

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
ESCUELA DE POSGRADO**

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



Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Vial
con mención en Carreteras, Puentes y Túneles

El Espectro de carga para validar la carga de tráfico
acumulada calculado por la AASHTO-93

Autor: Bach. Ponce Filios, José Luis

Asesor: Dr. Valencia Gutierrez, Andres Avelino

LIMA-PERÚ

2019

Dedicatoria

A los seres más queridos de mi mundo niño: Natividad y Alejandro, a mis hermanos (as) Percy, Mabel, Liliana, Rojer, Héctor, Alejandro y Whasinton; a mi esposa Gloria y la dicha de ver crecer a mis hijos y muestra de mi afecto, Lucas, Gabriela y, al más querido del hogar, Brandon.

Agradecimiento

A los docentes que me formaron en la maestría de ingeniería vial de la universidad Ricardo Palma, a mis docentes de la Universidad Católica por haberme enseñado a cultivar las ciencias, a mis profesores de la Universidad de Ingeniería por guiarme por este apasionante arte de la ingeniería y la infraestructura vial.

Al Dr. Andrés Avelino Valencia Gutierrez por su atinada instrucción en el desarrollo de este trabajo.

A las empresas Vector Perú, Ausenco y Golder Associates por haber sido la realización de la formación ingenieril y experiencia profesional.

A mis amigos que abrazamos la inquietud de seguir por el camino de la especialización en el campo de la infraestructura vial.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
INDICE GENERAL	III
LISTADO DE TABLAS	VI
LISTADO DE FIGURAS	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	5
1.3.1 Importancia del estudio	5
1.3.2 Justificación del estudio	5
1.4 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	6
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.5.1 Objetivo general	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	8
2.1 MARCO HISTÓRICO	8
2.2 INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL TEMA.....	9
2.2.1 Antecedentes nacionales.....	10
2.2.2 Antecedentes internacionales	12
2.3 ESTRUCTURA TEÓRICA Y CIENTÍFICA QUE SUSTENTE EL ESTUDIO	17
2.3.1 Origen y desarrollo de la AASHTO-93	17
2.3.1.1 Secciones de prueba en pavimentos flexibles	19
2.3.1.2 Material de fundación	20
2.3.1.3 Materiales de la estructura del pavimento	21
2.3.1.4 Cargas	22
2.3.1.5 Fundamentos del procedimiento de diseño	24

2.3.1.6	Ecuaciones de diseño.....	27
2.3.2	Tipología vehicular, ejes y espectro de cargas.....	30
2.3.2.1	Clasificación general de los vehículos.....	30
2.3.2.2	Métodos de conteo y pesaje vehicular.....	32
2.3.2.3	Espectros de carga.....	33
2.3.3	Modelos de deterioro.....	38
2.4	DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	39
2.5	HIPÓTESIS.....	42
2.5.1	Hipótesis General.....	42
2.5.2	Hipótesis Nula.....	42
2.5.3	Hipótesis Específicas.....	42
2.6	VARIABLES.....	42
2.6.1	Operacionalización de las variables.....	42
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....		45
3.1	TIPO Y MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
3.1.1	Tipo de investigación.....	45
3.1.2	Método de la investigación.....	45
3.1.3	Diseño de la investigación.....	46
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	46
3.2.1	Población de estudio.....	46
3.2.1.1	Criterio de inclusión.....	46
3.2.1.2	Criterio de exclusión.....	46
3.2.2	Diseño muestral.....	47
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	47
3.4	DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS.....	48
3.4.1	Procedimiento para la recolección de datos.....	48
3.4.2	Técnicas y procedimientos y análisis de datos.....	48
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		49
4.1	RESULTADOS.....	49
4.1.1	Series históricas de conteo y pesaje vehicular y espectro de carga.....	49
4.1.1.1	Tipo y conteo vehicular pesado en la Estación Ccatuyo.....	49
4.1.1.2	Espectro de carga del tráfico Estación Ccatuyo.....	54
4.1.2	Carga de tráfico acumulado ESAL por AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal.....	67
4.1.3	Esfuerzos, deformación y daño en el pavimento.....	106
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	142

4.2.1	Series históricas de conteo y pesaje vehicular y espectro de carga	142
4.2.1.1	Tipo y conteo vehicular pesado en la Estación Ccatuyo	142
4.2.1.2	Espectro de carga del tráfico Estación Ccatuyo	143
4.2.2	Carga del tráfico acumulado ESAL por AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú 149	
4.2.3	Esfuerzos, deformación y daño en el pavimento	157
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		161
5.1	CONCLUSIONES	161
5.2	RECOMENDACIONES	163
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		164
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA		166
ANEXO 2: EXTRACTO DE SERIES HISTÓRICAS, PRIMERA SEMANA ENERO-2012, SENTIDO SUBIDA		168

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Secciones estructurales en pavimentos flexibles en la pista de prueba de AASHO.....	20
Tabla 2 Características del material utilizado en el terraplén (subrasante)	20
Tabla 3 Características de los materiales para la estructura del pavimento flexible	21
Tabla 4 Tipo, nomenclatura y ejes de vehículos pesados	31
Tabla 5 Extracto de las series históricas de conteo y pesaje vehicular del año 2012	33
Tabla 6 Tipos de Vehículos con sus respectivos ejes y carga	33
Tabla 7 Repeticiones de ejes Simple en los años 2012 al 2018.....	34
Tabla 8 Clasificación y Operacionalización de las variables	43
Tabla 9 Tabla de tipo y conteo vehicular pesado por años en la estación Ccatuyo.....	50
Tabla 10 Tabla de tipo y conteo vehicular en porcentaje por años en la estación Ccatuyo	51
Tabla 11 Tipos de vehículos pesados y conformación de ejes	53
Tabla 12 Repeticiones de ejes por año	55
Tabla 13 Repeticiones de ejes Simple en los años 2012 al 2018.....	55
Tabla 14 Repeticiones de ejes Simple Dual en los años 2012 al 2018.....	56
Tabla 15 Repeticiones de ejes Tandem en los años 2012 al 2018.....	56
Tabla 16 Repeticiones de ejes Tridem en los años 2012 al 2018	58
Tabla 17 Espectro de carga de ejes Simples	59
Tabla 18 Espectro de carga de ejes Simples Duales	60
Tabla 19 Espectro de carga de ejes Tandem.....	62
Tabla 20 Espectro de carga de ejes Tridem	64
Tabla 21 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2012	67
Tabla 22 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2012.....	68
Tabla 23 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2012.....	69
Tabla 24 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2012	70
Tabla 25 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2013	72
Tabla 26 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2013.....	73
Tabla 27 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2013.....	74
Tabla 28 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2013	75
Tabla 29 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2014	76

Tabla 30 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2014.....	77
Tabla 31 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2014.....	79
Tabla 32 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2014.....	80
Tabla 33 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2015.....	81
Tabla 34 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2015.....	82
Tabla 35 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2015.....	83
Tabla 36 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2015.....	84
Tabla 37 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2016.....	86
Tabla 38 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2016.....	87
Tabla 39 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2016.....	88
Tabla 40 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2016.....	89
Tabla 41 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2017.....	90
Tabla 42 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2017.....	91
Tabla 43 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2017.....	93
Tabla 44 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2017.....	94
Tabla 45 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2018.....	95
Tabla 46 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2018.....	96
Tabla 47 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2018.....	97
Tabla 48 ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2018.....	98
Tabla 49 ESAL del espectro de carga por AASHTO-93 para los años 2012 al 2018.....	100
Tabla 50 ESAL del espectro de carga por 4ta Potencia para los años 2012 al 2018.....	100
Tabla 51 ESAL Estimado con Carga legal MTC para los años 2012 al 2018.....	100
Tabla 52 Resumen ESAL acum. periodo 2012-2018.....	100
Tabla 53 Fórmulas de la 4ta Potencia para el cálculo de los Ejes Equivalente EE.....	101
Tabla 54 Fórmulas de la 4ta Potencia para el cálculo EE para el presente estudio.....	101
Tabla 55 Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple.....	102
Tabla 56 Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple Dual.....	102
Tabla 57 Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tandem.....	103
Tabla 58 Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tridem.....	103
Tabla 59 Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple.....	104

Tabla 60 Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple Dual	105
Tabla 61 Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tandem	105
Tabla 62 Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tridem	105
Tabla 63 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2012	106
Tabla 64 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2012	107
Tabla 65 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2012.....	108
Tabla 66 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2012.....	110
Tabla 67 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2013	111
Tabla 68 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2013	112
Tabla 69 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2013.....	113
Tabla 70 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2013.....	114
Tabla 71 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2014	116
Tabla 72 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2014	117
Tabla 73 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2014.....	118
Tabla 74 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2014.....	119
Tabla 75 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2015	120
Tabla 76 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2015	122
Tabla 77 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2015.....	123
Tabla 78 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2015.....	124
Tabla 79 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2015	125
Tabla 80 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2016	126
Tabla 81 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2016.....	128
Tabla 82 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2016.....	129
Tabla 83 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2017	130
Tabla 84 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2017	131
Tabla 85 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2017.....	132
Tabla 86 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2017.....	134
Tabla 87 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2018	135
Tabla 88 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2018	136
Tabla 89 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2018.....	137

Tabla 90 Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2018.....	138
Tabla 91 Daño por fatiga y tipo de eje para el periodo 2012-2018	140
Tabla 92 Daño por deformación permanente y tipo de eje para el periodo 2012-2018	140
Tabla 93 Tipo de vehículos que transitan en los 2 sentidos por la Estación de pesaje Ccatuyo	142
Tabla 94 Repeticiones de ejes por año	143
Tabla 95 Repeticiones de ejes Simple en los años 2012 al 2018.....	144
Tabla 96 Fórmulas de la 4ta Potencia para el cálculo EE según la actual normativa.....	149
Tabla 97 Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple	149
Tabla 98 Ajuste del Denominador para Eje Simple	150
Tabla 99 Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple Dual	150
Tabla 100 Ajuste del Denominador para Eje Simple Dual.....	150
Tabla 101 Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tandem	151
Tabla 102 Ajuste del Denominador para Eje Tandem.....	151
Tabla 103 Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tridem.....	151
Tabla 104 Ajuste del Denominador para Tridem	152
Tabla 105 Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple.....	153
Tabla 106 Ajuste de la Carga Equivalente para Eje Simple.....	154
Tabla 107 Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple Dual	154
Tabla 108 Ajuste de la Carga Equivalente para Eje Simple Dual	154
Tabla 109 Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tandem	155
Tabla 110 Ajuste de la Carga Equivalente para Eje Tandem	155
Tabla 111 Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tridem	155
Tabla 112 Ajuste de la Carga Equivalente para Eje Tridem	156
Tabla 113 Denominadores y Carga equivalente ESAL AASHTO-93 y 4ta Potencia Carga Legal	156
Tabla 114 Daño por fatiga y tipo de eje para el periodo 2012-2018	158
Tabla 115 Daño por deformación permanente y tipo de eje para el periodo 2012-2018	158
Tabla 116 ESAL AASHTO-93 para la vida útil de 6.5 años.....	159
Tabla 117 Parámetros de diseño para la ecuación AASHTO-93	160
Tabla 118 Denominadores y Carga equivalente ESAL AASHTO-93 y 4ta Potencia Carga Legal.....	162

