se resaltan las siguientes: estructura y propiedades de los materiales, tránsito vehicular, criterios de falla y factores ambientales. La estructura y propiedades de los materiales incluyen su resistencia y propiedades de deformación. Por otro lado, el tránsito debe incluir el eje y configuración de la rueda, magnitud de la carga y el número de repeticiones aplicadas al pavimento. Estos factores anteriores derivan en lo que se conoce como respuesta estructural del pavimento, el cual permite proseguir con la segunda etapa del diseño: criterios de falla debido al desempeño. Esta etapa consiste en la predicción del desempeño del pavimento con base en los criterios de falla que permiten la incorporación de la respuesta estructural. Finalmente, los factores ambientales se refieren principalmente a la temperatura, precipitación, drenaje y humedad, los cuales afectan las propiedades de los suelos y otros materiales en el tiempo (Quintero 2004).

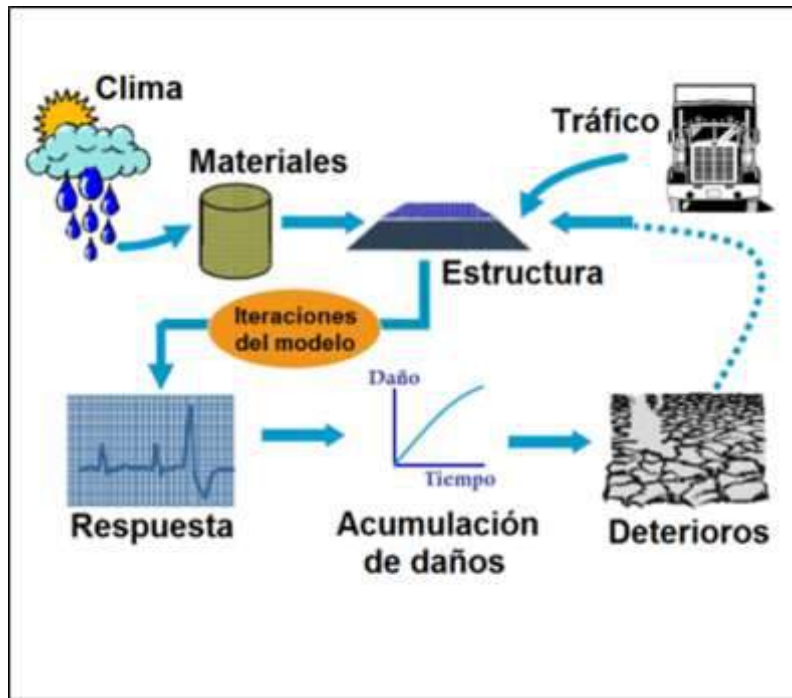


Figura 5. Factores que afectan al Pavimento

Fuente: (Quintero 2004)

La Figura 5 muestra los diversos factores que afectan el desempeño de un pavimento a lo largo de su vida útil. Por lo cual, se deben considerar en su diseño estructural.

2.2 AASHTO – 93

La aplicación del Método AASHTO-72 se utilizó hasta mediados del año 1983. Ese año se determinó que aun cuando el procedimiento que se aplicaba alcanzaba sus objetivos básicos, se podían incorporar algunas actualizaciones a la fecha en el análisis y diseño de pavimentos. Por esta razón, el Subcomité de Diseño de Pavimentos (1984-1985) junto con un grupo de ingenieros consultores comenzó a revisar el "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72", y a finales de 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo "Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 86". Posteriormente, se realizó una nueva revisión en el año 1993, por lo cual hoy en día el método se conoce como Método AASHTO-93 (Corredor 2009).

La guía AASHTO-93 ha sido por muchos años la metodología de diseño aceptada en la mayoría de los países de América Latina. Esto se debe a que presenta ventajas tales como simplicidad, resultados adecuados y accesibilidad. Su simplicidad radica en que limita el diseño de la estructura de pavimentos al cálculo de los espesores para cada una de las capas, para ello es necesario conocer un pequeño número de parámetros. Es importante señalar que los resultados obtenidos por esta guía brindan espesores iniciales; sin embargo, solo proporcionan una buena aproximación de las dimensiones con los que deberá contar cada capa de la estructura (Espinoza Gonzales 2013).

2.2.1 Determinación de la demanda

Los pavimentos se diseñan para resistir un número determinado de cargas a lo largo de su vida útil. Debido a que el flujo vehicular está compuesto por vehículos de diferentes tipos, con variaciones en su peso y número de ejes, es necesario pasar de este flujo vehicular mixto a uno homogenizado, de esta manera se facilita el proceso de diseño del pavimento. Para ello, es necesario tener una clara clasificación de los vehículos que componen la flota vehicular del país. La tabla 1 muestra la configuración de ejes para los camiones tipo que se utilizan en Perú, según el Reglamento Nacional de Vehículos.

Tabla 1. Tipos de Camión en Perú

Fuente: Propia

Tipo	Configuracion	Fotografia
C2		
C3		
C4		
T2S2		
T2S3		
T3S2		
T3S3		

2.2.2 Factores Equivalente de Carga

El Road Test de la AASHTO 93 desarrolló un método que permite convertir el tránsito mixto a un número equivalente de ejes (EAL), los cuales poseen un peso de 18 000 lb (80 kN) de eje simple con rodado doble con neumáticos a la presión de 80lbs/pulg².

Para poder realizar esta conversión es necesario conocer los datos de factores equivalentes de carga, a través de los cuales se obtienen los factores camión.

El factor de equivalencia de carga, conocido por sus siglas en inglés LEF (Load Equivalence Factor), es el daño que los vehículos de carga transmiten a la estructura de pavimento representado en un número acumulado con respecto a un eje de referencia. Este factor tiene en cuenta el tipo de estructura (hidráulico o asfáltico). El factor de equivalencia de carga se obtiene por medio de ecuaciones de regresión obtenidas de los resultados de los ensayos de la prueba AASHTO.

Asimismo, el factor equivalente de carga se define como la relación entre la pérdida de serviciabilidad que provoca una carga específica en un tipo de eje y la provocada por el eje de referencia de 18 000 lb. Este puede obtenerse mediante las siguientes relaciones numéricas.

$$FEC = \frac{1}{W} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

$$W = \frac{W_x}{W_{18}} = \left[\frac{L_{18} + L_{2s}}{L_x + L_{2x}} \right]^2 \times \left[\frac{10^{\frac{G}{\beta x}}}{10^{\frac{G}{\beta 18}}} \right] \times [L_{2x}]^{4.33} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

Donde:

L_{18} : Carga del eje de referencia (kips)

L_x : Carga del eje a evaluar (kips)

L_{2s} : Código para eje simple

L_{2x} : Código de configuración de eje a evaluar

En la ecuación 2, los factores L_x y L_{2x} muestran un subíndice x , el cual indica el número de ejes de configuración. Por ejemplo, un vehículo con configuración de eje simple tiene un valor de x igual a 1; de eje doble, un valor de x igual a 2 y de eje triple, un valor de x igual a 3.

$$G = \log \left[\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right] \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

Donde:

p_t : Serviciabilidad en tiempo t .

G : Función de la relación entre la pérdida de serviciabilidad en el tiempo y la pérdida potencial cuando p_t tiene un valor de 1,5.

$$\beta = 0.4 + \left[\frac{0.081 * (L_x + L_{2x})^{3.23}}{(SN+1)^{5.19} * L_{2x}^{3.23}} \right] \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

Donde:

β : Función que determina la relación entre la serviciabilidad y las aplicaciones de carga.

SN : Número estructural de la estructura.

En el caso de requerirse un cálculo más rápido del FEC existe una simplificación de la ecuación establecida en la guía de diseño AASHTO. Sin embargo debe tomarse en cuenta que esta ecuación da como resultado una estimación poco precisa del factor

equivalente de carga, ya que no considera el número estructural, la pérdida de serviciabilidad ni el tipo de eje a evaluar. La ecuación simplificada es la siguiente:

$$FEC = \left(\frac{\text{Peso eje dado}}{\text{Peso eje de referencia}} \right)^n \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

En la ecuación anterior “n” es un valor que según los ensayos de AASHTO varía entre 3,8 y 4,2 para pavimentos asfálticos. Generalmente, el valor de 4 es altamente utilizado como “n” por los diseñadores al momento de resolver problemas de pavimentos de este tipo.

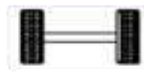
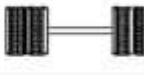
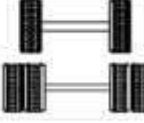
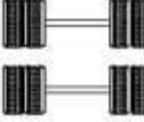
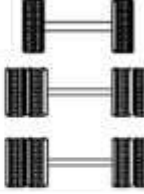
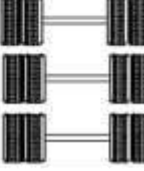
Como se mencionó anteriormente, los factores equivalentes de carga representan el factor destructivo de las distintas cargas por tipo de eje, que conforma los diferentes vehículos pesados sobre la estructura del pavimento. Estos pueden ser de eje simple, tándem y tridem. Los de eje simple son aquellos constituidos por un solo eje no articulado a otro y que dista más de 2.4 m; además, puede ser motriz o no, direccional o no anterior, central o posterior. Los de eje tándem son aquellos constituidos por dos ejes consecutivos y cuyos centros de ruedas distan entre 1.2 y 2.4 m. Finalmente, los de eje tridem son aquellos conformados por tres ejes consecutivos y cuyos centros de ruedas extremas está entre 2.4 m y 3.6 m.

Dentro de un mismo eje su composición puede variar según el número de neumáticos y el tipo: en simple y doble. Los de neumático simple corresponden a un único neumático en cada extremo del eje. A diferencia de los de neumático doble, o también llamados gemelos, que corresponden a dos neumáticos en paralelo en cada extremo del eje.

La tabla 2 muestra las diversas configuraciones de ejes, según el Manual de Geotécnica, Suelos y Pavimentos (MTC 2014).

Tabla 2 Configuración de ejes

Fuente: (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

Conjunto de Ejes	Nomenclatura	N° de Neumaticos	Gráfico
Eje Simple (Con Rueda Simple)	1RS	02	
Eje Simple (Con Rueda Doble)	1RD	04	
Eje Tandem (1 eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
Eje Tandem (2 ejes de Rueda Doble)	2RD	08	
Eje Tridem (1 Rueda simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
Eje Tridem (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

En nuestro país, para el cálculo de los EE se utilizan relaciones simplificadas que resultaron de correlacionar los valores de las tablas del apéndice D de la Guía AASHTO 93. La tabla 3 muestra estas relaciones, las cuales varían de acuerdo a las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados para pavimento asfáltico (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014).

Tabla 3 Factor Equivalente de Carga por Eje

Fuente: (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE 8.2T)
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 ruedas dobles)(EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Eje Tridem(2 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple)(EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Eje Tridem(3 eje ruedas dobles)(EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$
P = Peso Real por Eje en Toneladas	

En el presente análisis, se consideró la metodología AASHTO elevada a la cuarta potencia, el cual es un criterio simplificado de los factores destructivos por eje equivalente calculados para las cargas actuantes, tal como lo consideran los modelos HDMIII y HDM4 del Banco Mundial. Este criterio implica que el daño del pavimento aumenta rápidamente con mayores cargas por eje y que la magnitud del daño se incrementa en razón exponencial al aumento de las cargas.

La estructura del pavimento se deforma bajo las cargas de los vehículos. Esto produce esfuerzos de compresión en la parte superior y tensiones en la parte inferior. En adición, las repeticiones de las cargas causan la falla por fatiga y deformación permanente, lo que se manifiesta en fisuras en la capa superficial. Esto permite que la humedad filtre a la base, sub base y hasta la subrasante, ocasionando que el deterioro se incremente y, finalmente, la estructura del pavimento falle totalmente.

Es importante resaltar, que al aumentar la carga de cada eje se necesita un menor número de repeticiones para que el pavimento comience a fallar por fatiga y al disminuir las cargas por eje el pavimento puede soportar un mayor número de repeticiones antes que el pavimento falle.

La Figura 6 y 7 muestran la variación del FEC. La primera figura presenta la variación para un eje simple delantero con ruedas dobles, mientras que la segunda, la variación

para una configuración tándem conforme el peso de estos aumenta. Ambas variaciones están basadas según la ecuación 5, mostrada anteriormente.

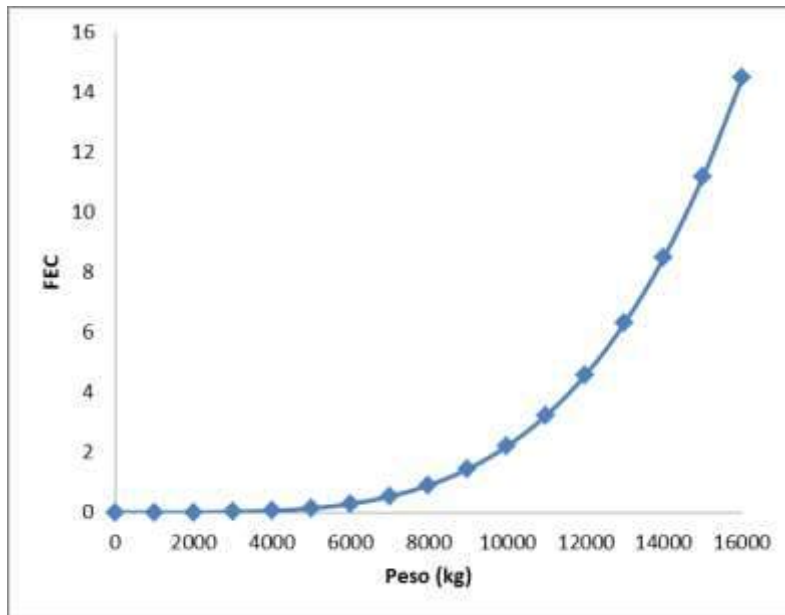


Figura 6 Variación de FEC según eje simple

Fuente: Propia

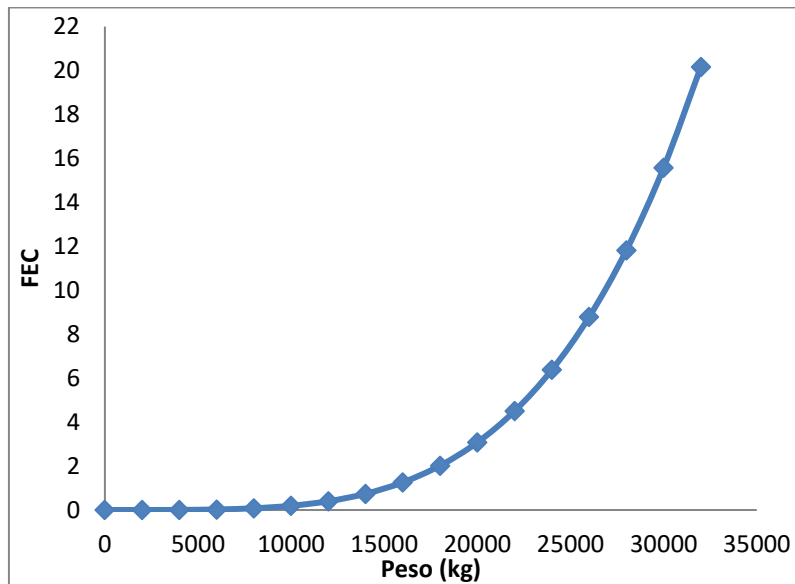


Figura 7. Variación de FEC según eje tándem

Fuente: Propia

2.2.3 Presión de Neumáticos

En el cálculo de la demanda para los diseños de pavimentos se considera un factor de ajuste por presión de neumáticos, con el fin de contrarrestar el efecto de deterioro que producen las altas presiones en los pavimentos. Este problema se agudiza en el caso de capas delgadas y pavimentos en altura, donde la baja presión atmosférica genera un aumento de la presión interna del neumático, reduciendo su área de contacto e incrementando la presión sobre el pavimento. En el presente cálculo de factores destructivos, este factor de ajuste ha sido tomado únicamente como dato de campo; sin embargo, se debe realizar investigaciones complementarias con otras alturas y con un control de presiones diferente.

Es importante mencionar que el 98% de las carreteras asfaltadas en Perú han sido diseñadas con la metodología AASHTO. Esta metodología considera una presión de inflado de sólo 75 psi; sin embargo, en investigaciones en Perú se ha comprobado que las presiones varían con promedios entre 100 y 110 psi, con presiones máximas de inflado de 135 psi. Todas estas consideraciones sugieren determinar cuál es el efecto real de las altas presiones de inflado del neumático sobre los pavimentos asfálticos.

El Instituto del asfalto considera un solo factor de corrección para el cálculo de la presión de contacto, el cual tiene un valor de 0.90 veces la presión de inflado. Sin embargo, estos factores dependen del tipo de neumático, su desgaste, carga y presión de inflado tal como se muestra en la tabla 4. Por otro lado, el factor de corrección por presión de inflado se aplica al Factor Equivalente de Carga (FEC), el cual relaciona la vida útil de una estructura a otra que se toma como referencia (Guevara Malpartida 2007).

Tabla 4 Factor de corrección de presión de Neumáticos

Fuente: (Guevara Malpartida 2007)

Tipo de Neumatico	Convencional			Radial			Desgastado		
	60-70	70-80	>90	60-70	70-80	>90	60-70	70-80	>90
Rango de Presion de Inflado(psi)	60-70	70-80	>90	60-70	70-80	>90	60-70	70-80	>90
Carga Leal	1.10	1.00	0.90	1.10	1.00	0.90	0.90	0.85	0.80
Carga Estandar	0.95	0.90	0.85	1.00	0.90	0.80	0.75	0.72	0.70
Carga < A la Estandar	0.90	0.80	0.75	0.80	0.75	0.65	0.70	0.70	0.70

2.2.4 Factor Camión

Para el diseño de un pavimento se adopta el número proyectado de EE que circulan por el carril de diseño durante el periodo de análisis. El carril de diseño corresponderá al carril identificado como el más cargado de la carretera. Luego, todos los demás carriles adoptan la sección vial típica de esa carretera por tramos de demanda homogénea.

El FEC permite conocer la relación entre el daño provocado por el eje de algún vehículo específico y el provocado por el eje de referencia de 80 kN. Sin embargo, resulta conveniente expresar el daño provocado en el pavimento por un tipo en vehículo particular. A dicho valor se le conoce con el nombre de factor camión, el cual corresponde al promedio del número de ejes simples equivalentes aplicados por un vehículo sobre el pavimento. Esto permite tener una idea de la magnitud del daño que distintos tipos de vehículos ejercen sobre las carreteras.

De esta manera con las mediciones obtenidas por tipo de vehículos pesados se calculara el factor camión de cada uno de los tipos de vehículos del camino. Este se obtiene sumando los FEC de cada uno de los ejes del vehículo en cuestión, sin embargo por lo general se desea conocer el factor camión para tipos de vehículo, el cual se muestra en la ecuación 6.

$$FC_{\text{tipo de vehiculo}} = \frac{\sum \text{numero de ejes FEC}}{\text{numero de vehiculos}} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Fuente: (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

2.2.4 Ejes Equivalentes Simples

Como se mencionó anteriormente los factores camión representan el número de ejes equivalentes de carga del vehículo con respecto al vehículo patrón (daño provocado). Por lo tanto, una vez establecido el factor camión para cada uno de los distintos tipos de vehículos de la carretera a diseñar es posible calcular el valor de los ejes simples equivalentes (EAL o W18). Este factor corresponde a la totalidad de ejes simples de 80 kN o 18000 lb a los que se verá expuesto el pavimento a lo largo de su periodo de diseño o vida útil.

El cálculo del EAL para un tipo de vehículo i se realiza mediante la siguiente expresión:

$$EAL_i = \% \text{tipo de vehiculo}_i * IMDA * FC_i \quad [\text{Ecuación 7}]$$

Fuente: (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

La sumatoria de estos valores permite obtener el valor del número de ejes equivalentes diario en la ruta de estudio, como se muestra en la ecuación 8.

$$EAL_{\text{dia}} = \sum_{i=1}^n EAL_i \quad [\text{Ecuación 8}]$$

Fuente: (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

Una vez obtenido este valor se puede proceder a la determinación del EAL de diseño, el cual toma en cuenta factores como la distribución por carril y la vida útil que se desea para la estructura de pavimentos. Este valor se obtiene mediante la siguiente relación:

$$EAL_{diseño} = EAL_{dia} * Fd * Fc * Fca * 365 \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Fuente: (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

Donde:

Fd : Factor de distribución por sentido.

Fc : Factor de distribución por carril.

Fca : Factor de crecimiento para periodo de diseño

$$Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Fuente: (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

Donde:

r : Tasa anual de crecimiento

n : Periodo de diseño (vida útil)

La ecuación 10 permite hacer una estimación del incremento que tendrá el tránsito promedio diario a lo largo de la vida útil de la estructura de pavimentos. La tasa anual de crecimiento de tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículo de carga con la tasa anual de crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI).

Es importante recordar que el número de vehículos que transitan la carretera no necesariamente aumentará a lo largo de todo el periodo para el que fue diseñada. El comportamiento de este crecimiento puede expresarse mediante una curva S. Al inicio el número de vehículos que utiliza la carretera aumentará lentamente para luego dar paso a un aumento más acelerado en el número de usuarios. Por último conforme el

tránsito en la carretera se vaya acercando a su capacidad máxima, el número de vehículos se estabilizará hasta volverse casi constante, es decir una vez que se alcanza la capacidad máxima la tasa de crecimiento se vuelve cero.

2.3 Diseño de Pavimento

Al aplicar la metodología AASHTO 93, como primera fase se debe determinar el número estructural mediante el uso de la ecuación 11. Se debe tener en cuenta que el valor de EAL debe calcularse previamente a esta fase.

$$\log(W18) = Z_r + S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{(4.2 - 1.5)}}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log(Mr) - 8.07$$

[Ecuación 11]

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

Donde:

- Z_r : Desviación estándar
- S_0 : Desviación estándar combinada
- SN : Número estructural
- ΔPSI : Índice de serviciabilidad
- Mr : Módulo de resiliencia

A continuación, se describirá con detalle en que consiste cada uno de los términos de la ecuación de AASHTO 93

Desviación Estándar (Z_r). Este valor está asociado al índice de confiabilidad (R). Para la ecuación anterior este último puede definirse como la probabilidad estadística de que el pavimento mantenga condiciones apropiadas a lo largo de la vida útil definida durante el proceso de diseño. La importancia de este factor radica en que su

utilización permite tomar en cuenta las variaciones que podrían presentarse en las condiciones del tránsito al que se verá expuesta la estructura de pavimento.

Según la guía AASHTO, considerar que el comportamiento del pavimento con el tráfico sigue una distribución normal es una aproximación suficiente. En consecuencia, se pueden aplicar conceptos estadísticos para lograr una confiabilidad determinada. Por lo tanto, a mayor nivel de confiabilidad se incrementa el espesor de la estructura del pavimento a diseñar. (Espinoza Gonzales 2013)

Tabla 5. Desviación Estándar (Zr) para 10 o 20 años

(MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Desviacion Estandar Normal (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	T _{p0}	75,000	150,000	-0.385
	T _{p1}	150,001	300,000	-0.524
	T _{p2}	300,001	500,000	-0.674
	T _{p3}	500,001	750,000	-0.842
	T _{p4}	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T _{p5}	1,000,001	1500'000	-1.035
	T _{p6}	1,500,001	3000'000	-1.035
	T _{p7}	3,000,001	5000'000	-1.035
	T _{p8}	5,000,001	7500'000	-1.035
	T _{p9}	7,500,001	10,000,000	-1.282
	T _{p10}	10,000,001	12,500,000	-1.282
	T _{p11}	12,500,001	15,000,000	-1.282
	T _{p12}	15,000,001	20,000,000	-1.645
	T _{p13}	20,000,001	25,000,000	-1.645
	T _{p14}	25,000,001	30,000,000	-1.645
	T _{p15}		30,000,000	-1.645

Finalmente, cabe señalar que la confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la ecuación de diseño, para ello debe usarse el coeficiente estadístico conocido como desviación estándar (Zr). La tabla 5 muestra la variación del parámetro Zr para un periodo de diseño de 10 o 20 años de acuerdo a los diferentes tipos de tráfico.

Desviación Estándar Combinada (S₀). Este valor toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción de tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento. Asimismo, corresponde al monto del error estadístico producto de las diferencias que puedan existir entre lo establecido durante el diseño y lo presente realidad.

Determinar el valor de S₀ es una tarea complicada ya que es necesario conocer el valor de la desviación estándar asociado a cada parámetro involucrado. Es común utilizar valores entre 0.4 y 0.5 para pavimentos asfálticos y entre 0.35 y 0.40 en el diseño de pavimentos rígidos.

Numero Estructural (SN). Este valor está relacionado con la capacidad del pavimento de soportar las cargas consideradas durante su diseño. Este puede obtenerse despejando la ecuación 11 o mediante el uso de nomogramas de la guía de diseño AAHSTO 93.

Índice de Serviciabilidad (Δ PSI): El índice de serviciabilidad presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5.0. Donde un valor de 5.0 refleja la mejor comodidad teórica y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. El índice de serviciabilidad se mide principalmente en función del grado de deterioro superficial del pavimento, el cual se refleja mayormente en la rugosidad. La variación de este factor se ve afectado por diversos agentes tales como el tránsito, el tipo de suelo, el drenaje, entre otros.

Módulo de Resiliencia (Mr). Este valor es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales en su comportamiento. Además, este valor caracteriza diversas propiedades de la base y sub base; sin embargo, debido a la complejidad de determinar este parámetro para estos materiales en el laboratorio se recomienda utilizar correlaciones con el valor CBR (California Bearing Ratio), el cual es más fácil de obtener.

$$Mr(psi) = 2555 * CBR^{0.64} \quad [\text{Ecuación 12}]$$

Fuente: (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

Los valores de los módulos de resiliencia asociados a la base y sub base de la estructura de pavimentos pueden calcularse a través de la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales granulares que lo componen. De no contarse con estos datos o con el equipo necesario que permita su determinación, se debe estimar el módulo de resiliencia utilizando las gráficas mostradas en el capítulo dos de la guía de diseño AASHTO 93. Estas relacionan ese valor con otras propiedades del material, tales como el CBR o el coeficiente estructural.

2.3.1 Dimensionamiento

Los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño AASHTO para obtener el Numero Estructural, el cual representa el espesor total de pavimento. Posteriormente, dicho espesor debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituyen mediante el uso de los coeficientes estructurales, como se muestra esta ecuación 13.

$$SN = a1 * d1 + a2 * d2 * m2 + a3 * d3 * m3 \quad [\text{Ecuación 13}]$$

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

Dónde:

$a1, a2, a3$: Coeficientes estructurales de las capas.

$d1, d2, d3$: Espesores en centímetros de las capas.

$m2, m3$: Coeficientes de drenaje.

Una vez que se ha obtenido el valor del número estructural asociado a cada una de las capas que componen la estructura del pavimento, se procede a la etapa final del

proceso de diseño. Esta consiste en determinar el espesor de la sub base, base y carpeta asfáltica posibles mediante las ecuaciones 14, 15 y 16.

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} \quad [\text{Ecuación 14}]$$

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

$$D_2 = \frac{SN_2 - a_1 D_1}{a_2 m_2} \quad [\text{Ecuación 15}]$$

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

$$D_3 = \frac{SN_3 - (a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2)}{a_3 m_3} \quad [\text{Ecuación 16}]$$

Fuente: (American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

Dónde:

a_i : Coeficiente estructural de la capa i

m_i : Coeficiente de drenaje de la capa granular i

La Figura 8 muestra los diferentes números estructurales y espesores de cada capa del pavimento. Es importante mencionar que dichos números estructurales deben soportar las cargas de tránsito a las que son sometidas

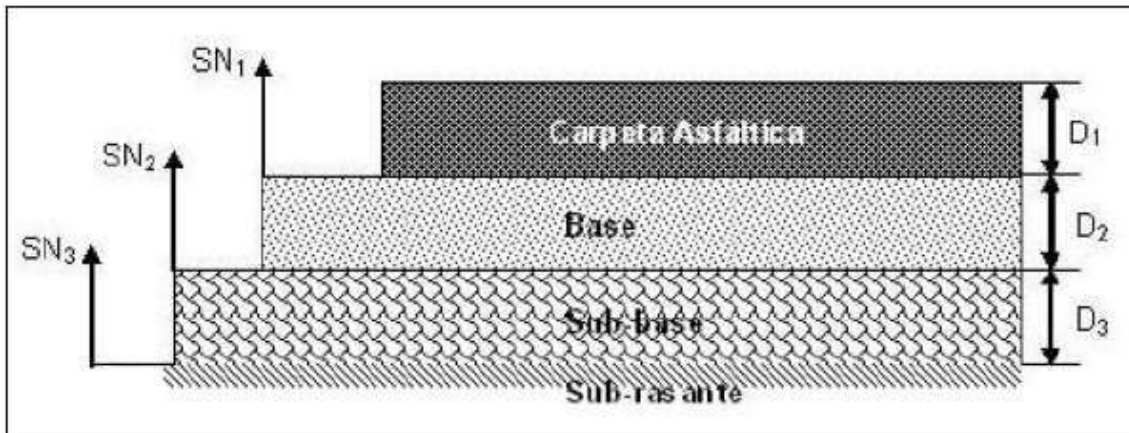


Figura 8. Composición de la Estructura del Pavimento

(American Association Society of Highway and Transportation Officials 1993)

2.4 Guía MEPDG

En el Perú y en la mayoría de países de América Latina, la metodología de diseño de pavimentos asfálticos comúnmente aceptada es la especificada en la guía AASHTO 93. Eso quiere decir que en los últimos veinte años, la mayoría de pavimentos importantes del Perú han sido diseñados bajo esta metodología, utilizando así las ecuaciones empíricas que la caracterizan.

A pesar de las ventajas que pueda ofrecer la guía de diseño AASHTO 93 esta cuenta con una importante limitación: sus resultados se basan principalmente en conceptos empíricos. Es decir, que son obtenidos a partir de pruebas y observaciones realizadas en estructuras de pavimentos existentes, las cuales se realizaron en la década de 1960 bajo condiciones locales del sitio. Debido a esto la American Association of State Highway and Transportation Officials ha dirigido sus esfuerzos durante años a la creación de una guía de diseño de pavimentos basada en conceptos mecanicistas, la cual permita prever de manera más precisa las respuestas (deflexiones, deformaciones y esfuerzos) del pavimento ante la solicitud de cargas que este experimenta.

A finales del 2011, AASHTO oficializó una nueva metodología de diseño que combina los conceptos teóricos (mecanísticos), los cuales son relativos a esfuerzos y deformaciones en los pavimentos, y los conceptos empíricos, los cuales se derivan de las lecciones aprendidas con el tiempo. La guía AASHTO 2010, o también conocida como MEPDG (Mechanistic Empirical Design Guide), por sus siglas en inglés, es un ejemplo de la parte mecánica en la determinación de las propiedades físicas de los materiales que componen las capas de la estructura. A través de dichas propiedades se determina la respuesta del pavimento, así como el daño acumulado a lo largo del tiempo. A su vez, mediante relaciones empíricas se determina la relación entre la acumulación de daños y los deterioros que se presentan en el pavimento (Corredor 2009).

La MEPDG constituye una metodología compleja que involucra una gran cantidad de factores, ya sean constantes o variables en el tiempo y espacio. La finalidad de esta metodología es obtener un diseño que se ajuste a las condiciones del sitio a lo largo de su vida útil. A continuación, se explican brevemente algunos de los datos y conceptos requeridos para utilizar esta guía.

2.4.1 Espectro de Cargas

En el 2002, la guía de diseño AASHTO establece el concepto de espectros de carga los cuales tienen como objetivo sustituir a los EAL. Los espectros de carga representan la misma información que la obtenida para calcular los ejes equivalentes de carga; sin embargo, dicha información está expresada en configuración de ejes y cargas.

Los datos requeridos para la definición del espectro de cargas son los mismos que se emplean en la caracterización del tráfico mediante el concepto de la carga de referencia. Si bien los ejes no requieren una transformación, se agrupan (para su

empleo directo en el dimensionamiento) de acuerdo a la configuración de la carga (tipología de ejes) y a su peso.

Los espectros se definen como la relación entre el número de un tipo de eje con un rango de carga y el número total de ese tipo de eje, expresado en porcentaje. Dichos espectros de carga se calculan usualmente para cada tipo de eje: sencillo dual, tándem y tridem. Asimismo, estos son una representación realista de la distribución de cargas (Garnica Anguas, Espectro de Carga y Daño para diseño de Pavimento 2009).

Para evaluar si un camión presenta carga que excede al reglamento se verifica que no supere el peso máximo total y el peso máximo por eje permitido. Si excede alguna de las dos condiciones mencionadas el camión estará con sobrecarga; otra condición que se puede evidenciar es la inadecuada distribución de carga en algunos camiones.

La utilización de este método permite realizar un enfoque más directo de la estimación de los efectos provocados por el tráfico al que se verá expuesta la estructura de pavimentos de una carretera particular. Esto a su vez facilitará la estimación de la respuesta del pavimento. La Figura 9 muestra un espectro de carga, que se representa como la frecuencia de los distintos tipos de ejes en rangos de carga establecidos; por ejemplo, cada 2000 Kg.

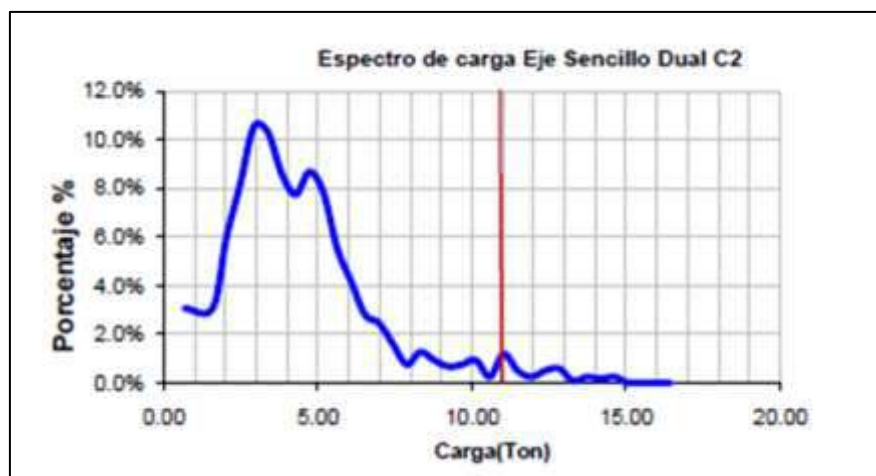


Figura 9. Espectro de Carga

Fuente: (Garnica Anguas, Espectro de Carga y Daño para diseño de Pavimento 2009)

Una consideración importante en la definición de los rangos de carga, está asociada al intervalo de carga que se usa. Esto debido a que utilizar rangos de carga muy grandes compromete la exactitud de los resultados obtenidos. Por lo general, los distintos cálculos se realizan utilizando el promedio del intervalo, de tal forma que si resulta demasiado grande puede generarse una pérdida de exactitud considerable en los resultados obtenidos.

El uso de los espectros de carga permite conocer la cantidad de ejes de cada tipo, así como los rangos de carga que deben considerarse en el diseño de la ruta de estudio. De esta forma puede tenerse una idea más clara de la demanda a la que se verá expuesto el pavimento, lo cual permite un cálculo más aproximado de los daños.

2.4.2 Caracterización de materiales

Las propiedades fundamentales de los materiales que usualmente son parte de la sección estructural de un pavimento se deben determinar a partir de ensayos de laboratorio de carga repetida. Esto debido a que la MEPDG está basada en la caracterización de la respuesta dinámica que presentan los materiales al encontrarse sometidos a las cargas y esfuerzos generados por el tránsito vehicular.

Se debe conocer diversas propiedades mecánicas para cada uno de los materiales utilizados en las capas inferiores y en la carpeta asfáltica. Entre los valores que son indispensables conocer con precisión pueden mencionarse el módulo de elasticidad (E), el módulo de resiliencia (Mr) y el coeficiente de Poisson. Sin embargo, no basta con conocer estas propiedades, sino que se debe contar con estudios que establezcan la variabilidad de estos valores dependiendo de las condiciones climáticas.

Para suelos y materiales granulares, la propiedad de referencia es el módulo de resiliencia, que se ejecuta de acuerdo con la norma AASHTO T274. En este caso, la prueba se ejecuta por medio de un ensayo triaxial, donde la presión de confinamiento es constante y el esfuerzo desviador se aplica cíclicamente. El módulo de resiliencia

se define como el cociente entre el esfuerzo desviador aplicado y la deformación unitaria elástica en cada ciclo de carga (Garnica Anguas y Hernandez Dominguez, IMT PAVE 1.1 2004).

Los ensayos de módulo de resiliencia se deben realizar en condiciones representativas de la colocación de los materiales en obra. Entre ellos se resaltan las características de peso volumétrico, contenido de agua de compactación, método de compactación, granulometría, entre otros; ya que el ensayo es muy sensible a esas condiciones. La Figura 10 muestra el ensayo de módulo de Resiliencia, el cual se ejecuta con un ensayo triaxial como se observa al lado izquierdo,

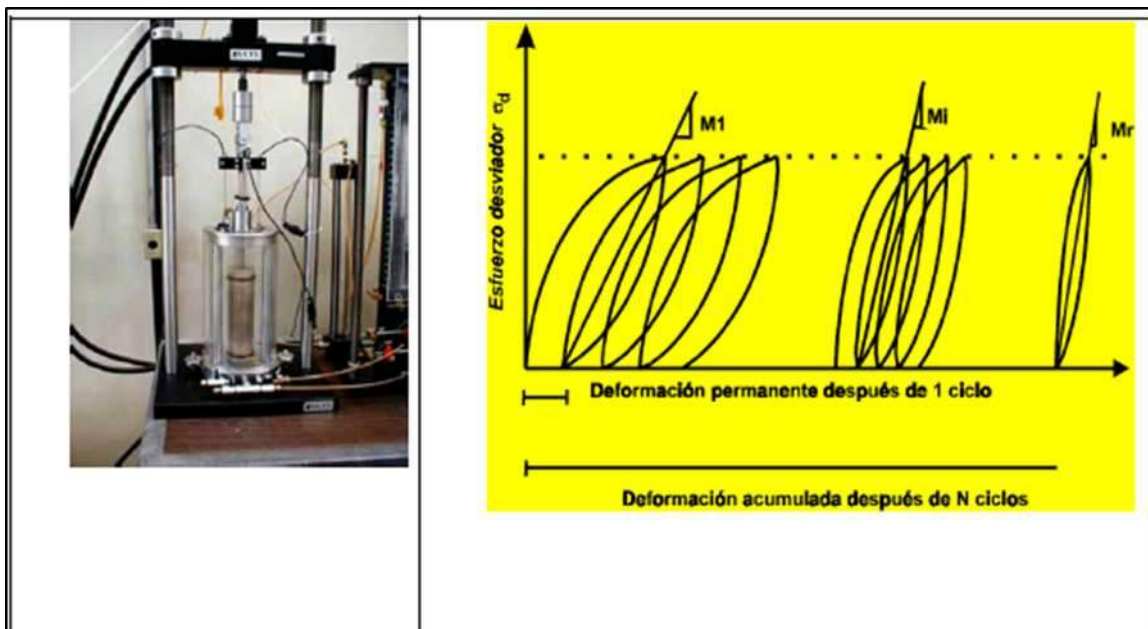


Figura 10. Ensayo de Modulo de Resiliencia

Fuente: (Garnica Anguas y Hernandez Dominguez, IMT PAVE 1.1 2004)

2.4.3 Deterioros

Para poder calibrar los modelos es necesario contar con inventarios de deterioros que permitan una simulación adecuada y resultados precisos. En la práctica, es común asociar el número de repeticiones admisible de ejes con los esfuerzos y deformaciones máximos, los cuales se presentan en puntos críticos de la sección

estructural de un pavimento. Por otro lado, para agrietamiento por fatiga se toma, por ejemplo, la deformación unitaria de tensión máxima (ξ_t) en la fibra inferior de la carpeta asfáltica; y para la deformación permanente de las capas inferiores, la deformación unitaria de compresión máxima (ξ_c) en la parte superior de los terraplenes. El cálculo de esas deformaciones supone un comportamiento elástico de los materiales, lo que es válido en pavimentos ya que los niveles de esfuerzos que se generan al paso de las cargas vehiculares son muy inferiores a la resistencia al esfuerzo cortante.

2.4.4 Diseño de Pavimento

La MEPDG realiza el diseño de pavimentos mediante la utilización de un programa llamado DARWIN-ME. En este se deben introducir los datos de tránsito (espectros de carga), materiales, clima, de diseño, rehabilitación, entre otros.

Una vez que el programa cuente con todos los datos de entrada, se procede a realizar una simulación que somete a la estructura de pavimentos a las condiciones de tránsito, mientras las condiciones externas y de materiales varían en el tiempo. Luego, utilizando los espectros de carga se transfieren ejes con distintos pesos a lo largo del día. Finalmente, para cada uno de estos ejes se calcula el deterioro, de este modo el programa determina el deterioro acumulado que experimenta el pavimento.

De manera simultánea a la simulación se varían las condiciones climáticas, lo cual provocará variaciones en las propiedades de los materiales tales como el módulo de resiliencia y el módulo elástico. A través de estas variaciones se podrá determinar respuestas en la estructura de pavimentos, tales como esfuerzo y fatiga.

2.5 Pesaje

Con el objeto de obtener una muestra representativa de la carga por eje de los diferentes tipos de vehículos se pesó vehículos de carga durante dos días (todas las

horas), según el Reglamento de Pesos y Dimensiones de Vehículos. El pesaje se realizó para cada uno de los ejes que lo componen, considerando el tipo de vehículo; con el fin de conocer el comportamiento por eje en los diferentes tipos de vehículos clasificados. Por otro lado, en pesaje existen dos tipos de balanzas: las balanzas estacionarias y las balanzas dinámicas. Para los objetivos de la presente tesis se utilizaron balanzas estacionarias.

2.5.1 Balanzas estacionarias

Es un instrumento que sirve para medir pesos, los cuales se colocan sobre un medio en el que se puede soportar la carga. Por medio de una combinación de palancas o dispositivos eléctricos (celdas de carga) son equilibrados con mecanismos especiales que indican el peso en forma directa. Enfocado al área de transportes, se puede definir como instrumentos de medición para la verificación de pesos en unidades vehiculares que transportan carga pesada para la óptima y correcta transitabilidad sobre la red vial.

En el control de peso por carretera se debe de tomar como documentos reguladores leyes establecidas para la verificación de cargas máximas permitidas para el transporte de carga pesada. Por ejemplo, el Reglamento Nacional de Pesos y Dimensiones de Vehículos (Casprowitz Arias 2010).

Finalmente, cabe mencionar que para la verificación de pesos permitidos en el transporte de carga pesada por carretera, los sistemas de pesaje utilizados se clasifican en dos grupos: sistema de pesaje estático y sistema de pesaje dinámico.

Sistema de pesaje estático

Se puede catalogar como un sistema de pesaje estático a toda operación. En otros términos, un procedimiento de pesaje en donde la unidad vehicular de carga pesada previa a realizar el pesaje debe de detenerse de forma estática para tal acción. Este pesaje puede realizarse de forma total por medio de una balanza total o por ejes por

medio de una balanza pesa-eje. Para ello, se debe utilizar una infraestructura de pesaje fija o móvil.

En los sistemas de pesaje estático, para la obtención de pesos en unidades vehiculares que transportan carga pesada se utilizan determinados tipos de controles. Estos controles usan balanzas para la verificación de los pesos. A continuación, se describen los dos tipos de balanza estacionaria.

Balanzas fijas

Las balanzas fijas, como su nombre lo indican, son sistemas de pesaje estacionarios donde toda la infraestructura que la contiene está definida en un lugar específico. Dentro de esta categoría, se pueden determinar los pesos por unidad vehicular de forma global (todos los ejes al mismo tiempo). El problema que se presenta con este tipo de balanza es que no detecta los desbalances de carga que pueda contener la unidad vehicular, ya que el dato resultante que registra es el peso bruto total (tara de la unidad vehicular + carga útil) (Casprowits Arias 2010).

Balanzas móviles

Las balanzas electrónicas móviles se utilizan para pesar ejes en donde haya carencia de estaciones de control de pesaje fijas. Su finalidad es determinar el comportamiento vehicular respecto a los pesos por ejes que manifiestan las unidades o combinaciones vehiculares de carga pesada. Algunas de estas manifestaciones son los balances de carga y peso bruto total, así también cubrir aspectos de seguridad vial como el excesivo sobrepeso que presentan las unidades vehiculares al transitar (Casprowits Arias 2010).

2.5.2 Factores de influencia en pesado

Los errores obtenidos durante la utilización de balanzas móviles pueden dividirse en dos grandes grupos: aquellos errores causados por la balanza en sí misma y por factores externos.

El error debido a la balanza puede definirse como la diferencia entre la carga real colocada sobre esta y el dato de salida, el cual se puede reducir mediante un mantenimiento adecuado y una calibración periódica del equipo. Dado que este error se encuentra asociado a las balanzas utilizadas no existen variaciones entre un sitio de estudio y otro, lo cual es una ventaja ya que al tener una estimación de su magnitud es posible mitigarlo de manera relativamente sencilla.

Los factores externos son aquellas características del vehículo o sitio de estudio que pueden provocar que se obtenga una medición de magnitud mayor o menor a la que se obtendría bajo condiciones ideales. La condición de pesaje ideal debe cumplir factores como pendiente transversal y longitudinal cercano al 0 %, suspensiones del vehículo en posición promedio, sin fricción, sin frenado y ninguna oscilación del vehículo. Se opta por escoger sitios que posean imperfecciones dentro de los parámetros aceptables, así como realizar el mayor número de pesajes posibles; con el fin de reducir los errores obtenidos (Espinoza Gonzales 2013).

Existen algunos factores que pueden afectar al resultado obtenido por el pesaje. A continuación, se muestran los factores más relevantes.

Pendiente

Tanto la inclinación longitudinal como transversal del vehículo causan una discrepancia entre los datos reales y los mostrados por la balanza. La inclinación longitudinal provoca que se obtenga un peso superior al real en los ejes que se encuentran más abajo, e inferior al real en aquellos que están más altos. La inclinación transversal causa que exista una incorrecta medición en el peso de las llantas de un mismo eje, siendo mayor para aquellas que se encuentran en una posición más baja y menor para aquellas en una posición más alta. Por otro lado, la inclinación de las balanzas provoca que se obtengan resultados menores a los reales, ya que estas solo registran la componente del peso que es perpendicular a la plataforma. La Figura 11 muestra los diversos errores debido a la inclinación de las balanzas.

Medición		Peso total	Carga de eje	Carga de rueda
	longitudinal 0%	correcto	correcto	correcto
	transversal 0%			
	longitudinal 0%	correcto	correcto	error ¹⁾
	transversal 5%			
	longitudinal 5%	correcto	error ¹⁾	error ¹⁾
	transversal 0%			
	Total 5%	correcto	error ¹⁾	error ¹⁾
	Total >5%	error ²⁾	error ²⁾	error ²⁾

Figura 11. Pendiente de Neumáticos durante pesaje

Fuente: (Ulloa, Badilla y Allen 2007)

Terreno

Es importante que la superficie del terreno en el que se realizan los pesajes cuente con cierto nivel de regularidad. Debe evitarse elementos como rocas u otros similares, ya que si uno o más se encuentran bajo la balanza en el momento que el vehículo se pesa podrían no solo obtenerse resultados erróneos, sino que el equipo podría sufrir daños a causa del efecto combinado del peso del camión y de la pequeña área de acción de la roca u objeto similar.

En el caso de que el punto de pesaje no cuente con una superficie lo suficientemente regular podría utilizarse placas de acero u otro material resistente, los cuales al colocarse bajo la balanza le brindan la estabilidad y regularidad que requiere para trabajar de forma segura y eficiente.

Suspensión del Vehículo

La distribución del peso entre las llantas o ejes de un vehículo se ve directamente afectada por la compresión del amortiguador. Este factor tiene mayor importancia para aquellos vehículos que posean tres o más ejes.

El levantamiento de un eje resulta en la compresión del amortiguador, lo cual provoca un aumento en la carga que experimenta dicho eje (aplica para vehículos de más de dos ejes). En aquellos vehículos que poseen únicamente dos ejes lo que sucede al levantar el eje delantero o trasero es que el vehículo completo es nivelado evitando que alguno de los amortiguadores entre en estado de compresión. La Figura 12 muestra la suspensión de los neumáticos al ser pesado por eje.

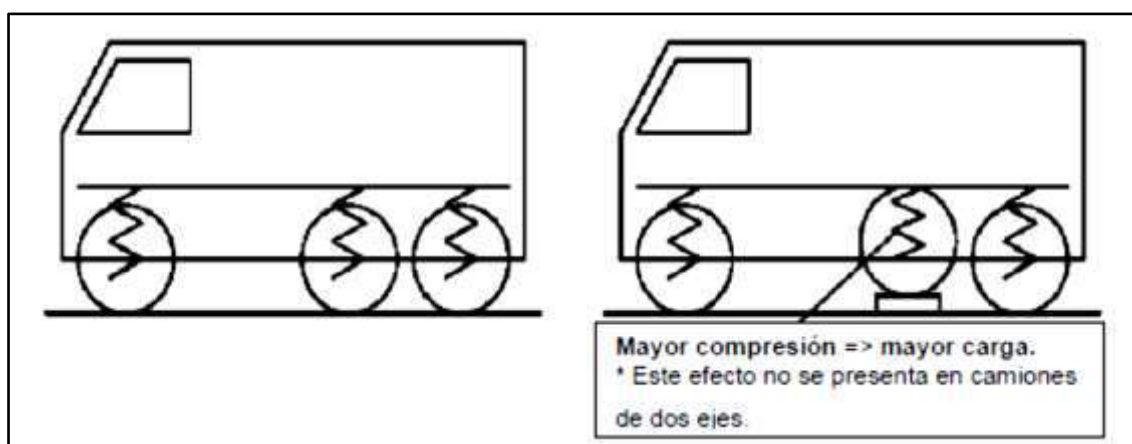


Figura 12. Suspensión de Neumáticos durante Pesaje

Fuente: (Ulloa, Badilla y Allen 2007)

Reacción de Frenado

En algunos vehículos los ejes pueden estar bajo tensión cuando el freno está aplicado. Una vez que se libera el freno, el vehículo adopta su posición normal sin rozamiento en la suspensión. Excepto en aquellos lugares que presenten una pendiente considerable, la acción más recomendable para reducir este error es solicitar al conductor del vehículo que libere el freno antes de tomar la medición de la balanza.

Este problema es exclusivo de las balanzas estáticas, ya que al hacer uso de los modelos dinámicos no es necesario considerar este factor.

Oscilación

Un vehículo en movimiento siempre está oscilando, esto puede causar discrepancias entre la magnitud del peso medido por la balanza y el peso real que soporta un eje. Dependiendo de la amplitud de la oscilación del momento en que el eje pasa por la balanza, la medición del peso será menor o mayor que el peso real. Este tipo de error aumenta con la velocidad del vehículo y con la irregularidad del terreno. Cabe señalar que este error está asociado únicamente a las balanzas de tipo dinámico, ya que cuando se utilizan las estáticas el vehículo se encuentra detenido y por lo tanto sin oscilaciones.

Duración de Pesaje

Es importante recordar que los usuarios del vehículo que va a ser pesado se dirigen hacia compromisos propios, los cuales pueden ser recreativos, profesionales o médicos. Debido a esto deben planearse los métodos de muestreo de forma que el vehículo sea retenido el menor tiempo posible. En el caso de autobuses, el tiempo se vuelve más determinante, debido a que no sólo transportan un mayor número de pasajeros sino que los conductores deben cumplir con un horario establecido por la empresa para la que laboran. De igual manera menores tiempos en el proceso de pesaje significan menor congestión en la vía de estudio y la posibilidad de poder tomar más muestras.

Deben buscarse puntos con sobre anchos, o como mínimo puntos en los que existan dos carriles en el sentido de estudio, de esta manera el proceso de pesaje tendrá un impacto menor sobre el tránsito. Adicionalmente, el vehículo pesado podrá regresar más fácilmente al flujo vehicular general.

2.6 Análisis de la vida útil

El incremento del daño es la relación de la carga máxima permitida por eje con la carga excedida por eje de acuerdo con el espectro de carga obtenido, en cada tipo de vehículo. Para conocer conceptualmente el incremento de daño, se obtiene la curva de deterioro de una estructura de pavimento que define la disminución de la condición del pavimento a través de tiempo de servicio; esta curva representa una herramienta útil de control para el mantenimiento de una vía.

En la Figura 13 y 14 se observa que a medida que la condición del pavimento disminuye, el tipo de intervención que se tiene que realizar es mayor en tiempo y en cantidad de materiales y costos, respectivamente. Estos costos aumentan de acuerdo a la literatura en cuatro o cinco veces a medida que la pendiente de la curva de deterioro aumenta negativamente, generándose obras de rehabilitación tipo reconstrucción parcial o total y pérdida de movilidad en una o varias zonas de influencia.

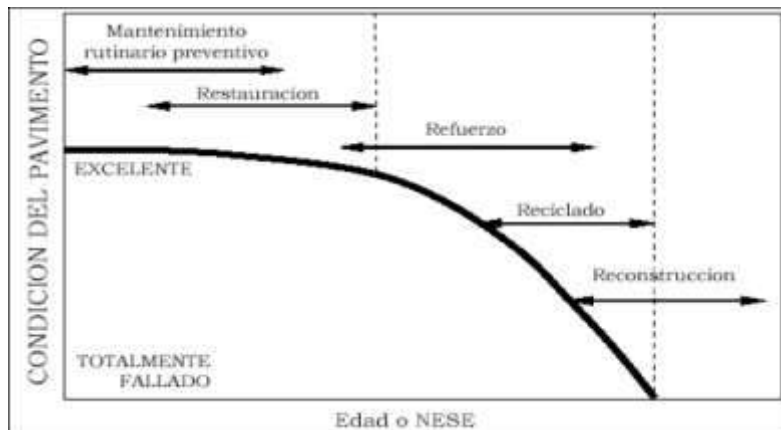


Figura 13. Relación de Condición de Pavimento e Intervención

Fuente: (Troncoso Rivera 2011)

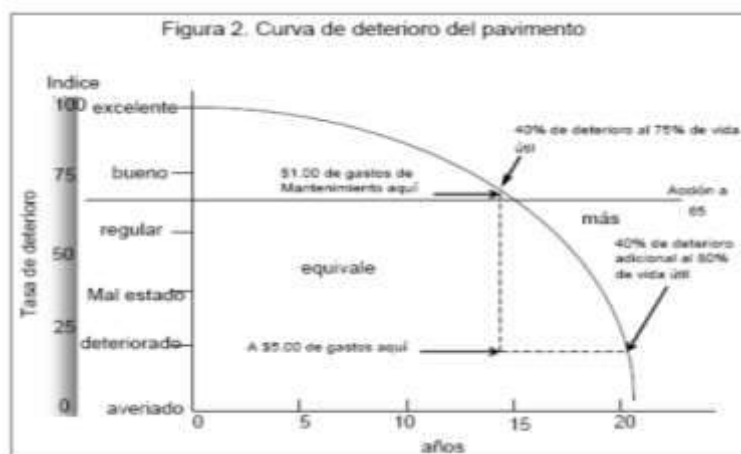


Figura 14. Relación de Condición de Pavimento e Intervención

Fuente: (Arevalo Lay 2014)

2.7 Base Legal

Mediante el Decreto Supremo N°013-98-MTC se aprobó el Reglamento de Peso y Dimensión Vehicular, el cual tiene por objeto determinar el peso y dimensiones permisibles de los vehículos de carga y pasajeros para su circulación en la red vial nacional. Este decreto fue derogado y reemplazado por un nuevo Reglamento Nacional de Vehículos aprobado por el Decreto Supremo N° 058-2003-MTC, el cual fue modificado según los decretos supremos, cuyos números se muestran a continuación: 005-2004-MTC, 011-2004-MTC, 035-2004-MTC, 002-2005-MTC, 017-2005-MTC, 012-2006-MTC, 023-2006-MTC, 032-2006-MTC, 037-2006-MTC, 044-2006-MTC, 006-2007-MTC, 011-2007-MTC, 006-2008-MTC.

Luego, se reemplazó y modificó por las Resoluciones Directorales, cuyos números se muestran a continuación: N° 2226-2008-MTC/20, N° 2253-2008-MTC/20, N° 1756-2008-MTC/20. Posteriormente, se continuó con la reforma según los Decretos Supremos que se muestran a continuación: 016-2008-MTC, 042-2008-MTC, Fe de Erratas DS 042-2008-MTC, 022-2009-MTC (Modifica el artículo 3° del DS 042-2008-MTC). Finalmente, el Decreto Supremo 022-2009-MTC incorpora disposiciones

complementarias al Reglamento Nacional de Vehículos, modifica el TUO del Reglamento Nacional de Transito-Código de Tránsito y Directivas N° 001-2005 y 005-2007-MTC15.

Independiente a las diferentes modificaciones incluidas en los decretos supremos anteriores, se destaca dos artículos cuyo efecto impacta sobre el diseño de pavimentos.

El primero de ellos, de acuerdo al artículo 2° del DS 016-2008-MTC, incorporó un cuarto párrafo al artículo 37° Pesos máximos permitidos, del Reglamento Nacional de Vehículos, aprobado por el Decreto Supremo N° 058-2003-MTC, el mismo que quedó redactado de la siguiente manera: *“Artículo 37°_ Pesos Máximos permitidos (...) Están exonerados del control de peso por eje o conjunto de ejes, los vehículos o combinaciones vehiculares que transiten con un peso bruto vehicular que no exceda el 95% de la sumatoria de pesos por eje o conjunto de ejes, en tanto este no supere el Peso Bruto Vehicular máximo permitido por el presente reglamento o sus normas complementarias.”*

Por otro lado, según el artículo 4° del DS 042-2008-MTC, se suspendió el control del peso máximo permitido por eje simple o conjunto de ejes establecidos en el Reglamento Nacional de Vehículos. Esto se estableció hasta el 31 de Diciembre 2010 a todos los vehículos que circulen a nivel nacional. Asimismo, según el artículo 37° de este decreto, *“El peso bruto vehicular máximo permitido es de 48 toneladas, de acuerdo a lo establecido en el Anexo IV. El peso máximo permitido por eje simple o conjunto de ejes, se establece en el Anexo IV. Los vehículos cuyos límites de peso bruto vehicular y/o pesos por eje señalados por el fabricante sean menores a los establecidos en el presente Reglamento, no deben exceder dichos límites”.*

Finalmente, cabe señalar que la gran cantidad de modificaciones al Reglamento Nacional de Vehículos solamente indica que existe una gran dificultad en hacerlo

cumplir, lo que ocasiona el deterioro más temprano de los pavimentos y el incremento de los costos de mantenimiento, reparación o rehabilitación del pavimento (Aguirre Gutierrez 2010).

La Tabla 6 muestra los pesos máximos permitidos por configuración de eje. De manera similar, las Tablas 7,8 y 9 muestran los pesos máximos por tipo de vehículo, según el Reglamento Nacional de Vehículos del 2003.

Tabla 6. Pesos máximos por eje

Fuente: (MTC, Reglamento Nacional de Vehiculos 2003)


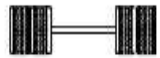
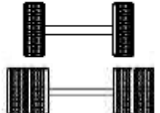
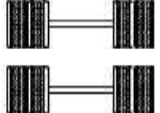
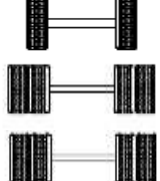
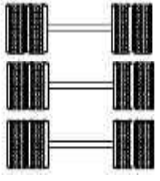
Conjunto de Ejes	Nomenclatura	N° de Neumaticos	Gráfico	Peso Maximo
Eje Simple (Con Rueda Simple)	1RS	02		7
Eje Simple (Con Rueda Doble)	1RD	04		11
Eje Tandem (1 eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06		16
Eje Tandem (2 ejes de Rueda Doble)	2RD	08		18
Eje Tridem (1 Rueda simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10		23
Eje Tridem (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12		25

Tabla 7. Pesos y Medidas Máximas Permitidas I

Fuente: (MTC, Reglamento Nacional de Vehículos 2003)





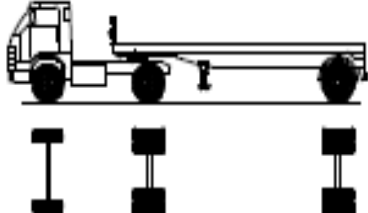
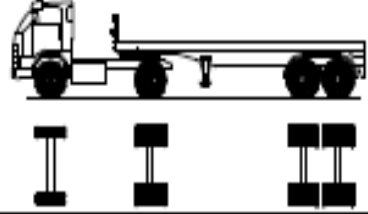
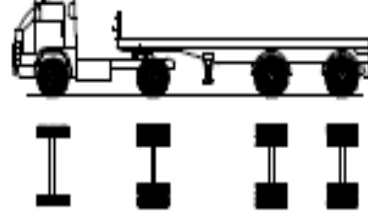
TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)		
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º		4º	
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	
C3		13,20	7	18	---	---	---	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30	
8x4		13,20	7+7 ⁽²⁾	18	---	---	---	32	
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29	
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36	
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40	

Tabla 8. Pesos y Medidas Máximas Permitidas II

Fuente: (MTC, Reglamento Nacional de Vehículos 2003)

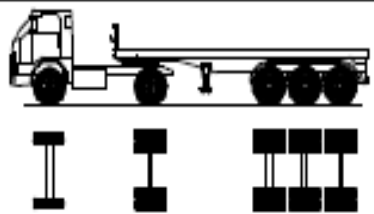
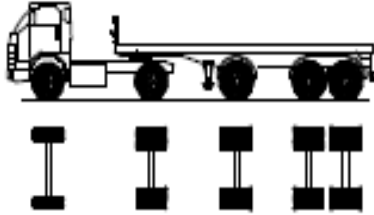
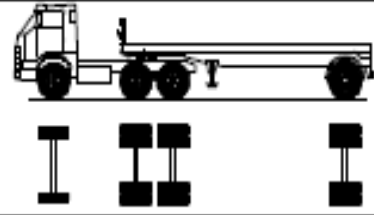
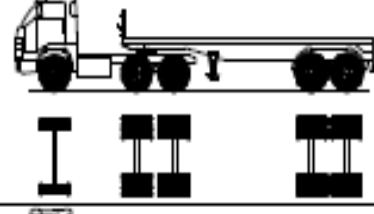
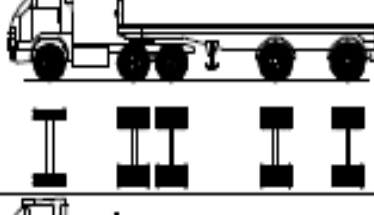
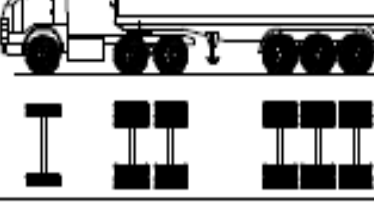
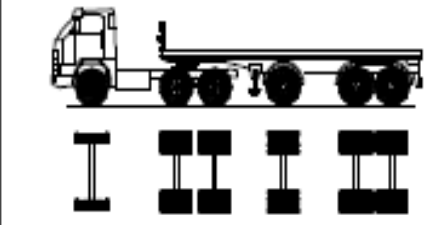
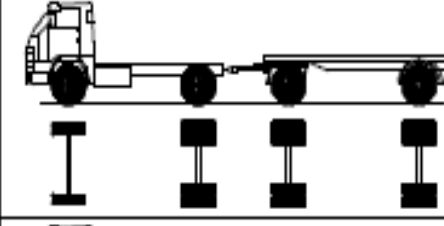
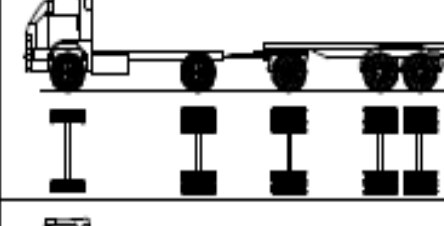
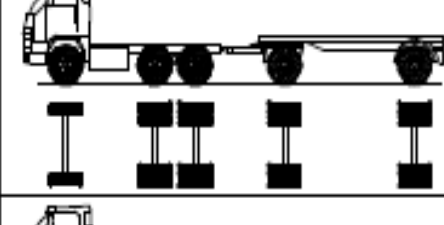
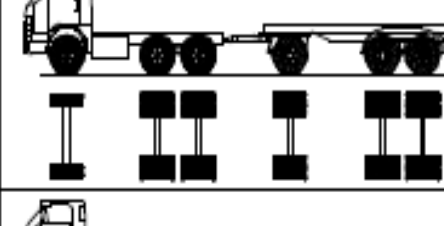
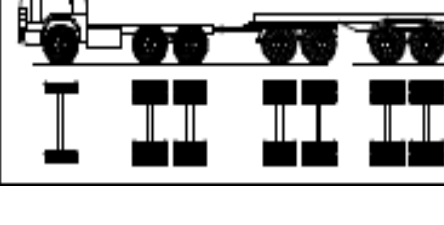
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Max. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
T2Se3		20,50	7	11	11 ⁽⁴⁾	18	---	47
T3S1		20,50	7	18	11	---	---	38
T3S2		20,50	7	18	18	---	---	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	---	47
T3S3		20,50	7	18	25	---	---	48 ⁽²⁾

Tabla 9. Pesos y Medidas Máximas Permitidas III

Fuente: (MTC, Reglamento Nacional de Vehículos 2003)

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
T3Se3		20,50	7	18	11 ⁽⁴⁾	18	--	48 ⁽²⁾
C2R2		23,00	7	11	11	11	--	40
C2R3		23,00	7	11	11	18	--	47
C3R2		23,00	7	18	11	11	--	47
C3R3		23,00	7	18	11	18	--	48 ⁽²⁾
C3R4		23,00	7	18	18	18	--	48 ⁽²⁾

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RUTA EN ESTUDIO

El tráfico es uno de los principales factores al momento de diseñar pavimentos, el cual tiene como característica principal que es una variable espacial y temporal. De esta manera, para proyectar el tráfico durante la vida útil del pavimento se necesita tomar muestras o estudios que tengan la mayor certeza posible; siendo de vital importancia reducir el sesgo en los resultados.

Para poder obtener resultados representativos se deben considerar los diferentes escenarios que pueden presentarse durante el proceso de muestreo. Por ello, se debe estudiar la zona afectada por el tránsito y los indicadores que podrían influenciar en la variación de resultados. Por ejemplo, en el pesaje de buses las principales variaciones son el tipo de bus y el número de pasajeros. El tipo de bus en el caso formal depende de la empresa a la que pertenece el vehículo y, en el caso informal, existe mayor variabilidad como los conocidos “buses camión”. Esta característica afecta directamente al peso propio y el tipo de ejes del vehículo.

Por otro lado, en el caso de camiones, estos se ven afectados principalmente a lo largo de las temporadas. Es decir, que si bien en varias épocas del año pueden transitar una misma cantidad de camiones por una determinada carretera, el contenido del camión puede variar debido al contenido que transportan.

3.1 Selección de Ruta

Debido a las limitaciones tanto temporales como de recursos a las que está sujeto el proyecto, el muestreo se realizó solamente en una carretera peruana. Para la selección de esta ruta se tomó en cuenta factores tales como IMDA y el nivel de servicio de la carretera. De esta manera, se optó por trabajar con una carretera de pavimento asfáltico con una carga de tráfico considerable y representativo.

Con el propósito de hacer una selección inicial de las rutas se obtuvieron conteos vehiculares proporcionados por diferentes empresas privadas. Mediante estos conteos se pudo determinar el número aproximado de IMDA que transitan por las distintas rutas del país.

Si bien es cierto que el IMDA de vehículos pesados fue un factor determinante en la selección de la ruta que forma parte del estudio, debe tenerse en cuenta que no es el único factor de importancia. Para tener una muestra más significativa en nuestro análisis, fue necesario seleccionar una ruta por donde transiten distintos tipos de vehículos, ya que esto aumenta las posibilidades de obtener datos provenientes de distintos modelos. Tal como se mencionó al inicio de este capítulo, el modelo del vehículo tiene una influencia directa en el peso del mismo y por lo tanto en el efecto que este causa sobre el pavimento, demostrando así la importancia de este factor al momento de la selección.

Tras la revisión de los valores de IMDA de las diferentes rutas obtenidas y tomando en cuenta la consideración de otros factores como cantidad de información tomada el mes de Octubre del 2013, se seleccionó el Tramo Vial Ático - Puente Camiara.

3.2 Tramo Vial Atico - Puente Camiara

El tramo vial antes mencionado se ubica en la carretera Panamericana Sur (Eje Longitudinal PE-1S). Este se inicia en la región Lima y recorre Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna, teniendo como punto final la frontera con Chile, definido como Límite Vial Concordia. El tramo de estudio mencionado cuenta con una longitud de 457.82 km y está conformado por pavimento asfáltico. La Figura 15 muestra la ruta resaltada de color azul.



Figura 15. Ruta de estudio

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Esta parte del territorio nacional se considera foco de desarrollo, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. A través del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional, PROVIAS NACIONAL implementó la “Política Nacional del

Sector Transportes”, el cual se aprobó por Resolución Ministerial N° 817-2006-MTC/09; en este se tomó la decisión de tercerizar la Conservación de la Red Vial.

De acuerdo con las encuestas de tráfico y pesaje realizado el 2013 por la empresa MTV, se desarrollaron cálculos y proyecciones de ejes equivalentes de carga, según el Manual de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Con estas premisas se comenzó el desarrollo de la tesis con el fin de demostrar que existe un impacto de las sobrecargas por ejes equivalentes. Estos superan las normas legales de una forma exponencial, el cual se ve reflejado en la superficie de rodadura antes de lo esperado.

Para llegar al objetivo final de conocer el impacto de los sobrepesos en el pavimento, se requiere evaluar una serie de factores que influyen en este. Entre ellos se encuentran las variaciones del flujo vehicular, el cual circula por la carretera Panamericana Sur Tramo Vial Ático - Puente Camiara en las distintas secciones de la carretera; entre otras, como composición por tipo de vehículo, relación de viaje origen – destino, frecuencia de viaje, etc. De esta forma, se debe entender cómo funciona el marco social y económico que gira entorno a la carretera, ya que esto nos ayuda a tener una proyección de tráfico más cercana a la realidad.

El proceso del estudio de tráfico se realizó siguiendo una serie de fases. La primera, corresponde a la identificación de “tramos homogéneos” de la demanda, el cual consiste en la caracterización de los nodos y su naturaleza. Luego, se procede a realizar los conteos de tráfico en determinadas ubicaciones, tomando como base la ramificación definida. Asimismo, se realizan encuestas origen-destino que permite evaluar el motivo de viaje; así como la medición de las cargas transmitidas al pavimento y la presión de inflado de llantas por vehículos pesados, ómnibus y camiones en cada sentido de circulación. Posteriormente, con los correspondientes factores de corrección estacional, se obtuvo el Índice Medio Diario Anual (IMDA) de tráfico que

corresponda al tramo por tipo de vehículo y total. Y finalmente, se determinó las proyecciones de la demanda de transporte.

3.3 Puntos de aforo

Una vez que se seleccionó la ruta, el siguiente paso fue la determinación de los puntos de aforo. Es decir, la ubicación desde la cual se llevó a cabo el muestreo para los vehículos pesados. Asimismo, se identificaron los tramos homogéneos de la demanda.

Las condiciones de cada punto de aforo afectan directamente los resultados obtenidos durante una encuesta de carga, por lo que una selección adecuada es indispensable para obtener resultados representativos. Estas ubicaciones se deben seleccionar de modo que permitan un proceso de pesaje ágil y efectivo. La selección de estos puntos se hizo basándose en lo descrito en el inciso sobre factores que afectan al pesaje.

Debido a los principales ingresos y salidas que tiene el presente servicio de conservación, se dividió a la vía en 8 Tramos Homogéneos, los cuales obedecen al comportamiento de los deseos de viaje de los usuarios. Asimismo, se establecieron 8 estaciones en las que se realizaron conteos de 7 días durante 24 horas, los cuales proporcionaron información sobre la cantidad y estructura del tráfico.

De igual manera, se realizaron encuestas origen - destino durante un periodo de 24 horas en 3 estaciones donde se realizaron los conteos de tráfico y clasificación vehicular. Por otro lado, en los peajes de Montalvo y Camaná se realizaron censos de carga por tipo de vehículo y por eje durante periodos de 12 horas consecutivas. Además se recolectó información de la presión de llantas, y los factores carril y direccional de carga. La presión de llantas permite obtener el factor de ajuste a los factores de carga, mientras que los factores de carril y direccional permiten calcular el

número de ejes equivalentes de 8.2 Ton, el número de repeticiones de EE para el periodo de diseño y la composición del tráfico.