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Experimento Vial de la AASHO sobre la futura autopista interurbana I-80, de la red Interestatal de los Estados Unidos	18
Figura 2: Características de las secciones de prueba en los circuitos	18
Figura 3 Tipos de carga por eje simple y eje doble	23
Figura 4: Vehículos del AASHO Road Test (Smith et al., 2004).....	23
Figura 5: Relación de 4 potencia, peso del eje y el daño del pavimento (HRB, 1962)	24
Figura 6 Planilla de evaluación del valor del PSR	25
Figura 7 Deformaciones longitudinales y transversales en la ecuación de correlación	26
Figura 8 Curva de comportamiento de un pavimento flexible en función de las repeticiones de cargas acumuladas en el tiempo.....	27
Figura 9 PSI histórico de tres secciones de la pista de prueba de la AASHO (Carey, 1960).....	30
Figura 10: Ejes Simple, Simple Dual, Tandem y Tridem.....	31
Figura 11: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple.....	35
Figura 12: Espectro de carga típico de un eje Tandem.....	35
Figura 13: Caracterización de la distribución de frecuencia (multimodal)	37
Figura 14: Tipos de deterioros comunes en pavimentos asfálticos: agrietamiento por fatiga y deformación permanente a nivel de subrasante	38
Figura 15: Tipos de ejes y pesos legales.....	54
Figura 16: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple.....	60
Figura 17: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple dual....	62
Figura 18: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Tandem.....	64
Figura 19: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Tridem	66
Figura 20: Resumen del ESAL acumulado para el periodo 2012 – 2018 calculado por los tres métodos. Pone en evidencia el problema.	101
Figura 21: Tipos de ejes y Pesos legales para el cálculo del ESAL	104
Figura 22 Programa del Instituto Mexicano de Transporte para el cálculo de las deformaciones en el pavimento	141
Figura 23: Porcentaje promedio por tipo de eje en los años 2012-2018	143
Figura 24: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple.....	145
Figura 25: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple Dual.	145

Figura 26: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Tandem.....	146
Figura 27: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Tridem	146
Figura 28: Espectro de carga del 2016 vs periodo 201-2018 Eje Simple.....	147
Figura 29: Espectro de carga del 2016 vs periodo 201-2018 Eje Simple Dual	147
Figura 30: Espectro de carga del 2016 vs periodo 201-2018 Eje Tandem	148
Figura 31: Espectro de carga del 2016 vs periodo 201-2018 Eje Tridem	148
Figura 32: Tipos de ejes y Pesos legales para el cálculo del ESAL	153
Figura 33 Programa IMT-PAVE del Instituto Mexicano de Transporte para el cálculo de las deformaciones en el pavimento	157
Figura 34: Proyección del ESAL AASHTO-93	159
Figura 35: Sección de pavimento construido Km 100+480 - 136+000.....	160
Figura 36: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para cada tipo de eje del Perú	161

RESUMEN

El trabajo de investigación denominado " El Espectro de carga para validar la carga de tráfico acumulada calculado por la AASHTO-93" tuvo como objetivo determinar, ajustar y validar la Carga del Tráfico vehicular y la ecuación de la AASHTO-93 por medio del Espectro de Carga, a fin de ser adoptado para la normativa por el MTC.

El AASHTO-93 es un Método Empírico para el diseño de pavimentos, desarrollado y calibrado en las pistas de prueba en Ottawa, estado de Illinois, Estados Unidos. Es de fundamental importancia validar el método AASHTO-93 para el Perú, mediante el uso de los modernos métodos Empíricos-Mecanicistas para realizar diseños acordes con nuestra realidad de tráfico y carga vehicular.

La investigación fue de tipo aplicada, el método correlacional, el diseño es no experimental, la técnica es por observación y el instrumento son fichas de registros *retroactivo* del tráfico y carga. La población es la Red Vial Nacional pavimentada con asfalto, 13 307 km del cual se tomó *intencionalmente* una muestra de 36 km con registros de tráfico de 7 años: 2012 a 2018 en la estación Ccatuyo de la carretera IIRSA Sur, Tramo 4, Km 100+000 al 136+000.

Los resultados del estudio muestran que los espectros de carga determinan el *tráfico característico* de la carretera para cualquier año ($R > 0.98$). Por otra parte, se ajustó las ecuaciones de Carga de tráfico de manera coherente con el método AASHTO-93, y finalmente Se determinó el valor de $S_o = 1.29$ (corrección del tráfico) el cual valida la ecuación de la AASHTO-93 y debe modificar el S_o ($S_o = 0.45$) de nuestra actual normativa.

Palabras Clave: ESAL, espectro de cargas, fatiga y deformación permanente, deterioro del pavimento, norma de suelos y pavimentos MTC.

ABSTRACT

The research work called "The Load Spectrum to validate the cumulative traffic load calculated by the AASHTO-93" was aimed at determining, adjusting and validating the Vehicle Traffic Load and the AASHTO-93 equation through the Spectrum of Load, in order to be adopted for regulation by the MTC.

The AASHTO-93 is an Empirical Method for floor design, developed and calibrated on test tracks in Ottawa, state of Illinois, United States. It is of fundamental importance to validate the AASHTO-93 method for Peru, using modern Empirical-Mechanic methods to make designs in accordance with our traffic and vehicular load reality.

The investigation was of applied type, the correlational method, the design is not experimental, the technique is by observation and the instrument are records of *retrolective* records of traffic and vehicular load. The population is the National Road Network paved with asphalt, 13,307 km of which a sample of 36 km was *intentionally* taken with 7-year traffic records: 2012 to 2018 at the Ccatuyo station of the IIRSA South road, Section 4, Km 100 +000 to 136 + 000.

The results of the study show that the load spectra determine the characteristic traffic of the road for any year ($R > 0.98$). On the other hand, the Traffic Load equations were adjusted in a manner consistent with the AASHTO-93 method, and finally the value of $S_o = 1.29$ (traffic correction) was determined, which validates the AASHTO-93 equation and must modify the S_o ($S_o = 0.45$) of our current regulations.

Keywords: ESAL, load spectrum, fatigue and permanent deformation, pavement deterioration, MTC pavements regulations.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación: El Espectro de carga para validar el *Carga de Tráfico Acumulada* calculado por la AASHTO-93, aborda el método de diseño AASHTO-93 desarrollado en base a los resultados encontrados en la pista experimental AASHO en Ottawa, Illinois, EU entre el 15 de octubre de 1958 y el 30 de noviembre de 1960, y sus resultados se representaron a través de relaciones matemáticas a partir de la información recolectada en el terreno. Su limitación más importante fue aplicar estos mismos resultados a zonas con situaciones distintas a las consideradas como es el caso del Perú.

El método de diseño empírico AASHTO-93 es de mayor difusión y más ampliamente utilizado, no sólo en Estados Unidos, sino, también, a nivel mundial. En el Perú se ha adaptado el método AASHTO-93 y sus consideraciones geotécnicas, en un documento desarrollado por Barriga Dall'Orto S.A. Contrato N° 072-2011-MTC/10, D.S. N° 034-2008-MTC con la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Resolución Directoral N° 05-2013- MTC/14. Entró en vigor el día 07 de marzo del 2013 la Normativa: *Suelos y Pavimentos*. En esta Normativa Vigente ha simplificado, en gran medida, la norma AASHTO-93 en el capítulo Cap. VI: Tráfico Vial, y el Cap. XII: Pavimentos Flexibles; motivo por el cual, nuestra investigación versa sobre la misma norma AASHTO-93 y propone modificaciones a nuestra actual normativa de pavimentos del MTC.

El presente trabajo, a partir del Espectro de Carga, ajusta la *Carga de Tráfico vehicular* (ESAL) a fin de modificar la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC para las condiciones actuales y reales en el Perú, y por otra parte, valida la ecuación de para el diseño de pavimento asfáltico mediante el ajuste del *error de tráfico So*. Por lo tanto, propone el valor de $So = 1.29$ el

cual debe modificar el S_o ($S_o = 0.45$) en la ecuación de diseño de pavimentos AASHTO-93 de nuestra actual normativa.

Esta investigación presenta los siguientes capítulos.

El capítulo I describe el planteamiento del estudio, en ella se formula el problema, se justifica la finalidad e importancia de esta investigación, se muestra los antecedentes relacionados con el tema para posteriormente presentar los objetivos de la investigación y finaliza con la inclusión de las limitaciones del estudio.

En el capítulo II se incluye las teorías que fundamentan a nuestra investigación, se describe el marco teórico-experimental empleado, se presentan las hipótesis para concluir identificando y definiendo la operacionalización de las variables de estudio.

El capítulo III incluye la metodología adoptada para esta pesquisa, aquí se muestra el diseño de la investigación planteado, determinamos la población y muestra, y se explican los métodos, las técnicas e instrumentos usados para la recolección de datos.

En el capítulo IV se presentan los resultados, las respectivas discusiones o análisis de estos y finalizamos con la contrastación de las hipótesis.

Finalmente, en el capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron con el desarrollo de esta tesis.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema

La tipología, el volumen y carga vehicular en el Perú ha evolucionado a niveles insospechados desde las pruebas realizados en las pistas experimental AASHO, con Cargas de Tráfico inferior a 2 millones de ESAL, en Ottawa, Illinois, EU entre 1958 y 1960, y ajuste posterior dio la ecuación AASHTO-93. Hoy en el Perú es común realizar diseños de pavimentos con Cargas de Tráfico vehicular superiores a 10 millones de ESAL.

En la actualidad no se conoce los niveles de Carga de Tráfico vehicular por eje. Se asume valores adoptados de experiencias ajenas a nuestro medio, aun cuando existen herramientas y equipos para determinar los propios. Se desconoce la radiografía de cargas por ejes que desgastan y deterioran las carreteras y no se han adoptado conceptos modernos como los Espectros de Carga para cuantificar la forma y concentración de la carga. Nuestra normativa está desactualizada a los nuevos conceptos de ingeniería al servicio de nuestra infraestructura vial y desarrollo del país.

La Carga de tráfico vehicular, determinado según la Carga Legal del MTC no refleja relación adecuada con el ESAL del AASHTO-93. Hay diferencias muy fuertes del orden hasta de 4 veces más el valor real. Esta evidencia hace necesario revisar la normativa actual para proponer mejorar en el cálculo del ESAL. La Carga Legal, como se le conoce, es en sí, es un valor equivalente que debe ser ajustado, como el denominador que se usa en la ecuación de la cuarta potencia. Estas diferencias traen consigo errores en la determinación de estructuras de pavimento como suceden en muchos proyectos del país.

El ESAL según la metodología empírica de la AASHTO-93 y el deterioro del pavimento según la moderna metodología mecanicista-empírica no se han puesto de acuerdo hasta el momento. Se manejan como si fueran conceptos diferentes sin relación aludiendo que provienen de metodologías diferentes. La lógica nos dice a leguas, que ambos representan el daño que causan en el pavimento y vida útil. Si se suma aún el error del cálculo de la Carga del tráfico vehicular según la normativa vigente, y el uso sin la validación correspondiente de la ecuación de diseño de pavimento del AASHTO-93, llegaremos a errores involuntarios en el diseño del pavimento. Es necesario proponer mejoras a la actual normativa de Suelos y Pavimentos del MTC.