La Tabla 10 muestra las ubicaciones de los 8 tramos homogéneos. Asimismo, se especifica por cada tramo, la ubicación del punto de aforo.

Tabla 10. Estaciones y Tramos de Carretera

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

ESTACIONES DE CONTEO			
CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	TRAMO	
ESTACIÓN		INICIO	FIN
E01	Camiara	Camiara	DV. Ilo
E02	Desvío Ilo	DV. Ilo	Dv. Moquegua
E03	Puente Montalvo	Dv. Moquegua	Fiscal
E04	El Fiscal	Fiscal	Dv Matarani
E05	Desvío Matarani	Dv Matarani	Repartición
E06	La Joya	Reparticion	Joya
E07	Desvío Aplao	Joya	Camana
E08	Camaná	Camana	Atico

La Figura 16 muestra la ubicación de las estaciones mencionadas anteriormente en un mapa. De igual manera, se muestra cada tramo homogéneo de diferente color, con su respectivo nombre de estación, los cuales se aprecian desde la figura 17 a la 28.



Figura 16. Ubicación de Estaciones

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

A continuación, se describen cada una de las estaciones asignadas a los ocho tramos homogéneos. Se resaltan la ubicación y otras diversas características.

Estación Camiara

Se encuentra ubicado en el Km 1210+800 de la Panamericana Sur, en dirección a Puente Camiara (Tacna). Tiene como origen Camiara y fin de tramo el desvío Ilo. En este aforo solo se realizó el conteo de tráfico para determinar el IMDA.



Figura 17. Conteo Estación Camiara

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Estación Desvío Ilo

El punto para este muestreo se encuentra ubicado en el Km 1182 de la Panamericana Sur y tiene como fin el desvío Moquegua. Al igual que en la estación Puente Camiara, este aforo solo se realizó el conteo de tráfico para determinar el IMDA.



Figura 18. Conteo Estación Ilo

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Estación Puente Montalvo

Este aforo se ubica en la Provincia de Moquegua en el Km 1146+200 de la Panamericana Sur, a 100m del peaje del mismo nombre. El tramo tiene como origen el desvío Moquegua y fin, El Fiscal; y une las provincias de Arequipa y Moquegua. En este punto, adicionalmente al conteo de vehículos, se realizó las encuestas de origen-destino y el censo de cargas.



Figura 19. Censo de Carga Estación Montalvo

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)



Figura 20. Censo de Carga Estación Montalvo

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Estación El Fiscal

La ubicación de este punto es el Km 1046+200 de la Panamericana Sur, en la salida norte de la localidad de El Fiscal. En este punto se realizó el conteo de vehículos y las encuestas de origen-destino.



Figura 21. Conteo Estación El Fiscal

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)



Figura 22. Conteo Estación El Fiscal

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Estación Desvío Matarani

Este punto de aforo está ubicado en Km 988+700 de la Panamericana Sur, en la Provincia de Arequipa, el cual se encuentra próximo a la intersección con el Desvío Matarani. En esta estación se realizó únicamente el conteo vehicular para determinar el IMDA.

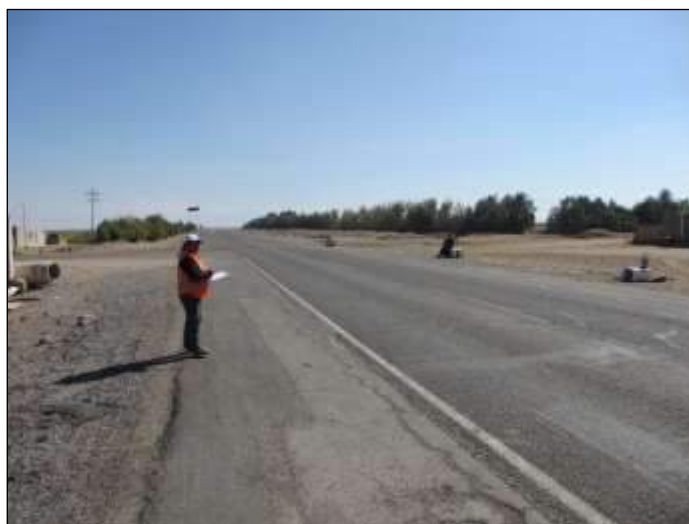


Figura 23. Conteo Estación Desvío Matarani

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)



Figura 24. Conteo Estación Desvío Matarani

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Estación La Joya

La ubicación de este punto se encuentra en el Km 966+500 de la Panamericana Sur, a la altura de la Comisaria “El Triunfo” del centro poblado La Joya. El tramo comprende el tramo Repartición – La Joya. En esta estación se realizó solo conteo vehicular.



Figura 25. Conteo Estación La Joya

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Estación Desvío Aplao

Este punto de aforo está ubicado Km 902+400 de la Panamericana Sur, a la altura de la intersección con el Desvío Aplao. El tramo comprende como origen La Joya y punto final a Camaná.



Figura 26. Conteo Estación Aplao

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Estación Atico

Esta estación se encuentra en el Km 853+800 de la Panamericana Sur, a 200 metros del peaje de Camaná. Este tramo comprende de Camaná a Ático. En este último se realizó los conteos vehiculares y las encuestas de origen - destino, mientras que en Camaná se hizo un censo de carga.



Figura 27. Conteo Estación Aplao

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)



Figura 28. Censo de Carga Estación Aplao

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

3.4 Conteo Vehicular

Para esta tesis se ha calculado los IMDA del año 2013, en base a los conteos y encuestas realizadas. El detalle de esta información se muestra posteriormente.

Dado que los conteos realizados fueron manuales, estos no pudieron realizarse durante períodos largos, como por ejemplo un mes. Debido a que el tráfico presenta variaciones en el tiempo, se tomó un factor de corrección temporal. Tomando esto en cuenta se decidió realizar para cada sitio de pesaje conteos por sentido de viaje.

Una vez obtenido el resultado de volumen promedio de tránsito por tipo de vehículo, hora y sentido, se calculó la variación horaria, clasificación vehicular, Índice Medio Diario Semanal (IMD_S) y el Índice Medio Diario Anual (IMD_A). Estos dos últimos índices son determinados por las expresiones que se muestran a continuación.

$$IMD_A = FC \times IMD_S \quad \text{[Ecuación 17]}$$

Donde:

IMD_S : Volumen clasificado promedio de la semana.

FC : Factor de corrección estacional.

IMD_A : Índice Medio Diario Anual.

Es importante señalar que los factores de corrección estacional son valores que tienen la finalidad de eliminar las variaciones del comportamiento del tránsito a lo largo de un año. Estos se determinan a partir de las estaciones de conteo continuo o de las estaciones de conteo de control como los Peajes. Asimismo, se incluye todo tipo de eventos como fiestas nacionales, épocas escolares y otros eventos que se realizan periódicamente y/o anual.

Los factores de corrección estacional se calculan tomando en cuenta una serie histórica anual completa de los últimos diez años. Sin embargo, para este estudio es

conveniente tomar en cuenta los años inmediatos, de los cuales se tiene información completa y detallada según los Peajes de la Red Vial Nacional.

En la presente tesis, para determinar el factor de corrección estacional (FC) se utilizó el volumen vehicular obtenido en las estaciones de peaje próximas. En el caso del peaje de Tomasiri se consideró la estación ubicada en Camiara (E1), para el peaje de Montalvo, las estaciones ubicadas en Ilo y Montalvo (E2 y E3), para el peaje de Fiscal, las estaciones ubicadas en Fiscal y Desvió Matarani (E4 y E5) y, finalmente, para el peaje de Camaná, las estaciones ubicadas en la Joya, Desvió Aplao y Camaná (E6, E7 y E8).

Posteriormente, se determinó el IMD_A como el producto del Índice Medio Diario por el Factor de Corrección Estacional para el periodo mensual. La Tabla 11 muestra el factor de corrección obtenidos para las diferentes unidades de conteo, dependiendo del tipo de vehículo: ligero o pesado.

Tabla 11. Factor de Corrección Estacional

Fuente: (MTC, Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos 2014)

Unidad de Conteo	Factor de Corrección	
	V. Ligeros	V. Pesados
Tomasiri	1.033469	1.005755
Montalvo	1.048732	1.025485
Fiscal	1.048189	1.08305
Camaná	1.238184	1.025378

Una vez obtenido el IMD_S , el cual está afectado por el factor de corrección mensual (FC), indicado en la Tabla 11, se obtendrá el IMD_A . Este valor se calcula para cada estación, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. IMDA por estación

Fuente: Propia

CÓDIGO ESTACIÓN	TRAMO		IMDA
	INICIO	FIN	
E1	Camara	Dv. Ilo	1660
E2	Dv. Ilo	Dv. Moquegua	2206
E3	Dv. Moquegua	Fiscal	1269
E4	Fiscal	Dv Matarani	1698
E5	Dv Matarani	Repartición	2379
E6	Reparticion	Joya	6590
E7	Joya	Camana	4360
E8	Camana	Atico	2461

A continuación, se presenta la información más relevante de las 8 estaciones de conteo. De manera análoga para todas las estaciones se muestra una tabla con la cantidad de vehículos promedio durante la semana de encuestas clasificado por tipo de vehículo y dirección; un diagrama de barras del IMD obtenido por cada día de la semana para conocer cuál es el día de mayor tráfico; y por último, un gráfico de dispersión con la cantidad de vehículos por hora del día mas cargado. Esta información se puede apreciar entre las tablas 13 y 20, y entre las figuras 28 y 44.

Estación Camiara

Tabla 13. IMDA en dos sentidos E-1

Fuente: Propia

Vehiculo	Camiara - Dv llo	Dv llo- Camiara	IMDA
Auto movil	321	319	640
Cmta pick up	162	142	304
Cmta Rural	88	84	172
Micro	7	12	19
2E	10	7	17
3E	75	77	153
4E	9	10	19
2E	38	39	77
3E	17	24	41
4E	5	5	10
2S1	0	1	1
2S2	2	1	4
2S3	6	6	12
3S1	0	1	1
3S2	22	16	38
>=3S3	76	72	148
2T2	0	0	0
2T3	0	1	1
3T2	1	1	2
>=3T3	0	0	0
TOTAL	841	819	1660

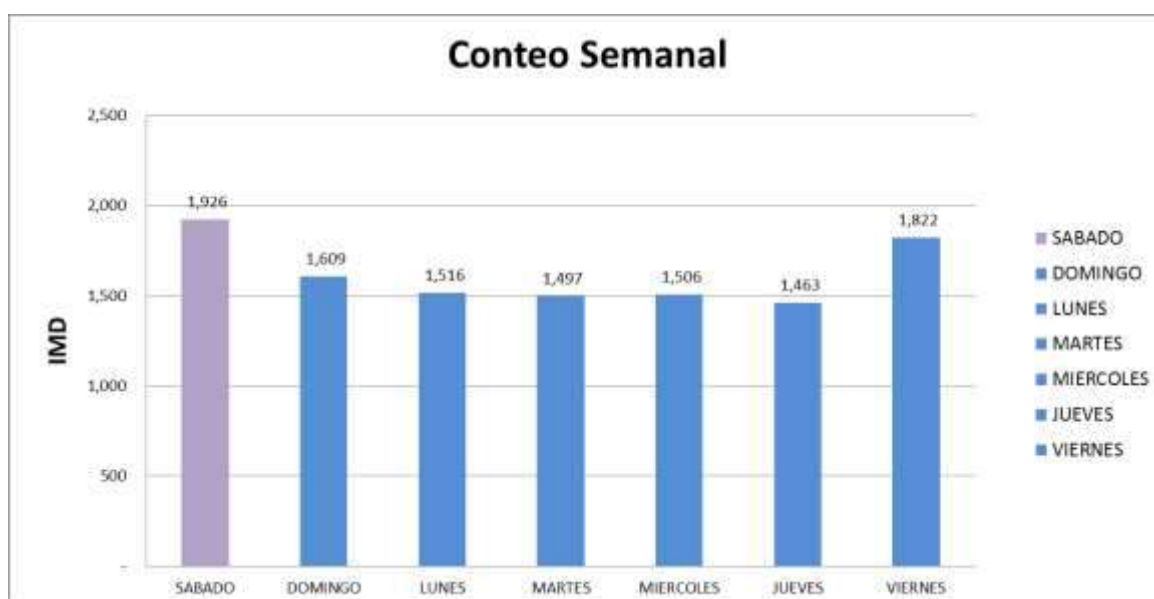


Figura 29. IMD semanal

Fuente: Propia

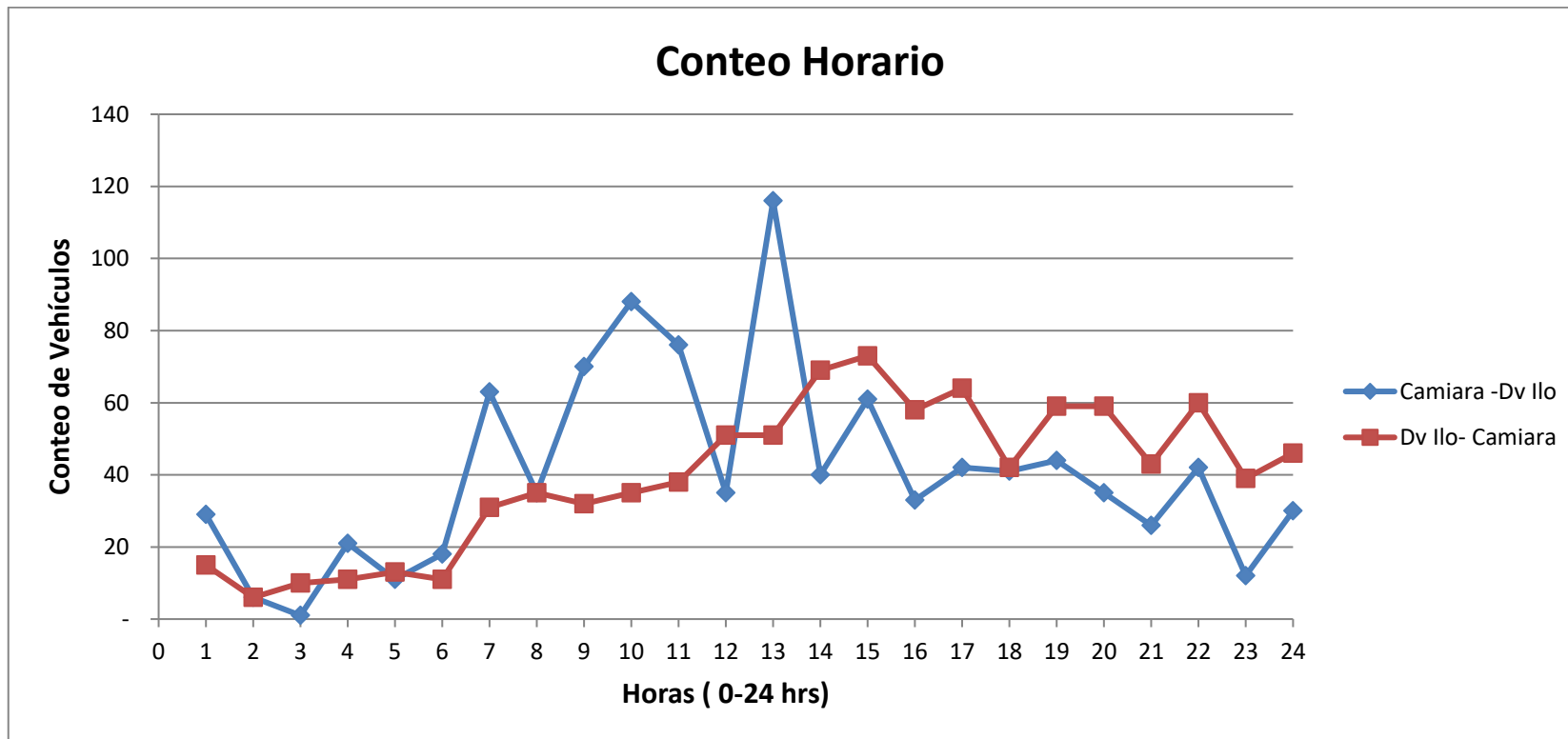


Figura 30. Tráfico Horario del día más cargado

Fuente: Propia

Estación Desvío Ilo

Tabla 14. IMDA en dos sentidos E-2

Fuente: Propia

Vehiculo	Dv Ilo - Dv Moquegua	Dv Moquegua - Dv Ilo	IMDA
Auto movil	468	445	913
Cmta pick up	164	162	326
Cmta Rural	139	135	274
Micro	6	6	12
2E	10	13	23
3E	81	80	161
4E	10	11	21
2E	59	57	117
3E	19	17	36
4E	4	5	9
2S1	0	0	0
2S2	0	2	2
2S3	19	17	36
3S1	0	1	1
3S2	32	47	79
>=3S3	91	98	189
2T2	2	0	0
2T3	0	0	0
3T2	2	1	3
>=3T3	0	0	0
TOTAL	1108	1098	2206



Figura 31. IMD semanal

Fuente: Propia

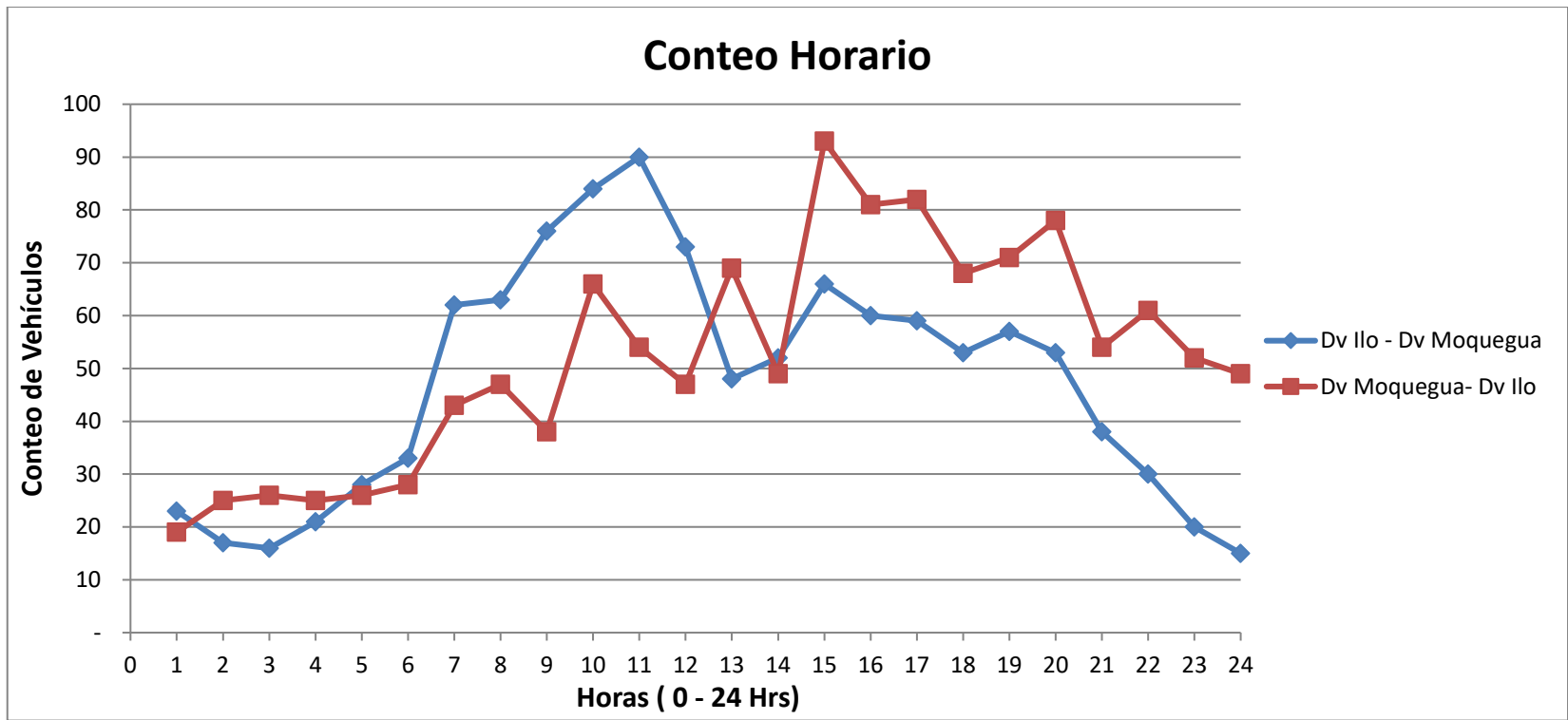


Figura 32. Tráfico Horario del día más cargado

Fuente: Propia

Estación Puente Montalvo

Tabla 15. IMDA en dos sentidos E-3

Fuente: Propia

Vehiculo	Dv Moquegua-Fiscal	Fiscal-Dv Moquegua	IMDA
Auto movil	151	159	310
Cmta pick up	106	105	211
Cmta Rural	52	51	103
Micro	13	12	25
2E	3	5	8
3E	61	68	128
4E	8	7	15
2E	29	32	61
3E	29	25	54
4E	4	3	6
2S1	2	0	2
2S2	1	3	5
2S3	26	24	50
3S1	0	1	1
3S2	27	27	54
>=3S3	103	119	222
2T2	0	1	1
2T3	1	0	1
3T2	5	5	10
>=3T3	1	1	1
TOTAL	622	647	1269

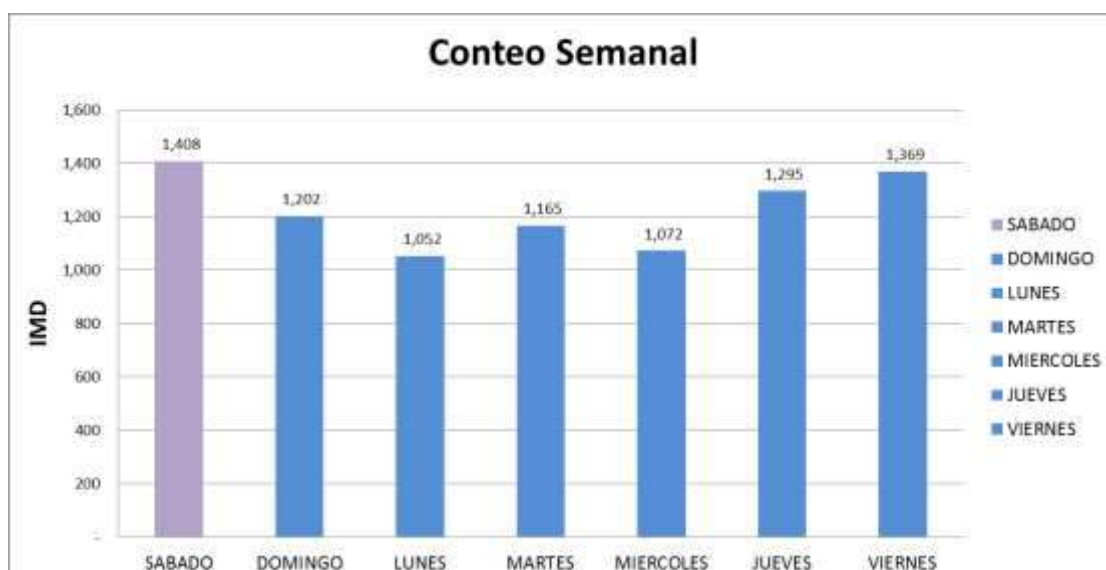


Figura 33. IMD semanal

Fuente: Propia

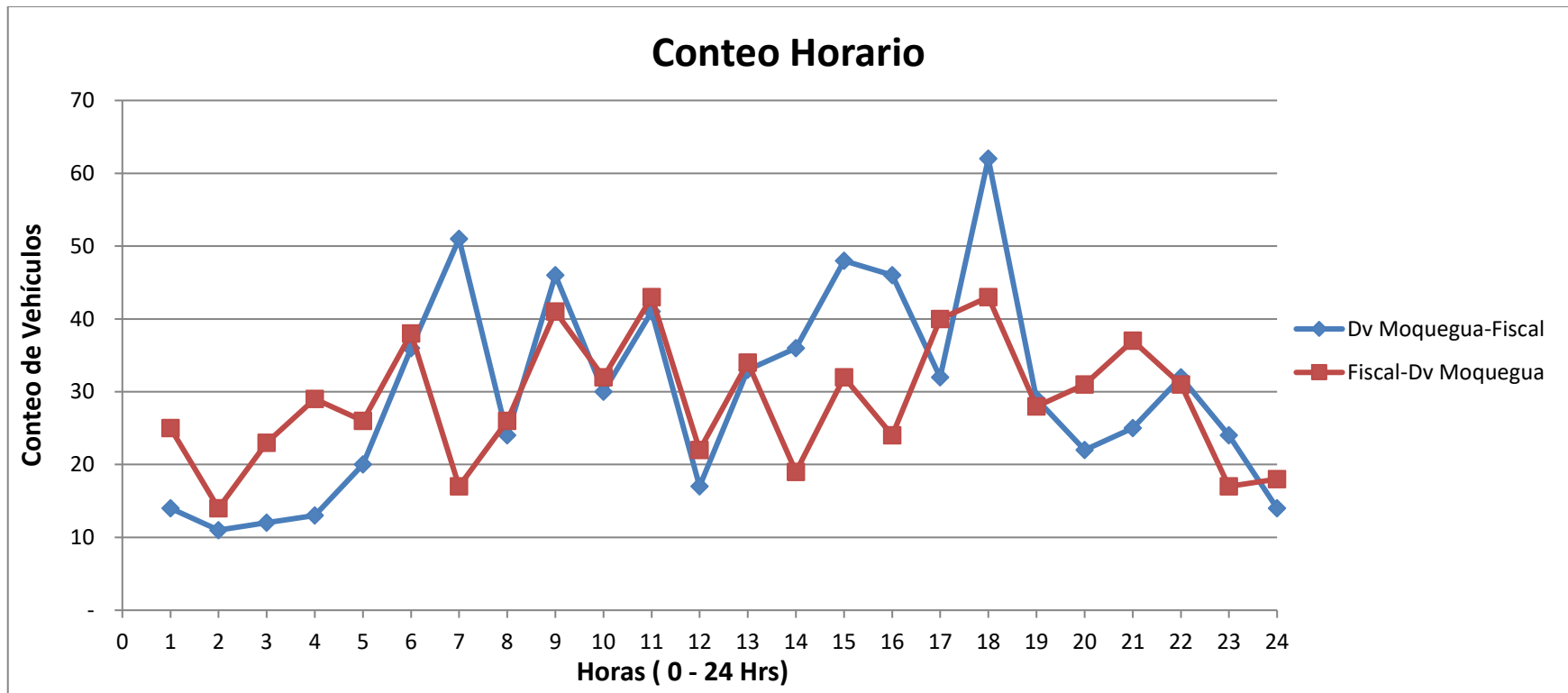


Figura 34. Tráfico Horario del día más cargado

Fuente: Propia

Estación El Fiscal

Tabla 16. IMDA en dos sentidos E-4

Fuente: Propia

Vehiculo	Fiscal-Dv Matarani	Dv Matarani - Fiscal	IMDA
Auto movil	167	164	330
Cmta pick up	121	115	236
Cmta Rural	173	167	340
Micro	43	38	81
2E	16	12	28
3E	69	67	137
4E	9	11	19
2E	53	50	103
3E	30	24	54
4E	7	6	13
2S1	1	1	1
2S2	5	5	10
2S3	12	14	26
3S1	1	1	2
3S2	31	31	62
>=3S3	117	123	240
2T2	1	1	2
2T3	0	0	0
3T2	4	6	10
>=3T3	1	1	2
TOTAL	860	838	1698

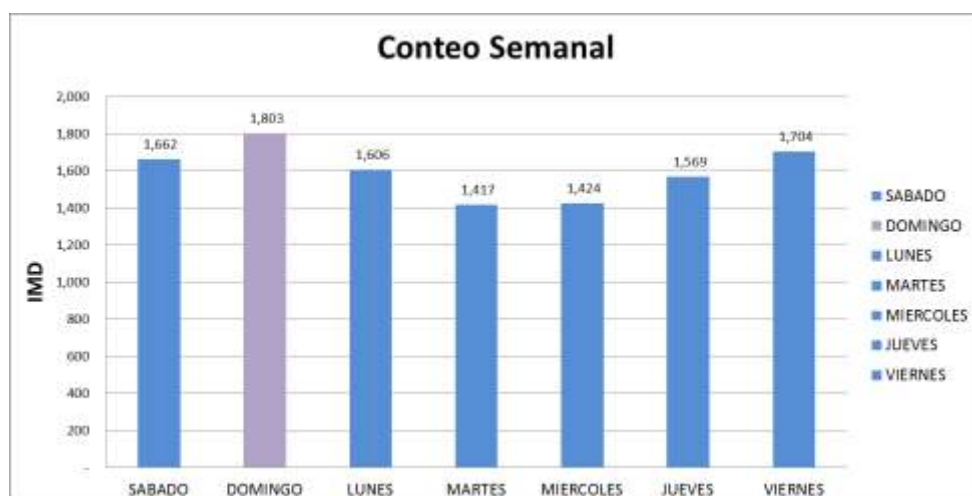


Figura 35. IMD semanal

Fuente: Propia

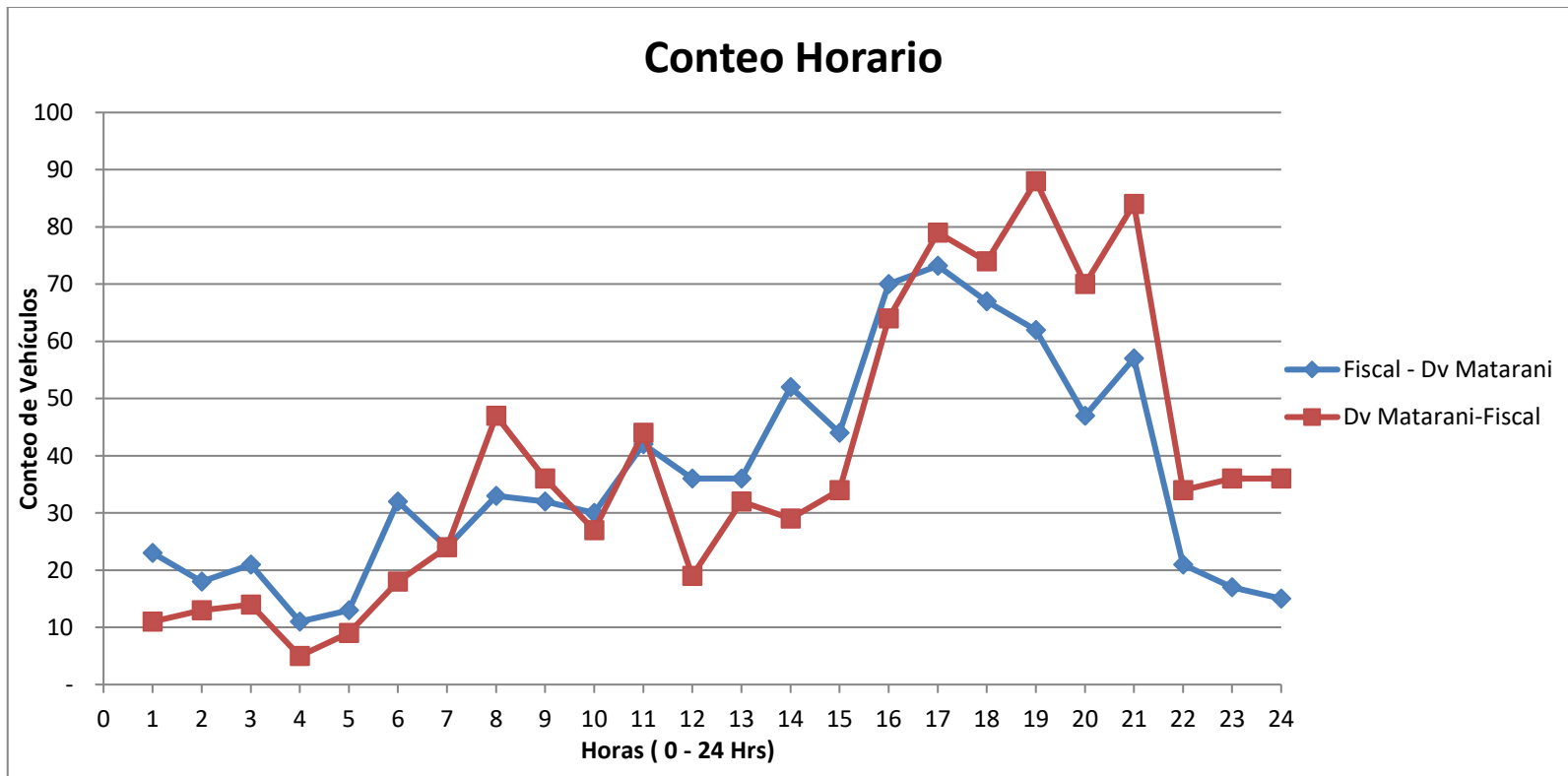


Figura 36. Tráfico Horario del día más cargado

Fuente: Propia

Estación Desvío Matarani

Tabla 17. IMDA en dos sentidos E-5

Fuente: Propia

Vehiculo	Dv Matarani- Reparticion	Reparticion-Dv Matarani	IMDA
Auto movil	302	202	505
Cmta pick up	189	150	339
Cmta Rural	261	166	427
Micro	12	41	53
2E	41	14	56
3E	72	83	155
4E	27	16	43
2E	93	51	144
3E	39	28	67
4E	9	9	18
2S1	4	1	5
2S2	4	4	9
2S3	15	20	35
3S1	6	2	9
3S2	155	38	193
>=3S3	146	143	289
2T2	11	1	12
2T3	3	1	4
3T2	8	5	13
>=3T3	5	1	6
TOTAL	1404	975	2379