1.2 Formulación del problema

Según lo descrito en el planteamiento del problema y acorde con la experiencia nacional e internacional cabe realizar las siguientes preguntas:

1.2.1 Problema general

¿De qué manera los Espectros de Carga de las series históricas de conteo y pesaje vehicular validan la Carga de Tráfico vehicular y la ecuación del AASHTO-93 a fin de proponer ajustes para la normativa vigente del MTC?

1.2.2 Problemas específicos

- a. ¿De qué manera los Espectros de Carga determinan la Carga de tráfico vehicular a fin de incluirlo en la normativa vigente?
- b. ¿De qué manera los Espectros de Carga ajustan el ESAL determinado por AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú a fin de modificar la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC?
- c. ¿De qué manera los Espectros de Carga y el comportamiento moderno de los materiales: esfuerzo, deformación y deterioro del pavimento validan la ecuación de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93 a fin de ajustar la desviación estándar de corrección del tráfico (S_o) de la normativa vigente?

1.3 Importancia y justificación del estudio

1.3.1 Importancia del estudio

El tráfico vehicular es la variable más importante para el diseño de la estructura del pavimento. Su estimación adecuada resulta fundamental para poder concebir estructuras de pavimentos que sean capaces de ofrecer niveles de buen desempeño, durabilidad y económico prevista por el diseñador.

La evolución de los vehículos y la Carga que transitan actualmente por las carreteras del Perú hace necesario la revisión del método para determinar la Carga de tráfico vehicular. El método tradicional empírico AASHTO-93, adaptado por el Ministerio de transportes (MTC), está desfasado ya que tiene su origen en los tipos vehiculares de la década del 50 en Ottawa, Illinois, EU, así como la experiencia de otros países sin la validación del tráfico y la ecuación de diseño de pavimentos AASHTO-93 para nuestras condiciones actuales del Perú.

Esta investigación es importante por lo siguiente:

1. Permite conocer la carga de tráfico real y su descripción adecuada de la Carga mediante los Espectros de Carga.
2. Incorporar una nueva metodología de análisis de tráfico “espectro de carga” para el diseño de pavimentos y propuesta de incorporarlo en la normativa actual del MTC.
3. Actualizar el tráfico según la metodología AASHATO-93 para los nuevos tipos vehiculares que transitan en el Perú.
4. Actualizar la Carga Legal y las ecuaciones del ESAL para actualizar la normativa vigente.
5. Validar el error de tráfico “So” en la ecuación de la AASHTO-93 sobre la base del comportamiento moderno de los materiales: esfuerzo, deformación y deterioro del pavimento.

1.3.2 Justificación del estudio

La inversión en infraestructura vial de un país es, al menos, de medio millón de dólares por kilómetro de carretera nueva. Esta gran inversión perdería sentido si la carretera dejase de ser útil o eficiente en corto tiempo. La falla y el deterioro de la estructura del pavimento está condicionada principalmente con la Carga de Tráfico vehicular.

Este estudio tiene los siguientes beneficios:

1. Determinación el tráfico de forma más real para el diseño del pavimento
2. Determinar el tiempo de vida para las condiciones de tráfico en el Perú
3. Reducir significativamente el deterioro de las carreteras del Perú por el exceso de cargas en el pavimento
4. Reducir costos de mantenimiento de carreteras debido al mejor desempeño y duración de las carreteras
5. Buen manejo del dinero fiscal del estado al usarse en infraestructura de carreteras más durable y bien diseñadas.

1.4 Delimitación del estudio

El presente estudio se realiza en el departamento de Puno, Corredor vial Interoceánico sur, Perú-Brasil, tramo 4: Azángaro al Puente Inambari (INTERSUR CONCESIONES S.A), tiene una longitud de 305.90km, se inicia en Azángaro y termina en el Puente Inambari. Actualmente, está conformado por 161 km asfaltados y 145 km sin asfaltar. Su altitud va desde los 4100 msnm hasta los 700.

La información se basa en data histórica de tráfico desde los años 2012 al 2018 que es fiscalizado por el Organismo Supervisor de Inversión en Infraestructura de Transporte Público (Ositran) para las carreteras del Perú.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objetivo general

Validar la Carga de tráfico y la ecuación del AASHTO-93 a fin de proponer ajustes para la normativa vigente del MTC a través de espectro de carga de las series históricas de pesaje vehicular y el comportamiento moderno de los materiales.

1.5.2 Objetivos específicos

- a. Determinar los Espectros de Carga del tráfico vehicular con el propósito de incluirlo en la normativa vigente.
- b. Ajustar la Carga de tráfico vehicular con el fin de modificar la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC a través de los Espectros de Carga y el ESAL según AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú.

- c. Validar la ecuación de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93 con el objetivo de ajustar la desviación estándar de corrección del tráfico (S_o) de la normativa vigente, a través del comportamiento moderno de los materiales: esfuerzo, deformación y deterioro del pavimento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Histórico

La Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales (AASHO), ahora Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales (AASHTO), en la Prueba de carretera realizada en los años 1958 a 1960 se evaluó los efectos de las cargas sobre los ejes en relación con sus configuraciones de ejes, el rendimiento, duración y deterioro del pavimento. La prueba trata de pavimentos flexibles y rígidos en recorridos de corta duración.

Los vehículos de prueba recorrieron 16 millones de millas (25.7 millones de Km.), aplicando más de 1.1 millones de eje equivalentes simple (FEE) a cada sección de prueba. Los vehículos de prueba utilizaron ejes Simples (duales) y en Tandem. Las cargas en el eje Simple variaron de 2,000 lb a 30,000 lb, y las cargas en el eje Tandem variaron de 24,000 lb a 48,000 lb. El *Manual de diseño de pavimentos AASHTO*, publicado originalmente en 1961, fue el resultado de estas pruebas, y la investigación de respuesta de pavimentos posterior dio lugar a revisiones de esta normativa de pavimentos.

Actualmente, la frecuencia de los camiones como el peso de cada uno de sus ejes han aumentado desde la prueba de carretera AASHO, y también, los camiones están operando con presiones de inflado de neumáticos significativamente más altas hoy. El aumento de los camiones es debido al desarrollo económico, los recientes acuerdos comerciales y la competencia exitosa con los ferrocarriles para el transporte de mercancías. El aumento en la carga se debió a los aumentos en los límites de peso legal desde el momento de la prueba de carretera AASHO. También, muy probablemente, hay más camiones con sobrepeso en el sistema de transporte debido a exoneraciones o privilegios agrícolas e industriales.

Con el advenimiento de los neumáticos radiales para camiones, las presiones de inflado han aumentado dramáticamente desde la prueba de carretera AASHO. Ahora hay un uso generalizado de los neumáticos radiales debido a su reducida resistencia a la rodadura, lo que resulta en un aumento del kilometraje del combustible. Las nuevas configuraciones de ejes y suspensiones han aumentado las capacidades de carga de camiones. Las ecuaciones de AASHO no tienen en cuenta las nuevas configuraciones de ejes: tridems, quads y ejes en Tandem extendidos (tridems, quads, and spread tandem axles) o ejes de elevación que pueden no llevar su parte de la carga. La pregunta fundamental que se hacen los diseñadores de pavimentos hoy en día se refiere a si los pavimentos están siendo mal diseñados o sobre diseñados.

El diseño óptimo del pavimento requiere pronósticos de carga de tráfico precisos y consistentes. A lo largo de los años, se han observado varias deficiencias en los métodos para recopilar, analizar, pronosticar e informar las cargas de tráfico. Algunas deficiencias son:

- a) teniendo en cuenta las tendencias en la tecnología de transporte, como las llantas súper simples y la tendencia creciente de los remolques Tandem de eje extendido para aumentar las cargas de los ejes,
- b) teniendo en cuenta los efectos perjudiciales de los vehículos sobrecargados,
- c) mejora de las capacidades de pronóstico, como las tendencias de pronóstico por tipo de vehículo,
- d) tomando en cuenta las distribuciones direccionales y de carril,
- e) mejorar las correlaciones y la coherencia entre los diversos sistemas de clasificación de vehículos (automático y manual) y los sistemas de pesaje en movimiento (WIM),
- f) garantizar la coherencia entre los pronósticos de carga de tráfico específicos del proyecto y del estado,
- g) mejorar la precisión de los pronósticos de carga de tráfico, y
- h) utilizando diferente vehículo de diseño para pavimento y puente.

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

Se complementará la información o antecedentes de la investigación tanto nacional como internacional.

2.2.1 Antecedentes nacionales

A continuación las investigaciones realizadas a nivel nacional, para tener una idea más amplia del tema:

(Martinez Rodriguez, 2015) **Título:** Impacto del control de pesos por eje de los vehículos pesados sobre la estructura de los pavimentos. **Objetivo:** Tesis bachiller en ingeniería civil de la Universidad Ricardo Palma. **La Metodología:** Esta investigación se compuso de cinco fases. Fase 1: recopilación de información; Fase 2: Selección de la ruta a estudiar; Fase 3: Estudio de campo; Fase 4: Análisis de resultado; Fase 5: Conclusiones. **Resumen:** El sobrepeso en el transporte de carga es una práctica ampliamente extendida alrededor del mundo. Esta práctica ocasiona niveles considerables de daño al camino que el responsable de la carretera tiene que reparar, muy frecuentemente, con presupuestos limitados. De los efectos negativos, comúnmente generados por el tránsito vehicular: La congestión, las emisiones contaminantes, los accidentes, el ruido, y daño a la infraestructura.

(Moreano Roldan, 2015) **Título:** Comparación del diseño de pavimento por el método racional y el método AASHTO 1993. **Objetivo:** Tesis bachiller en ingeniería civil de la Universidad Ricardo Palma. **La Metodología:** Esta investigación se compuso de cinco fases. Fase 1: recopilación de información; Fase 2: Selección de la ruta a estudiar; Fase 3: Estudio de campo; Fase 4: Análisis de resultado; Fase 5: Conclusiones. **Resumen:** Actualmente en el Perú, el diseño del pavimento se realiza con un método empírico y antiguo como lo es el AASHTO 1993. Un método en el cual está basado principalmente en el resultado de las pruebas que realizó la AASHO desde la década de 1950, lo cual no refleja el comportamiento real cuando el pavimento está sometida a la actual demanda de tráfico.

Entre las principales variables de la metodología AASHTO 1993 están el tráfico, Modulo de resiliencia de la subrasante y el drenaje. Este método combina el concepto de numero estructural y de serviciabilidad, dado que utiliza el numero estructural (S_n) para cuantificar la resistencia que el pavimento requiere para una determinada serviciabilidad y calidad de

subrasante. Finalmente se obtiene los espesores de las capas en base al número estructural calculado.

El método racional se basa en un modelo multicapa linealmente elástico donde los materiales se consideran homogéneos e isotrópicos donde supone una extensión infinita de los elementos en el sentido horizontal. Los materiales se caracterizan por su módulo de elasticidad (E) y su relación de poisson. Juntamente con otras variables de diseño, se obtiene como resultado el estado de esfuerzos y deformaciones de los pavimentos tanto actuantes como admisibles, para finalmente dar como resultado los espesores de las capas en base a dichos resultados.

Debido al complejo comportamiento de los pavimentos flexibles, y a la necesidad de tener un diseño correcto y tomando en cuenta que muchos factores no han sido incorporados en el tradicional método de diseño AASHTO 1993 tiene como consecuencia la necesidad de realizar un método que se ajuste más a la realidad, basado en conceptos empíricos y mecanístico.

(Murga Salcedo, 2017) Título: Aplicación de la metodología racional para el diseño del pavimento flexible de la carretera Inambari-Azángaro Km 125+00 - 126+000, Puno, 2017. Objetivo: Tesis bachiller en ingeniería civil de la Universidad Cesar Vallejo. Resumen: La presente investigación tiene como objetivo general demostrar cómo la aplicación de la metodología racional permite el óptimo diseño del pavimento flexible de la carretera Inambari-Azángaro km.125+000-126+000. El cual está basado principalmente en la teoría de cálculo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones del pavimento. El tipo de investigación fue aplicada, el nivel de investigación descriptivo y diseño de investigación no experimental. Se tuvo como población a la carretera Inambari – Azángaro y se tomó como muestra 1 kilómetro de esta misma, por lo que se entiende que se hizo uso de un muestreo intencional. La validez del instrumento se obtuvo mediante juicio de expertos y la confiabilidad fue determinada internamente. Para la recolección de datos se hizo uso de formatos para ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos LEM-ENGIL S.R.L., las muestras de suelos fueron extraídas del tramo de estudio y posterior a ello se realizaron los ensayos en el laboratorio; así mismo

se solicitó la información de tráfico y peso por ejes vehiculares a la empresa INTERSUR CONCESIONES S.A. la cual proporcione dicha información, esta es recopilada en la estación de pesaje dinámico Ccatuyo Grande la cual está ubicada en la progresiva 125+500 de la carretera de estudio. El análisis de los datos se hizo posible utilizando los programas Microsoft Excel y KENPAVE, los cuales son de distribución gratuita. Llegando a la conclusión de que la aplicación de la metodología racional permite el óptimo diseño del pavimento flexible de la carretera Inambari – Azángaro km. 125+000-126+000 – Puno, 2017.

2.2.2 Antecedentes internacionales

Si bien es importante obtener información de autores del extranjero para que nos brinde una visión más amplia sobre el tema. A continuación las investigaciones realizadas a nivel internacional:

(Rodríguez Moreno, 2014) **Título:** Determinación de la confiabilidad implícita en el método de diseño estructural de pavimentos flexibles AASHTO-93 en base a modelos de predicción del deterioro. **Objetivo:** Tesis doctoral en Ciencias de la ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. **La Metodología:** Describe el procedimiento para incorporar los conceptos teóricos del análisis de confiabilidad a la ingeniería de pavimentos, de tal manera que al relacionar el método de diseño con los modelos de comportamiento, disminuya la incertidumbre del desempeño estimado de un pavimento. **Resumen:** En la actualidad la confiabilidad que se utilizará en el diseño de un pavimento es según recomendaciones de guías de diseño o de acuerdo con el criterio del diseñador. Esta situación hace probable que cuando se evalúa la estructura la vida diseño puede verse sub o sobre dimensionada.

Adicionalmente, el valor de confiabilidad elegido se define como un valor determinista, que en el diseño se involucra como una simplificación de un análisis basado en la teoría de confiabilidad y que para efectos prácticos se configura como un factor de seguridad que minora el número de ejes equivalentes predichos por el método de diseño.

De otro lado, los modelos de comportamiento son desarrollos empíricos que se calibran en base a información tomada de campo y que gracias a ella pueden evaluar el desempeño de una estructura de pavimento en condiciones reales de clima, calidad del proceso constructivo, desempeño de los materiales, comportamiento del tránsito, etc.

Por lo tanto, la forma adecuada de enfrentar el diseño es evaluar el desempeño en términos de la probabilidad de éxito, definida como la probabilidad de que el número de repeticiones carga realmente aplicadas sobre el pavimento, no excedan el número de repeticiones de carga que puede soportar hasta alcanzar un nivel mínimo de serviciabilidad especificada y no desde una perspectiva determinista.

Debido a lo anterior, esta investigación propone un método que relaciona el diseño con los modelos de comportamiento, mediante el cual puede obtenerse valores de confiabilidad que reducen la incertidumbre de su asignación y proporcionen una estimación realista de la vida de diseño, al tomar en cuenta los modelos de comportamiento.

(Mujaddad, y otros, 2013) **Título:** Análisis de sensibilidad de las variables de diseño de la ecuación de diseño de pavimento flexible en la guía de diseño AASHTO 1993, **La Metodología:** Se utilizó una herramienta estadística para el proceso de iteración y, por lo tanto, para determinar las influencias de las variables: el número estructural del pavimento (SN) y la carga del eje estándar (W18) se estudiaron según la confiabilidad variable ($ZR * So$), se cambia el índice de capacidad de servicio actual (ΔPSI) y el módulo elástico (MR) del suelo de subrasante, en un rango definido. **Resumen:** Si bien los diseñadores e ingenieros de pavimentos disponen de una guía de diseño de pavimento empírico-empírico basada en el Programa Nacional de Investigación de Carreteras Cooperativas (NCHRP), los organismos en los países en desarrollo siguen utilizando la guía de diseño AASHTO de 1993 debido a su sencillez. Al usar esta guía de diseño, uno tiene que ser más cuidadoso al seleccionar la cantidad de diferentes variables. Es porque cada uno de ellos tiene una sensibilidad diferente y tiene un impacto en el rendimiento general del diseño del pavimento. Los objetivos de este estudio fueron investigar la sensibilidad

de las variables de diseño utilizadas en el diseño de pavimento flexible de la guía de diseño AASHTO de 1993. Las relaciones entre el número estructural del pavimento (SN) y la carga del eje estándar (W18) se estudiaron según la confiabilidad variable ($ZR * So$), se cambia el índice de capacidad de servicio actual (ΔPSI) y el módulo elástico (MR) del suelo de subrasante, en un rango definido. Se utilizó una herramienta estadística para el proceso de iteración y, por lo tanto, para determinar las influencias de estas variables. El estudio revela que la confiabilidad es la variable más sensible en la ecuación de diseño, donde la carga por eje depende del módulo elástico de la subrasante. Además, se ha observado una relación no lineal entre el número estructural (SN) y la carga por eje.

(Carey & Irick, 1960) **Título:** El concepto de desempeño y servicio del pavimento,

Resumen: Se describe un sistema en el que la capacidad de servicio de los pavimentos se clasifica subjetivamente por un panel formado por personas seleccionadas para representar a muchos grupos importantes de usuarios de carreteras. A través del análisis de regresión múltiple, se deriva y valida un índice matemático a través del cual se pueden estimar satisfactoriamente las calificaciones de los pavimentos a partir de mediciones objetivas. Estos índices de capacidad de servicio (o las calificaciones directas) siempre se refieren a las condiciones existentes en el momento en que se realizan las mediciones. El desempeño de un pavimento puede determinarse luego resumiendo el registro de capacidad de servicio durante un período de tiempo.

El sistema, desarrollado en el AASHO Road Test, tiene potencial para una amplia aplicación en el campo de la carretera, particularmente en la calificación de suficiencia, evaluación de sistemas de diseño y evaluación de materiales de pavimentación y técnicas de construcción a través de la disposición de un medio objetivo para la evaluación. de desempeño.

(Barreto Cedeño, Banguera Garces, & Córdova Rozo, 2018) **Título:** Análisis comparativo de ejes equivalentes obtenidos mediante método AASHTO 93 y los proporcionados por pesaje en balanza fija de vehículos, **Resumen:** En el

siguiente artículo se reconoce la importancia de los caminos en la historia de la humanidad; además dar a conocer procedimientos aplicados en estudios de tráfico y suelos, en el análisis del factor de equivalencia de cargas del tráfico que circula por vías, para el diseño de un pavimento flexible eficiente y seguro. Para ello se aplica la metodología de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) de 1993. Luego de la metodología aplicada se procede a evaluar los resultados obtenidos en esta investigación para poder realizar las recomendaciones necesarias en los diferentes estudios de cargas.

(Orobio & Gil, 2015), **Título:** Análisis de costos de construcción asociados al diseño racional de pavimentos con diferentes modelos de fatiga, **Resumen:** En el diseño racional de pavimentos flexibles se utilizan modelos de fatiga para estimar los esfuerzos y deformaciones admisibles, los cuales son comparados con los esfuerzos y deformaciones actuantes calculadas con modelos de respuesta. Los modelos de fatiga desarrollados para diferentes materiales y condiciones de servicio producen resultados diferentes, lo que genera la necesidad de realizar calibración de modelos para condiciones locales de uso. En Colombia no se han realizado esfuerzos de calibración de modelos de fatiga para pavimentos, los diseñadores de pavimentos se ven obligados a recurrir a leyes de fatiga desarrolladas en otros países, para materiales y condiciones diferentes a las nacionales, lo que genera imprecisiones en el dimensionamiento de los pavimentos y su desempeño a largo plazo. El objetivo de esta investigación es evaluar la incidencia de diferentes leyes de fatiga en el dimensionamiento y costos iniciales de construcción de pavimentos flexibles. Para esto se evaluaron dos estructuras diseñadas por el método racional, empleando el modelo de respuesta Bisar y diferentes leyes de fatiga. Se encontró gran variación en dimensiones y costos, revelando que el desarrollo y calibración de modelos de fatiga puede conllevar a ahorros significativos en la construcción de pavimentos en el país.

(Hernández, Garnica, & Solorio, 2010), **Título:** Caracterización de los espectros de carga en la red carretera mexicana, **Resumen:** Las nuevas metodologías de diseño solicitan los insumos de información cada vez de manera más precisa,

entre ellos el tránsito, México debe estar preparado para tener la información adecuada y oportuna para acelerar el proceso de implementación de estas metodologías a nuestro país.

Se necesita trabajar más y en conjunto con las distintas esferas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para reparar en la importancia de las nuevas tecnologías detrás de los métodos mecanicistas de diseño de pavimentos, y no solo a la modernización y expansión de las estaciones de pesaje para la cuantificación de las cargas por eje, sino también para la caracterización de los materiales, como sería promover la utilización de módulos resilientes y dinámicos dentro de las prácticas de diseño de pavimentos actuales.

Estos esfuerzos tienen la finalidad de adaptar rápidamente a las condiciones del país las nuevas metodologías de diseño de pavimentos, en especial la guía AASHTO ME.

2.3 Estructura teórica y científica que sustente el estudio

2.3.1 Origen y desarrollo de la AASHTO-93

La metodología para el diseño de pavimentos más usada en el mundo fue desarrollada en por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) por medio del cual se realizaron ensayos en pistas de prueba. De la información que en ella se obtuvo se siguen produciendo beneficios, ya que los últimos métodos de diseño se fundamentan en los datos de campo de esta prueba.

Fue inicialmente conceptuada como una prueba similar a la de la WASHO, pero el Comité Asesor designado para su programación (1951) decide ampliar sus objetivos. Desde mediados de 1951 hasta diciembre de 1954 se realizan todas las etapas de planificación -desde la selección del sitio hasta el establecimiento de objetivos- y en abril de 1955 se inician los trabajos de topografía en la localización futura de la prueba, y la preparación de planos y especificaciones. En agosto de 1956, cerca de Ottawa, en el Estado de Illinois, comienza la construcción de las instalaciones del proyecto, y en octubre del año 1958 se inicia la aplicación de las cargas sobre los tramos del pavimento construido.

Dos años más tarde -en octubre de 1960- se concluye con la etapa de mediciones en campo y se inicia el análisis de la información recogida a lo largo de la prueba. A finales de 1962 -prácticamente 11 años después de decidida la realización de la prueba AASHTO- se publican las primeras “Guías Provisionales para el Diseño de Pavimentos”.