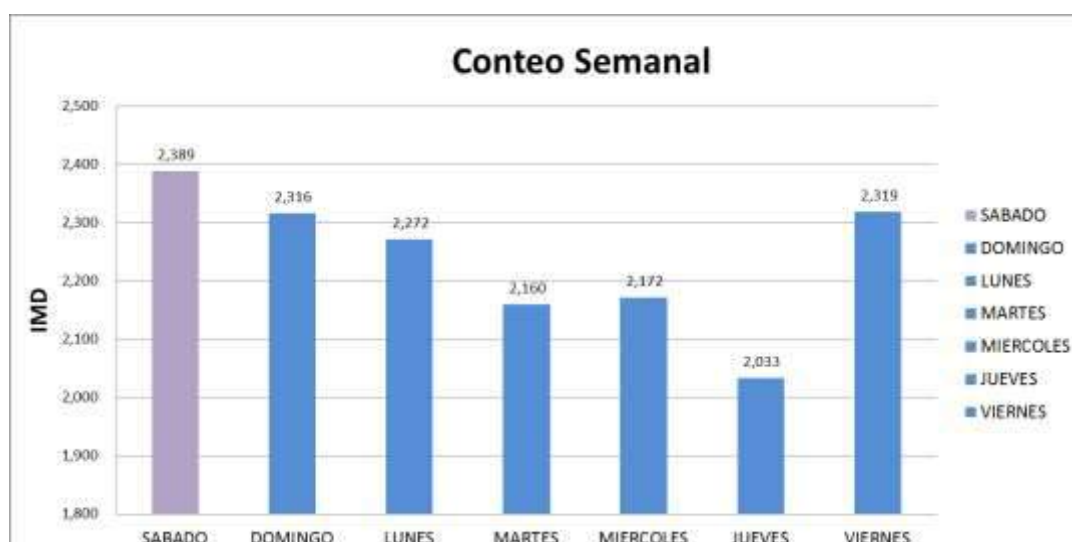


Figura 37. IMD semanal

Fuente: Propia

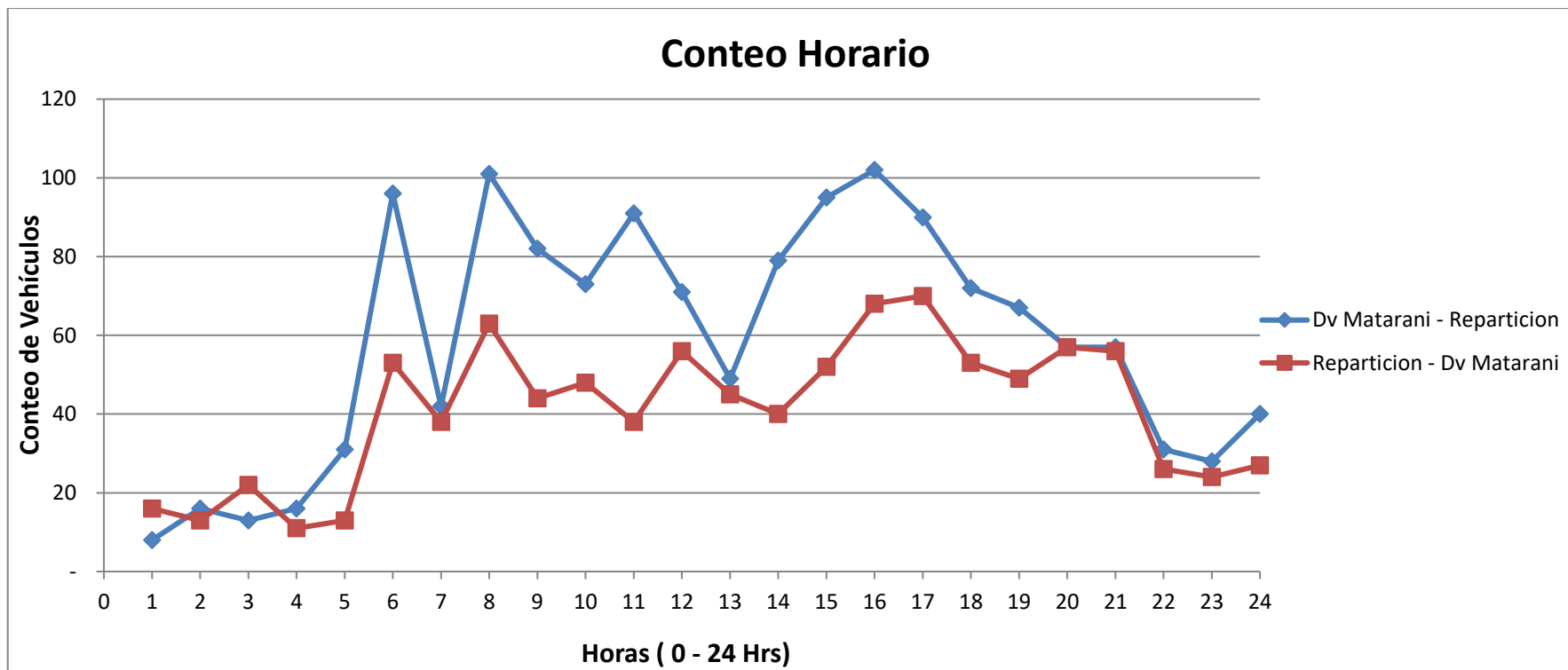


Figura 38. Tráfico Horario del día más cargado

Fuente: Propia

Estación La Joya

Tabla 18. IMDA en dos sentidos E-6

Fuente: Propia

Vehiculo	Reparticion-La Joya	La Joya-Reparticion	IMDA
Auto movil	882	936	1818
Cmta pick up	620	608	1228
Cmta Rural	603	607	1211
Micro	38	28	66
2E	110	114	224
3E	88	101	189
4E	24	24	48
2E	326	319	644
3E	101	110	211
4E	36	29	65
2S1	8	4	12
2S2	20	20	40
2S3	28	28	56
3S1	2	2	4
3S2	63	60	124
>=3S3	281	275	556
2T2	2	1	4
2T3	3	1	5
3T2	20	18	38
>=3T3	24	23	46
TOTAL	3280	3311	6590

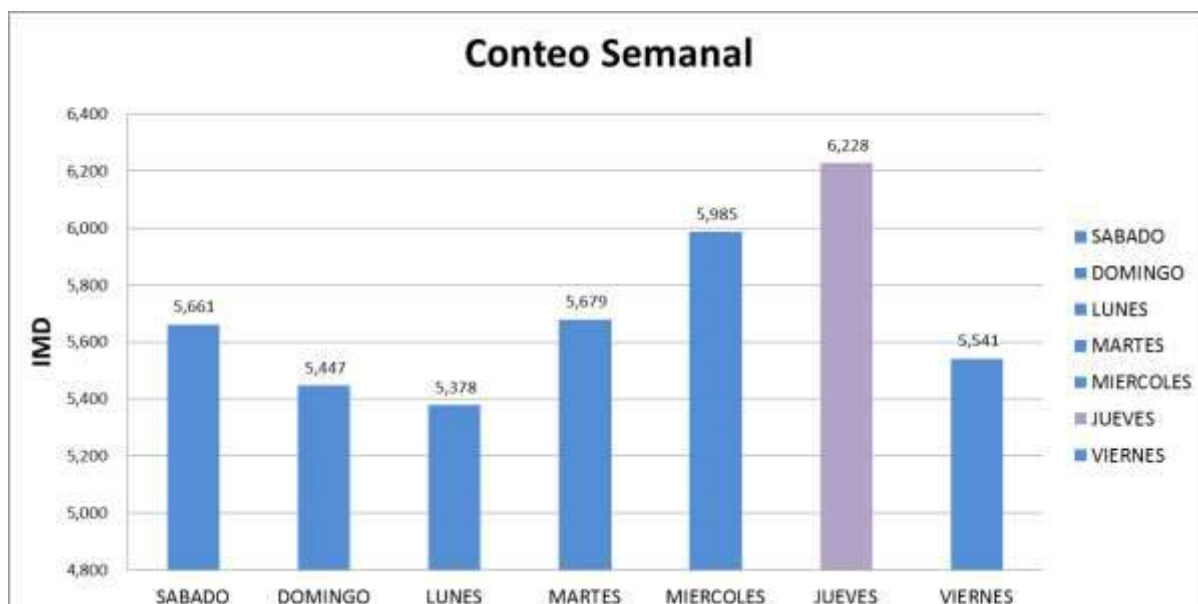


Figura 39. IMD semanal

Fuente: Propia

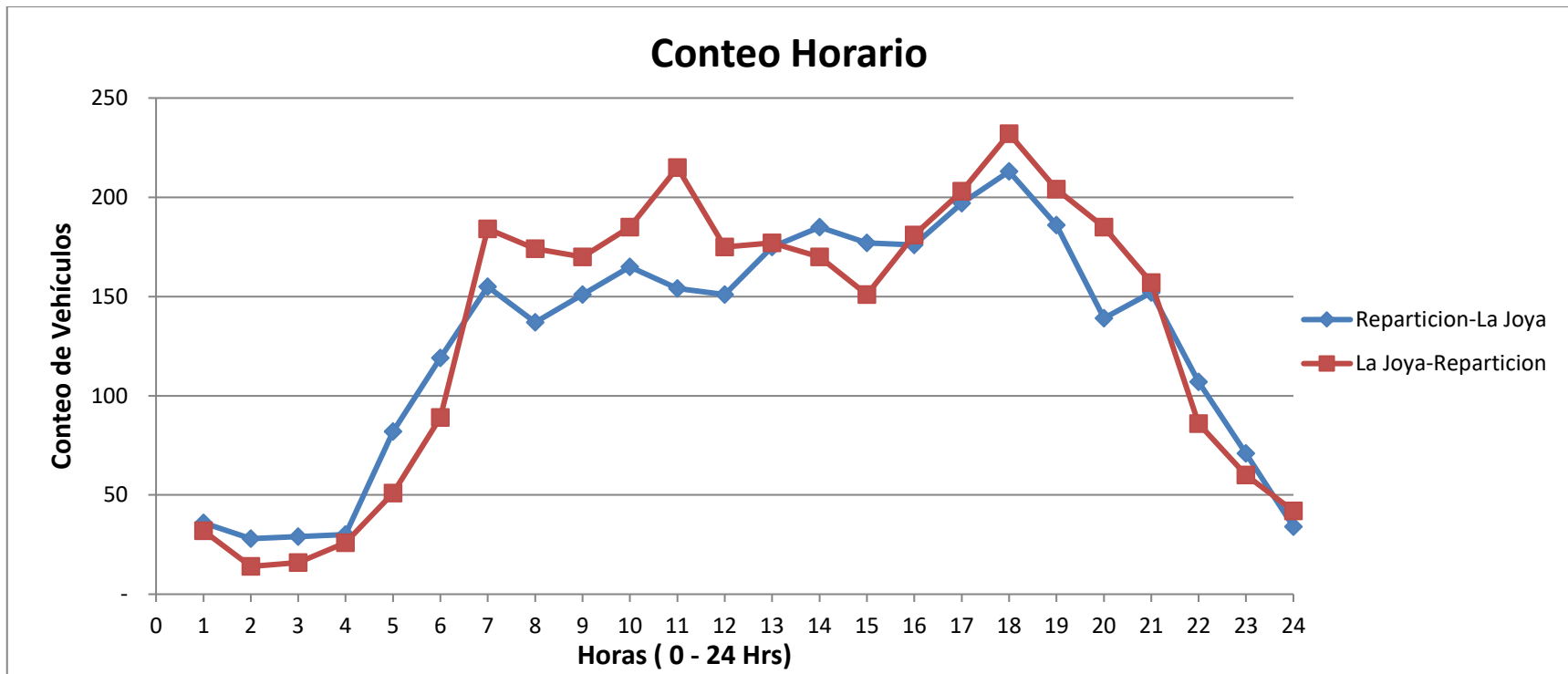


Figura 40. Tráfico Horario del día más cargado

Fuente: Propia

Estación Desvío Aplao

Tabla 19. IMDA en dos sentidos E-7

Fuente: Propia

Vehiculo	La Joya-Camana	Camana-La Joya	IMDA
Auto movil	335	353	688
Cmta pick up	280	292	572
Cmta Rural	176	175	351
Micro	80	69	149
2E	81	77	158
3E	130	136	266
4E	34	35	69
2E	162	160	322
3E	100	122	222
4E	61	64	125
2S1	26	23	49
2S2	47	47	95
2S3	73	79	152
3S1	15	17	32
3S2	115	113	229
>=3S3	349	351	699
2T2	15	15	30
2T3	20	25	45
3T2	27	31	58
>=3T3	24	25	48
TOTAL	2152	2208	4360



Figura 41. IMD semanal

Fuente: Propia

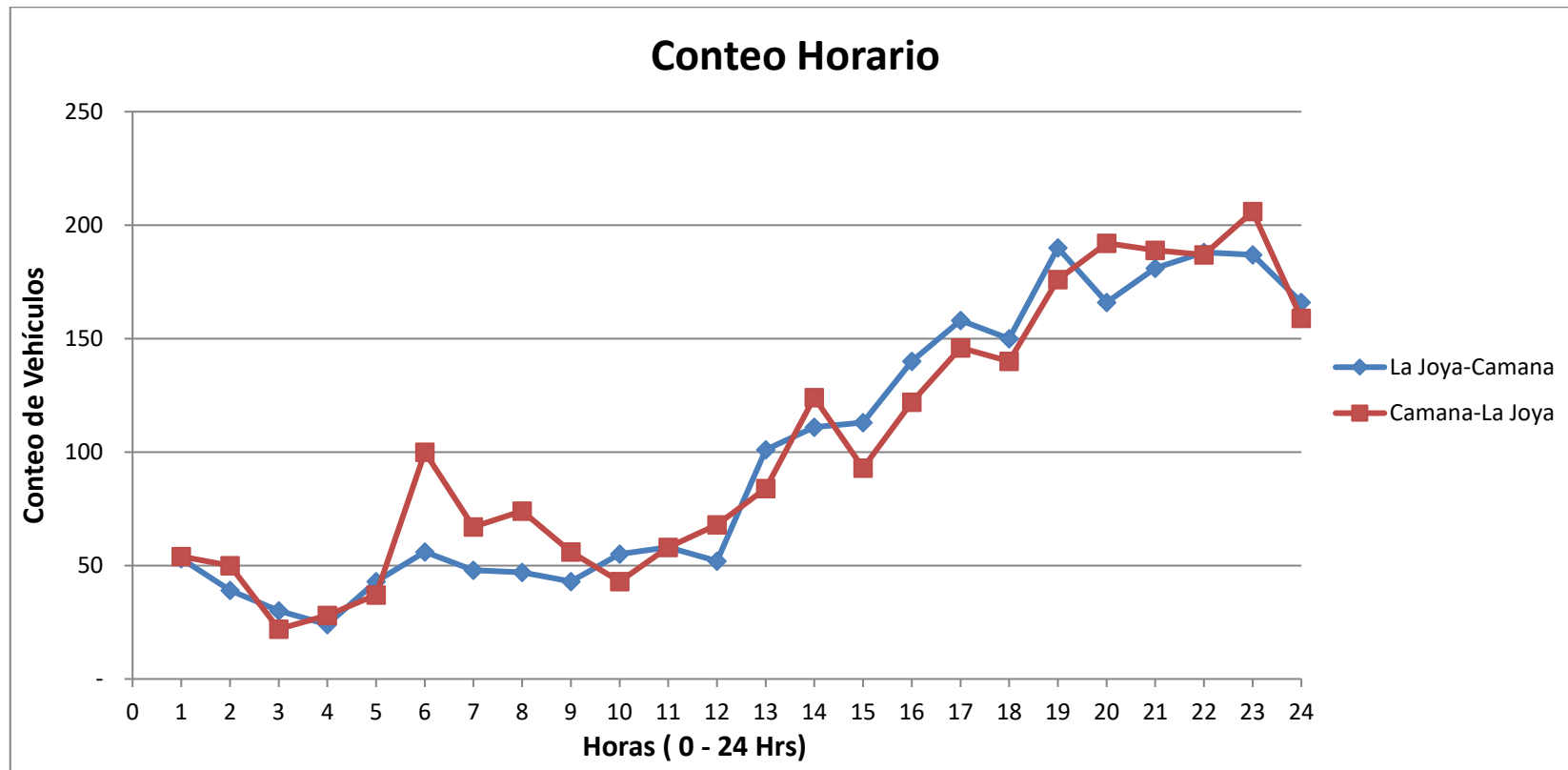


Figura 42. Tráfico Horario del día más cargado

Fuente: Propia

Estación Camaná

Tabla 20. IMDA en dos sentidos E-8

Fuente: Propia

Vehiculo	Camana-Atico	Atico-Camana	IMDA
Auto movil	172	154	326
Cmta pick up	172	162	334
Cmta Rural	105	94	199
Micro	72	56	128
2E	22	19	41
3E	101	90	191
4E	28	28	56
2E	112	91	203
3E	54	46	100
4E	21	18	38
2S1	3	4	7
2S2	17	18	36
2S3	39	24	62
3S1	6	4	10
3S2	65	58	123
>=3S3	260	260	520
2T2	6	5	10
2T3	6	4	10
3T2	18	16	34
>=3T3	17	16	32
TOTAL	1295	1166	2461

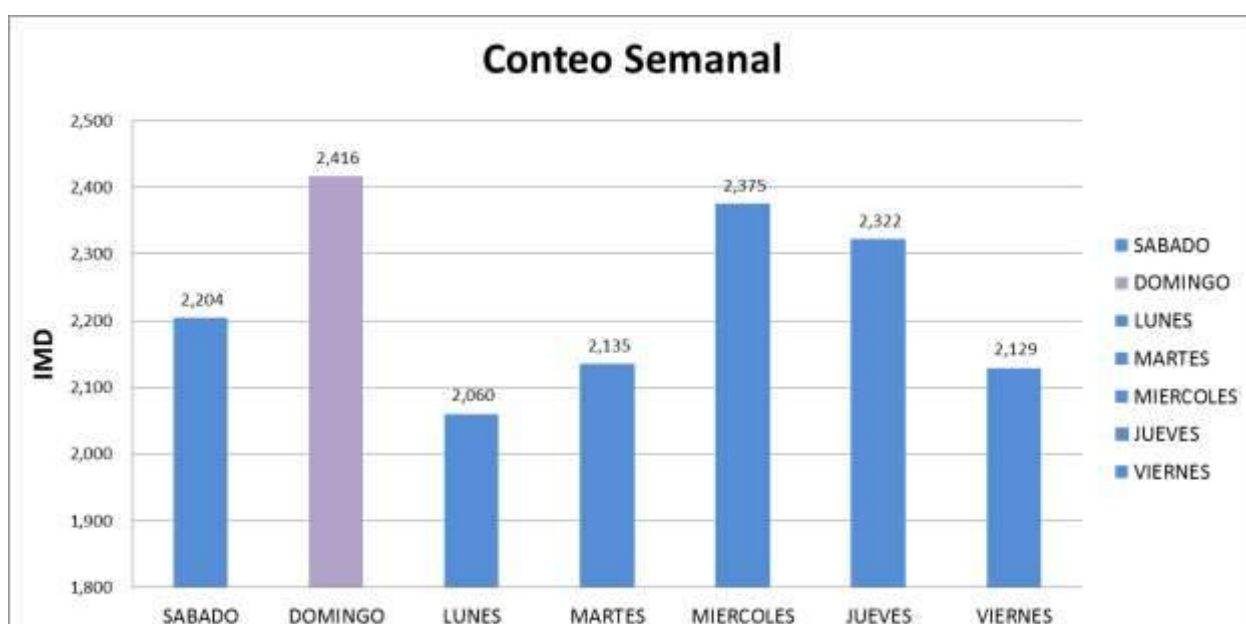


Figura 43. IMD semanal

Fuente: Propia

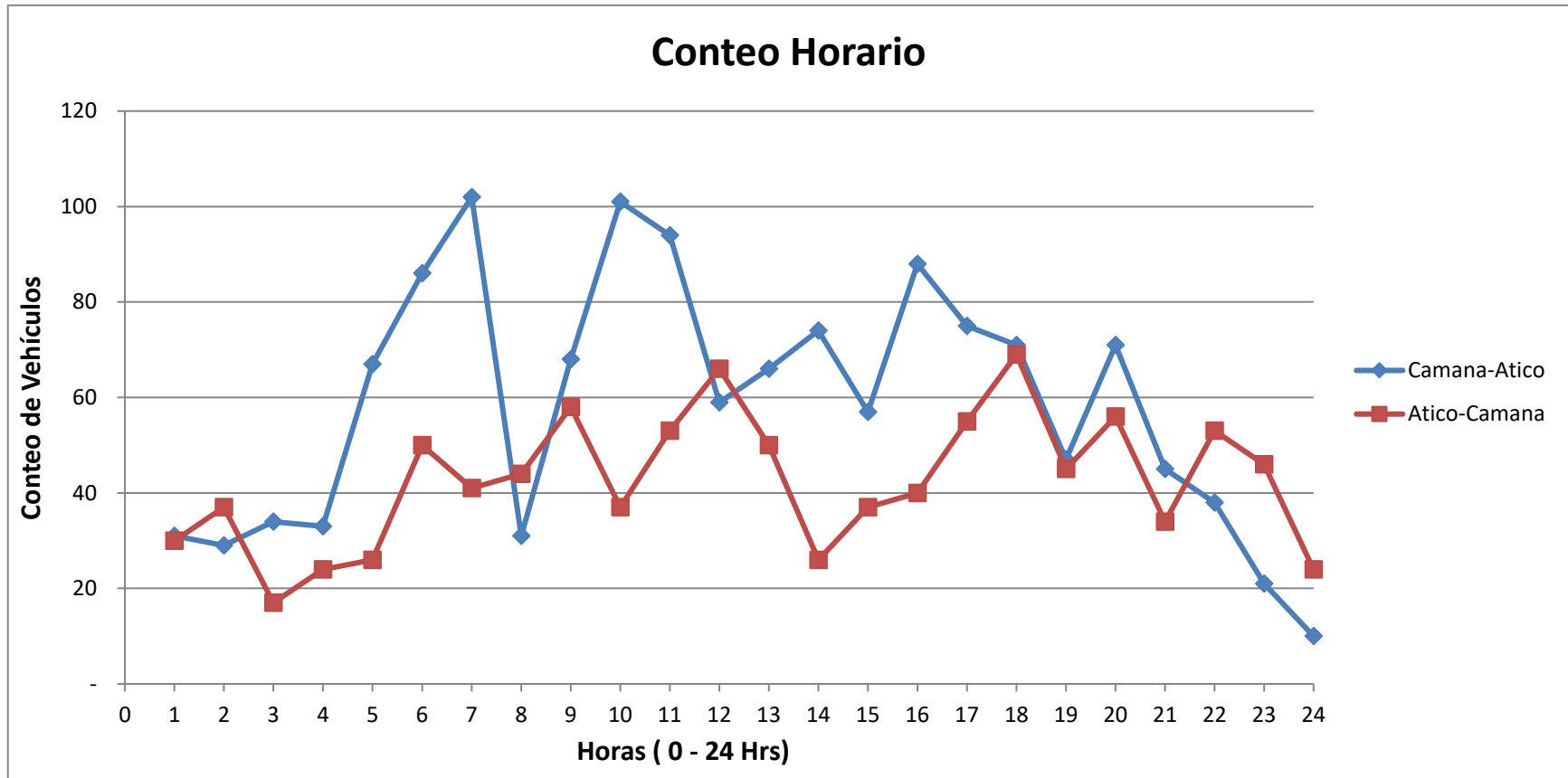


Figura 44. Tráfico Horario del día más cargado

Fuente: Propia

3.5 Composición Vehicular

La composición vehicular se ha determinado de acuerdo a las encuestas y los conteos realizados en las estaciones. A continuación, se presentan los flujogramas del IMDA de las ocho estaciones, agrupados en tres grupos.

Flujograma del IMDA Estaciones E1 – E2

El tramo Camiara – Desvío Moquegua (E1) tiene un flujo vehicular compuesto por un 56% de transporte privado, seguido por un 22% de transporte de pasajeros y, finalmente, un 22% de transporte de carga. De igual manera, se muestra la composición vehicular de la estación Desvío Ilo (E2). Se aprecia que existe mayor tráfico en el sentido Camiara – Desvío Moquegua para ambas estaciones. Por otro lado, los principales tipos de vehículos son los automóviles para transporte privado, seguido por los ómnibus de 3 ejes para el transporte de pasajeros y, finalmente, para el transporte de carga, la mayor incidencia se presenta en los vehículos 3S3. La Figura 45 muestra la composición vehicular mencionada para ambas estaciones.

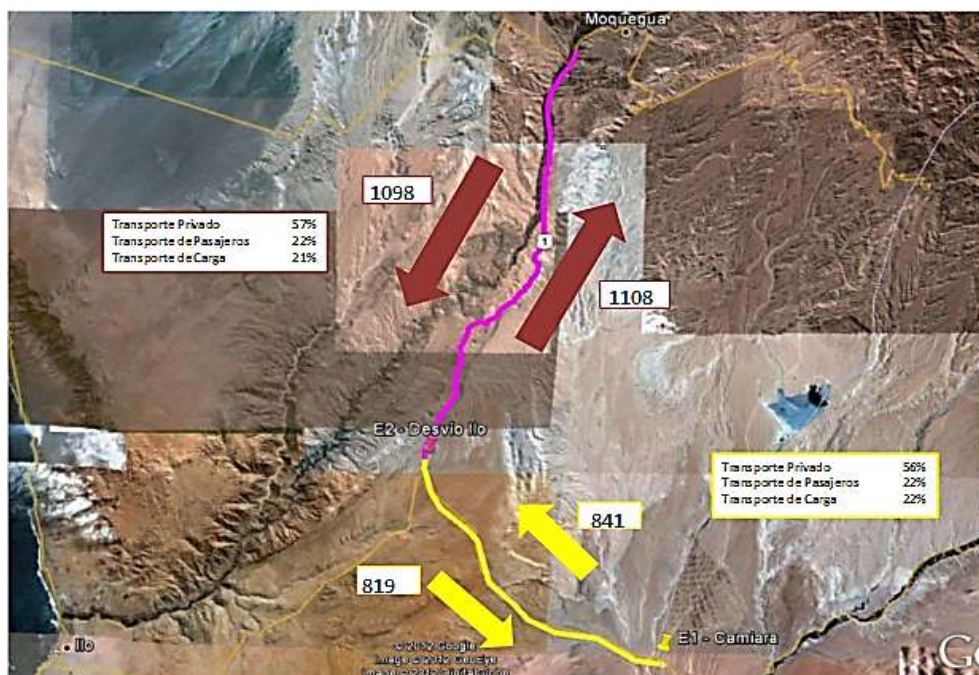


Figura 45. Flujograma E1- E2

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Flujograma del IMDA Estaciones E3 – E4 – E5

Las estaciones de control de Puente Montalvo (E3), El Fiscal (E4) y Desvío Matarani (E5) tienen un crecimiento porcentual del transporte de carga en todos los tramos, como se muestra en la Figura 46. Este crecimiento corresponde a un 37% en la estación E3, y 31% en la E4 y E5. De igual manera, el comportamiento porcentual del transporte privado aumenta desde el Desvío Moquegua hacia el Desvío Matarani de un 39% a un 45%. Finalmente, con respecto al transporte de pasajeros, se tiene un porcentaje de 22% en Puente Montalvo (E3), 30% en El Fiscal (E4) y 25% en Desvío Matarani (E5), los cuales representan el menor porcentaje de todas las estaciones.



Figura 46. Flujograma E3- E4 – E5

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Flujograma del IMDA Estaciones E6 – E7 – E8

El tramo correspondiente a Repartición – La Joya (E6) presenta un IMDA elevado puesto que al encontrarse en una zona urbana la estación presenta un elevado movimiento de vehículos de transporte privado que hacen viajes continuos. Cabe resaltar, que esta composición vehicular del transporte de carga es también

representativo en las estaciones de control Desvío Aplao (E7) y Camaná (E8). Por otro lado, con respecto al transporte de pasajeros, este se reduce para los tres tramos. Finalmente, se debe señalar que los principales tipos de vehículos utilizados para el tramo Repartición – Atico son los automóviles, los ómnibus de 3 ejes, los camiones de 3 ejes, y los semi tráiler 3S3. En la Figura 47 se presentan las estaciones de control de La Joya (E6), Desvío Aplao (E7) y Camaná (E8), con sus respectivas composiciones vehiculares.

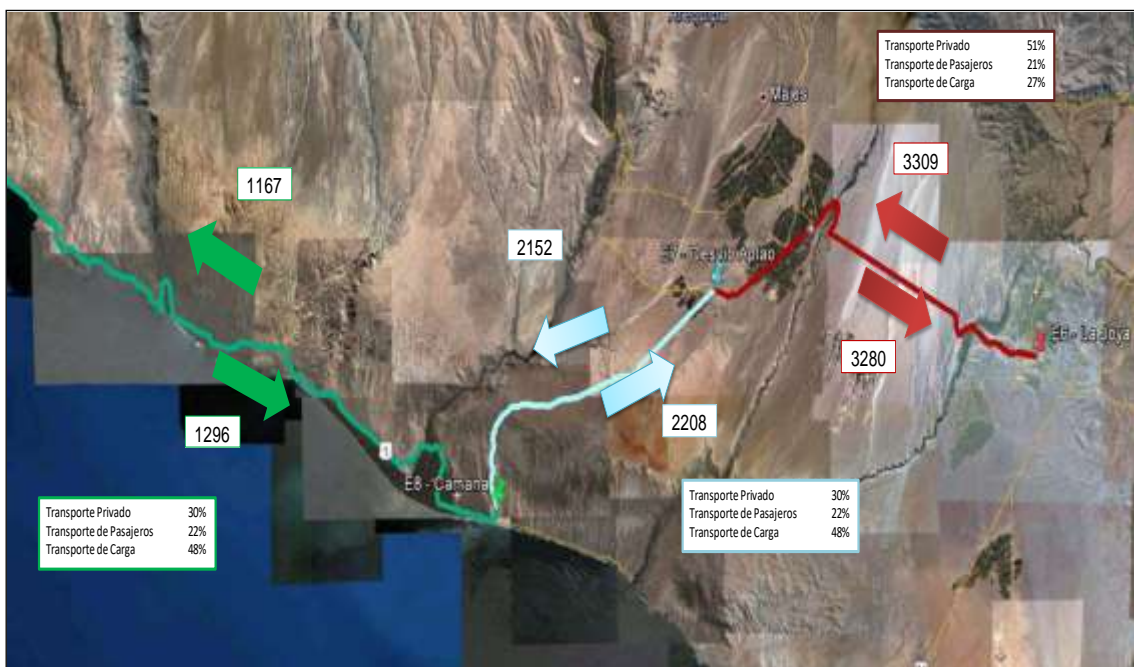


Figura 47. Flujograma E6- E7 – E8

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

3.6 Encuestas de Origen - Destino

Los objetivos de realizar las encuestas origen – destino son cuantificar y clasificar los motivos de viaje de los usuarios. Además, permite conocer la procedencia y destino de viaje de los diferentes tipos de vehículos, identificar los tipos de vehículos y sus características. A continuación, se muestran las encuestas mencionadas según los diversos tipos de vehículos. Las encuestas se muestran entre la tabla 21 y 31.

Estación Montalvo

Tabla 21. OD Ómnibus

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

ORIGEN \ DESTINO	DESTINO						Total general
	AREQUIPA	CAMANA	ILO	LIMA	MOQUEGUA	TACNA	
AREQUIPA	-	-	-	-	-	12	12
CAMANA	1	-	-	-	-	-	1
ILO	-	-	-	-	-	-	-
LIMA	-	-	3	-	1	1	5
MOQUEGUA	3	-	-	-	-	-	3
TACNA	10	-	-	1	-	-	11
Total general	14	-	3	1	1	13	32

Tabla 22. OD Camiones

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

ORIGEN \ DESTINO	DESTINO												Total general
	AREQUIPA	CHILE	CLEMESI	CUAJONE	EL TAMBO	ILO	LIMA	MOLLENDO	MONTALVO	MOQUEGUA	TACNA	TOQUEPALA	
AREQUIPA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	-	7
CHILE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CLEMESI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUAJONE	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
EL TAMBO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
ILO	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
LIMA	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
MOLLENDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
MONTALVO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
MOQUEGUA	5	-	1	-	-	-	-	-	-	10	1	-	17
TACNA	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
TOQUEPALA	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Total general	11	1	1	-	-	-	-	-	-	18	3	-	34

Tabla 23. OD Semi tráiler

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

ORIGEN \ DESTINO	DESTINO											Total general		
	AREQUIPA	BOLIVIA	CUSCO	ICA	ILO	LIMA	LOCUMBA	MATARANI	MOLLENDO	MOQUEGUA	TACNA		TOQUEPALA	TURA
AREQUIPA	-	-	-	-	1	-	-	-	-	6	14	-	-	21
BOLIVIA	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
CUSCO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ICA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2
ILO	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
LIMA	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	7
LOCUMBA	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
MATARANI	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3
MOLLENDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOQUEGUA	3	-	-	-	-	3	-	-	-	-	1	-	-	7
TACNA	5	-	-	-	-	3	-	-	-	-	1	-	-	9
TOQUEPALA	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
YURA	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Total general	10	6	1	1	2	6	-	1	1	6	22	-	-	56

Tabla 24. OD Tráiler

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

ORIGEN \ DESTINO	DESTINO					Total general
	BOLIVIA	DESAGUADERO	EL TAMBO	LIMA	MATARANI	
BOLIVIA	-	-	-	-	1	1
DESAGUADERO	-	-	1	-	-	1
EL TAMBO	-	-	-	-	-	-
LIMA	1	-	-	-	-	1
MATARANI	-	-	-	-	-	-
Total general	1	-	1	-	1	3

Estación Fiscal

Tabla 25. OD Ómnibus

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

ORIGEN \ DESTINO	DESTINO							Total general
	AREQUIPA	ARGENTINA	BOLIVIA	LIMA	MATARANI	MOQUEGUA	TACNA	
AREQUIPA	-	-	-	-	-	4	14	18
ARGENTINA	-	-	-	-	-	-	-	-
BOLIVIA	-	-	-	-	1	-	-	1
LIMA	-	1	-	-	-	-	2	3
MATARANI	-	-	-	-	-	-	-	-
MOQUEGUA	5	-	-	-	-	-	-	5
TACNA	6	-	-	1	-	-	-	7
Total general	11	1	-	1	1	4	16	34

Tabla 26. OD Camiones y acoplados

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

DESTINO ORIGEN	AREQUIPA	AYACUCHO	BOLIVIA	CHILE	CUSCO	ICA	LIMA	MOQUEGUA	PUNO	TACNA	TUMBES	Total general
AREQUIPA	15%	-	-	-	-	3%	19%	-	-	-	2%	39%
AYACUCHO	-	-	-	-	-	-	1%	-	-	-	-	1%
BOLIVIA	-	-	-	-	-	-	4%	-	-	-	-	4%
CHILE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUSCO	-	-	-	-	-	-	2%	-	-	-	-	2%
ICA	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%
LIMA	31%	-	2%	1%	2%	-	-	1%	2%	6%	-	44%
MOQUEGUA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PUNO	-	-	-	-	-	-	4%	-	-	-	-	4%
TACNA	-	-	-	-	-	-	1%	-	-	-	-	1%
TUMBES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total general	51%	0%	2%	1%	2%	3%	31%	1%	2%	6%	2%	100%

Estación Atico

Tabla 27. OD Ómnibus

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

DESTINO ORIGEN	AREQUIPA	AYACUCHO	BOLIVIA	CHILE	CUSCO	ICA	LIMA	MOQUEGUA	PUNO	TACNA	TUMBES	Total general
AREQUIPA	16	-	-	-	-	3	20	-	-	-	2	41
AYACUCHO	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
BOLIVIA	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
CHILE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUSCO	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2
ICA	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
LIMA	32	-	2	1	2	-	-	1	2	6	-	46
MOQUEGUA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PUNO	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
TACNA	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
TUMBES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total general	53	-	2	1	2	3	32	1	2	6	2	104

Tabla 28. OD Camiones y acoplados

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

DESTINO ORIGEN	AREQUIPA	AYACUCHO	BOLIVIA	CHILE	CUSCO	ICA	LIMA	MOQUEGUA	PUNO	TACNA	TUMBES	Total general
AREQUIPA	15%	-	-	-	-	3%	19%	-	-	-	2%	39%
AYACUCHO	-	-	-	-	-	-	1%	-	-	-	-	1%
BOLIVIA	-	-	-	-	-	-	4%	-	-	-	-	4%
CHILE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUSCO	-	-	-	-	-	-	2%	-	-	-	-	2%
ICA	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%
LIMA	31%	-	2%	1%	2%	-	-	1%	2%	6%	-	44%
MOQUEGUA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PUNO	-	-	-	-	-	-	4%	-	-	-	-	4%
TACNA	-	-	-	-	-	-	1%	-	-	-	-	1%
TUMBES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total general	51%	0%	2%	1%	2%	3%	31%	1%	2%	6%	2%	100%

Estación Camaná

Tabla 29. OD Camiones

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

DESTINO ORIGEN	AREQUIPA	CUSCO	ICA	LIMA	Total general
AREQUIPA	50%	-	5%	27%	82%
CUSCO	-	-	-	-	-
ICA	-	-	-	-	-
LIMA	14%	5%	-	-	18%
Total general	64%	5%	5%	27%	100%

Tabla 30. OD Semi tráiler

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

DESTINO ORIGEN	AREQUIPA	AYACUCHO	BOLIVIA	CAJAMARCA	CHILE	CUSCO	ICA	LA LIBERTAD	LIMA	MOQUEGUA	PUNO	TACNA	UCAYALI	Total general
AREQUIPA	8	1	-	1	-	-	6	2	27	-	-	-	-	45
AYACUCHO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOLIVIA	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
CAJAMARCA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CHILE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUSCO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ICA	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	-	13
LA LIBERTAD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LIMA	33	-	2	-	2	3	-	-	-	2	12	5	-	59
MOQUEGUA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PUNO	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2
TACNA	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
UCAYALI	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Total general	50	1	2	1	2	3	6	2	31	2	14	8	-	122

Tabla 31. OD Tráiler

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

DESTINO ORIGEN	AREQUIPA	LIMA	PUNO	TUMBES	Total general
AREQUIPA	-	44%	-	11%	56%
LIMA	11%	-	22%	-	33%
PUNO	-	11%	-	-	11%
TUMBES	-	-	-	-	-
Total general	11%	56%	22%	11%	100%

3.7 Demanda de Transporte

La proyección del tráfico comprenden tres tipos diferentes de tráfico según su naturaleza: tráfico normal, tráfico generado y tráfico desviado. El tránsito normal corresponde a aquel que circula por la vía y cuyo crecimiento es independiente de la realización del proyecto. El tráfico generado es el producto del mejoramiento de una carretera, el cual no existiría de no mejorarse la vía, pues es efecto directo de la ejecución de un proyecto. Y finalmente, el tránsito desviado es aquel que utiliza otras rutas pero que, manteniendo su origen y destino, será atraído por la vía mejorada, por un criterio de reducción de costos.