El costo de la prueba (a valores de 1960) fue de aproximadamente 27,0 millones de US\$, distribuidos de la siguiente manera: 11,99 millones para la construcción de pistas, 10,18 millones para operación e investigación, y 2,69 millones para los gastos de personal técnico y de tropa; el resto del monto se dedicó a administración, construcción de barracas, oficinas y laboratorios.

Se construyeron seis (6) circuitos, identificados del 1 al 6. El número 1 se destinó a medir el efecto del clima y algunas cargas estáticas; el N° 2 se sometió a cargas livianas, y los N° 3, 4, 5 y 6 se sometieron a diversas cargas pesadas. En la Figura 1 se muestra el mapa de la pista de prueba AASHTO.

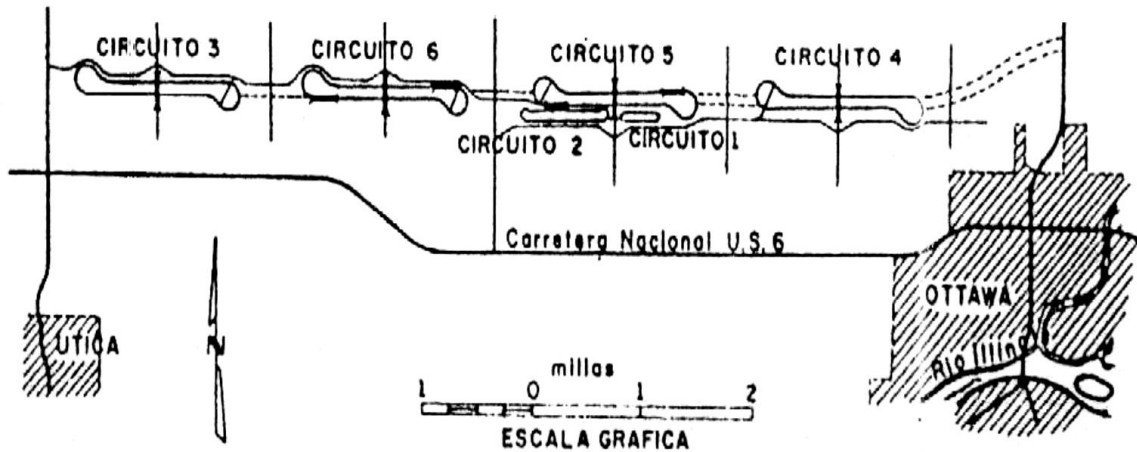


Figura 1: Ubicación del Experimento Vial de la AASHO sobre la futura autopista interurbana I-80, de la red Interestatal de los Estados Unidos

Fuente: Corredor, 2011

En la Siguiete Figura 2 muestra la planta típica de uno de estos circuitos: la pista norte fue construida con pavimento flexible y la sur con pavimento rígido. Cada una de las tangentes del circuito, con una longitud aproximada a los 2.070 m, se dividió en sectores de 30 m de largo. Cada uno de ellos conformaban las “secciones de prueba”, y en cada canal de una sección, a su vez, se aplicaban cargas diferentes.

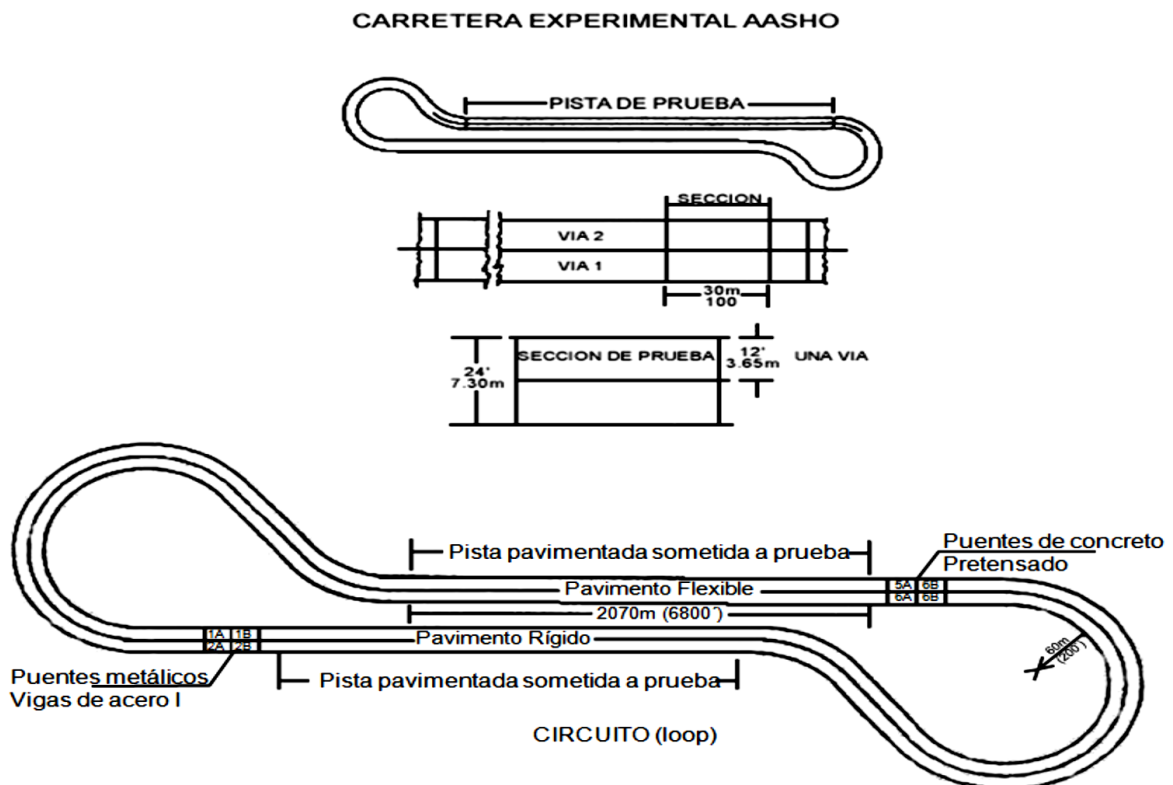


Figura 2: Características de las secciones de prueba en los circuitos

Fuente: (Corredor, 2011)

Los objetivos básicos planteados para el desarrollo de esta prueba vial fueron:

- a. Determinar las relaciones significativas entre el número de repeticiones de cargas por ejes de diferentes magnitudes y configuraciones, y el comportamiento de diferentes secciones de pavimentos -flexibles y rígidos- construidos sobre una misma fundación pero sobre capas de subbase y base de diversos tipos y espesores.
- b. Determinar los efectos significativos de diferentes cargas por eje, y cargas totales, sobre los elementos estructurales de puentes de características conocidas.
- c. Realizar estudios especiales referentes a bermas pavimentados, tipos de bases, fatiga en pavimentos, tamaño y presión de inflado de los cauchos, vehículos militares especiales, y correlacionar estos resultados con los obtenidos en la investigación básica.
- d. Obtener un registro de los recursos y materiales requeridos para mantener las secciones de prueba en condiciones de ser ensayadas.
- e. Desarrollar instrumentación, procedimientos de ensayo y laboratorio, datos, gráficos, tablas y fórmulas que reflejarán las características de las diferentes secciones de prueba y que pudieran ser útiles posteriormente en la evaluación de las condiciones estructurales de un pavimento existente.
- f. Determinar áreas que requiriesen estudios posteriores.

Características más importantes del Experimento Vial de la AASHTO, en cuanto a construcción, materiales empleados y cargas aplicadas son los siguientes:

- a. Secciones de prueba en pavimentos flexibles,
- b. Material de fundación,
- c. Materiales de la estructura del pavimento,
- d. Cargas.

2.3.1.1 Secciones de prueba en pavimentos flexibles

En solución de pavimento flexible se construyeron 468 secciones principales, tal como se presenta en el Cuadro 1. Secciones con espesores iguales se construyeron en las diversas pistas;

así, por ejemplo, secciones con capa de rodamiento de 4 in, base de 3 in, y subbase de 8 in, se construyeron en los circuitos 3, 4, 5 y 6.

Tabla 1
Secciones estructurales en pavimentos flexibles en la pista de prueba de AASHO

Circuito	Espesor de CA (in)	Espesor de BG (in)	Espesor de SBG (in)
1	1	0	0
	3	6	8
	5	--	16
2	1	0	0
	2	3	4
	3	6	8
3	2	0	0
	3	3	4
	4	6	--
4	3	0	4
	4	3	8
	5	6	12
5	3	3	4
	4	6	8
	5	9	12
6	4	3	8
	5	6	12
	6	9	16

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.2 Material de fundación

Una de las condiciones básicas en el Experimento Vial de la AASHO fue la de mantener constante el tipo del material de subrasante. Este tenía las características indicadas en el Tabla 2, en el cual destaca el valor de CBR saturado para este material -entre 2 y 4%.

Para lograr que el material variase lo mínimo posible, se estableció un estricto control de calidad durante la construcción: se ejecutaron aproximadamente 8.000 densidades de campo en cada circuito de prueba.

Tabla 2
Características del material utilizado en el terraplén (subrasante)

Clasificación	A-6	
Valores promedio de las muestras obtenidas en las zonas de préstamo:		
Densidad máxima (AASHO T-99-49): 1.858 Kg/m ³	116	lb/pie ³
Humedad óptima	15	%
Límite líquido	29	%
Índice de plasticidad	13	

Partículas menores de:			
N° 200	81	%	
0.02 mm	63	%	
0.005 mm	42	%	
Peso específico	2.71		
Densidad promedio alcanzada en el campo	97.7	%	
Humedad promedio alcanzada en el campo	16	<%	
Ensayos efectuados en el terraplén ya construido:			
C.B.R., saturado	2-4		
C.B.R., in situ	2-4	%	
Módulo de reacción K de la subrasante 1,25 Kg/cm ³	45	1b/plg ³)	

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.3 Materiales de la estructura del pavimento

Los materiales empleados para la construcción de las pistas de pruebas son los siguientes:

- Sub-base: mezcla natural de arena y grava sin triturar.
- Base de piedra triturada: Caliza dolomítica triturada, arena y piedra.
- Base de grava: grava natural sin triturar.
- Base tratada: material de sub-base, mezclado con cemento asfáltico o cemento portland.
- Concreto asfáltico: caliza dolomítica triturada y arena natural sin triturar, con polvillo de caliza dolomítica.

En la Tabla 3 se presentan las características más importantes de los diferentes materiales y mezclas empleados en las diversas capas que conformaron la estructura del pavimento flexible en el experimento vial de la AASHO.