Si bien es cierto existen varias metodologías para proyectar el tránsito de vehículos, la falta de información disponible limita su aplicación. Por lo que, para el caso se emplea la siguiente fórmula:

$$T_{Tn} = T_0(1 + R_T)^n \quad \text{[Ecuación 18]}$$

Donde:

T_{Tn} : Tráfico en el tramo T, en el año n.

T_0 : Tráfico en el tramo T, en el año base.

R_T : Tasa de generación de viajes.

n : Tiempo en años.

3.7.1 Proyección del Tráfico Normal

Para proyectar el tráfico futuro es necesario determinar previamente la tasa de crecimiento del tráfico normal. Dicha tasa de crecimiento, por lo general, se correlaciona con las tasas de crecimiento de las principales actividades económicas de la zona del proyecto y el crecimiento poblacional (variables explicativas del tráfico).

Al no existir una serie histórica de tráfico, la estimación del crecimiento futuro se realiza en base a los indicadores macro económicos Valor Agregado Bruto (VAB), el

VAB per cápita y la población de los departamentos que intervienen en la generación de viajes de la avenida.

Las tasas de crecimiento anual del volumen de tráfico se han calculado utilizando las expresiones que se muestran a continuación.

Para vehículos ligeros y ómnibus:

$$r_{vp} = (1 + r_{VAB} \times E_{vp})(1 + r_h) - 1 \quad \text{[Ecuación 19]}$$

Donde:

r_{vp} : Tasa de Crecimiento Anual de Tráfico de Vehículos de Pasajeros

r_{VAB} : Tasa de Crecimiento Anual del VAB Per Cápita

r_h : Tasa de Crecimiento Anual de la Población

E_{vp} : Elasticidad de la Demanda de Tráfico de Vehículos de Pasajeros con relación al VAB Per Cápita

Para vehículos de carga:

$$r_{vp} = r_{VAB} \times E_{Vc} \quad \text{[Ecuación 20]}$$

Donde:

r_{vp} : Tasa de Crecimiento Anual de Tráfico de Vehículos de Carga

r_{VAB} : Tasa de Crecimiento Anual del VAB

E_{Vc} : Elasticidad de la demanda de Tráfico de Vehículos de Carga.

A continuación, se describen como hallar la tasa de crecimiento de valor agregado, población, Valor Agregado Bruto Per Cápita, elasticidad y tasa de generación de viajes.

Tasa de Crecimiento del Valor Agregado

El Instituto Nacional de Estadísticas e Informáticas (INEI) calculó Valores Agregados Brutos (VAB) en soles constantes de 1994 para un periodo comprendido entre el año 2001 al 2011. En la tabla 32 se muestra el VAB de los departamentos influyentes de la carretera en estudio.

Tabla 32. VAB departamental 1994

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática 2011)

AÑOS	AREQUIPA	AYACUCHO	CUSCO	HUANCVELICA	HUANUCO	ICA	JUNIN	LIMA	MOQUEGUA	PUNO	TACNA	TUMBES
2001	5,925,803	1,034,536	2,601,352	1,186,443	1,268,731	2,704,603	3,926,630	56,250,024	1,605,836	2,607,004	1,650,411	517,591
2002	6,426,819	1,096,438	2,495,739	1,167,209	1,295,158	2,881,768	4,043,976	58,409,932	1,871,831	2,800,570	1,718,371	538,915
2003	6,652,795	1,154,810	2,650,262	1,200,522	1,416,082	2,980,564	4,129,039	60,541,005	2,006,978	2,830,070	1,826,170	563,199
2004	7,015,310	1,146,302	3,123,972	1,217,730	1,456,180	3,243,770	4,386,278	63,640,092	2,157,370	2,907,341	1,936,943	602,995
2005	7,495,342	1,250,596	3,399,360	1,304,894	1,489,770	3,674,862	4,395,032	68,042,728	2,252,234	3,059,759	2,012,649	688,786
2006	7,952,657	1,367,277	3,801,775	1,385,070	1,525,127	3,983,793	4,873,585	74,159,330	2,263,407	3,213,931	2,094,199	665,285
2007	9,193,252	1,535,601	4,166,288	1,345,979	1,561,718	4,352,162	5,186,921	82,029,344	2,256,846	3,448,855	2,223,776	722,302
2008	9,995,135	1,676,957	4,466,897	1,383,979	1,664,728	5,308,770	5,618,786	90,968,508	2,380,361	3,630,828	2,319,570	770,598
2009	10,043,016	1,854,380	4,690,523	1,449,855	1,673,856	5,483,550	5,463,338	91,395,366	2,365,591	3,770,438	2,256,248	790,863
2010	10,825,182	1,973,331	5,367,912	1,490,688	1,797,178	5,971,276	5,879,123	100,366,092	2,491,220	4,058,301	2,509,070	880,841
2011	11,353,039	2,021,586	6,078,474	1,570,493	1,914,020	6,304,029	6,297,666	108,606,055	2,402,911	4,272,319	2,612,609	941,510

Las tasas de crecimiento del VAB calculadas por región se muestran en la tabla 33. Este factor es importante para determinar los factores de crecimiento de vehículos ligeros y de carga.

Tabla 33. Tasa de Crecimiento por Región

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

REGIÓN	TASA DE CRECIMIENTO
Arequipa	4.10%
Ayacucho	3.60%
Cusco	3.80%
Huancavelica	3.90%
Huánuco	3.50%
Ica	3.50%
Junín	3.50%
Lima	3.50%
Moquegua	3.80%
Puno	3.50%
Tacna	3.60%
Tumbes	3.40%

Población

Se calculó la población basándose en las proyecciones del INEI, para los años 2000, 2005, 2010 y 2015. La población de los años intermedios se obtuvo con una interpolación. La tabla 34 y 35 muestran las poblaciones obtenidas de las proyecciones del INEI y sus tasas de crecimiento, respectivamente.

Tabla 34. Proyección de Población

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática 2011)

Departamentos	AÑOS			
	2000	2005	2010	2015
Arequipa	1084725	1155267	1218168	1287205
Ayacucho	571739	611542	650718	688657
Cusco	1173757	1228055	1274742	1316729
Huancavelica	435491	455562	475693	494963
Huánuco	747309	788380	826932	860537
Ica	657255	704822	747338	787170
Junín	1198307	1253996	1301844	1350783
Lima	7767873	8474342	9113684	9838251
Moquegua	152129	162237	171155	180477
Puno	1223955	1293843	1352523	1415608
Tacna	269033	296767	320021	341838
Tumbes	184866	203452	221498	237685

Tabla 35. Tasa de Crecimiento Geométrico Anual

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática 2011)

Departamentos	AÑOS			
	2000	2005	2010	2015
Arequipa	1.80%	1.70%	1.50%	1.30%
Ayacucho	0.10%	0.30%	0.40%	0.40%
Cusco	1.20%	1.20%	1.10%	1.00%
Huancavelica	0.90%	1.00%	0.90%	0.90%
Huánuco	2.00%	1.80%	1.70%	1.60%
Ica	1.70%	1.50%	1.30%	1.20%
Junín	2.70%	2.20%	1.60%	1.20%
Lima	1.90%	1.70%	1.50%	1.30%
Moquegua	1.70%	1.60%	1.40%	1.30%
Puno	1.20%	1.20%	1.10%	1.00%
Tacna	3.00%	2.70%	2.40%	2.10%
Tumbes	2.80%	2.60%	2.30%	2.00%

Valor Agregado Bruto Per Cápita

El VAB Per Cápita es un indicador económico que se determinó dividiendo el VAB entre la población de cada región que es afectada en el tráfico. Estos valores se muestran entre las tabla 36 y 47.

Tabla 36. Indicadores Económicos Arequipa

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

AREQUIPA							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	10,825,182	1,218,168					
2011	11,353,039	1,236,441	9.182				
2012	11,818,514	1,254,987	9.417				
2013	12,303,073	1,273,812	9.658				
2014	12,807,499	1,292,919	9.906	2010 - 2014	1.041	1.015	1.02561576
2015	13,332,606	1,287,205	10.358				
2016	13,879,243	1,303,939	10.644				
2017	14,448,292	1,320,890	10.938				
2018	15,040,672	1,338,061	11.241				
2019	15,657,339	1,355,456	11.551				
2020	16,299,290	1,373,077	11.871				
2021	16,967,561	1,390,927	12.199				
2022	17,663,231	1,409,009	12.536				
2023	18,387,424	1,427,326	12.882	2015 - 2023	1.041	1.013	1.02764067
2024	19,141,308	1,445,882	13.239				
2025	19,926,102	1,464,678	13.604				
2026	20,743,072	1,483,719	13.98				
2027	21,593,538	1,503,007	14.367				
2028	22,478,873	1,522,546	14.764				
2029	23,400,507	1,542,339	15.172				
2030	24,359,927	1,562,390	15.591				
2031	25,358,684	1,582,701	16.022				
2032	26,398,391	1,603,276	16.465				
2033	27,480,725	1,624,119	16.92	2024 - 2033	1.041	1.013	1.02764067

Tabla 37. Indicadores Económicos Ayacucho

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

AYACUCHO							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	1,973,331	650,718					
2011	2,021,586	653,321	3.094				
2012	2,094,363	655,934	3.193				
2013	2,169,760	658,558	3.295				
2014	2,247,872	661,192	3.4	2010 - 2014	1.036	1.004	1.03187251
2015	2,328,795	688,657	3.382				
2016	2,412,632	691,412	3.489				
2017	2,499,486	694,177	3.601				
2018	2,589,468	696,954	3.715				
2019	2,682,689	699,742	3.834				
2020	2,779,265	702,541	3.956				
2021	2,879,319	705,351	4.082				
2022	2,982,974	708,172	4.212				
2023	3,090,362	711,005	4.346	2015 - 2023	1.036	1.004	1.03187251
2024	3,201,615	713,849	4.485				
2025	3,316,873	716,704	4.628				
2026	3,436,280	719,571	4.775				
2027	3,559,986	722,450	4.928				
2028	3,688,146	725,339	5.085				
2029	3,820,919	728,241	5.247				
2030	3,958,472	731,154	5.414				
2031	4,100,977	734,078	5.587				
2032	4,248,612	737,015	5.765				
2033	4,401,562	739,963	5.948	2024 - 2033	1.036	1.004	1.03187251

Tabla 38. Indicadores Económicos Cusco

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

CUSCO							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	5,367,912	1,274,742					
2011	6,078,474	1,288,764	4.717				
2012	6,309,456	1,302,941	4.842				
2013	6,549,215	1,317,273	4.972				
2014	6,798,086	1,331,763	5.105	2010 - 2014	1.038	1.011	1.02670623
2015	7,056,413	1,316,729	5.359				
2016	7,324,556	1,329,896	5.508				
2017	7,602,890	1,343,195	5.66				
2018	7,891,799	1,356,627	5.817				
2019	8,191,688	1,370,193	5.978				
2020	8,502,972	1,383,895	6.144				
2021	8,826,085	1,397,734	6.315				
2022	9,161,476	1,411,712	6.49				
2023	9,509,612	1,425,829	6.67	2015 - 2023	1.038	1.01	1.02772277
2024	9,870,977	1,440,087	6.854				
2025	10,246,075	1,454,488	7.044				
2026	10,635,425	1,469,033	7.24				
2027	11,039,572	1,483,723	7.44				
2028	11,459,075	1,498,560	7.647				
2029	11,894,520	1,513,546	7.859				
2030	12,346,512	1,528,681	8.077				
2031	12,815,679	1,543,968	8.3				
2032	13,302,675	1,559,408	8.531				
2033	13,808,177	1,575,002	8.767	2024 - 2033	1.038	1.01	1.02772277

Tabla 39. Indicadores Económicos Huancavelica

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

HUANCAVELICA							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	1,490,688	475,693					
2011	1,570,493	479,974	3.272				
2012	1,631,742	484,294	3.369				
2013	1,695,380	488,653	3.469				
2014	1,761,500	493,051	3.573	2010 - 2014	1.039	1.009	1.02973241
2015	1,830,199	494,963	3.698				
2016	1,901,576	499,418	3.808				
2017	1,975,738	503,912	3.921				
2018	2,052,791	508,448	4.037				
2019	2,132,850	513,024	4.157				
2020	2,216,032	517,641	4.281				
2021	2,302,457	522,300	4.408				
2022	2,392,253	527,000	4.539				
2023	2,485,550	531,743	4.674	2015 - 2023	1.039	1.009	1.02973241
2024	2,582,487	536,529	4.813				
2025	2,683,204	541,358	4.956				
2026	2,787,849	546,230	5.104				
2027	2,896,575	551,146	5.256				
2028	3,009,541	556,106	5.412				
2029	3,126,913	561,111	5.573				
2030	3,248,863	566,161	5.738				
2031	3,375,569	571,257	5.909				
2032	3,507,216	576,398	6.085				
2033	3,643,997	581,586	6.266	2024 - 2033	1.039	1.009	1.02973241

Tabla 40. Indicadores Económicos Huánuco

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

HUANUCO							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	1,797,178	826,932					
2011	1,914,020	840,990	2.276				
2012	1,981,011	855,287	2.316				
2013	2,050,346	869,827	2.357				
2014	2,122,108	884,614	2.399	2010 - 2014	1.035	1.017	1.01769912
2015	2,196,382	860,537	2.552				
2016	2,273,255	874,306	2.6				
2017	2,352,819	888,294	2.649				
2018	2,435,168	902,507	2.698				
2019	2,520,399	916,947	2.749				
2020	2,608,613	931,618	2.8				
2021	2,699,914	946,524	2.852				
2022	2,794,411	961,669	2.906				
2023	2,892,216	977,055	2.96	2015 - 2023	1.035	1.016	1.01870079
2024	2,993,443	992,688	3.015				
2025	3,098,214	1,008,571	3.072				
2026	3,206,651	1,024,708	3.129				
2027	3,318,884	1,041,104	3.188				
2028	3,435,045	1,057,761	3.247				
2029	3,555,271	1,074,686	3.308				
2030	3,679,706	1,091,881	3.37				
2031	3,808,496	1,109,351	3.433				
2032	3,941,793	1,127,100	3.497				
2033	4,079,756	1,145,134	3.563	2024 - 2033	1.035	1.016	1.01870079

Tabla 41. Indicadores Económicos Ica

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

ICA							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	5,971,276	747,338					
2011	6,304,029	757,053	8.327				
2012	6,524,670	766,895	8.508				
2013	6,753,033	776,865	8.693				
2014	6,989,390	786,964	8.881	2010 - 2014	1.035	1.013	1.02171767
2015	7,234,018	787,170	9.19				
2016	7,487,209	796,616	9.399				
2017	7,749,261	806,175	9.612				
2018	8,020,485	815,850	9.831				
2019	8,301,202	825,640	10.054				
2020	8,591,744	835,547	10.283				
2021	8,892,455	845,574	10.516				
2022	9,203,691	855,721	10.755				
2023	9,525,821	865,990	11	2015 - 2023	1.035	1.012	1.02272727
2024	9,859,224	876,381	11.25				
2025	10,204,297	886,898	11.506				
2026	10,561,448	897,541	11.767				
2027	10,931,098	908,311	12.035				
2028	11,313,687	919,211	12.308				
2029	11,709,666	930,241	12.588				
2030	12,119,504	941,404	12.874				
2031	12,543,687	952,701	13.166				
2032	12,982,716	964,134	13.466				
2033	13,437,111	975,703	13.772	2024 - 2033	1.035	1.012	1.02272727

Tabla 42. Indicadores Económicos Junín

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

JUNIN							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	5,879,123	1,301,844					
2011	6,297,666	1,322,674	4.761				
2012	6,518,084	1,343,836	4.85				
2013	6,746,217	1,365,338	4.941				
2014	6,982,335	1,387,183	5.033	2010 - 2014	1.035	1.016	1.01870079
2015	7,226,717	1,350,783	5.35				
2016	7,479,652	1,366,992	5.472				
2017	7,741,439	1,383,396	5.596				
2018	8,012,390	1,399,997	5.723				
2019	8,292,824	1,416,797	5.853				
2020	8,583,072	1,433,799	5.986				
2021	8,883,480	1,451,004	6.122				
2022	9,194,402	1,468,416	6.261				
2023	9,516,206	1,486,037	6.404	2015 - 2023	1.035	1.012	1.02272727
2024	9,849,273	1,503,870	6.549				
2025	10,193,997	1,521,916	6.698				
2026	10,550,787	1,540,179	6.85				
2027	10,920,065	1,558,661	7.006				
2028	11,302,267	1,577,365	7.165				
2029	11,697,847	1,596,294	7.328				
2030	12,107,271	1,615,449	7.495				
2031	12,531,026	1,634,834	7.665				
2032	12,969,612	1,654,452	7.839				
2033	13,423,548	1,674,306	8.017	2024 - 2033	1.035	1.012	1.02272727

Tabla 43. Indicadores Económicos Lima

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

LIMA							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	100,366,092	9,113,684					
2011	108,606,055	9,250,389	11.741				
2012	112,407,267	9,389,145	11.972				
2013	116,341,521	9,529,982	12.208				
2014	120,413,475	9,672,932	12.448	2010 - 2014	1.035	1.015	1.01970443
2015	124,627,946	9,838,251	12.668				
2016	128,989,924	9,966,148	12.943				
2017	133,504,572	10,095,708	13.224				
2018	138,177,232	10,226,952	13.511				
2019	143,013,435	10,359,903	13.805				
2020	148,018,905	10,494,582	14.104				
2021	153,199,567	10,631,011	14.411				
2022	158,561,551	10,769,214	14.724				
2023	164,111,206	10,909,214	15.043	2015 - 2023	1.035	1.013	1.02171767
2024	169,855,098	11,051,034	15.37				
2025	175,800,026	11,194,697	15.704				
2026	181,953,027	11,340,228	16.045				
2027	188,321,383	11,487,651	16.393				
2028	194,912,632	11,636,991	16.749				
2029	201,734,574	11,788,272	17.113				
2030	208,795,284	11,941,519	17.485				
2031	216,103,119	12,096,759	17.865				
2032	223,666,728	12,254,017	18.253				
2033	231,495,063	12,413,319	18.649	2024 - 2033	1.035	1.013	1.02171767

Tabla 44. Indicadores Económicos Moquegua

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

MOQUEGUA							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	2,491,220	171,155					
2011	2,402,911	173,551	13.846				
2012	2,494,222	175,981	14.173				
2013	2,589,002	178,445	14.509				
2014	2,687,384	180,943	14.852	2010 - 2014	1.038	1.014	1.02366864
2015	2,789,505	180,477	15.456				
2016	2,895,506	182,823	15.838				
2017	3,005,535	185,200	16.229				
2018	3,119,745	187,608	16.629				
2019	3,238,296	190,046	17.04				
2020	3,361,351	192,517	17.46				
2021	3,489,082	195,020	17.891				
2022	3,621,667	197,555	18.332				
2023	3,759,291	200,123	18.785	2015 - 2023	1.038	1.013	1.02467917
2024	3,902,144	202,725	19.248				
2025	4,050,425	205,360	19.724				
2026	4,204,342	208,030	20.21				
2027	4,364,107	210,734	20.709				
2028	4,529,943	213,474	21.22				
2029	4,702,080	216,249	21.744				
2030	4,880,759	219,060	22.28				
2031	5,066,228	221,908	22.83				
2032	5,258,745	224,793	23.394				
2033	5,458,577	227,715	23.971	2024 - 2033	1.038	1.013	1.02467917

Tabla 45. Indicadores Económicos Puno

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

PUNO							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	4,058,301	1,352,523					
2011	4,272,319	1,357,933	3.146				
2012	4,421,850	1,372,870	3.221				
2013	4,576,615	1,387,972	3.297				
2014	4,736,796	1,403,240	3.376	2010 - 2014	1.035	1.011	1.02373887
2015	4,902,584	1,415,608	3.463				
2016	5,074,175	1,429,764	3.549				
2017	5,251,771	1,444,062	3.637				
2018	5,435,583	1,458,502	3.727				
2019	5,625,828	1,473,087	3.819				
2020	5,822,732	1,487,818	3.914				
2021	6,026,528	1,502,696	4.01				
2022	6,237,456	1,517,723	4.11				
2023	6,455,767	1,532,901	4.211	2015 - 2023	1.035	1.01	1.02475248
2024	6,681,719	1,548,230	4.316				
2025	6,915,579	1,563,712	4.423				
2026	7,157,625	1,579,349	4.532				
2027	7,408,142	1,595,143	4.644				
2028	7,667,426	1,611,094	4.759				
2029	7,935,786	1,627,205	4.877				
2030	8,213,539	1,643,477	4.998				
2031	8,501,013	1,659,912	5.121				
2032	8,798,548	1,676,511	5.248				
2033	9,106,497	1,693,276	5.378	2024 - 2033	1.035	1.01	1.02475248

Tabla 46. Indicadores Económicos Tacna

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

TACNA							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	2,509,070	320,021					
2011	2,612,609	327,702	7.973				
2012	2,706,663	335,566	8.066				
2013	2,804,103	343,620	8.16				
2014	2,905,050	351,867	8.256	2010 - 2014	1.036	1.024	1.01171875
2015	3,009,632	341,838	8.804				
2016	3,117,979	349,017	8.934				
2017	3,230,226	356,346	9.065				
2018	3,346,514	363,829	9.198				
2019	3,466,989	371,470	9.333				
2020	3,591,801	379,270	9.47				
2021	3,721,105	387,235	9.609				
2022	3,855,065	395,367	9.751				
2023	3,993,848	403,670	9.894	2015 - 2023	1.036	1.021	1.01469148
2024	4,137,626	412,147	10.039				
2025	4,286,581	420,802	10.187				
2026	4,440,898	429,639	10.336				
2027	4,600,770	438,661	10.488				
2028	4,766,398	447,873	10.642				
2029	4,937,988	457,278	10.799				
2030	5,115,755	466,881	10.957				
2031	5,299,923	476,686	11.118				
2032	5,490,720	486,696	11.282				
2033	5,688,386	496,917	11.447	2024 - 2033	1.036	1.021	1.01469148

Tabla 47. Indicadores Económicos Tumbes

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

TUMBES							
AÑO	VAB	POB	VAB pc	TASA DE CRECIMIENTO			
				Periodo	VAB	POB	VAB pc
2010	880,841	221,498					
2011	941,510	226,592	4.155				
2012	973,521	231,804	4.2				
2013	1,006,621	237,136	4.245				
2014	1,040,846	242,590	4.291	2010 - 2014	1.034	1.023	1.01075269
2015	1,076,235	237,685	4.528				
2016	1,112,827	242,439	4.59				
2017	1,150,663	247,287	4.653				
2018	1,189,786	252,233	4.717				
2019	1,230,238	257,278	4.782				
2020	1,272,066	262,423	4.847				
2021	1,315,317	267,672	4.914				
2022	1,360,037	273,025	4.981				
2023	1,406,279	278,486	5.05	2015 - 2023	1.034	1.02	1.01372549
2024	1,454,092	284,056	5.119				
2025	1,503,531	289,737	5.189				
2026	1,554,651	295,531	5.261				
2027	1,607,510	301,442	5.333				
2028	1,662,165	307,471	5.406				
2029	1,718,678	313,620	5.48				
2030	1,777,114	319,893	5.555				
2031	1,837,535	326,291	5.632				
2032	1,900,012	332,816	5.709				
2033	1,964,612	339,473	5.787	2024 - 2033	1.034	1.02	1.01372549

Elasticidad

La elasticidad es un concepto económico que sirve para cuantificar la variación de una variable al cambiar a otra. Este parámetro se calcula relacionando las estadísticas de los vehículos inscritos en el departamento de Lima con el valor del PBI total. El valor de la elasticidad se consideró igual a 1, ya que se acerca más a la realidad; se debe precisar que hasta la fecha no existe una estadística confiable del parque automotor. Esto se debe a que no hay un registro de bajas de los vehículos siniestrados; por tanto, no se puede partir de un numerador errado por que los resultados serían falsos.

Tabla 48. Elasticidad según el tipo de vehículos

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Tipo de Vehículos	Elasticidad
Autos	1
Camioneta	1
Micros	1
Buses	1
Camiones	1
C. Rural	1

Tasa de Generación de viajes

De las matrices origen-destino de pasajeros y carga se ha determinado la distribución de viajes por región y tipo de vehículos. Esta distribución sirve para hallar la influencia de cada región en el tráfico de la carretera, la cual se puede observar en las tablas 49, 50 y 51.

Tabla 49. Distribución de viaje Montalvo

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Departamento	Livianos	Ómnibus	Pesados
AREQUIPA	34.26%	42.19%	32.32%
CUSCO			0.61%
HUANCAVELICA	2.03%		
HUANUCO	0.25%		
ICA	0.51%		1.22%
JUNIN	0.76%		1.22%
LIMA	2.28%	9.38%	5.49%
MOQUEGUA	44.42%	10.94%	34.15%
PUNO			0.61%
TACNA	15.48%	37.50%	24.39%
TOTAL	100.00%	100.00%	100.00%

Tabla 50. Distribución de viaje Fiscal

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Departamento	Livianos	Ómnibus	Pesados
AREQUIPA	46.19%	45.31%	38.10%
CUSCO	0.42%		1.19%
ICA	0.42%		2.38%
JUNIN			1.19%
LIMA	3.39%	4.69%	7.14%
MOQUEGUA	30.93%	14.06%	20.24%
PUNO	0.42%		
TACNA	18.22%	35.94%	29.76%
TOTAL	100.00%	100.00%	100.00%

Tabla 51. Distribución de viaje Atico

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Departamento	Livianos	Ómnibus	Pesados
AREQUIPA	67.21%	62.50%	48.45%
AYACUCHO			0.52%
CUZCO			2.06%
ICA	6.56%	12.50%	4.12%
JUNIN	0.82%		
LIMA	18.03%	25.00%	36.60%
MOQUEGUA	0.82%		0.52%
PUNO	1.64%		3.09%
TACNA	4.92%		3.61%
TUMBES			1.03%
TOTAL	100.00%	100.00%	100.00%

Los parámetros requeridos para obtener las tasas de crecimiento de vehículos ligeros y pesados son distribución de viajes, tasas de crecimiento poblacional, VAB y VAB Per Cápita. Asimismo, las tasas de crecimiento distribuidas en auto, ómnibus y camión se muestran en las tablas 52, 53 y 54 para las estaciones Montalvo, El Fiscal y Atico, respectivamente.

Tabla 52. Tasa de Crecimiento Montalvo

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Departamento	Auto	Ómnibus	Camiones
AREQUIPA	3.10%	3.10%	4.10%
CUSCO	0.028	0.028	3.80%
HUANCAVELICA	2.90%	0.029	0.039
HUANUCO	2.50%	0.025	0.035
ICA	2.50%	0.025	3.50%
JUNIN	2.50%	0.025	3.50%
LIMA	2.50%	2.50%	3.50%
MOQUEGUA	2.80%	2.80%	3.80%
PUNO	0.025	0.025	3.50%
TACNA	2.60%	2.60%	3.60%
TOTAL	2.86%	2.82%	3.82%

Tabla 53. Tasa de Crecimiento EI Fiscal

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Departamento	Auto	Ómnibus	Camiones
AREQUIPA	3.10%	3.10%	4.10%
CUSCO	0.028	0.028	3.80%
ICA	2.50%	0.025	0.035
JUNIN	2.50%	0.025	0.035
LIMA	2.50%	0.025	3.50%
MOQUEGUA	2.80%	0.028	3.80%
PUNO	2.50%	2.50%	3.50%
TACNA	2.60%	2.60%	3.60%
TOTAL	2.89%	2.85%	3.82%

Tabla 54. Tasa de Crecimiento Atico

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

Departamento	Auto	Ómnibus	Camiones
AREQUIPA	3.10%	3.10%	4.10%
AYACUCHO	0.026	0.026	3.60%
CUZCO	2.80%	0.028	0.038
ICA	2.50%	0.025	0.035
JUNIN	2.50%	0.025	3.50%
LIMA	2.50%	0.025	3.50%
MOQUEGUA	2.80%	2.80%	3.80%
PUNO	2.50%	2.50%	3.50%
TACNA	0.026	0.026	3.60%
TUMBES	2.40%	2.40%	3.40%
TOTAL	2.91%	2.88%	3.80%

3.7.2 Proyección del Tráfico Total

El tráfico proyectado total es el resultado de sumar los tráficos normal, generado y desviado, los cuales deben ser previamente proyectados. El tráfico generado es originado por la reducción importante de costos de transporte debido al proyecto o por la aparición de nuevas actividades. Sin embargo, al ser la Panamericana Sur una ruta Longitudinal y de importancia nacional, la aparición de tráfico generado se descarta por formar parte en la actualidad del tráfico normal.

El tráfico desviado es aquel que utiliza otras rutas pero debido a que mantiene su origen y destino, será atraído por la vía mejorada por un criterio de reducción de costos. Para la presente tesis, también, se descarta el tráfico desviado.

Las tasas de crecimiento de la estación Montalvo influyen sobre las estaciones E1, E2, E3; mientras que las de El Fiscal influyeron sobre las estaciones E4, E5 y E6. Asimismo, las estaciones E7 y E8 fueron relacionadas con la estación Atico. En la tabla 55 se presentan las proyecciones de las 8 estaciones de control año por año.

Tabla 55. Proyecciones de IMDA

Fuente: Propia

ESTACIÓN	Nombre	2013	2014	2015
E1	Cambara	1660	1708	1762
E2	DV. Ilo	2206	2271	2341
E3	Puente Montalvo	1269	1309	1348
E4	El Fiscal	1698	1751	1807
E5	Dv Matarani	2379	2455	2538
E6	La Joya	6590	6799	7011
E7	Dv Aplao	4360	4504	4657
E8	Camana	2461	2543	2627

CAPÍTULO 4. EFECTO DE SOBRECARGAS

4.1 Pesajes

Se tiene dos estaciones de control de pesajes: Puente Montalvo y Camaná, en los cuales se tomó los pesos por eje (estos datos se encuentran en el Anexo 2). Por otro lado, el proceso de pesaje se realizó en los días 4 y 5 del mes de octubre de 2013. La tabla 56 muestra los detalles del proceso de pesaje realizado por la empresa MTV Ingenieros.

Tabla 56. Pesajes por Estación

Fuente: (MTV Peru Ingenieros 2013)

ESTACIONES DE CONTEO					
CÓDIGO	Estacion de Pesaje	Muestras	NOMBRE DE LA ESTACION	TRAMO	
ESTACIÓN				INICIO	FIN
E01	Puente Montalvo	140	Camalara	Camalara	DV. Ilo
E02			Desvío Ilo	DV. Ilo	Dv. Moquegua
E03			Puente Montalvo	Dv. Moquegua	Fiscal
E04			El Fiscal	Fiscal	Dv Matarani
E05	Camana	176	Desvío Matarani	Dv Matarani	Repartición
E06			La Joya	Reparticion	Joya
E07			Desvío Aplao	Joya	Camana
E08			Camaná	Camana	Atico

Para los 8 tramos homogéneos de la carretera se tienen dos estaciones de pesaje los cuales son Montalvo y Camaná, de estos se obtuvieron los factores equivalentes de carga por cada eje y el factor camión correspondiente de cada vehículo. Por otra parte, con la información de IMDA de cada uno de los 8 tramos se pudo obtener los Ejes Equivalentes (EE).

Entre la tabla 57 y 64 se observan las frecuencias de carga, las cuales se determinaron a partir de la información de pesaje. Dichas frecuencia se realizaron para los ejes simples sencillos, simples duales, ejes tándem duales y ejes tridem duales. El rango para estos datos es de 1000 Kg por frecuencia.

Camaná

Tabla 57. Frecuencia Eje Simple Sencillo

Fuente: Propia

Rango (kg)	Cantidad	Porcentaje
0 a 1000	0	0%
1000 a 1500	4	4%
1500 a 2000	6	6%
2000 a 2500	6	6%
2500 a 3000	3	3%
3000 a 3500	2	2%
3500 a 4000	8	8%
4000 a 4500	6	6%
4500 a 5000	14	15%
5000 a 5500	14	15%
5500 a 6000	7	7%
6000 a 6500	9	9%
6500 a 7000	7	7%
7000 a 7500	2	2%
7500 a 8000	3	3%
8000 a 8500	0	0%
8500 a 9000	3	3%
9000 a 9500	1	1%
9500 a 10000	0	0%
Total	95	100%

Tabla 58. Frecuencia Eje Simple Dual

Fuente: Propia

Rango (kg)	Cantidad	Porcentaje
0 - 1000	0	0%
1000 - 2000	4	11%
2000 - 3000	8	22%
3000 - 4000	5	14%
4000 - 5000	3	8%
5000 - 6000	3	8%
6000 - 7000	4	11%
7000 - 8000	1	3%
8000 - 9000	3	8%
9000 - 10000	1	3%
10000 - 11000	0	0%
11000 - 12000	1	3%
12000 - 13000	2	5%
13000 - 14000	2	5%
Total	37	100%

Tabla 59. Frecuencia Eje Tándem Dual

Fuente: Propia

Rango (kg)	Cantidad	Porcentaje
0 - 2000	0	0%
2000 - 3000	1	1%
3000 - 4000	9	8%
4000 - 5000	15	14%
5000 - 6000	11	10%
6000 - 7000	8	7%
7000 - 8000	8	7%
8000 - 9000	3	3%
9000 - 10000	3	3%
10000 - 11000	2	2%
11000 - 12000	2	2%
12000 - 13000	3	3%
13000 - 14000	2	2%
14000 - 15000	3	3%
15000 - 16000	4	4%
16000 - 17000	6	6%
17000 - 18000	10	9%
18000 - 19000	3	3%
19000 - 20000	4	4%
20000 - 21000	2	2%
21000 - 22000	2	2%
22000 - 23000	2	2%
23000 - 24000	1	1%
24000 - 25000	1	1%
25000 - 26000	0	0%
26000 - 27000	0	0%
27000 - 28000	1	1%
28000 - 29000	0	0%
29000 - 30000	2	2%
30000 - 31000	0	0%
31000 - 32000	1	1%
Total	109	100%

Tabla 60. Frecuencia Eje Tridem Dual

Fuente: Propia

Rango (kg)	Cantidad	Porcentaje
0 - 6000	0	0%
6000 - 7000	1	2%
7000 - 8000	2	4%
8000 - 9000	0	0%
9000- 10000	2	4%
10000 -11000	3	7%
11000 - 12000	2	4%
12000 - 13000	2	4%
13000 - 14000	0	0%
14000 - 15000	0	0%
15000 - 16000	3	7%
16000 - 17000	1	2%
17000 - 18000	1	2%
18000 - 19000	0	0%
19000 - 20000	0	0%
20000 - 21000	0	0%
21000 - 22000	0	0%
22000 - 23000	0	0%
23000 - 24000	1	2%
24000 - 25000	0	0%
25000 - 26000	0	0%
26000 - 27000	3	7%
27000 - 28000	5	11%
28000 - 29000	4	9%
29000 - 30000	1	2%
30000 -31000	4	9%
31000 - 32000	4	9%
32000 - 33000	0	0%
33000 - 34000	1	2%
34000 -35000	1	2%
35000 - 36000	2	4%
36000 - 37000	1	2%
37000 - 38000	1	2%
Total	45	100%

Puente Montalvo

Tabla 61. Frecuencia Eje Simple Sencillo

Fuente: Propia

Rango (kg)	Cantidad	Porcentaje
0 - 1000	0	0%
1000 - 2000	3	2%
2000 - 3000	7	4%
3000 - 4000	12	7%
4000 - 5000	45	28%
5000 - 6000	53	33%
6000 - 7000	32	20%
7000 - 8000	8	5%
8000 - 9000	2	1%
9000- 10000	1	1%
Total	163	100%

Tabla 62. Frecuencia Eje Simple Dual

Fuente: Propia

Rango (kg)	Cantidad	Porcentaje
0 - 2000	0	0%
2000 - 3000	4	12%
3000 - 4000	4	12%
4000 - 5000	1	3%
5000 - 6000	0	0%
6000 - 7000	5	15%
7000 - 8000	7	21%
8000 - 9000	2	6%
9000- 10000	5	15%
10000 -11000	1	3%
11000 - 12000	4	12%
12000 - 13000	0	0%
13000 - 14000	1	3%
Total	34	100%

Tabla 63. Frecuencia Eje Tándem Dual

Fuente: Propia

Rango (kg)	Cantidad	Porcentaje
0 - 5000	0	0%
5000 - 6000	6	4%
6000 - 7000	2	1%
7000 - 8000	8	6%
8000 - 9000	3	2%
9000- 10000	2	1%
10000 -11000	3	2%
11000 - 12000	5	3%
12000 - 13000	7	5%
13000 - 14000	12	8%
14000 - 15000	11	8%
15000 - 16000	11	8%
16000 - 17000	20	14%
17000 - 18000	19	13%
18000 - 19000	17	12%
19000 - 20000	11	8%
20000 - 21000	3	2%
21000 - 22000	2	1%
22000 - 23000	0	0%
23000 - 24000	1	1%
24000 - 25000	0	0%
25000 - 26000	0	0%
26000 - 27000	1	1%
27000 - 28000	0	0%
28000 - 29000	0	0%
29000 - 30000	0	0%
30000 - 31000	1	1%
Total	145	100%

Tabla 64. Frecuencia Eje Tridem Dual

Fuente: Propia

Rango (kg)	Cantidad	Porcentaje
0 - 5000	0	0%
5000 - 6000	0	0%
6000 - 7000	1	1%
7000 - 8000	1	1%
8000 - 9000	1	1%
9000- 10000	0	0%
10000 -11000	1	1%
11000 - 12000	1	1%
12000 - 13000	1	1%
13000 - 14000	0	0%
14000 - 15000	1	1%
15000 - 16000	1	1%
16000 - 17000	0	0%
17000 - 18000	2	2%
18000 - 19000	0	0%
19000 - 20000	1	1%
20000 - 21000	2	2%
21000 - 22000	2	2%
22000 - 23000	4	4%
23000 - 24000	4	4%
24000 - 25000	2	2%
25000 - 26000	8	8%
26000 - 27000	8	8%
27000 - 28000	6	6%
28000 - 29000	10	10%
29000 - 30000	3	3%
30000 -31000	7	7%
31000 - 32000	8	8%
32000 - 33000	6	6%
33000 - 34000	7	7%
34000 -35000	6	6%
35000 - 36000	6	6%
36000 - 37000	2	2%
37000 - 38000	2	2%
Total	104	100%

En algunos pesajes, cierto porcentaje de los ejes excede el peso máximo permitido por eje. Posteriormente, en este capítulo se profundizará un poco en el efecto que este sobrepeso tiene sobre el daño provocado en el pavimento a causa del paso de los vehículos. Para determinar el porcentaje de vehículos sobrecargados se tomó la

información de los pesajes en las estaciones Camaná y Puente Montalvo, las cuales se muestran en las tablas 65 y 66.

Tabla 65. Incidencia de los vehículos pesados en Estación Montalvo

Fuente: Propia


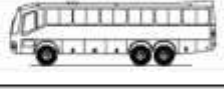





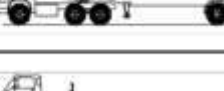
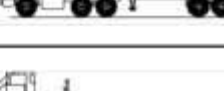




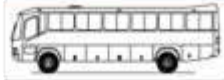




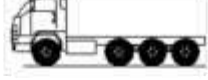

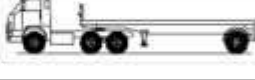
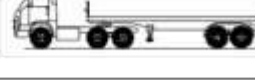
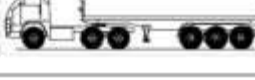

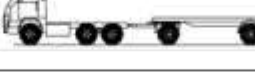
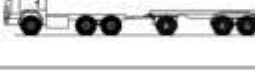
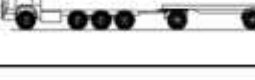
Tipo	Configuración	Vehículos Pesados	Cantidad	Porcentaje
B2		Con Sobrecarga	0	0%
		Con Carga Normal	3	100%
		Total Censados	3	100%
B3		Con Sobrecarga	3	12%
		Con Carga Normal	23	88%
		Total Censados	26	100%
B4		Con Sobrecarga	1	25%
		Con Carga Normal	3	75%
		Total Censados	4	100%
C2		Con Sobrecarga	1	5%
		Con Carga Normal	21	95%
		Total Censados	22	100%
C3		Con Sobrecarga	8	62%
		Con Carga Normal	5	38%
		Total Censados	13	100%
C4		Con Sobrecarga	5	42%
		Con Carga Normal	7	58%
		Total Censados	12	100%
T2S3		Con Sobrecarga	4	50%
		Con Carga Normal	4	50%
		Total Censados	8	100%
T3S1		Con Sobrecarga	0	0%
		Con Carga Normal	1	100%
		Total Censados	1	100%
T3S2		Con Sobrecarga	4	40%
		Con Carga Normal	6	60%
		Total Censados	10	100%
T3S3		Con Sobrecarga	25	68%
		Con Carga Normal	12	32%
		Total Censados	37	100%
2T3		Con Sobrecarga	0	0%
		Con Carga Normal	1	100%
		Total Censados	1	100%
3T2		Con Sobrecarga	1	50%
		Con Carga Normal	1	50%
		Total Censados	2	100%
3T3		Con Sobrecarga	0	0%
		Con Carga Normal	1	100%
		Total Censados	1	100%
		Con Sobrecarga	52	37%
		Con Carga Normal	88	63%
		Total Censados	140	100%

Tabla 66. Incidencia de los vehículos pesados en Estación Camaná

Fuente: Propia

Tipo	Configuración	Vehículos Pesados	Cantidad	Porcentaje
B2		Con Sobrecarga	0	0%
		Con Carga Normal	4	100%
		Total Censados	4	100%
B3		Con Sobrecarga	2	11%
		Con Carga Normal	16	89%
		Total Censados	18	100%
B4		Con Sobrecarga	1	33%
		Con Carga Normal	2	67%
		Total Censados	3	100%
C2		Con Sobrecarga	1	9%
		Con Carga Normal	10	91%
		Total Censados	11	100%
C3		Con Sobrecarga	1	13%
		Con Carga Normal	7	88%
		Total Censados	8	100%
C4		Con Sobrecarga	3	100%
		Con Carga Normal	0	0%
		Total Censados	3	100%
T2S3		Con Sobrecarga	2	40%
		Con Carga Normal	3	60%
		Total Censados	5	100%
T3S1		Con Sobrecarga	4	67%
		Con Carga Normal	2	33%
		Total Censados	6	100%
T3S2		Con Sobrecarga	4	33%
		Con Carga Normal	8	67%
		Total Censados	12	100%
T3S3		Con Sobrecarga	80	84%
		Con Carga Normal	15	16%
		Total Censados	95	100%
2T2		Con Sobrecarga	0	0%
		Con Carga Normal	1	100%
		Total Censados	1	100%
3T2		Con Sobrecarga	1	25%
		Con Carga Normal	3	75%
		Total Censados	4	100%
3T3		Con Sobrecarga	2	67%
		Con Carga Normal	1	33%
		Total Censados	3	100%
4T2		Con Sobrecarga	1	33%
		Con Carga Normal	2	67%
		Total Censados	3	100%
		Con Sobrecarga	102	58%
		Con Carga Normal	74	42%
		Total Censados	176	100%

De las tablas anteriores, se puede observar que en la estación de pesaje Montalvo, el 37% de los vehículos están sobrecargados. El vehículo pesado más sobrecargado es el T3S3, el cual tienen una incidencia del 68% de su muestra total (37 unidades). Mientras que en la estación Camaná se tiene una sobrecarga del 58% del total de vehículos y el vehículo más sobrecargado continúa siendo la unidad T3S3, con una incidencia del 84%.

Por otro lado, en la presente tesis se usaron espectros de carga debido a que muestran un enfoque más directo de la estimación del efecto provocado por las cargas. Como se mencionó anteriormente, los EE utilizados en la guía de diseño AASHTO 93 son una simplificación de las cargas ejercidas por el total de vehículos que pasan por una carretera. Luego, en el AASHTO 2002 se introduce el concepto de espectro de carga, los cuales mantienen la información expresada en configuración de ejes y cargas. A continuación, se presentan los espectros de carga obtenidos para las rutas de estudio. Estos espectros se confeccionaron a partir de los cuadros presentados anteriormente.

Camaná

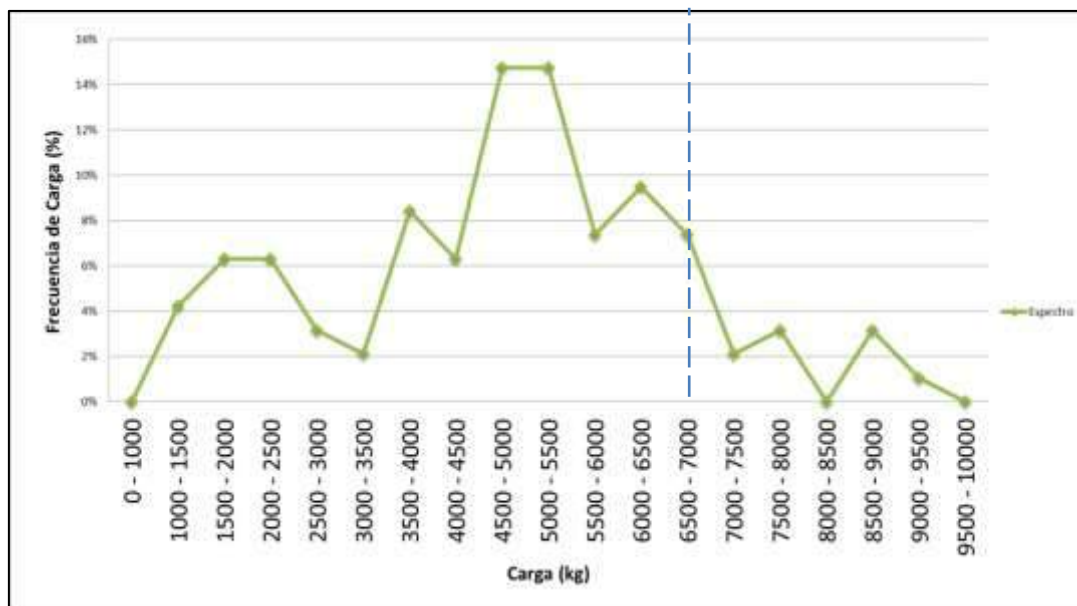


Figura 48. Espectro de Carga Eje Simple

Fuente: Propia

El eje simple es el eje delantero de los vehículos pesados, por lo que su sobrecarga puede suponer peso no debido en la cabina. En la figura 48 se observa que el 7% de los ejes simple pesados están sobrecargados; sin embargo, es un porcentaje no representativo con respecto al total. Además, se observa que dentro del rango de 5500 - 6500 se encuentra la mayor cantidad ejes, lo cual asciende a 30%. Esto quiere decir que la mayoría de estos ejes se encuentran cerca de cumplir el peso máximo legal de 7000 kg en ejes simples.

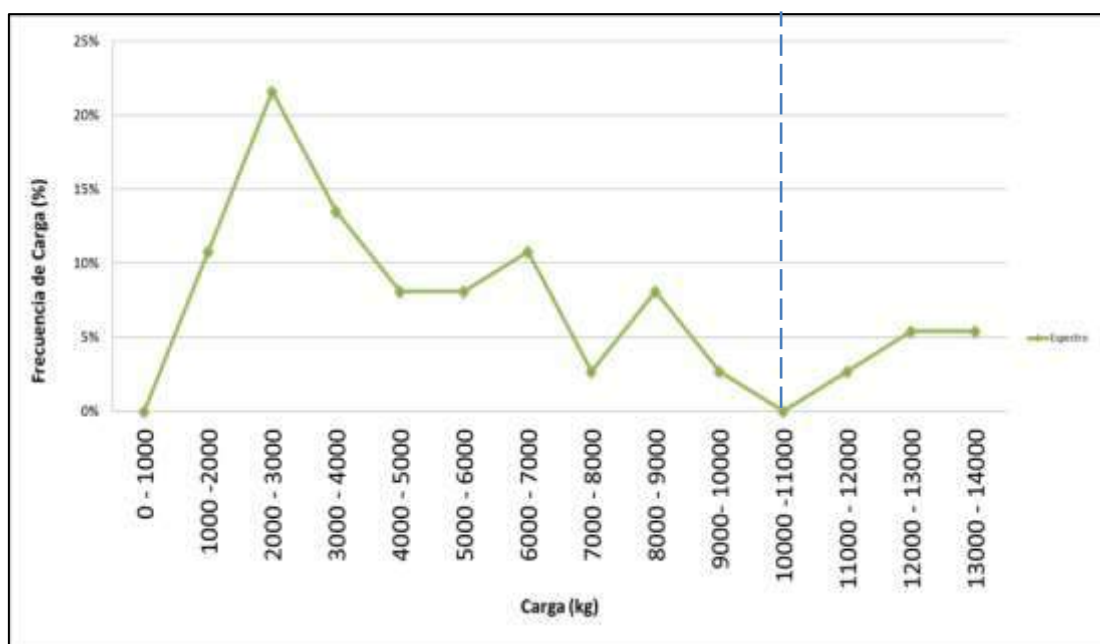


Figura 49. Espectro de Carga Eje Dual

Fuente: Propia

En la figura 49 se observa que el 14% de los ejes duales pesados están sobrecargados, mientras que dentro del rango de 2000 – 3000 se encuentra la mayor cantidad de ejes que recorren la estación Camaná, que corresponde a 22%. En este eje no hay una gran variación con respecto a los porcentajes, ya que solo tiene un gran pico y se tiene una distribución con porcentajes pequeños luego del rango 6000 – 7000 kg. De esta forma, esta configuración va creciendo en sobrecarga con respecto al simple, ya que el eje simple dual es netamente de carga.

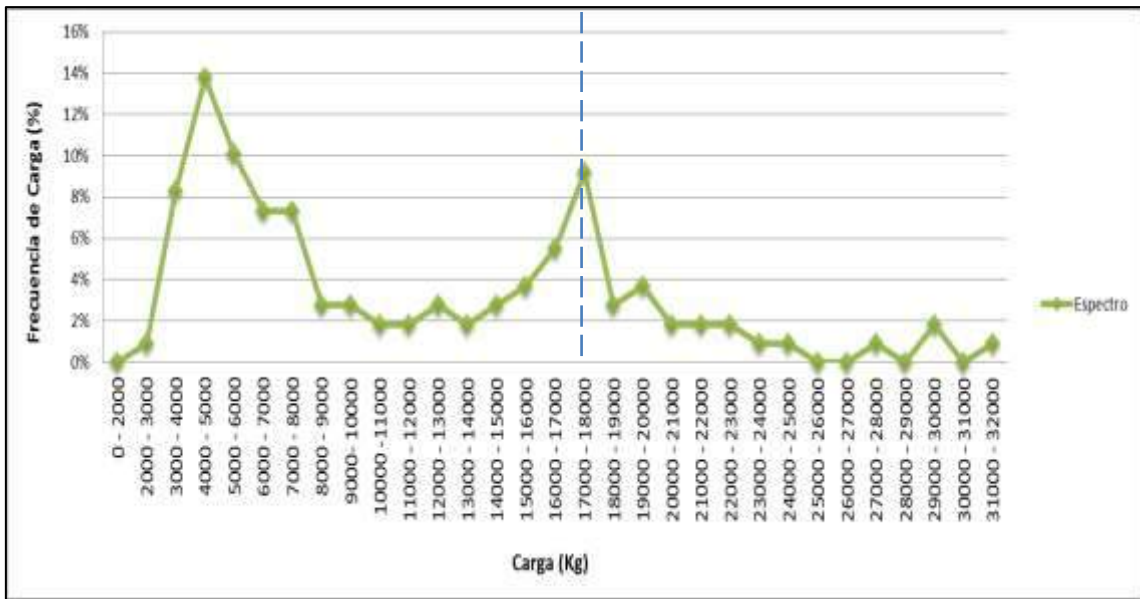


Figura 50. Espectro de Carga Eje Tándem

Fuente: Propia

La figura 50 muestra que el 17% de los ejes tándem pesados están sobrecargados. Asimismo, que una gran cantidad de ejes pesados está dentro del rango 4000 – 5000 kg, el cual constituye el 14% del total censado. Por otro lado, de los tres espectros de carga mostrados anteriormente, se observa que a medida que aumenta la configuración de neumáticos, aumenta la cantidad de carga.

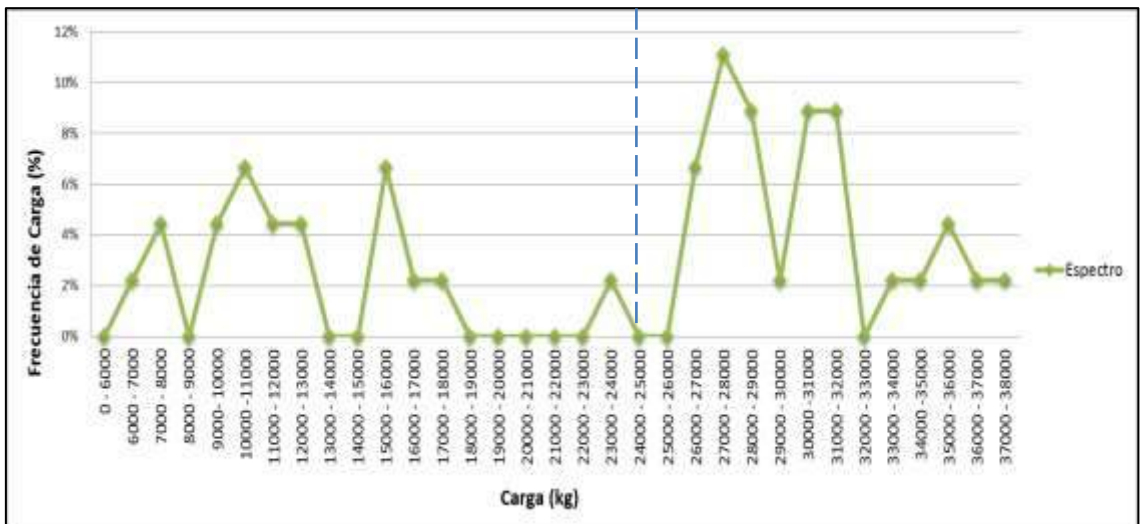


Figura 51. Espectro de Carga Eje Tridem

Fuente: Propia

La figura 51 muestra el espectro de carga de eje Tridem, el cual tiene una configuración para cargas debido a que está constituido por 3 ejes y 12 neumáticos. En esta se observa que existe una sobrecarga del 60% del total de ejes pesados. Asimismo, se tiene una concentración mayor de ejes en el rango de 27000 – 28000 kg, que corresponde a un 11% de sobrecarga.

Montalvo

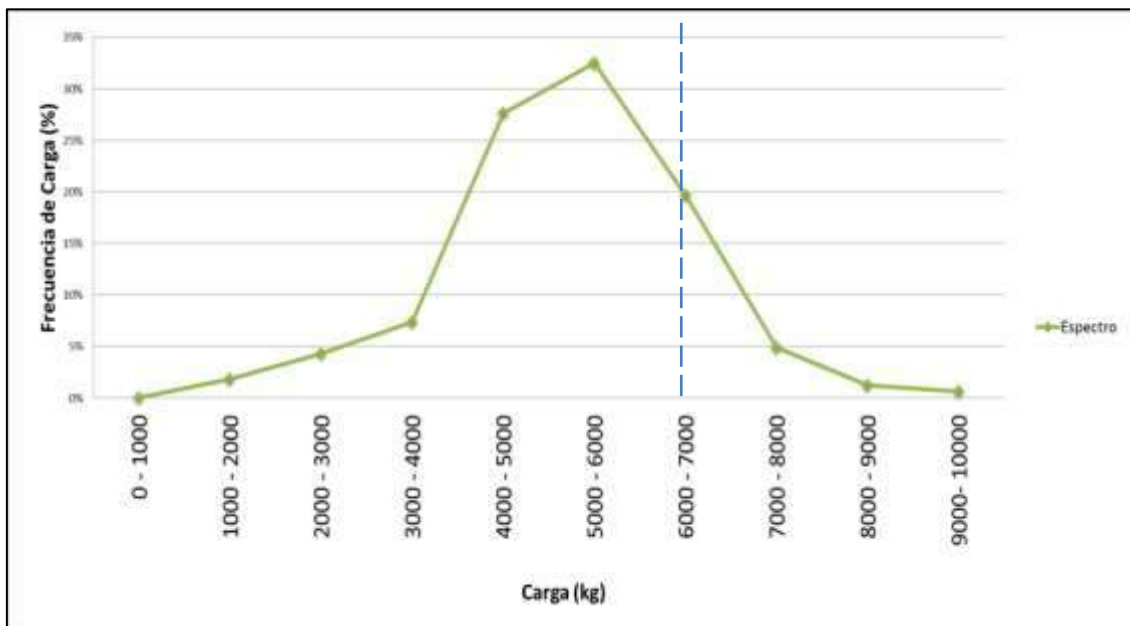


Figura 52. Espectro de Carga Eje Simple

Fuente: Propia

En la figura 52 se observa que el 36% de los ejes simple pesados están sobrecargados, el cual representa un porcentaje mayor con respecto a la estación de pesaje Camaná. Además, en el rango de 5000 - 6000 se encuentra la mayor cantidad de ejes, el cual corresponde a un 33% y el rango de 6000 – 7000 representa el 20% del total. La mayoría de estos ejes se encuentran cerca de cumplir el peso máximo legal de 7000 kg en el eje simple que puede afectar considerablemente en el cálculo del factor destructivo.

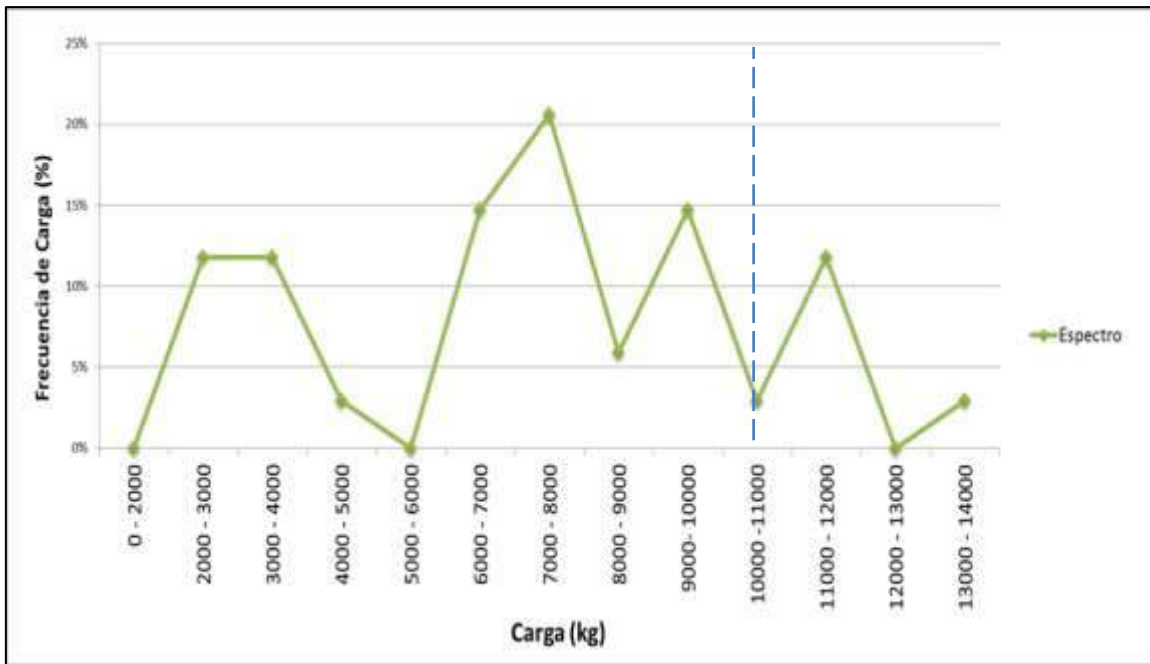


Figura 53. Espectro de Carga Eje Dual

Fuente: Propia

La figura 53 muestra que el 15% de los ejes duales pesados están sobrecargados y que dentro del rango de 7000 – 8000 se encuentra la mayor cantidad de ejes que recorren la estación Camaná (21%). Además, esta configuración tiene varios picos por rangos, así como rangos con una poca cantidad de ejes como los rangos de 5000 – 6000 y 12000 – 13000.

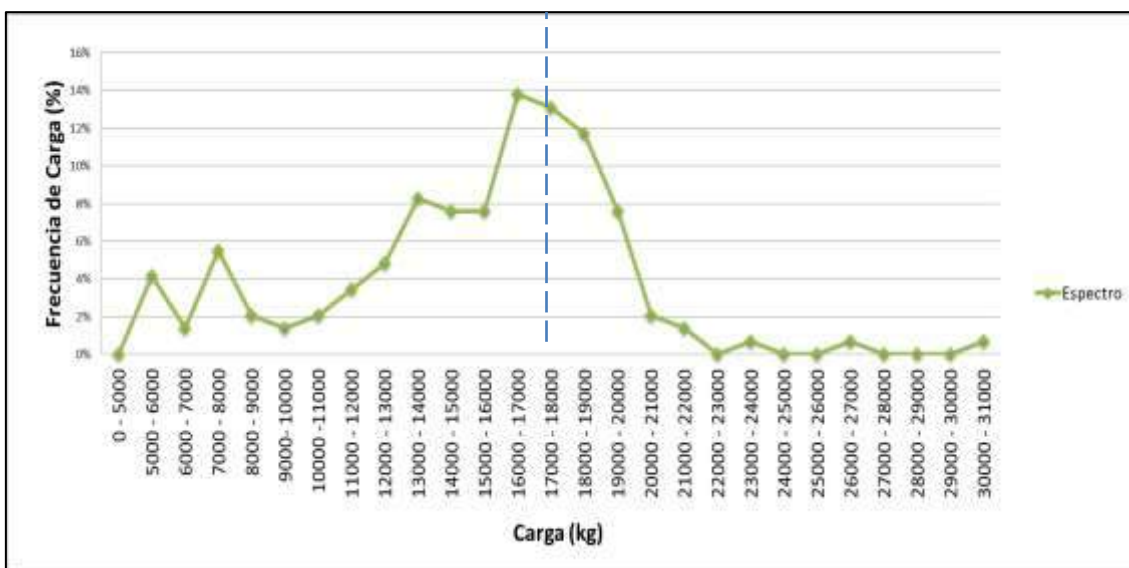


Figura 54. Espectro de Carga Eje Tándem

Fuente: Propia

La figura 54 muestra que el 25% de los ejes tándem pesados están sobrecargados y una gran cantidad de ejes pesados está dentro del rango 16000 –17000 kg (14%) y el rango de 17000 – 18000 kg (13%). Esta gran cantidad de ejes se encuentra cerca al peso máximo legal permitido. Asimismo, al igual que en la estación Camaná, se observa que a medida que crece la configuración de neumáticos, aumenta la carga vehicular.

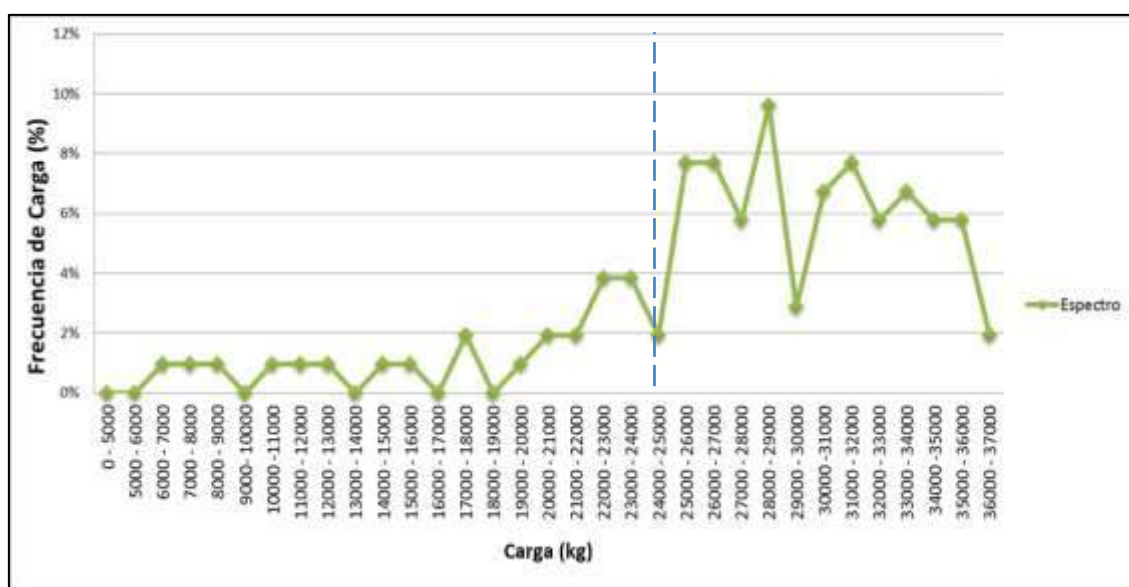


Figura 55. Espectro de Carga Eje Tridem

Fuente: Propia

La figura 55 muestra que el espectro de carga Tridem presenta una sobrecarga del 76% de los ejes pesados. Asimismo, se observa que la concentración mayor de ejes se encuentra en el rango de 28000 – 29000 kg, el cual corresponde a 10%. De esta forma la estación Montalvo presenta más de la mitad de sus ejes sobrecargados afectando de gran manera los factores destructivos y como el pavimento es afectado.

4.2 Factores Destructivos

Los factores destructivos por eje equivalente para las cargas legales toman en cuenta el criterio simplificado de la metodología AASHTO elevada a la cuarta potencia. Este criterio implica que el daño del pavimento aumenta rápidamente a mayores cargas por eje y que la magnitud del daño se incrementa en razón exponencial al aumento de las cargas.

Las relaciones aplicadas para el cálculo de factores destructivos son las siguientes:

- Eje Simple de rueda simple: $[P / 6.6]^4$
- Eje Simple de rueda doble: $[P / 8.2]^4$
- Eje Tándem de rueda doble: $[P / 15.1]^4$
- Eje Tridem de rueda doble: $[P / 21.8]^{3.9}$

En el cálculo de la demanda para los diseños se considera un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera que se contrarresta el efecto de deterioro que producen las altas presiones de los neumáticos en los pavimentos. Este factor de ajuste no ha sido considerado en el cálculo de factores destructivos de las cargas legales, pero debe incluirse porque incrementa el factor de deterioro o de daño sobre el pavimento. La tabla 67 y 68 muestra los factores destructivos obtenidos en las estaciones de pesaje Montalvo y Camaná.

Tabla 67. Factor Camión Estación Montalvo

Fuente: Propia

Tipo	Factor Camion
Bus 2E	1.183
Bus 3E	2.056
Bus 4E	1.488
C2	0.869
C3	10.529
C4	7.648
T2S1	7.742
T2S2	6.419
T2S3	8.042
T3S1	6.523
T3S2	5.357
T3S3	7.634
2T2 ó C2R2	10.980
2T3 ó C2R3	9.761
3T2 ó C3R2	4.514
3T3 ó C3R3	1.025

Tabla 68. Factor Camión Estación Camaná

Fuente: Propia

Tipo	Factor Camion
Bus 2E	1.2873
Bus 3E	2.8099
Bus 4E	2.5963
C2	0.9653
C3	1.7845
C4	10.1783
T2S1	7.7419
T2S2	9.2682
T2S3	11.5001
T3S1	6.3191
T3S2	8.5418
T3S3	10.2472
2T2 ó C2R2	0.0901
2T3 ó C2R3	9.7612
3T2 ó C3R2	7.8506
3T3 ó C3R3	7.0420

Una vez que se obtiene los factores camión de las estaciones de pesaje se procede a conocer cuáles son los factores camión legales, los cuales constituyen los pesos máximos permitidos por el Reglamento de Pesos y Medidas. La tabla 69 muestra dichos factores camión.

Tabla 69. Factor Camión Peso Máximo

Fuente: Propia

Tipo	Factor Camion
Bus 2E	4.504
Bus 3E	2.631
Bus 4E	2.000
C2	4.504
C3	3.285
C4	2.774
T2S1	7.742
T2S2	6.419
T2S3	6.210
T3S1	6.523
T3S2	5.304
T3S3	4.991
2T2 ó C2R2	10.980
2T3 ó C2R3	9.761
3T2 ó C3R2	9.761
3T3 ó C3R3	8.542

Como se mencionó anteriormente, algunos de los ejes pesados durante la encuesta de carga excedían su respectivo peso máximo permitido. Esto provoca que el daño esperado en el pavimento se acelere rápidamente a causa del paso del vehículo representado por un incremento en la magnitud del FEC y por extensión del factor camión.

Las siguientes tablas muestran los valores de FEC promedio para los ejes que se encuentran dentro de un rango de peso superior al límite establecido. Adicionalmente, muestran el aumento en el FEC (Δ FEC) con respecto a los valores obtenidos utilizando el peso máximo permitido para el respectivo tipo de eje, es decir 7000 kg para eje simple sencillo (FEC de 1.265), 11000 kg para eje simple dual (FEC de

3.2382), 18000 kg para eje tándem (FEC de 2.0192) y 25000 kg para eje Tridem (FEC de 1.7060). Además, un FEC de Tridem es menor que uno de eje simple sencillo debido a que el peso se distribuye mejor cuando se tiene más cantidad de neumáticos. Esto quiere decir que la configuración más destructiva es el eje simple dual sobrecargado. A continuación se muestra los aumentos en el FEC (Δ FEC) con respecto al peso máximo legal permitido.

Camaná

Tabla 70. Efecto sobrecarga eje sencillo

Fuente: Propia

Rango (kg)	FEC	Δ FEC	FEC Max
8000 - 9000	1.782304	0.516937	1.2654
9000- 10000	3.192905	1.927538	1.2654

La tabla 70 muestra que en un eje simple sencillo con un peso entre los 8000 y 9000 kg, el FEC aumenta en 41 % que si el eje pesara 8000 kg. Sin embargo, si este mismo tipo de eje pesara entre 9000 y 10000 kg el aumento del factor de equivalencia en promedio alcanza el 152 %.

Tabla 71. Efecto sobrecarga eje dual

Fuente: Propia

Rango (kg)	FEC	Δ FEC	FEC Max
11000 - 12000	4.480292	1.242006	3.2383
12000 - 13000	5.504397	2.266110	3.2383
13000 - 14000	7.429383	4.191097	3.2383

La tabla 71 muestra que para el eje dual con un peso entre los 11000 y 12000 kg, se tiene un aumento del FEC del 38 %. Si el peso se ubica entre los 12000 y 13000 kg el porcentaje de aumento del FEC es de 70 %. Y si el rango se ubica entre 13000 y 14000 kg, el porcentaje aumenta en 129%. Finalmente, se concluye que en solo 2000

kg de diferencia logra obtener más del doble de daño obtenido en los primeros 11000 kg como factor destructivo.

Tabla 72 Efecto sobrecarga eje tándem

Fuente: Propia

Rango (kg)	FEC	Δ FEC	FEC Max
18000 - 19000	2.2093049	0.1900915	2.01921
19000 - 20000	2.6573826	0.6381691	2.01921
20000 - 21000	3.6665960	1.6473825	2.01921
21000 - 22000	4.1866653	2.1674518	2.01921
22000 - 23000	5.0714514	3.0522379	2.01921
23000 - 24000	6.7178770	4.6986635	2.01921

Similar a las tablas anteriores, en la tabla 72 se observa que para el eje tándem el FEC aumenta en un porcentaje específico que si pesara el peso máximo legal de 18000 kg. Por ejemplo, si el rango se encuentra ubicado entre los 18000 y 19000 kg, el FEC aumenta en 9%. Cabe resaltar que el máximo valor de aumento de FEC se obtiene en el rango de 23000 y 24000 kg, el cual asciende a 233%. Finalmente, se observa que en 6000 kg de diferencia se logra obtener más del triple de daño obtenido en los primeros 18000 kg como factor destructivo.

Tabla 73. Efecto sobrecarga eje Tridem

Fuente: Propia

Rango (kg)	FEC	Δ FEC	FEC Max
26000 - 27000	2.097412	0.39138575	1.70602
27000 - 28000	2.56931939	0.86329315	1.70602
28000 - 29000	2.70762145	1.0015952	1.70602
29000 - 30000	3.37098741	1.66496116	1.70602

La tabla 73 muestra el efecto de sobrecarga de eje Tridem. Se observa que en el rango comprendido entre los 26000 y 27000 kg, el FEC aumenta en 23% que si pesara el peso máximo legal de 25000 kg. Además, si este mismo eje pesara entre 29000 y 30000 kg el aumento del factor de equivalencia alcanzaría el 98 %; en este

caso, no aumenta en más del 100% pero si se genera una sobrecarga en el pavimento.