Tabla 3
Características de los materiales para la estructura del pavimento flexible

% de agregado	SubBase	Base de piedra triturada	Base de grava	Base tratada con cemento portland	Base tratada con asfalto	Mezcla para capa superficial	Mezcla para capa ligante
Pasa tamiz 1-1/2"	-	100	100	-	-	-	-
Pasa tamiz 1"	100	90	98	100	100	-	100
Pasa tamiz 3/4"	96	80	-	96	96	100	-
Pasa tamiz 1/2"	90	68	74	90	90	92	75
Pasa tamiz N° 4	71	50	49	71	71	65	36

Pasa tamiz N° 40	25	21	23	25	25	22	13
Pasa tamiz N° 200	7	11	9	7	7	5	4
Índice de plasticidad	NP	NP	3.5	-	-	-	-
Densidad máx. (lb/pie ³)	138	139	140	138	149	151	154
% de densidad alcanzada en el campo	102	102	104	101	97	97	97
% de contenido de asfalto en el total de la mezcla	-	-	-	-	5.2	5.4	4.5
% del contenido de cemento portland en el total de la mezcla	-	-	-	4	-	-	-
resistencia a la compresión a los 7 días (lb/in ²)	-	-	-	840	-	-	-
Ensayos:							
Capacidad portante CBR	28 a 51%	>72%, Prom. 108%	-	-	-	-	-
Estabilidad Marshall	-	-	-	-	1 600	2 000	1 800
% total de vacíos	-	-	-	-	10	11	11
	-	-	-	-	6.2	3.6	4.8

Nota: Sub-base: mezcla natural de arena y grava sin triturar. Base de piedra triturada: Caliza dolomítica triturada, arena y piedra. Base de grava: grava natural sin triturar. Base tratada: material de sub-base, mezclado con cemento asfáltico o cemento portland. Concreto asfáltico: caliza dolomítica triturada y arena natural sin triturar, con polvillo de caliza dolomítica.

Fuente: Pista de pruebas de la AASHO, 1960

2.3.1.4 Cargas

La Figura 4 y Figura 5 presentan las diversas cargas que fueron aplicadas en los diferentes circuitos del experimento vial de la AASHO. Tal como se observa, en cada circuito (Loop) se aplicaron dos (2) cargas diferentes: una de ellas circulaba en el carril 1, y la otra en el carril 2; en ningún momento circularon sobre un mismo carril ambas cargas diferentes.

PISTA	CARGA EN KIPS			
	EJES		Peso Total	
	Delantera	Trasera		
2		2	2	4
		2	6	8
3		4	12	28
		6	24	54
4		6	18	42
		9	32	73
5		6	22.4	51
		9	40	89
6		9	30	69
		12	48	108

Figura 3
Tipos de carga por eje simple y eje doble

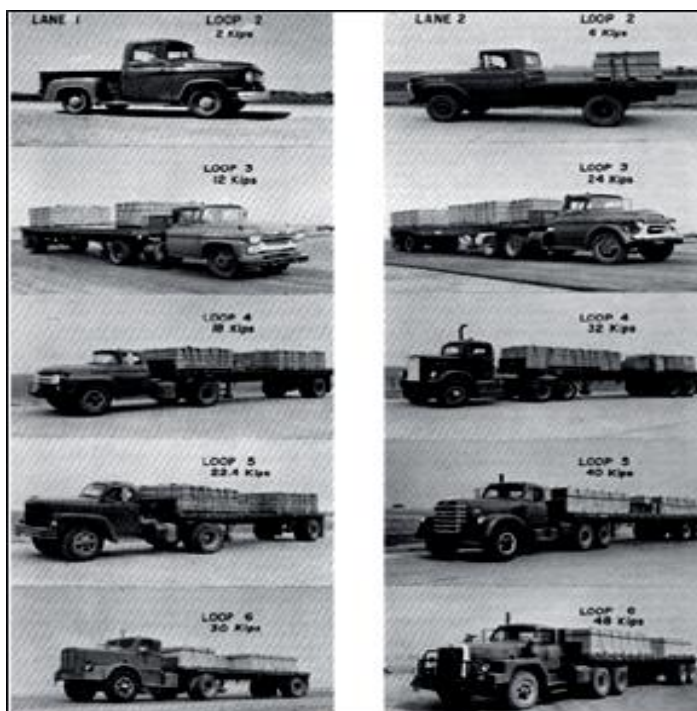


Figura 4: Vehículos del AASHO Road Test (Smith et al., 2004)

Los resultados del AASHO Road Test se utilizaron para desarrollar la primera guía de diseño de pavimentos, conocida como la Guía provisional de AASHO para el diseño de

pavimentos rígidos y flexibles. Esta guía de diseño se publicó en 1961 y tuvo actualizaciones importantes en 1972, 1986 y 1993. La Guía de diseño de AASHTO de 1993 es esencialmente la misma que la de Diseño de 1986.

Guía para el diseño de nuevos pavimentos flexibles, y aún hoy en día es utilizada por muchas agencias de transporte, incluido ALDOT (Departamento de Transporte de Alabama, EU).

(Corredor, 2011) indica, el objetivo principal de la prueba de carretera AASHO fue determinar la relación entre la carga del pavimento y el deterioro. Mediante el uso de secciones transversales replicadas en diferentes bucles de prueba (que se cargaron con diferentes pesos de ejes), los investigadores en la prueba de carretera pudieron ver las diferencias en las fallas del pavimento, como la formación de surcos, el agrietamiento y la variación de pendiente, que fueron causadas por el aumento de las cargas de los ejes. La relación encontrada fue una relación de cuarta potencia aproximada: un aumento de unidad en el peso del eje causa un daño mayor a la cuarta potencia. Para poner esta relación en contexto, si el peso del eje se duplica, causa aproximadamente dieciséis veces más daño al pavimento. La Figura 5 muestra la relación exponencial entre la carga y los daños encontrados en la prueba de carretera.

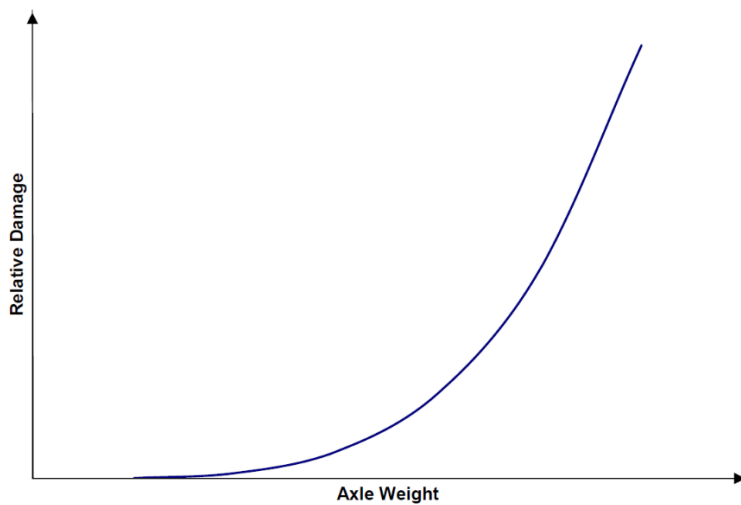


Figura 5: Relación de 4 potencia, peso del eje y el daño del pavimento (HRB, 1962)

2.3.1.5 Fundamentos del procedimiento de diseño

El Método de Diseño de la AASHTO-93 introdujo el concepto de falla funcional de un pavimento. Para cuantificar esta descripción funcional se introdujeron varios conceptos

fundamentales. El primero de ellos se refiere a la “serviciabilidad”, es decir a la habilidad que tiene un pavimento para servir al tráfico para el cual fue diseñado. Otro concepto fue el “comportamiento” del pavimento, que puede ser definido como su habilidad para servir al tráfico a lo largo del tiempo. Como una consecuencia de estas definiciones, se puede interpretar a) “comportamiento” como la integral de la función de serviciabilidad a lo largo del tiempo -o repeticiones de cargas-, o más simplemente como la tendencia de la serviciabilidad con el tiempo -o cargas-.

En el Experimento Vial de la AASHO se determinó el comportamiento mediante el conocimiento de su serviciabilidad al momento de la construcción, así como a la serviciabilidad en varios momentos a lo largo del desarrollo de la prueba. La manera como inicialmente se obtenían las mediciones de serviciabilidad, era mediante la calificación que un “panel” de evaluadores efectuaba sobre la calidad del pavimento.

5 _____ Evaluador _____
 4 _____ Carretera _____
 _____ Sección N° _____
 _____ Fecha _____
 3 _____
 2 _____
 1 _____
 0 _____

Muy Bueno
 Bueno
 Regular
 Malo
 Muy Malo

¿Es el pavimento de calidad aceptable?
 Si -----
 No -----
 Indeciso -----

Observaciones: _____

Figura 6
 Planilla de evaluación del valor del PSR

Para ello, con el empleo de la planilla que se presenta en la Figura 6, se determinaba -o calificaba- el estado del pavimento, en cuanto a su funcionalidad, entre los valores de mínimo (0), siendo este el valor mínimo o peor nivel, a un máximo de (5) -mejor condición del pavimento-. Esta medida de la serviciabilidad, a través de evaluaciones subjetivas de un panel, se definió como el PSR (Present Servidability Rating).

Simultáneamente se ejecutaban análisis estadísticos que permitieran correlacionar algunas propiedades físicas del estado del pavimento con el valor del PSR. La predicción del valor

del PSR a partir de tales medidas, se define como PSI (Present Servidability Index), o simplemente "p".

Ambos valores de la serviciabilidad fueron correlacionados, y se obtuvo la siguiente ecuación para pavimentos flexibles:

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log (1 + SV) - 1,38 RD^2 - 0,01 (C + P)^{0,5}$$

En donde:

SV = varianza de la pendiente longitudinal, que mide la influencia de las deformaciones longitudinales

RD = promedio aritmético de las deformaciones transversales (ahuellamiento transversal)

C = área de grietas por cada 1.000 pies² de pavimento

P = área reparada por cada 1.000 pies² de pavimento

La Figura 7 representa de una manera más gráfica el significado de los términos más importantes de la ecuación de correlación.

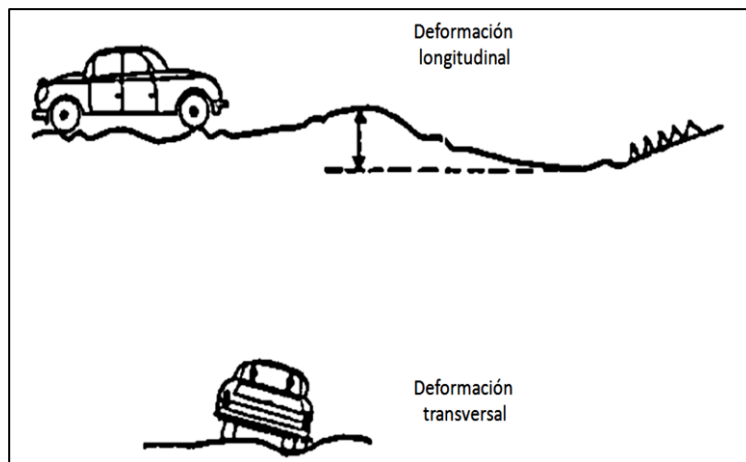


Figura 7
Deformaciones longitudinales y transversales en la ecuación de correlación

La Figura 8 presenta la curva de comportamiento de un pavimento flexible a lo largo del tiempo, vale decir en función de las repeticiones de cargas acumuladas que recibe por el tráfico vehicular.

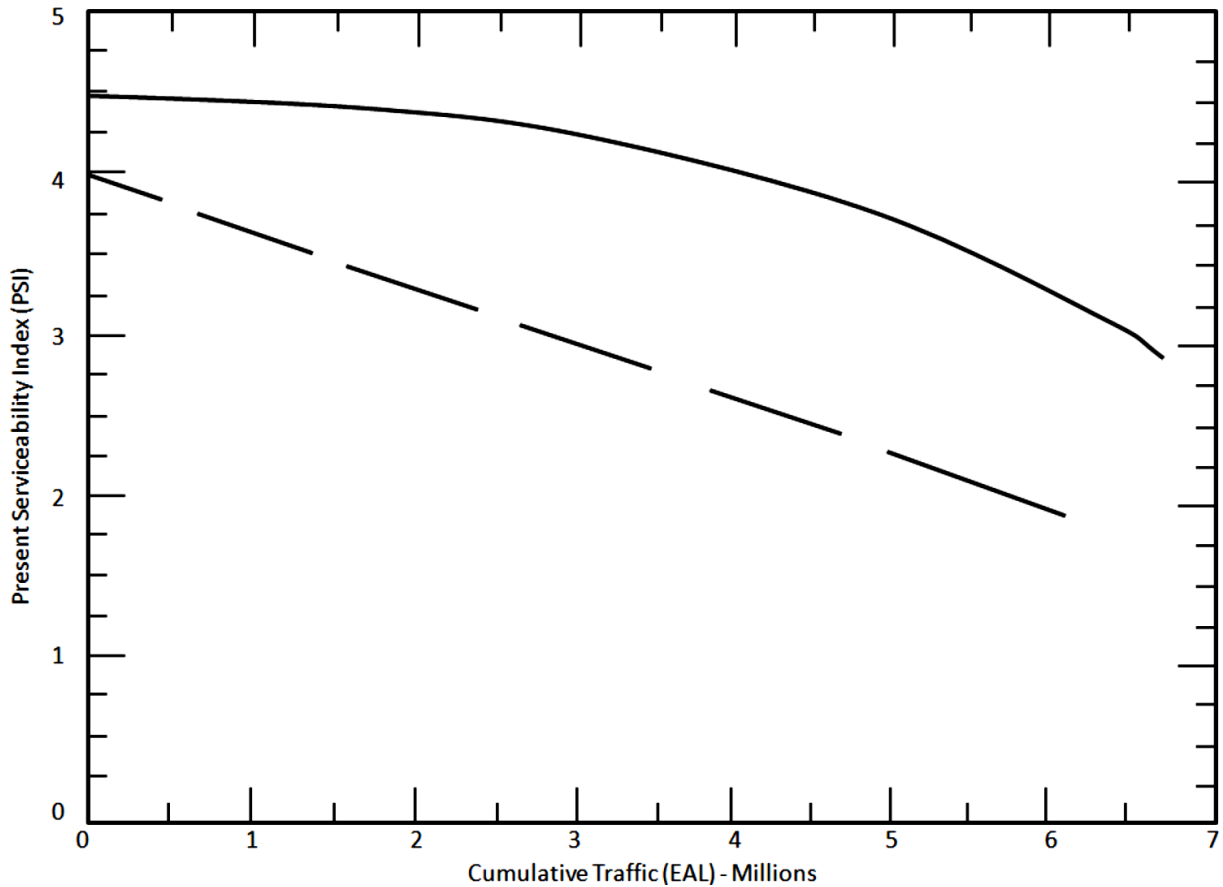


Figura 8
 Curva de comportamiento de un pavimento flexible en función de las repeticiones de cargas acumuladas en el tiempo

2.3.1.6 Ecuaciones de diseño

Las ecuaciones de diseño del Método AASHTO fueron desarrolladas considerando el efecto que sobre el comportamiento tienen tanto la solución estructural (incluyendo espesores de capas y calidad de los materiales y mezclas con que esas capas son construidas), y las cargas actuantes (tomando en cuenta magnitud, configuración y frecuencia).

Las ecuaciones fundamentales que fueron desarrolladas para los pavimentos flexibles son:

$$G_t = (\text{Log } W_t - \log p)$$

$$\beta = 0,40 + \frac{0,081 (L_1 + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{2,19} L_2^{3,23}}$$

$$\text{Log } p = 5,93 + 9,36 * \log (SN + 1) - 4,37 * \log (L_1 + L_2) + 4,33 * \text{Log } (L_2)$$

En donde:

G_t = la función logarítmica de la relación entre la pérdida de *serviciabilidad* al momento “ t ” y la pérdida potencial tomada en el momento en que $P_t = 1.5$

β = una función de las variables de diseño y de cargas que influyen la forma de la curva de *serviciabilidad* (p) vs W

p = una función de las variables de diseño y de cargas que expresa el número esperado de cargas axiales aplicadas acumuladas para el momento en que la *serviciabilidad* (p) alcanza un valor final de 1,5

Wt = número de cargas aplicadas al final del tiempo t

pt = *serviciabilidad* al final del tiempo t

L1 = carga sobre un (1) eje simple o un (1) eje doble (kips)

L2 = código para las cargas (L2 = 1 para ejes simples y L2 = 2 para ejes dobles)

SN = Número estructural del pavimento (función de los espesores y calidad de materiales con que cada capa será construida).

La solución de las ecuaciones anteriores se simplifica al expresar todos los factores de carga en término de una carga o vehículo estándar. El método AASHTO utiliza los valores de L1 = 18 kips, L2 = 1 y los valores de factores de equivalencia de cargas que se indican más adelante. El estudio de valores de *serviciabilidad* PSI para pavimentos nuevos resultó en un valor de PSI = 4,2.

Con los valores anteriores, la ecuación fundamental de diseño AASHTO, tal como fue desarrollada en el momento inicial (1962), se expresa de la forma siguiente:

$$\log W_{t18} = 9,36 * \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{4,2-pt}{4,2-1,5}\right)}{0,40 + \left(\frac{1094}{(SN+1)^{2,19}}\right)}$$

En donde Wt18 corresponde al número de aplicaciones de ejes simples de 18.000 libras al momento t, y “pt” es el valor de *serviciabilidad* final para ese momento t. Esta ecuación representa la forma básica aplicable para las condiciones climáticas y de material de fundación que predominaron en el sitio en donde se ejecutó el Experimento Vial de la AASHTO. Con el fin de permitir que esta ecuación sea utilizable en cualquier sitio y condición o característica de material de fundación, se introdujeron los conceptos de “Factor Regional (R)” y “Valor Soporte del Suelo (S)” respectivamente.

Para las condiciones de material de fundación correspondientes al suelo A-6, con CBR de 3%, que se empleó en la construcción de la subrasante del Experimento Vial de la AASHTO, se asignó un valor arbitrario de S=3,0. Se asignó un segundo punto en esa escala arbitraria, con un valor de S=10,0 para representar el caso de una fundación con un CBR de 80,0%, el cual fue

construido en un sector especial de la prueba AASHO, y su comportamiento correlacionado con las cargas que pudo soportar.

Cualquier valor intermedio se estima en función de una relación lineal entre los dos valores experimentales, de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\log(W_{t18}) = \log(N'_{t18}) + K * (Si - So)$$

donde:

Si = valor soporte del suelo para cualquier suelo en condición “i”

So = valor soporte del suelo empleado en el experimento vial de la AASHO

Wt18 = número total de aplicaciones de carga para la condición “i”

N't18 = número total de aplicaciones de carga para la condición del experimento vial de la AASHO

K = constante de regresión (K = 0,372)

Para tomar en consideración unas condiciones climáticas distintas a aquellas predominantes en el sitio en el cual se construyó el Experimento Vial de la AASHO, se introdujo el concepto de “Factor Regional (R)”. Se asume que el valor total de cargas que una estructura de pavimento puede resistir, es una función inversa al valor de “R”, es decir:

$$W_{t18} = N_{t18} * \left(\frac{1}{R}\right)$$

El término Nt18 corresponde al total de cargas equivalentes que la estructura de pavimento puede resistir bajo las condiciones climáticas del sitio en el cual se desarrolló el experimento vial de la AASHO.

Sustituyendo las ecuaciones anteriores en la ecuación principal se obtiene la ecuación de Diseño AASHO, aplicable para un pavimento a ser diseñado sobre cualquier material de fundación bajo cualesquiera condiciones climáticas:

$$\log W_{t18} = 9,36 * \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{4,2 - pt}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \left(\frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}\right)} + \log\left(\frac{1}{R}\right) + 0,372 * (Si - So)$$

La Ecuación para el diseño de pavimento de la AASHTO-93 es la siguiente:

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Donde el Z_R es la desviación estándar normal y por convención esta es negativa para esta ecuación. La verdadera naturaleza de la ecuación se presenta a continuación, y muestra como modifica el ESAL del tráfico vehicular pesado agregando un factor de seguridad en función de la desviación estándar normal y el error S_o .

$$\log_{10}(ESAL) + Z_R S_o = 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

La serviciabilidad medida por el parámetro PSI se reduce debido a la carga acumulada del tráfico vehicular. La Figura 9 muestra tres secciones evaluadas en las pistas de prueba.

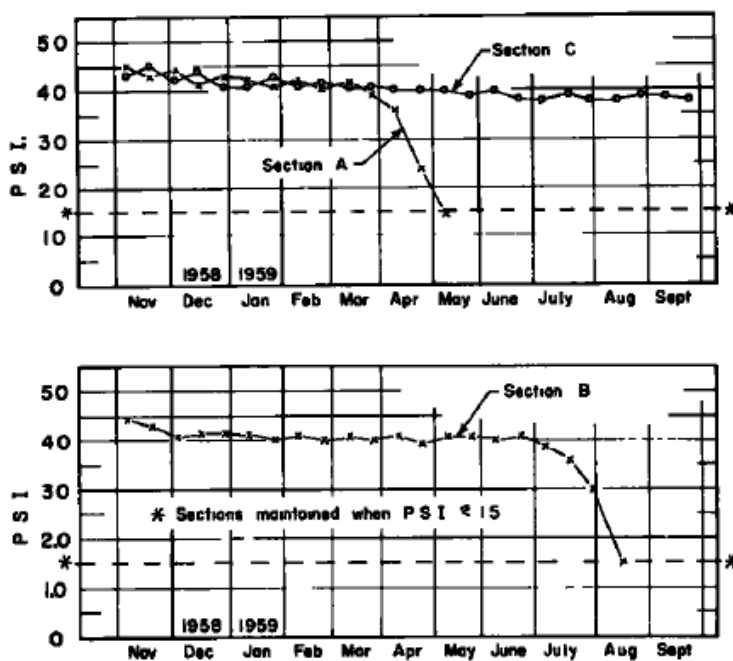


Figura 9
PSI histórico de tres secciones de la pista de prueba de la AASHO (Carey, 1960)

2.3.2 Tipología vehicular, ejes y espectro de cargas

2.3.2.1 Clasificación general de los vehículos

Los espectros de carga se construyen con los datos de los vehículos pesados, los principales vehículos para el análisis son: C2, C3, T3S2, T3S3, y T3S2R4. La obtención de Datos Viales se realiza anualmente para las carreteras de la red principal o vías nacionales del país, y su función principal es registrar un conteo y pesaje vehicular pesado.

La Tabla 4 presenta los vehículos pesados que transitan por las carreteras principales.