Montalvo

Tabla 74 Efecto sobrecarga eje sencillo

Fuente: Propia

Rango (kg)	FEC	Δ FEC	FEC Max
8000 - 9000	2.78544	1.52007	1.26536
9000- 10000	5.24912	3.98375	1.26536

Similar al proceso realizado en la estación Camaná, la tabla 74 muestra que en un eje simple sencillo con un peso entre los 8000 y 9000 kg, el FEC aumenta en 120 % que si el eje pesara 8000 kg. Sin embargo, si este mismo tipo de eje pesara entre 9000 y 10000 kg el aumento del factor de equivalencia en promedio alcanza el 315 %.

Tabla 75. Efecto sobrecarga eje dual

Fuente: Propia

Rango (kg)	FEC	Δ FEC	FEC Max
11000 - 12000	3.473048	0.234761	3.2383
13000 - 14000	6.317104	3.078817	3.2383

La tabla 75 muestra que para el eje dual con un peso entre los 11000 y 12000 kg, se tiene un aumento del FEC del 7 %. Y Si el peso se ubica entre los 13000 y 14000 kg el porcentaje de aumento del FEC es de 95 %. Y si el rango se ubica entre 13000 y 14000 kg, el porcentaje aumenta en 129%. Finalmente, se concluye que en solo 2000 kg de diferencia logra obtener cerca del doble de daño obtenido en los primeros 11000 kg como factor destructivo.

Tabla 76. Efecto sobrecarga eje tándem

Fuente: Propia

Rango (kg)	FEC	Δ FEC	FEC Max
18000 - 19000	2.25515647	0.23594301	2.01921
19000 - 20000	2.80971078	0.79049733	2.01921
20000 - 21000	3.25216857	1.23295512	2.01921
21000 - 22000	4.00294563	1.98373218	2.01921
23000 - 24000	5.48645716	3.46724371	2.01921

En la tabla 76 se observa que para el eje tándem el FEC aumenta en un porcentaje específico que si pesara el peso máximo legal de 18000 kg. Por ejemplo, si el rango se encuentra ubicado entre los 18000 y 19000 kg, el FEC aumenta en 12%. Cabe resaltar que el máximo valor de aumento de FEC se obtiene en el rango de 21000 y 22000 kg, el cual asciende a 98%. Finalmente, se observa que en 4000 kg de diferencia se logra obtener cerca de doble del daño obtenido en los primeros 18000 kg como factor destructivo.

Tabla 77. Efecto sobrecarga eje Tridem

Fuente: Propia

Rango (kg)	FEC	Δ FEC	FEC Max
25000 - 26000	1.83317646	0.1271502	1.70603
26000 - 27000	2.08026711	0.3742409	1.70603
27000 - 28000	2.56340585	0.8573796	1.70603
28000 - 29000	2.79680399	1.0907777	1.70603

La tabla 77 muestra el efecto de sobrecarga de eje Tridem. Se observa que en el rango comprendido entre los 25000 y 26000 kg, el FEC aumenta en 7% que si pesara el peso máximo legal de 25000 kg. Además, si este mismo eje pesara entre 28000 y 29000 kg el aumento del factor de equivalencia alcanzaría el 64 %.

Por otro lado, el factor de equivalencia de carga, y por lo tanto el factor camión, aumenta de manera exponencial con respecto al peso del eje. Esto causa que los vehículos con sobrepeso dañen el pavimento asfáltico en gran manera con menos

cantidad de repeticiones; especialmente en las configuraciones que tienen menos neumáticos y área de contacto. Dicho daño se produce debido a que el peso no es distribuido de manera adecuada; por lo tanto, el esfuerzo generado es mayor al eje equivalente. Es por esto que se establecen los pesos máximos legales para los diferentes tipos de ejes y vehículos, con el fin de cuidar el pavimento de un envejecimiento y deterioro no esperado.

En síntesis, el problema de la sobrecarga vehicular genera la necesidad de mantener un control de peso en las vías. Con ello se debe evitar la circulación de aquellos vehículos que excedan los pesos máximos establecidos según su clasificación.

4.3 Ejes Equivalentes (EE)

Luego de establecer los factores camión y conocer el IMDA de cada uno de nuestros tramos es posible calcular el valor de los ejes simples equivalentes (EAL o W18). El cálculo del EAL para un tipo de vehículo se realiza mediante la siguiente ecuación.

$$EAL_i = \%tipo\ de\ vehiculo_i * IMDA * FCI \quad [Ecuación\ 7]$$

Posterior al cálculo del EAL de todos los tipos de vehículos, se procede a sumar dichos valores. Con estos valores se obtiene el EAL_{dia} ; y luego procede a la determinación del EAL de diseño. Este valor se obtiene según la siguiente expresión.

$$EAL_{diseño} = EAL_{dia} * Fd * Fc * Fca * 365 \quad [Ecuación\ 9]$$

Los de ingreso anteriormente mencionados se obtuvieron en los capítulos 3 y 4. A continuación, la tabla 78 se muestra los EAL proyectados a 15 años con los datos tomados en campo.

Tabla 78. EE reales proyectados

Fuente: Propia

Estación N°	E-1		E-2		E-3		E-4		E-5		E-6		E-7		E-8	
Sentido	E-1-A	E-1-B	E-2-A	E-2-B	E-3-A	E-3-B	E-4-A	E-4-B	E-5-A	E-5-B	E-6-A	E-6-B	E-7-A	E-7-B	E-8-A	E-8-B
De	Camara	DV. Ilo	DV. Ilo	Dv. Moquegua	Dv. Moquegua	Fiscal	Fiscal	Dv Matarani	Dv Matarani	Repartición	Repartición	Joya	Joya	Camana	Camana	Atico
A	DV. Ilo	Camara	Dv. Moquegua	DV. Ilo	Fiscal	Dv. Moquegua	Dv Matarani	Fiscal	Repartición	Dv Matarani	Joya	Repartición	Camana	Joya	Atico	Camana
ESAL (01 año)	4.581 E+05	4.658 E+05	5.745 E+05	6.134 E+05	6.428 E+05	6.701 E+05	6.939 E+05	6.871 E+05	1.445 E+06	9.908 E+05	2.152 E+06	2.082 E+06	3.112 E+06	3.202 E+06	1.893 E+06	1.757 E+06
ESAL (05 años)	2.458 E+06	2.496 E+06	3.121 E+06	3.305 E+06	3.468 E+06	3.615 E+06	3.715 E+06	3.708 E+06	5.339 E+06	1.750 E+06	1.159 E+07	1.122 E+07	1.678 E+07	1.726 E+07	1.021 E+07	9.461 E+06
ESAL (10 años)	5.398 E+06	5.499 E+06	6.863 E+06	7.263 E+06	7.633 E+06	7.940 E+06	8.174 E+06	8.193 E+06	1.174 E+07	4.628 E+06	2.549 E+07	2.473 E+07	3.695 E+07	3.798 E+07	2.249 E+07	2.081 E+07
ESAL (15 años)	8.922 E+06	9.095 E+06	1.136 E+07	1.202 E+07	1.263 E+07	1.315 E+07	1.354 E+07	1.356 E+07	2.841 E+07	1.941 E+07	4.221 E+07	4.094 E+07	6.120 E+07	6.288 E+07	3.723 E+07	3.445 E+07

De los EE mostrados en la tabla 78 se tiene que la mayor cantidad de vehículos pesados expresados en ejes estándar corresponden a la estación Desvío Aplao, el cual asciende a 6.288 E+07 de ejes equivalentes en 15 años. Mientras que la estación con menores EAL es la estación Camiara con 8.922E+06 ejes equivalentes. La figura 56 muestra un mayor detalle de dichas proyecciones de ejes equivalentes.

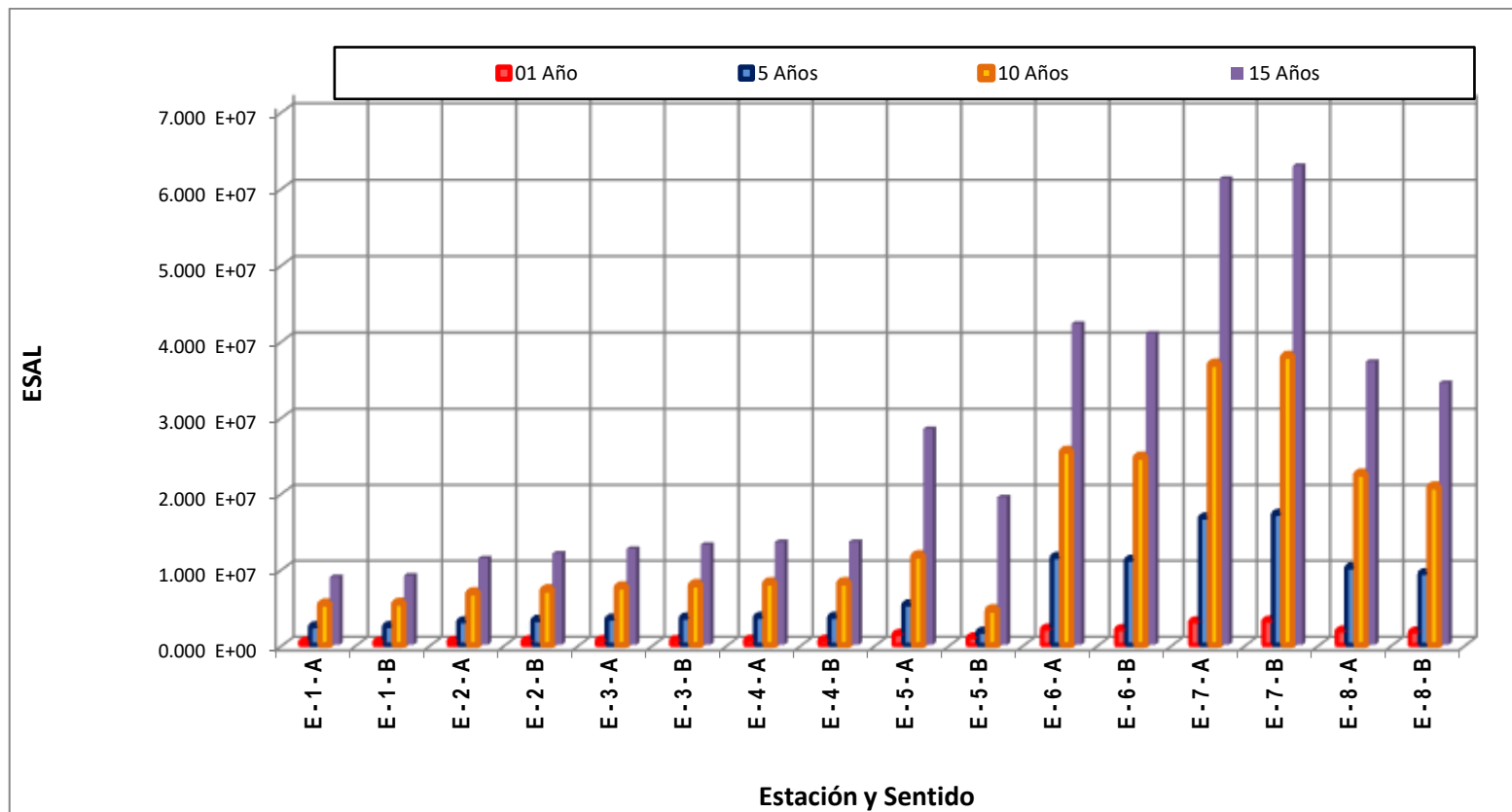


Figura 56.EE de las estaciones en años

Fuente: Propia

4.3.1 Escenarios de carga

En esta sección se proyectan los ejes equivalentes (EE) partiendo de tres escenarios distintos en base a la información recolectada de los tipos de vehículos encuestados en el año 2013. El escenario 1 emplea los factores camión obtenidos con la encuesta de carga, el escenario 2 emplea los pesos máximos legales por el MTC, y finalmente, el escenario 3 supone que el país cuenta con mecanismos adecuados para seguir un estricto control de pesos.

Según el escenario 3 se cuenta con estaciones de pesaje en óptimas condiciones. De esta manera, todos los ejes que se encuentren con sobrepesos por encima de los límites establecidos por el “Reglamentos de Pesos y Medidas” se suman a la cantidad de ejes que no llegan al límite de carga para cada tipo de vehículo y eje correspondiente. Esto sucede sin aumentar la cantidad de vehículos censados para no alterar el peso durante el cálculo.

Para el escenario 2 se tendrán los factores camión calculados con los pesos máximos legales. Finalmente, para ser validos estos 3 escenarios se trabajó con los mismos IMDA de los conteos vehiculares, para que la única variante valida comparativa sean los pesos. Para los 3 escenarios propuestos se calculó los EE para un periodo de diseño de 20 años, con base en un crecimiento obtenido de los conteos y tasas de crecimientos desarrollados en el capítulo 3.

Para aplicar estos escenarios se tomó las estaciones “Puente Montalvo” en dirección Fiscal – Dv. Moquegua y estación “Dv. Matarani” en dirección Repartición – Dv. Matarani. Estas dos estaciones se consideraron debido a que una de ellas tiene como influencia la estación de pesaje Montalvo, y la otra la estación Camaná. Asimismo, estas rutas tienen la mayor diferencia porcentual entre sus ejes equivalentes reales y los EE producto de las condiciones de carga. Finalmente, otra característica en común

es que ambas presentan la mayor cantidad EE con los menores IMDA analizados, lo que refleja la magnitud de las cargas que transitan por dicha vía.

Tabla 79. Comparación de Factores Camión Estación Montalvo

Fuente: Propia

Vehículo	Reales	Controlados	Legales
Bus 2E	1.18276	1.18276	4.50365
Bus 3E	2.05574	1.98397	2.63131
Bus 4E	1.48825	1.40643	1.99952
Camión 2E	0.86859	0.51761	4.50365
Camión 3E	10.52864	3.74600	3.28458
Camión 4E	7.64756	2.38434	2.77355
Semitrayler 2S1 ó T2S1	7.74194	7.74194	7.74194
Semitrayler 2S2 ó T2S2	6.41934	6.41934	6.41934
Semitrayler 2S3 ó T2S3	8.04152	4.61855	6.20968
Semitrayler 3S1 ó T3S1	6.52287	8.47973	6.52287
Semitrayler 3S2 ó T3S2	5.35669	3.38668	5.30379
Semitrayler 3S3 ó T3S3	7.63385	5.08327	4.99061
Trayler 2T2 ó C2R2	10.98023	10.98023	10.98023
Trayler 2T3 ó C2R3	9.76115	9.76115	9.76115
Trayler 3T2 ó C3R2	4.51440	4.41598	9.76115
Trayler 3T3 ó C3R3	1.02501	1.02501	8.54208

La tabla 79 muestra la diferencia de los factores camión para cada escenario correspondiente a la estación Montalvo. Se observa que dependiendo el tipo de vehículo dichos valores cambian.

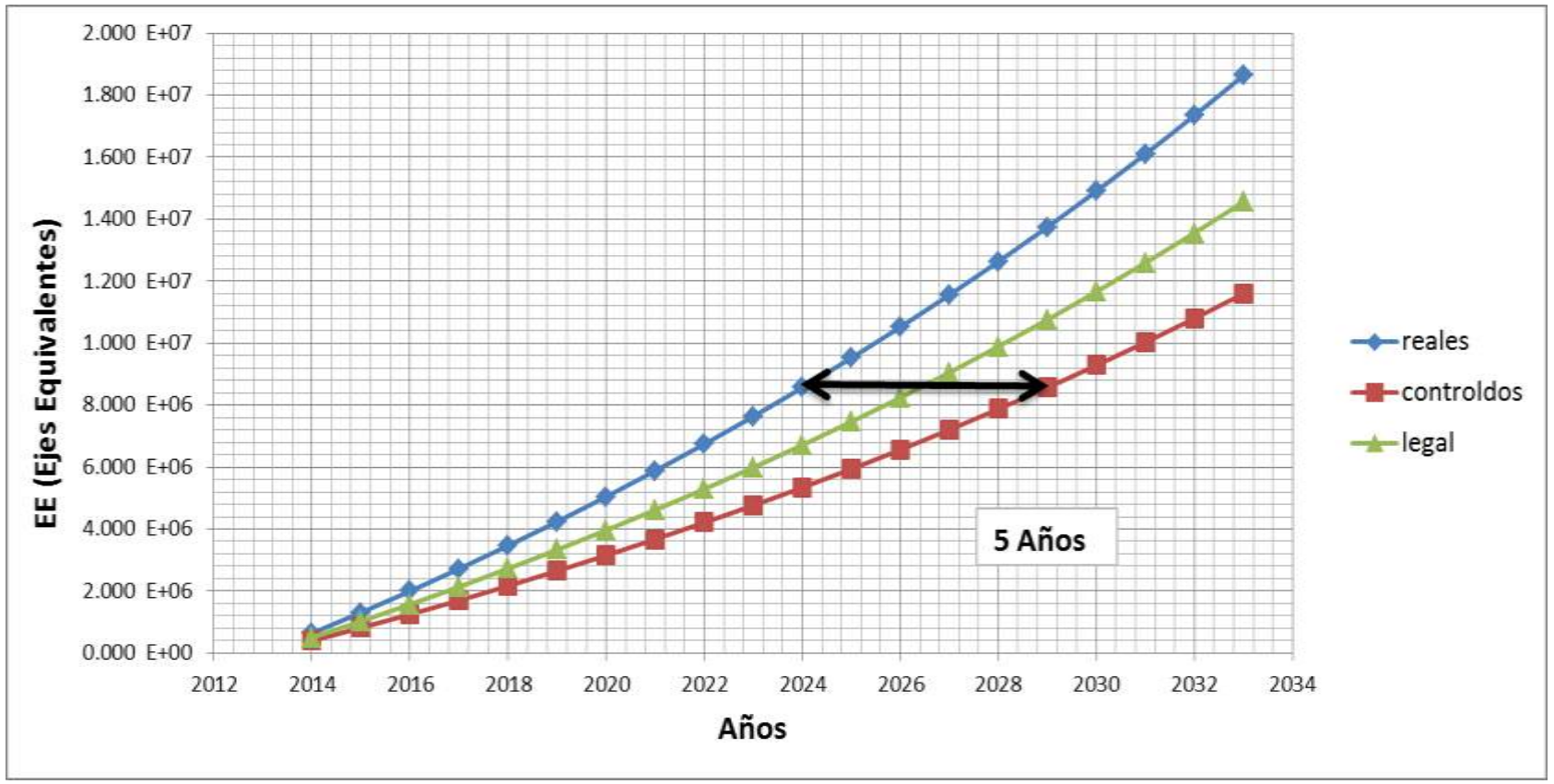


Figura 57. Comparación de EE vs años en vida útil Estación Montalvo

Fuente: Propia

Tabla 80. Comparación de Factores Camión Estación Camaná

Fuente: Propia

Vehículo	Reales	Controlados	Legales
Bus 2E	1.28734	1.28734	4.50365
Bus 3E	2.80986	2.80844	2.63131
Bus 4E	2.59635	2.30830	1.99952
Camión 2E	0.96531	0.95952	4.50365
Camión 3E	1.78446	1.78528	3.28458
Camión 4E	10.17833	3.80198	2.77355
Semitrayler 2S1 ó T2S1	7.74194	7.74194	7.74194
Semitrayler 2S2 ó T2S2	9.26818	7.81949	6.41934
Semitrayler 2S3 ó T2S3	11.50007	7.24097	6.20968
Semitrayler 3S1 ó T3S1	6.52287	6.52287	6.52287
Semitrayler 3S2 ó T3S2	8.54182	3.99304	5.30379
Semitrayler 3S3 ó T3S3	10.24715	6.46612	4.99061
Trayler 2T2 ó C2R2	0.09010	0.09010	10.98023
Trayler 2T3 ó C2R3	9.76120	9.76120	9.76120
Trayler 3T2 ó C3R2	7.85056	7.64911	9.76115
Trayler 3T3 ó C3R3	7.04200	6.05033	8.54208

De manera similar a la tabla anterior, la tabla 80 muestra la diferencia de los factores camión para cada escenario, en la estación Camaná. Se observa que dependiendo el tipo de vehículo dichos valores cambian.

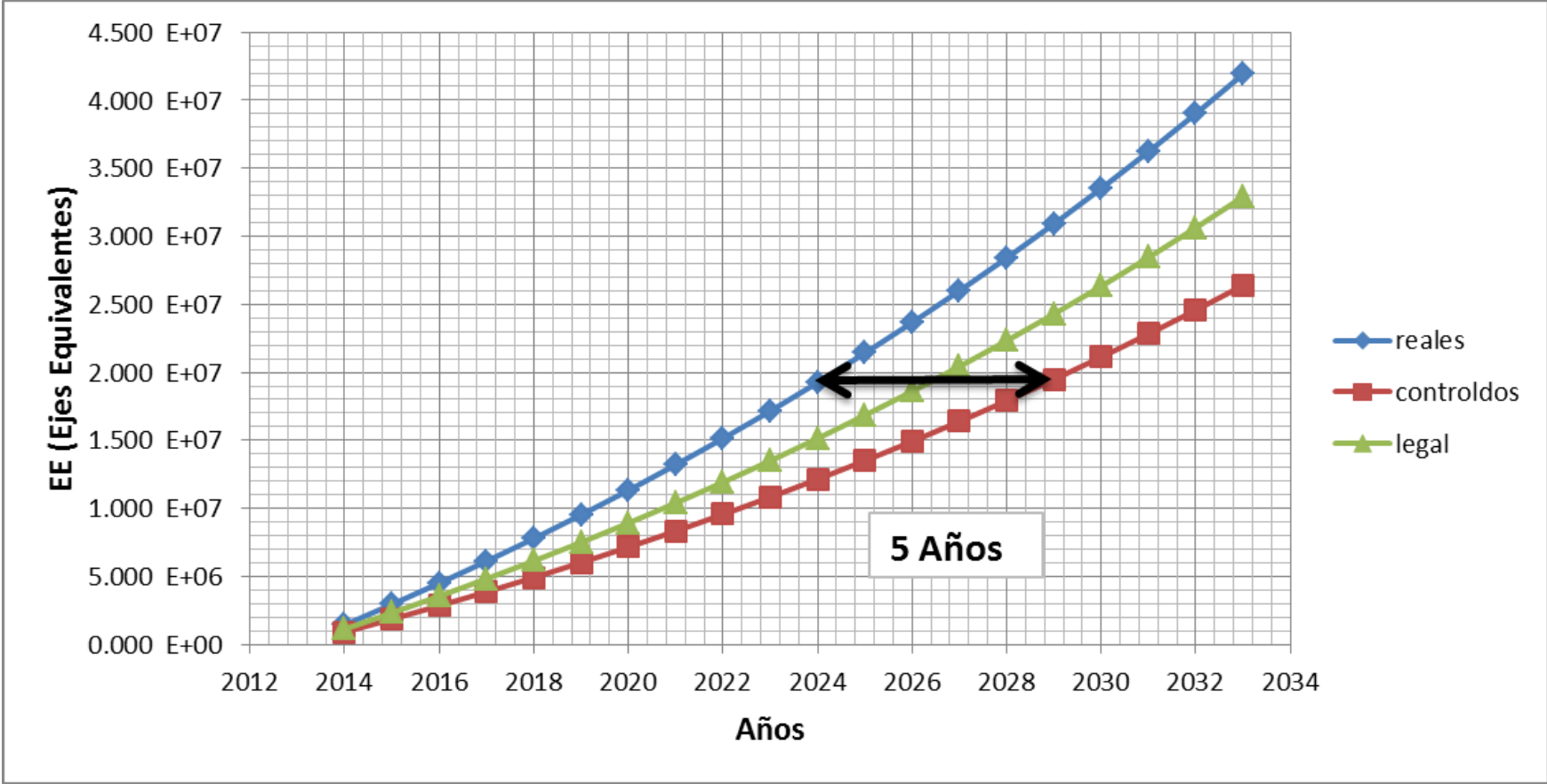


Figura 58. Comparación de EE vs años en vida útil Estación Desvío Matarani

Fuente: Propia

De la figura 57 y 58 se observa que si el diseño de un pavimento se hubiera realizado para un periodo de vida útil de 12 años con los pesos máximos legales se espera una cantidad de 9 millones de EE en la E3 y 19 millones de EE en la E5. Sin embargo, como se comprueba en la presente tesis las cargas son mayores a las esperadas, por lo que esa cantidad de ejes equivalentes de diseño pasarán en su totalidad al cabo de 10 años de vida útil. Esto demuestra que la sobrecarga es una de las razones principales por las cuales las carreteras se deterioran en forma prematura y su desempeño a lo largo del tiempo no es el adecuado. En consecuencia, se produce una pérdida de inversión y se eleva el costo de rehabilitación.

Además, en el escenario donde existe un control adecuado de cargas y los usuarios respetan el reglamento de pesos y dimensiones, se evidencia que para ese mismo periodo de diseño los ejes equivalentes se obtienen hasta el año 15. Esto permite concluir que al no controlar las cargas, además de la subestimación de los pesos reales del tránsito, se pierden en total 5 años de vida útil. Otra desventaja consiste en tener que reconstruir un pavimento antes del año 10 para un periodo de diseño de 12 años, lo que demuestra que la pérdida económica es gigantesca.

4.3.2 Diseño de espesores

Adicionalmente, en la presente tesis se realizó un ejemplo de diseños teóricos para la ruta 3A, tomando en cuenta solo dos de los escenarios anteriormente explicados (cargas reales y cargas controladas). De éstos se infiere la diferencia en espesores que se requiere para poder soportar la sollicitación de cargas de cada escenario y la inversión que se necesita para construir un paquete estructural que subestima las cargas máximas legales. La tabla 81 muestra los ejes equivalentes proyectados a 20 años para los escenarios anteriormente descritos.

Tabla 81. EE proyectados a 20 años para los escenarios

Fuente: Propia

Ruta : Fiscal - Dv.Moquegua	
EE	EE
Encuestas de carga	Controlados
18637103	11599637

Existen diversas consideraciones para el diseño estructural del pavimento. Una de esas consideraciones consiste en que para el cálculo de la serviciabilidad se supone un $P_o = 4.2$ (típico para pavimentos asfálticos) y un $P_t = 2.5$ (típico para carreteras de alto tránsito), por lo que el Índice de Serviciabilidad se calcula según la siguiente expresión.

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

Asimismo, se considera que la desviación estándar tiene una distribución normal, la cual está asociada con la eficacia del diseño. Además, con un nivel de confiabilidad $R=95\%$ se tiene $Z_R = -1,645$. Por otro lado, también se asume que la desviación estándar global (S_o) debido al error de proyecciones de tránsito y al desempeño del pavimento tiene un valor típico de 0.4.

Con respecto a la carpeta, se asume un módulo típico de 450 000 psi. De manera similar, en el caso de colocar una base 100% de CBR se le asigna, según los ábacos de la guía de diseño AASHTO 93, un módulo de 30000 psi. Para la sub base, se supone un valor de CBR de 30%, que corresponde a un módulo típico de 15000 psi. Y finalmente, para la subrasante se supone un CBR de 7% y un módulo resiliente de 8800 psi, el cual fue calculado bajo la ecuación de transformación proveniente del NCHRP Project 1-37A.

Como última consideración, se asume un coeficiente de drenaje para la sub base de 1.2. Esto debido a que se supone un drenaje bueno, el cual consiste en la evacuación

de agua en un día; y que expuesto a la lluvia menos de un 5% del tiempo, el cual es común en la zona de estudio. Las tablas 82 y 83 muestran las características y consideraciones de diseño en las capas del pavimento.

Tabla 82. Características Estructurales de la Capa

Fuente: Propia

Datos de las Capas			
Capa	Modulo (psi)	a	m
Carpeta Asfaltica	450000	0.44	-
Base Granular	30000	0.14	1.2
Subbase Granular	150000	0.11	1.2
Subrasante	8880	-	-

Tabla 83. Consideraciones de Diseño

Fuente: Propia

Factor Direccional	100%
P_0	4.2
P_t	2.5
R	9500%
Z_r	1.645
S_0	0.4

A continuación se resuelve la ecuación de AASHTO 93 para cada uno de los casos. La solución se muestra en las tablas 84 y 85, las cuales corresponden al escenario de cargas reales y controladas, respectivamente.

$$\log(W18) = Z_r + S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{(4.2 - 1.5)}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log(Mr) - 8.07$$

[Ecuación 11]

Cargas Reales

Tabla 84. Diseño Escenario A Cargas Reales

Fuente: Propia

Escenario A					
EE Diseño REALES 18637103					
CAPA	Carpeta	Base Granular	Subbase Granular	Subrasante	SN Final
Modulo	450000	30000	15000	8880	5.27
a	0.44	0.14	0.11	-	
m	-	1.2	1.2	-	
SN req.					
Espesor (pulg)	5.51	7.87	11.81	-	
Espesor(cm)	14	20	30	-	
SN	2.4244	1.3221	1.5589		5.3054

La figura 59 muestra el diseño estructural del pavimento para cargas reales. Se observa que la carpeta asfáltica tiene un espesor de 14 cm, la base granular un espesor de 20 cm y la sub base granular un espesor de 30 cm.

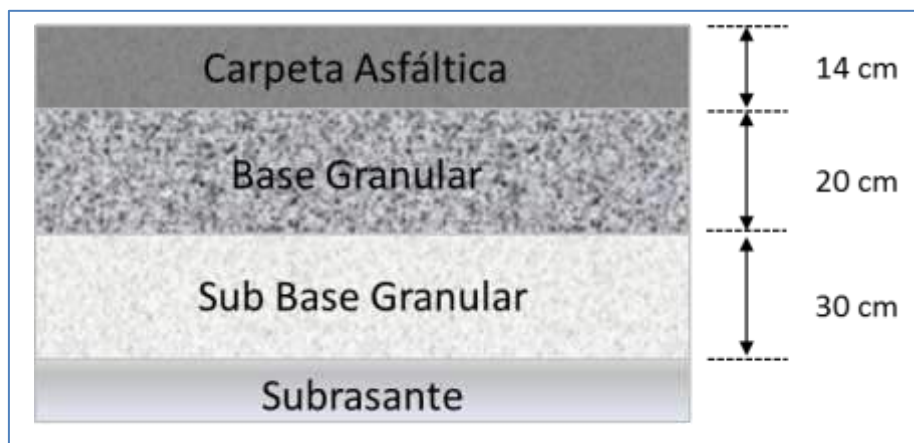


Figura 59. Esquema diseño escenario A

Fuente: Propia

Cargas Controladas

Tabla 85. Diseño Escenario B Cargas Controladas

Fuente: Propia

Escenario B					
EE Diseño CONTROLADAS 11599637					
CAPA	Carpeta	Base Granular	Subbase Granular	Subrasante	SN Final
Modulo	450000	30000	15000	8880	
a	0.44	0.14	0.11	-	
m	-	1.2	1.2	-	
SN req.					4.92
Espesor (pulg)	5.12	6.69	11.81	-	
Espesor(cm)	13	17	30	-	
SN	2.2528	1.12392	1.5589		4.93562

De igual manera, la figura 60 muestra el diseño estructural del pavimento para cargas controladas. Se observa que la carpeta asfáltica tiene un espesor de 13 cm, la base granular un espesor de 17 cm y la sub base granular un espesor de 30 cm.

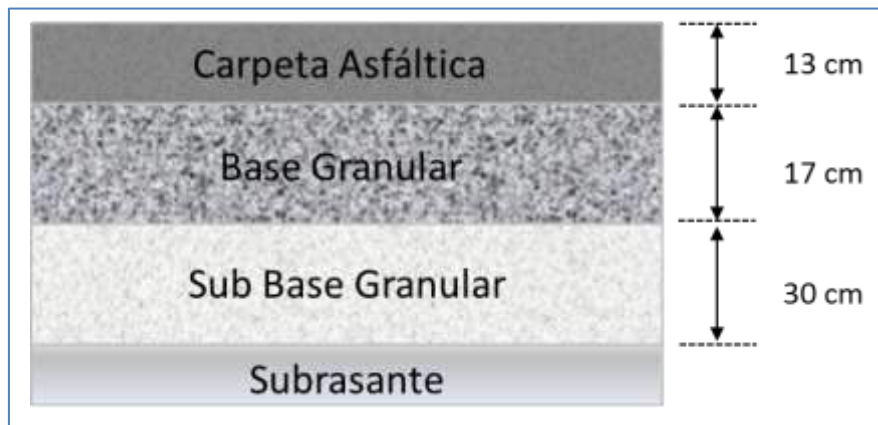


Figura 60. Esquema diseño escenario B

Fuente: Propia

4.3.3 Costos de Construcción

Con los precios unitarios y presupuesto del estudio definitivo de la carretera Camaná-Dv. Quilca-Matarani se hizo una comparación económica en la construcción del pavimento de los dos escenarios diseñados. Se debe acotar que el volumen se ha calculado por Km y con un ancho de 7.20 m. La tabla 86 muestra un resumen de los precios unitarios; en el Anexo 3 se muestra un mayor detalle de dichos P.U.

Tabla 86. Precios Unitarios

Fuente: Propia

Item	Unidad	PU (S/.)
Carpeta Asfáltica	m3	194.15
Base Granular	m3	49.72
SubBase Granular	m3	34.19
Imprimación Asfáltica	m2	0.83
MC-30	L	2.89
PEN 60-70	kg	2.56

Cargas Reales

La tabla 87 muestra los costos de la construcción del pavimento por Km si se consideran cargas reales. Se observa que el costo asciende a un valor de 707739.83 nuevos soles por Km.

Tabla 87. Costo por Km con cargas reales

Fuente: Propia

Item	Cantidad	Unidad	Costo(Soles/km)
Carpeta Asfáltica	1008	m3	195703.2
Base Granular	1440	m3	71596.8
SubBase Granular	2160	m3	73850.4
Imprimación Asfáltica	7200	m2	5976
MC-30	8720.4	L	25202.6496
PEN 60-70	131019.8	kg	335410.78
		Total	707739.8296

Cargas Controladas

De manera similar, la tabla 88 muestra los costos de la construcción del pavimento por Km si se consideran cargas controladas. Se observa que el costo asciende a un valor de 659063.60 nuevos soles por Km, lo que representa una cantidad menor que el costo del pavimento bajo cargas reales. En síntesis, se tiene una diferencia en costo de 48676.23 nuevos soles por Km.

Tabla 88. Costo por Km con cargas controladas

Fuente: Propia

Item	Cantidad	Unidad	Costo(Soles/km)
Carpeta Asfaltica	936	m3	181724.4
Base Granular	1224	m3	60857.28
SubBase Granular	2160	m3	73850.4
Imprimacion Asfaltica	7200	m2	5976
MC-30	8720.4	L	25202.6496
PEN 60-70	121661.3	kg	311452.8669
		Total	659063.5965

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El factor camión es una medida del daño provocado sobre la estructura de pavimentos por el paso de un tipo específico de vehículo. Esto lo convierte en un elemento determinante en el diseño de carreteras ya que permite estimar la demanda de ejes de cargas equivalentes a las que se verá expuesta a lo largo de su vida útil. Por lo tanto, es indispensable contar con factores camión que reflejen las condiciones reales y actuales de los diversos tipos de vehículos que transitan dentro del territorio nacional.
2. El objetivo de esta investigación ha sido la determinación de factores camión de la carretera Atico – Puente Camiara para realizar un análisis de la influencia de la sobrecarga en el pavimento. De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la encuesta de carga se estableció que los factores utilizados con los pesos máximos legales no son representativos para los vehículos en esta carretera, ya que estos son excedidos en gran medida por los diferentes vehículos.
3. Para la totalidad de vehículos pesados en la estación Montalvo se determinó que el 37% de los vehículos están sobrecargados, mientras que para la estación Camaná este valor asciende a 58%. Asimismo, al realizar el análisis por ejes en la estación Camaná se tiene que el 14% de los ejes simples duales excedían el peso límite de 11000 kg, mientras que 17 % de los ejes tándem tienen un peso superior al permitido de 18000 kg, y el 60 % de la configuración tridem excede el peso máximo de 25000 kg. Por otro lado, en la estación Montalvo se tiene que el 15% de los ejes simples duales excedían el peso límite de 11000 kg, mientras que 25 % de los ejes tándem tienen un peso superior al permitido 18000 kg y el 76 % de la configuración tridem excede el peso máximo de 25000 kg.

4. El factor de equivalencia de carga, y por consecuencia el factor camión, aumenta de manera exponencial conforme se incrementa el peso del eje. Debido a esto los vehículos con sobrepeso someten al pavimento a grandes esfuerzos, lo cual acelera el proceso de falla de la estructura. Asimismo, los factores camión tienen una incidencia directa en el cálculo de los EAL. Este valor a su vez es uno de los elementos más importantes de la expresión matemática que permite determinar el número estructural de las capas del pavimento. La utilización de factores camión poco representativos incide de manera negativa en el diseño de pavimentos asfálticos.
5. De esta manera, si se aplican factores camión superiores a los que realmente corresponden a la carretera se estará sobre diseñando el pavimento, lo cual aumentara de manera innecesaria los costos y reduciría la funcionalidad de la estructura. En caso contrario, si se utilizan factores inferiores a los que representan las condiciones reales del tránsito se tendrá como resultado un espesor de pavimento menor al requerido, aumentando así el riesgo de fallas prematuras.

Recomendaciones

1. El Reglamento Nacional de Vehículos mediante el cual se determina el peso y dimensiones permisibles de los vehículos de carga y pasajeros para su circulación en la Red Vial Nacional, ha sufrido un sinnúmero de modificaciones, postergando su aplicación efectiva en muchas ocasiones. Se recomienda considerar en el reglamento un cambio para los pesos permisibles, ajustados a la realidad a la que vivimos.
2. El impacto de los vehículos pesados sobre el pavimento depende de dos factores: el peso bruto vehicular y el peso de los ejes. Este último es más significativo porque se aplica directamente sobre el pavimento, por lo que es más importante el control de cargas por eje que por peso bruto.
3. El comportamiento de los pavimentos aplicando estrategias de mantenimiento rutinario y periódico asegura la serviciabilidad y buen desempeño superficial y estructural del pavimento. En cambio, si solamente se aplica mantenimiento rutinario (limpiezas) la funcionalidad de los pavimentos asfálticos se torna crítica, llegando a producir más intervenciones de rehabilitación o reconstrucción.; por lo que es necesario una planificación de mantenimiento para asegurar el desempeño correcto.
4. Se debería tener una gran cantidad de balanzas móviles del tipo weight in motion que son portátiles y no necesita que los vehículos se detengan. De esta manera, se podría llevar a diferentes lugares del país para realizar estudios de la influencia de las sobrecargas con un mayor detalle.
5. Por otro lado, debido a las condiciones del país se debe diseñar con las cargas circulantes, es decir sin control de cargas. Esto debido a que si existe un control estricto de cargas, muchos transportistas preferirán incluir dentro de sus costos operativos pagar su multa o penalidad por la sobrecarga, a movilizar menos cargas por viaje.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre Gutierrez, Walter. «La sobrecarga de los camiones y su efecto sobre los pavimentos flexibles.» Publicacion Tecnica, Lima, 2010.

American Association Society of Highway and Transportation Officials. *Guide for design of Pavement Structures*. Washington DC, 1993.

Arevalo Lay, Victor. «Sesion 2 , Clase del Curso "Caminos Rurales".» Lima: Universidad Ricardo Palma, 2014.

Banco Mundial. «Perú en el umbral de una nueva era.» Lima, 2012.

Casprowitz Arias, Luis Alberto. «Determinacion de Factores Camion para el Diseño de Pavientos Flexibles en Guatemala.» Tesis Profesional, San Carlos , Guatemala, 2010.

Corredor, Gustavo. *Experimento vial de la AASHO y las guias de diseño AASHTO*. Caracas, 2009.

Espinoza Gonzales, Juan Carlos. «Determinacion de factores camion y espectro de cargas representativos de autobuses urbanos e interurbanos en carreteras de Costa Rica.» Tesis, San Jose, 2013.

Garnica Anguas, Paul. «Espectro de Carga y Daño para diseño de Pavimeno.» Investigacion, Mexico DF, 2009.

Garnica Anguas, Paul, y Roberto Hernandez Dominguez. *IMT PAVE 1.1*. Manual, Mexico DF: Instituto Mexicano de Transporte, 2004.

Guevara Malpartida, Cesar Edinson. «Influencia de la Presion de Inflados de los Neumaticos en la vida util de los Pavimentos.» Investigacion, Lima, 2007.

Huamán Guerrero, Néstor. «Manual de Pavimentos Flexibles.» Lima, 2013.

- Instituto del Asfalto. *Traffic Analysis and Thickness Design MS-1*. 1991.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. «Valor Agregado Bruto.» Lima, 2011.
- MTC. *Manual de Geotecnia, Suelos y Pavimentos*. Lima, 2014.
- MTC. «Reglamento Nacional de Vehículos.» Decreto Supremo N°058-2003-MTC, Lima, 2003.
- MTV Peru Ingenieros. «Estudio de tráfico y pesaje de Carretera Atico-Camiara.» Estudio de tráfico, Lima, 2013.
- «Pavement Interactive.» 2013. www.pavementinteractive.com.
- Quintero, Eric Moreno. *El Sobrepeso en el Autotransporte de carga: Elementos para su estudio y control*. Instituto Mexicano de Transporte (IMT), 2004.
- Troncoso Rivera, Juan Ricardo. *Evaluación del Espectro de Carga y Coeficientes de Daño en el Corredor de la Avenida Boyaca*. Tesis de Maestría, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- Ulloa, Alvaro, Gustavo Badilla, y Jaime Allen. *Encuesta de Carga*. Informe, San Jose, Costa Rica: LANAMME UCR, 2007.

ANEXOS

Anexo 1 – Conteos Vehiculares

ESTACION 1
CAMIARA - DV ILO

DIA	Auto movil	Cmta pick up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion				Semitrailers							Trailers				Total				
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=5S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3							
SABADO	386	198	119	11	73	8	40	12	2	-	2	-	7	-	41	83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	975
DOMINGO	433	77	106	9	12	74	10	26	7	4	-	-	7	-	18	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	825
LUNES	311	135	91	4	20	82	11	36	35	4	-	-	4	1	15	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	827
MARTES	270	168	71	7	6	71	9	37	13	10	1	4	4	-	24	73	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	772
MIERCOLES	254	188	58	4	6	78	13	49	17	1	-	5	3	-	22	93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	794
JUEVES	261	147	64	9	6	70	9	37	9	1	-	4	11	-	16	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	731
VIERNES	279	181	84	5	10	77	6	38	26	11	-	1	8	2	17	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	822
	311	156	85	7	10	75	9	38	17	5	0	2	6	0	22	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	821

DV ILO - CAMIARA

DIA	Auto movil	Cmta pick up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion				Semitrailers							Trailers				Total					
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=5S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3								
SABADO	379	126	115	10	10	70	7	40	48	2	-	2	5	-	30	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	951
DOMINGO	395	80	122	4	9	88	11	23	6	2	1	-	4	1	13	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	784
LUNES	258	121	64	3	12	66	14	36	25	8	4	2	4	-	11	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	689	
MARTES	218	128	57	51	6	77	8	35	23	18	1	1	9	1	18	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	725	
MIERCOLES	205	170	62	3	3	83	8	44	35	2	-	1	5	1	18	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	712	
JUEVES	282	145	66	5	2	59	11	47	7	3	-	-	12	1	10	88	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	732	
VIERNES	444	192	83	5	7	94	10	45	22	2	-	2	2	1	12	77	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	
TOTAL	309	137	81	12	7	77	10	39	24	5	1	1	6	1	16	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	799	

ESTACION 2
Dv Ilo- Dv Moquegua

DIA	Auto movil	Cmta pick-up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semitraylers						Traylers			Total				
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3			
SABADO	539	134	149	5	7	75	7	66	13	-	-	-	-	26	1	29	83	1	-	-	3	-	-	1,137
DOMINGO	473	127	175	5	12	86	16	35	10	8	-	-	6	-	-	26	31	-	-	-	1	-	-	1,011
LUNES	420	137	128	5	9	81	11	52	13	2	-	-	19	-	-	19	83	-	-	1	-	-	-	981
MARIES	397	163	110	4	9	79	8	38	30	14	-	-	1	16	-	39	105	-	-	-	3	-	-	1,056
MIERCOLES	365	163	98	5	9	75	11	62	25	-	-	-	1	17	1	36	86	-	-	-	3	-	-	957
JUEVES	421	188	118	5	11	75	12	67	22	2	1	-	25	1	26	126	2	-	-	-	1	-	1	1,105
VIERNES	508	183	147	12	9	84	6	67	20	2	-	-	19	-	-	42	104	12	-	-	1	-	1	1,217
TOTAL	446	157	132	6	9	79	10	58	19	4	0	0	18	0	31	88	2	0	2	0	2	0	0	1,063

Dv Moquegua - Dv Ilo

DIA	Auto movil	Cmta pick-up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semitraylers						Traylers			Total				
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3			
SABADO	503	143	156	9	18	102	20	60	31	13	-	-	4	14	-	60	117	-	-	-	1	-	-	1,251
DOMINGO	492	132	164	2	10	80	7	49	6	3	-	-	-	11	1	40	68	-	-	-	1	-	-	1,066
LUNES	421	144	134	9	15	81	10	53	10	4	-	-	-	14	-	40	96	-	-	-	1	-	-	1,022
MARIES	411	140	111	4	15	64	8	52	16	2	-	-	1	16	-	53	85	1	-	-	-	-	-	979
MIERCOLES	342	188	104	3	11	76	12	57	14	2	-	-	4	22	1	40	95	-	-	-	2	-	-	953
JUEVES	378	175	109	5	11	72	8	49	14	8	-	-	1	22	1	49	110	-	-	-	1	-	-	1,013
VIERNES	425	178	125	9	11	71	10	72	22	4	-	-	1	18	1	38	101	1	-	-	1	-	1	1,088
TOTAL	425	154	129	6	13	78	11	56	16	5	2	0	17	1	46	95	0	1	0	1	0	0	0	1,055

ESTACION 3
Dv Moquegua - Fiscal

DIA	Auto movil	Cma pick-up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semitrailers						Trailers			Total	
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	188	122	51	27	5	67	8	35	33	3	5	2	18	-	38	107	-	2	7	-	718
DOMINGO	175	95	46	20	4	59	7	22	15	3	1	3	19	-	24	55	-	-	5	4	557
LUNES	104	77	50	14	2	65	7	29	17	-	-	-	14	-	26	98	-	-	2	-	505
MARTES	120	85	52	5	2	53	7	22	36	13	-	2	26	-	25	115	-	-	5	-	568
MIERCOLES	103	96	46	3	1	53	5	31	28	3	5	-	23	-	20	91	-	3	4	-	513
JUEVES	144	116	52	7	-	55	9	35	39	1	-	3	26	-	24	141	-	1	5	-	638
VIERNES	172	118	52	13	7	62	10	23	31	1	-	-	50	1	28	99	2	-	7	-	676
TOTAL	144	101	50	15	3	59	8	28	28	3	2	1	25	0	26	101	0	1	5	1	999

Fiscal - Dv Moquegua

DIA	Auto movil	Cma pick-up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semitrailers						Trailers			Total	
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	172	110	43	21	3	60	10	38	26	-	1	5	29	-	36	128	-	-	5	3	690
DOMINGO	242	94	57	22	4	64	6	24	12	2	-	-	18	-	30	59	3	1	6	1	645
LUNES	138	86	51	4	6	55	6	20	26	2	-	-	22	-	17	111	-	-	2	-	547
MARTES	141	83	49	10	-	95	10	30	13	1	-	-	17	1	34	106	1	-	6	-	597
MIERCOLES	101	109	33	3	4	61	3	32	20	4	-	11	20	2	22	127	1	-	4	2	559
JUEVES	131	108	39	7	4	52	5	31	34	1	-	5	28	2	32	150	1	1	5	1	637
VIERNES	136	112	68	10	12	76	8	43	38	10	-	-	28	-	15	129	1	-	6	1	693
TOTAL	152	100	49	11	5	66	7	31	24	3	0	3	23	1	27	116	1	0	5	1	624

ESTACION 4
Fiscal -Dv Matarani

DIA	Auto movil	Cmta pick up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semitraylers							Traylers			Total
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	272	273	372	>=3T3	
SABADO	186	109	142	53	15	69	5	50	27	1	-	4	21	-	33	140	-	-	4	1	860
DOMINGO	255	112	211	47	12	76	8	39	20	3	-	2	7	-	26	55	-	-	2	1	876
LUNES	143	102	174	47	16	63	9	47	17	5	3	8	6	2	35	113	1	-	1	-	792
MARIES	117	93	158	36	13	57	10	37	32	5	-	14	11	3	27	96	-	-	-	-	709
MERCOLES	101	99	139	30	20	61	9	50	38	3	1	-	12	1	27	118	-	-	4	-	713
JUEVES	132	137	141	26	14	62	9	67	33	26	-	4	12	1	26	125	1	-	7	3	826
VIERNES	178	154	193	46	13	61	5	50	25	4	-	3	7	1	29	110	4	-	6	1	890
TOTAL	159	115	165	41	15	64	8	49	27	7	1	5	11	1	29	108	1	-	3	1	809

Dv Matarani-Fiscal

DIA	Auto movil	Cmta pick up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semitraylers							Traylers			Total
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	272	273	372	>=3T3	
SABADO	193	100	167	46	7	65	3	47	13	5	-	6	28	1	40	77	-	1	3	-	802
DOMINGO	262	85	220	47	13	75	9	39	19	4	-	13	13	3	21	95	1	2	5	1	927
LUNES	140	129	179	30	18	58	6	49	19	6	-	3	10	-	25	106	2	-	3	1	814
MARTES	137	106	142	30	13	58	8	41	26	7	2	4	4	4	19	101	1	-	6	1	708
MERCOLES	110	120	121	27	8	64	4	42	19	6	1	3	11	1	27	138	-	-	6	3	711
JUEVES	122	123	125	31	10	57	31	41	29	6	1	1	10	1	28	117	2	-	5	2	742
VIERNES	131	106	158	43	11	57	10	64	31	6	-	2	16	-	37	130	2	-	10	-	814
TOTAL	156	110	159	36	11	62	10	46	22	6	1	5	13	1	28	113	1	0	5	1	788

ESTACION 5
Dv Matarani - Reparticion

DIA	Auto movil	Cmtrapick up	Omita Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semitrailers						Trailers			Total	
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	282	162	222	21	74	82	15	81	23	17	13	6	31	13	141	129	51	7	21	16	1,407
DOMINGO	343	150	272	8	15	66	21	65	20	9	5	8	31	21	120	75	2	1	3	-	1,235
LUNES	282	178	243	7	40	66	36	67	40	5	2	1	8	2	158	138	4	4	-	2	1,296
MARTES	303	203	222	6	19	56	14	115	28	10	3	6	6	3	154	154	1	2	5	-	1,310
MIERCOLES	289	201	280	7	49	62	34	91	34	8	3	3	3	2	147	162	-	-	4	1	1,300
JUEVES	211	215	200	10	25	67	29	85	23	7	1	3	11	-	125	157	4	-	7	5	1,185
VIERNES	300	155	305	24	44	64	25	95	82	4	1	2	9	-	153	129	7	6	11	9	1,425
TOTAL	289	181	249	12	38	66	25	86	36	9	4	4	14	6	143	135	10	3	7	5	1,520

Reparticion - Dv Matarani

DIA	Auto movil	Cmtrapick up	Omita Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semitrailers						Trailers			Total	
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	280	132	185	59	10	96	3	53	13	10	-	2	22	-	43	90	-	1	3	-	992
DOMINGO	296	103	243	50	17	100	10	50	22	9	-	3	25	4	32	108	1	2	5	1	1,081
LUNES	188	162	153	35	22	76	25	35	32	4	-	5	24	-	29	168	2	1	3	1	976
MARTES	174	173	118	20	9	66	30	16	18	14	5	3	17	4	21	160	-	-	1	1	850
MIERCOLES	139	135	121	29	7	67	11	54	18	10	2	8	9	8	48	121	-	-	4	-	792
JUEVES	140	182	112	34	16	88	11	54	37	6	-	2	13	-	32	130	2	-	6	3	848
VIERNES	143	114	174	45	12	64	11	67	40	4	-	3	18	-	42	144	2	-	11	-	884
TOTAL	191	143	158	39	13	77	14	47	26	8	1	4	18	2	35	132	1	1	5	1	918

ESTACION 6
 Reparticion - La Joya

DIA	Auto movil	Cmta pick up	Cmta Rural	Mico	Omnibus			Camion			Semitraylers						Traylers			Total	
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	672	512	524	30	127	89	89	325	98	36	4	17	24	3	47	254	5	5	22	22	2,837
DOMINGO	623	492	449	28	83	58	11	317	96	30	1	18	15	3	48	198	-	3	13	22	2,908
LUNES	595	456	405	31	96	91	23	945	112	35	8	24	29	1	52	314	2	12	18	22	2,861
MARIES	664	539	433	22	91	93	29	323	124	30	5	21	48	1	78	313	2	1	22	30	2,869
MERCOLES	681	547	510	46	102	104	24	368	104	34	3	27	28	1	89	334	4	1	29	27	3,063
JUEVES	882	563	531	30	147	66	40	306	96	70	26	14	17	2	56	187	-	1	15	20	3,049
VIERNES	888	396	559	29	105	100	18	239	59	13	5	16	31	-	61	319	2	-	18	19	2,887
TOTAL	712	501	487	31	107	86	24	318	98	35	7	20	27	2	62	274	2	3	20	23	2,839

La Joya - Reparticion

DIA	Auto movil	Cmta pick up	Cmta Rural	Mico	Omnibus			Camion			Semitraylers						Traylers			Total	
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	727	491	510	23	127	101	26	299	111	40	4	14	20	2	57	237	3	1	13	18	2,824
DOMINGO	674	573	472	16	113	116	41	352	107	37	3	25	22	5	76	258	1	1	28	19	2,939
LUNES	603	480	415	20	100	95	19	340	132	22	7	29	34	4	53	314	2	2	21	25	2,717
MARTES	716	547	406	22	90	95	24	303	124	25	3	21	26	-	59	306	2	-	15	26	2,810
MERCOLES	748	494	536	20	106	105	20	342	118	26	7	13	23	2	63	280	-	-	17	22	2,922
JUEVES	915	512	587	29	125	97	19	332	85	28	3	17	35	4	57	284	-	3	20	27	3,179
VIERNES	909	341	508	28	117	82	12	207	77	20	1	20	33	-	48	221	2	1	10	17	2,854
TOTAL	756	491	491	23	111	99	23	311	108	28	4	20	28	2	59	269	1	1	18	22	2,864

ESTACION 7
La Joya - Camana

DIA	Auto movil	Cmta pick up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion				Semiteyfers						Teyfers				Total	
					3E		4E	2E	3E	4E	2E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3		2T2	2T3	3T2		>=3T3
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	3S3	3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	176	198	125	26	46	108	18	119	78	30	10	23	25	14	64	308	6	10	17	17	1,418		
DOMINGO	242	171	126	36	89	111	29	86	58	39	19	24	50	5	89	308	8	17	17	23	1,827		
LUNES	301	227	141	75	100	138	29	152	85	90	34	54	93	10	130	316	4	22	35	35	2,071		
MARTES	305	218	143	81	71	94	39	174	113	86	33	60	77	22	133	294	17	18	22	20	2,020		
MIERCOLES	327	239	151	92	83	166	56	174	108	70	50	88	128	24	143	364	44	28	42	42	2,989		
JUEVES	270	243	144	80	91	126	18	168	125	46	19	34	63	8	126	405	14	19	26	24	2,052		
VIERNES	275	285	167	62	95	142	45	233	119	53	14	61	63	17	103	387	9	24	26	26	2,180		
TOTAL	271	226	142	65	79	126	33	158	98	99	26	46	71	14	113	340	15	20	27	23	1,953		

Camana - La joya

DIA	Auto movil	Cmta pick up	Cmta Rural	Micro	Omnibus			Camion				Semiteyfers						Teyfers				Total	
					3E		4E	2E	3E	4E	2E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3		2T2	2T3	3T2		>=3T3
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	3S3	3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	236	190	108	29	66	120	22	114	64	38	7	17	58	5	88	288	6	9	16	14	1,465		
DOMINGO	283	217	142	42	43	116	20	86	92	44	5	34	38	10	104	345	1	21	28	23	1,673		
LUNES	310	241	135	89	97	146	30	163	130	81	37	42	84	19	137	346	4	25	40	25	2,181		
MARTES	328	243	166	61	77	126	44	171	158	67	21	71	91	9	128	336	40	29	29	26	2,221		
MIERCOLES	355	247	163	74	91	165	67	179	158	99	50	78	90	41	130	338	26	45	46	33	2,475		
JUEVES	259	258	133	44	61	124	30	168	141	61	11	52	84	22	105	400	9	21	19	23	2,025		
VIERNES	243	256	140	53	89	131	23	214	88	47	25	29	97	13	81	339	17	20	33	25	1,863		
TOTAL	285	236	141	56	75	133	34	156	119	62	22	46	77	17	110	342	15	24	30	24	2,005		

ESTACION 8
Camana - Atico

DIA	Auto movil	Omta pick up	Omta Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semiraylers						Trailers			Total	
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	143	160	89	41	27	82	32	116	41	20	-	9	27	1	83	215	-	2	12	15	1,115
DOMINGO	201	167	73	111	31	119	26	79	96	20	5	19	32	3	89	289	25	4	25	24	1,988
LUNES	100	124	77	61	19	88	27	95	35	14	-	12	30	-	50	208	3	4	30	19	998
MARTES	104	142	84	56	10	96	24	93	65	21	9	30	55	20	43	185	4	19	18	11	1,099
MIERCOLES	137	135	92	50	25	102	25	119	48	29	1	20	37	6	51	305	2	-	8	17	1,209
JUEVES	124	110	74	41	20	93	26	181	71	15	1	16	37	1	46	304	1	8	13	14	1,176
VIERNES	163	133	104	47	17	112	30	101	51	22	3	13	45	9	85	280	3	3	20	14	1,235
TOTAL	139	139	85	58	21	99	27	109	52	20	3	17	38	6	64	254	5	6	18	16	1,175

Atico - Camana

DIA	Auto movil	Omta pick up	Omta Rural	Micro	Omnibus			Camion			Semiraylers						Trailers			Total	
					2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
SABADO	132	139	110	33	22	82	25	93	36	21	-	10	13	-	79	272	1	2	13	6	1,089
DOMINGO	119	123	67	52	27	81	31	59	37	11	6	16	35	3	43	265	3	4	20	16	1,018
LUNES	117	139	83	59	11	102	25	87	38	21	11	6	30	1	53	242	6	1	17	14	1,064
MARTES	120	141	72	49	16	72	22	110	51	19	-	17	18	1	55	247	2	-	18	6	1,096
MIERCOLES	125	129	78	41	21	95	18	115	70	25	5	24	25	1	64	285	2	4	18	21	1,166
JUEVES	130	148	81	52	23	98	27	103	44	10	7	26	11	21	43	276	3	10	13	20	1,146
VIERNES	130	96	40	29	9	85	44	54	37	14	1	25	31	-	88	187	16	5	10	23	894
TOTAL	125	131	76	45	18	88	27	89	45	17	4	18	23	4	55	253	5	4	16	15	1,059

FECHA	HORA	CAMION	MARCA	AÑO	ORIGEN	DESTINO	SECO	UTIL	TOTAL	CARGA	EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4	EJE 5	EJE 6	ESTACION
03/10/2013	12:34	353	VOLVO	2008	AREQUIPA	LIMA	8750	19350	28100	MINERALES	6690	9390	7690	10520	9590	10380	CAMANA
03/10/2013	12:39	353	VOLVO	1999	AREQUIPA	LIMA	8675	16325	25000	MINERALES	4900	6550	6190	9290	9560	9060	CAMANA
03/10/2013	12:45	353	VOLVO	2008	AREQUIPA	LIMA	9000	19100	28100	MINERALES	5540	8290	7100	7880	8150	8190	CAMANA
03/10/2013	12:48	353	INTERNATIONAL	2011	AREQUIPA	LIMA	7400	19814	27214	RESIDUOS	4570	9080	8490	10860	10240	9760	CAMANA
03/10/2013	13:05	353	SCANIA	2012	AREQUIPA	LIMA	9810	18690	28500	MINERALES	6460	8130	7400	12070	9560	9680	CAMANA
03/10/2013	14:02	353	VOLVO	1999	AREQUIPA	LIMA	7855	17045	25000	MINERALES	5160	6280	6370	6820	7960	7480	CAMANA
03/10/2013	14:15	C3	VOLVO	2000	AREQUIPA	LIMA	10200	15600	25800	AIOS	6870	8560	8390				CAMANA
03/10/2013	14:32	353	VOLVO	2004	LA PAZ	LIMA				CHATARRA	4540	10180	8580	9320	8680	8480	CAMANA
03/10/2013	14:41	4T2	VOLVO	1993	JULIACA	LIMA	9950	22050	32000	LANA	6740	11520	8870	3340	7420	8540	CAMANA
03/10/2013	14:46	4T2		2012	PEDREGAL	LIMA	10500	21500	32000	AIOS	5180	6720	7950	2740	2660	2820	CAMANA
03/10/2013	14:52	C3	VOLVO	1981	AREQUIPA	CAMANA	10800	14200	25000	DESMONTE	5880	8890	9530				CAMANA
03/10/2013	15:03	353	INTERNATIONAL	2012	AREQUIPA	ICA	7680	19534	27214	SOYA	4970	9310	8990	10150	8950	7040	CAMANA
03/10/2013	15:11	352	INTERNATIONAL	1991	AREQUIPA	CAMANA	7400	25000	32400	FIDEO	5160	5620	5760	2140	3280		CAMANA
03/10/2013	15:19	353	VOLVO	2008	AREQUIPA	LIMA	8808	19292	28100	HARINA DE SOYA	6840	9860	9230	7790	7460	7620	CAMANA
03/10/2013	15:30	O3	MERCEDES BENZ	1998	AREQUIPA	CAMANA	12300	7660	19960	PASAEROS	5030	3710	7590				CAMANA
03/10/2013	15:45	O3	VOLVO	1998	AREQUIPA	CAMANA	16340	6000	22340	PASAEROS	6310	9810	5310				CAMANA
03/10/2013	15:58	352	INTERNATIONAL	2008	MOLLENDO	CAMANA	7400	25000	32400	COMBUSTIBLE	5130	4780	8210	8440	7210		CAMANA
03/10/2013	16:15	O3	SCANIA	2004	AREQUIPA	CAMANA	16000	6000	32000	PASAEROS	5320	8590	6530				CAMANA
03/10/2013	16:32	353	INTERNATIONAL	2012	PEDREGAL	CAMANA	7632	15953	23585	LECHE	4500	4860	8530	9740	7230	6530	CAMANA
03/10/2013	16:47	C3	FORLAND	2012	CAMANA	AREQUIPA	7525	17475	25000	GASEOSAS	3050	6890	5340				CAMANA
03/10/2013	16:53	O3	VOLVO	1994	CAMANA	AREQUIPA	16310	6690	23000	PASAEROS	6820	7430	4580				CAMANA
03/10/2013	17:03	C2	HINO	2009	CAMANA	AREQUIPA	5560	11440	17000	GAS	5550	7340					CAMANA
03/10/2013	17:10	C2	FREIGHTLINER	2008	CAMANA	AREQUIPA	4900	10976	15876	GASEOSAS	4450	6870					CAMANA

Anexo 3 – PU Carretera “Camaná - Matarani”

050

916

Página: 6

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201024 ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEFINITIVO DE LA CARRETERA CAMANÁ - DV, QUILCA - MATARANI - ILO TRAMO I: CAMANÁ - DESVIO QUILCA, MATARANI - EL ARENAL Y EL ARENAL - PUNTA DE BOMBÓN
 Subpresupuesto 003 ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEFINITIVO DE LA CARRETERA CAMANÁ - DV, QUILCA - MATARANI - ILO TRAMO I: CAMANÁ - DESVIO QUILCA, MATARANI - EL ARENAL Y EL ARENAL - PUNTA DE BOMBÓN (CARRETERA Y PTES) Fecha presupuesto 30/11/2013

Partida		347.A GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE 1			Costo unitario directo por : m2			5.32
Rendimiento	m3/DIA	M.O. 300.0000	E.Q. 300.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
014701003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0267	14.23	0.38		
014701004	PEÓN	hh	2.0000	0.0533	12.82	0.08		
0147010031	CAPATAZ "A"	hh	0.1000	0.0027	21.79	0.06		
Materiales								
0231810006	GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE 1	m2		1.1000	3.76	4.14		
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	1.12	0.06		
0.06								

Partida		303.A SUB BASE GRANULAR			Costo unitario directo por : m3			34.10
Rendimiento	m3/DIA	M.O. 859.0000	E.Q. 559.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010034	PEÓN	hh	4.0000	0.0572	12.82	0.73		
0147010031	CAPATAZ "A"	hh	1.0000	0.0143	21.79	0.31		
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.04	0.03		
910312020126	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 ton	hm	1.0000	0.0143	184.62	2.21		
910312020140	MOTONIVELADORA DE 145-160 HP	hm	1.0000	0.0143	213.30	3.06		
Subpartidas								
910304110101	AGUA PARA LA OBRA	m3		0.1200	22.62	2.71		
910306010101	MATERIAL DE SUB-BASE	m3		1.2000	20.66	26.16		
27.86								

Partida		305.A BASE GRANULAR			Costo unitario directo por : m3			49.72
Rendimiento	m3/DIA	M.O. 457.0000	E.Q. 457.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010034	PEÓN	hh	4.0000	0.0700	12.82	0.90		
0147010031	CAPATAZ "A"	hh	1.0000	0.0175	21.79	0.38		
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.28	0.04		
910312020126	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 ton	hm	1.0000	0.0175	184.62	2.71		
910312020140	MOTONIVELADORA DE 145-160 HP	hm	1.0000	0.0175	213.30	3.73		
Subpartidas								
910304110101	AGUA PARA LA OBRA	m3		0.1200	22.62	2.71		
910306010102	MATERIAL DE BASE	m3		1.2000	32.71	39.25		
41.96								



HOB CONSULTORES S.A.

ING. JULIO ENRIQUE BERNABE ROMERO
 Esp. ASISTENTE, COSTOS Y PRESUPUESTO
 CIP N° 41444

HOB CONSULTORES S.A.
 LTDA. C.R. 101 10803

ING. RAUL DEYVID P. SANCHEZ SALAS
 JEFE DE ESTUDIO
 CIP N° 1791

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201024 ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEFINITIVO DE LA CARRETERA CAMANÁ - DV. QUILCA - MATARANI - ILO TRAMO I: CAMANÁ - DESVIO QUILCA, MATARANI - EL ARENAL Y EL ARENAL - PUNTA DE BOMBÓN
 Subpresupuesto 003 ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEFINITIVO DE LA CARRETERA CAMANÁ - DV. QUILCA - MATARANI - ILO TRAMO I: CAMANÁ - DESVIO QUILCA, MATARANI - EL ARENAL Y EL ARENAL - PUNTA DE BOMBÓN (CARRETERA Y PTES) Fecha presupuesto 30/11/2013

Partida	315.A LAVADO DE MATERIAL GRANULAR			Costo unitario directo por : m3				25.24
Rendimiento	m3/DIA	MO. 384.0000	EQ. 384.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0208	16.76	0.35		
0147010004	PEON	hh	2.0000	0.0417	12.82	0.53		
0147010031	CAPATAZ "A"	hh	0.1000	0.0021	21.79	0.05		
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.93	0.05		
0349180058	FAJA TRANSPORTADORA 18" X 40' MOTOR ELECTRICO 3 KW 150 ton/h	hm	2.0000	0.0417	6.04	0.25		
910312020104	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3 yd3	hm	0.7385	0.0154	170.08	2.62		
910312020118	GRUPO ELECTROGENO 140 HP 90 KW	hm	1.0000	0.0208	153.81	3.20		
910312020141	LAVADORA DE GUSANO 48" 50-120 Tn/hr	hm	1.0000	0.0208	57.80	1.20		
Subpartidas								
910311030104	AGUA PARA LAVADO DE MATERIAL	m3		1.3000	12.94	16.82		
910311030105	ACOPPIO DE SEDIMENTOS	m3		0.1000	1.70	0.17		
16.99								

Partida	401.A IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA			Costo unitario directo por : m2				0.83
Rendimiento	m2/DIA	MO. 4,500.0000	EQ. 4,500.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010004	PEON	hh	6.0000	0.0107	12.82	0.14		
0147010031	CAPATAZ "A"	hh	1.0000	0.0018	21.79	0.04		
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.18	0.01		
910312020107	CAMION IMPRIMADOR 210 HP DE 2000 GLN	hm	1.0000	0.0018	137.56	0.25		
910312020113	COMPRESORA NEUMATICA 87 HP 250-330 PCM	hm	1.0000	0.0018	80.23	0.14		
910312020132	MINICARGADOR 70 HP	hm	1.0000	0.0018	67.67	0.12		
0.52								

Partida	402.B RIEGO DE LIGA EN PUENTES			Costo unitario directo por : m2				0.84
Rendimiento	m2/DIA	MO. 3,500.0000	EQ. 3,500.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010004	PEON	hh	4.0000	0.0091	12.82	0.12		
0147010031	CAPATAZ "A"	hh	1.0000	0.0023	21.79	0.05		
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.17	0.01		
910312020107	CAMION IMPRIMADOR 210 HP DE 2000 GLN	hm	1.0000	0.0023	137.56	0.32		
910312020113	COMPRESORA NEUMATICA 87 HP 250-330 PCM	hm	1.0000	0.0023	80.23	0.18		
910312020132	MINICARGADOR 70 HP	hm	1.0000	0.0023	67.67	0.16		
0.67								



HOB CONSULTORES S.A.

ING. RAUL REYNALDO SANCHEZ SALAS
 JEFE DE ESTUDIO
 CIP N° 41844

HOB CONSULTORES S.A.

01.0002.01.20130805

ING. RAUL REYNALDO SANCHEZ SALAS
 JEFE DE ESTUDIO
 CIP N° 1791

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201024 ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEFINITIVO DE LA CARRETERA CAMANÁ - DV. QUILCA -MATARANI - ILO TRAMO I: CAMANÁ - DESVIO QUILCA, MATARANI - EL ARENAL Y EL ARENAL - PUNTA DE BOMBÓN
 Subpresupuesto 003 ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEFINITIVO DE LA CARRETERA CAMANÁ - DV. QUILCA -MATARANI - ILO TRAMO I: CAMANÁ - DESVIO QUILCA, MATARANI - EL ARENAL Y EL ARENAL - PUNTA DE BOMBÓN (CARRETERA Y PTES) Fecha presupuesto 30/11/2013

Partida	410.A	CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE						
Rendimiento	m ³ /DIA	MO. 233.0000	EQ. 233.0000	Costo unitario directo por : m ³			194.16	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Mano de Obra							
0147010002	OPERARIO	nh	1.0000	0.0343	16.76	0.57		
0147010004	PEON	nh	6.0000	0.2060	12.82	2.64		
0147010031	CAPATAZ 'A'	nh	1.0000	0.0343	21.79	0.75		
						3.96		
	Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	3.96	0.20		
910312020128	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO 135 HP 9.26 ton	hm	1.0000	0.0343	137.79	4.73		
910312020129	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0343	116.17	3.98		
910312020139	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105 HP 10-16'	hm	1.0000	0.0343	134.46	4.61		
						13.52		
	Subpartidas							
910301100670	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	m ³		1.3000	135.90	176.67		
						176.67		

Partida	420.B	CEMENTO ASFÁLTICO DE PENETRACION 60-70						
Rendimiento	kg/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : kg			2.56	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Materiales							
0220010009	CEMENTO ASFÁLTICO 60/70	kg		1.0000	2.56	2.56		
						2.56		

Partida	421.A	EMULSION ASFÁLTICA DE ROTURA RAPIDA CRS-1						
Rendimiento	l/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : l			2.41	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Materiales							
0213710003	EMULSIÓN ASFÁLTICA CRS-1	l		1.0000	2.41	2.41		
						2.41		

Partida	422.A	ASFALTO DILUIDO TIPO MC-30						
Rendimiento	l/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : l			2.89	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Materiales							
0213000025	ASFALTO LIQUIDO MC-30	l		1.0000	2.89	2.89		
						2.89		

Partida	423.A	FILLER MINERAL						
Rendimiento	kg/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : kg			0.92	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Materiales							
0229030099	CAL HIDRATADA	kg		1.0000	0.92	0.92		
						0.92		



HOB CONSULTORES S.A.

ING. RAÚL REYNALDO SANCHEZ SALAS
 JEFE DE ESTUDIO
 CIP Nº 1791

HOB CONSULTORES S.A.

ING. RAÚL REYNALDO SANCHEZ SALAS
 JEFE DE ESTUDIO
 CIP Nº 1791