Tabla 4
 Tipo, nomenclatura y ejes de vehículos pesados

Tipo	Nomenclatura	Número de Ejes	Número de Llantas
Autobús	B2	2	6
Autobús	B3	3	8 o 10
Autobús	B4	4	10
Camión Unitario	C2	2	6
Camión Unitario	C3	3	8-10
Camión Remolque	C2-R2	4	14
Camión Remolque	C3-R2	5	18
Camión Remolque	C2-R3	5	18
Camión Remolque	C3-R3	6	22
Tracto Camión Articulado	T2-S1	3	10
Tracto Camión Articulado	T2-S2	4	14
Tracto Camión Articulado	T2-S3	5	18
Tracto Camión Articulado	T3-S1	4	14
Tracto Camión Articulado	T3-S2	5	18
Tracto Camión Articulado	T3-S3	6	22
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T2-S1-R2	5	18
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T2-S2-R2	6	22
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T2-S1-R3	6	22
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T3-S1-R2	6	22
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T3-S1-R3	7	26
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T3-S2-R2	7	26
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T3-S2-R3	8	30
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T3-S2-R4	9	34
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T2-S2-S2	6	22
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T3-S2-S2	7	26
Tracto Camión Semi-remolque Remolque	T3-S3-S2	8	30

Fuente: Elaboración propia

Se muestran a continuación en la Figura 1.5 los cuatro tipos de ejes que se consideran en este trabajo de investigación: Sencillo, dual, Tandem y trídem

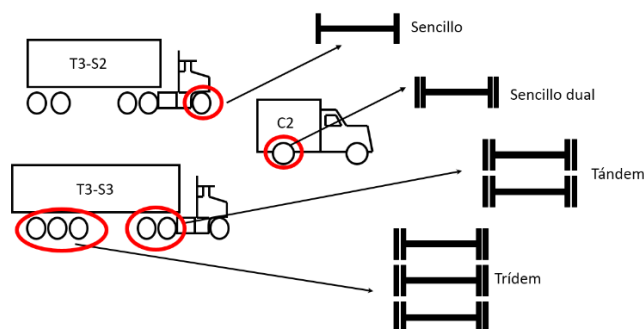


Figura 10: Ejes Simple, Simple Dual, Tandem y Tridem

Fuente: (Alvarez & Fuente, 2009)

2.3.2.2 *Métodos de conteo y pesaje vehicular*

Esta información se puede obtener utilizando alguno de los siguientes métodos:

- a) Conteos manuales,
- b) Contadores Mecánicos,
- c) Método de pesaje de vehículos en movimiento (Weight In Motion - WIM por sus siglas en inglés).

Los conteos manuales se realizan anualmente en una semana representativa, en sectores de la Red Vial Nacional.

Las Empresas Concesionarias, en sus respectivas vías, realizan aforos más detallados a lo largo de cada año, información que permite obtener registros de las variaciones anual, mensual, semanal, diaria y horaria del tráfico en los respectivos tramos concesionados.

Como resultado de los conteos vehiculares realizados en la red vial principal de nuestro país, se genera los siguientes resultados en las cartillas de volúmenes de tráfico anual (IMDA):

- a) Volumen del tráfico vehicular cuantificado en términos del índice medio diario semanal (IMDS) de cada uno de los tramos de la red vial nacional,
- b) Distribución general del tráfico en autos, buses y camiones,
- c) Distribución porcentual de los diferentes tipos de camiones,
- d) Desviación estándar del tráfico índice medio diario semanal,
- e) Variación diaria y horaria del tráfico.

Para llevar a cabo esta actividad, en el Perú se emplean principalmente dos sistemas: pesajes con básculas portátiles y pesajes con básculas fijas. Los sistemas portátiles son el método más empleado para ejercer control de cargas en las vías que no se encuentran a cargo de una concesión.

En el caso de las vías concesionadas el sistema empleado corresponde a pesajes efectuados por básculas fijas. El volumen de información recolectado en las vías concesionadas es más extenso que el obtenido de pesajes contratados por sistemas portátiles, permitiendo en las vías concesionadas ejercer un mayor control y aplicar la normatividad vigente y las sanciones a que hubiese lugar en caso de superar los parámetros establecidos.

2.3.2.3 Espectros de carga

Las series históricas de conteo y pesaje vehicular nos permite tener información muy completa del tráfico. La Tabla 5 presenta un extracto de las series históricas del año 2012 de la carretera principal en estudio.

Tabla 5

Extracto de las series históricas de conteo y pesaje vehicular del año 2012

Id	FECHA	HORA	TIPO	EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4	EJE 5	EJE 6	EJE 7	EJE 8	EJE 9	EJE 10
1	1/1/12	11:56	C2	2,067	1,863	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1/1/12	13:07	C2	2,561	3,214	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1/1/12	13:16	C2	1,196	1,237	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1/1/12	13:27	B3-1	6,359	8,708	4,127	0	0	0	0	0	0	0
5	1/1/12	13:57	C3	5,945	3,909	2,488	0	0	0	0	0	0	0
6	1/1/12	14:22	C2	3,762	4,400	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1/1/12	14:26	T3S3	6,363	9,290	8,104	8,171	8,866	7,771	0	0	0	0
8	1/1/12	14:37	B2	7,307	10,617	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1/1/12	14:56	T3S3	7,757	11,534	11,235	5,197	8,196	9,316	0	0	0	0
10	1/1/12	14:59	T3S3	5,647	9,041	8,697	5,036	7,452	10,041	0	0	0	0
11	1/1/12	15:27	C3	6,780	15,016	12,496	0	0	0	0	0	0	0
12	1/1/12	16:57	C2	2,596	3,510	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1/1/12	17:04	B2	7,823	9,330	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1/1/12	18:02	C2	4,103	6,019	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1/1/12	18:03	T3S3	5,362	12,008	7,479	1,196	9,399	11,000	0	0	0	0
16	1/1/12	18:03	C2	3,653	5,812	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1/1/12	18:04	B3-1	6,644	8,596	4,113	0	0	0	0	0	0	0
18	1/1/12	18:26	T3S3	6,798	8,199	8,311	5,588	10,902	9,329	0	0	0	0
19	1/1/12	18:37	C2	1,940	3,769	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1/1/12	18:45	C2	5,314	5,724	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1/1/12	18:46	C2	3,008	3,685	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1/1/12	18:56	C2	2,084	2,060	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1/1/12	19:22	T3S3	6,461	7,900	7,753	7,873	8,830	8,048	0	0	0	0
26	1/1/12	19:36	C2	2,775	5,837	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1/1/12	19:41	C2	3,786	5,453	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Esta información es sintetizada en ejes simples, simples duales, tandem y tridem. La Tabla 6 muestra los cada uno de los ejes del vehículo y su carga en kilos.

Tabla 6

Tipos de Vehículos con sus respectivos ejes y carga

Id	Tipo	Simple	Simple Dual	Tandem	Tridem
1	C2	2,067	1,863		
2	C2	2,561	3,214		
3	C2	1,196	1,237		
4	B3-1	6,359		12,835	
5	C3	5,945		6,397	

6	C2	3,762	4,400		
7	T3S3	6,363		17,394	24,808
8	B2	7,307	10,617		
9	T3S3	7,757		22,769	22,709
10	T3S3	5,647		17,738	22,529
11	C3	6,780		27,512	
12	C2	2,596	3,510		
13	B2	7,823	9,330		
14	C2	4,103	6,019		
15	T3S3	5,362		19,487	21,595
16	C2	3,653	5,812		
17	B3-1	6,644		12,709	
18	T3S3	6,798		16,510	25,819
19	C2	1,940	3,769		
21	C2	5,314	5,724		
22	C2	3,008	3,685		
23	C2	2,084	2,060		
25	T3S3	6,461		15,653	24,751
26	C2	2,775	5,837		
27	C2	3,786	5,453		

Fuente: Elaboración propia

Para calcular los espectros de carga, se toman todas las mediciones de una estación de pesaje, y se separan por ejes de carga de todos los vehículos a considerar, es decir, se toman todos los ejes sencillos, y se analizan en conjunto, se hacen los intervalos de frecuencia y se normaliza, de esta manera no importa la cantidad de vehículos que hayan sido considerados, claro que es importante que a mayor cantidad de información, más preciso es el resultado.

La Tabla 7 muestra las repeticiones de los ejes simples que circula en los 2 sentidos de la estación de control de pesos Ccatuyo.

Tabla 7
Repeticiones de ejes Simple en los años 2012 al 2018

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio anual	Total 2012-2018
0	1	186	188	135	56	105	62	1198	276	1930
1	2	1861	1460	1085	1029	1104	861	573	1139	7973
2	3	9342	9250	7766	6882	7686	6391	5079	7485	52396
3	4	10793	11768	10857	8540	8840	8076	6748	9375	65622
4	5	10941	11332	10571	8659	10682	11399	9915	10500	73499
5	6	14138	15531	14455	12654	16193	18312	18835	15731	110118
6	7	17858	16206	13963	11985	11492	14303	11628	13919	97435
7	8	10857	7473	5467	6041	5711	6309	6949	6972	48807
8	9	1871	992	834	622	390	506	628	835	5843
9	10	187	94	210	64	38	73	65	104	731
10	11	30	21	28	15	6	13	5	17	118
11	12	5	4	5	0	3	2	3	3	22
12	13	1	2	1	0	0	0	0	1	4

13	14	0	0	0	0	0	0	1	0	1
14	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		78,070	74,321	65,377	56,547	62,250	66,307	61,627		464,499

Fuente: Elaboración propia

La Figura 11 muestra el Espectro de carga para los Ejes Simples del periodo acumulado del 2012 al 2018 de la Estación Ccatuyo. Curva Ajustado con distribución de frecuencia Log-normal multimodal versus los datos reales normalizados, la correlación (R) es de 0.999.

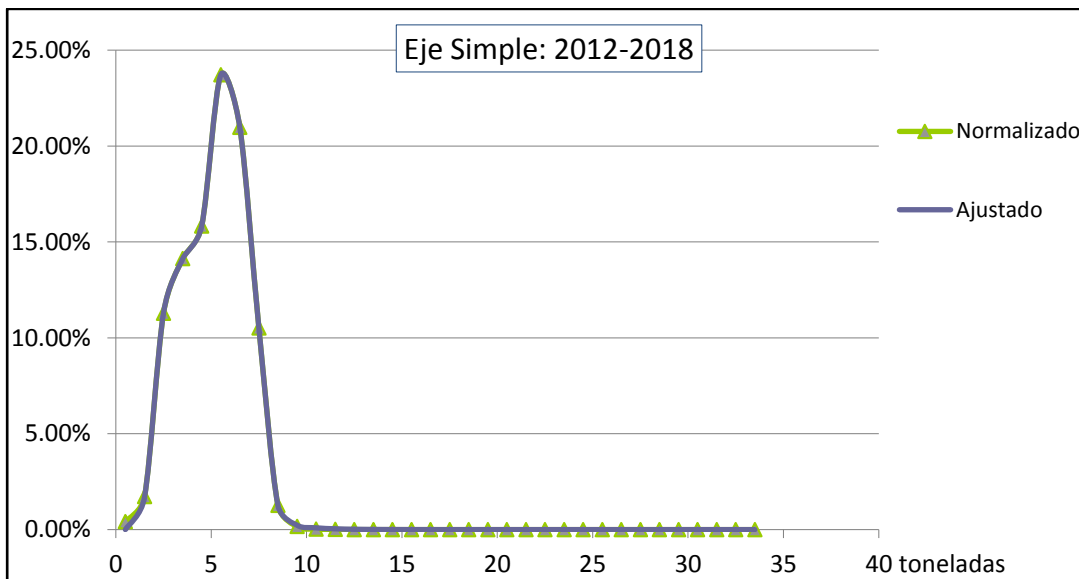


Figura 11: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple

Fuente: Elaboración propia

La Figura 12, presenta un ejemplo general de un espectro de carga típico de un eje Tandem para una carretera.

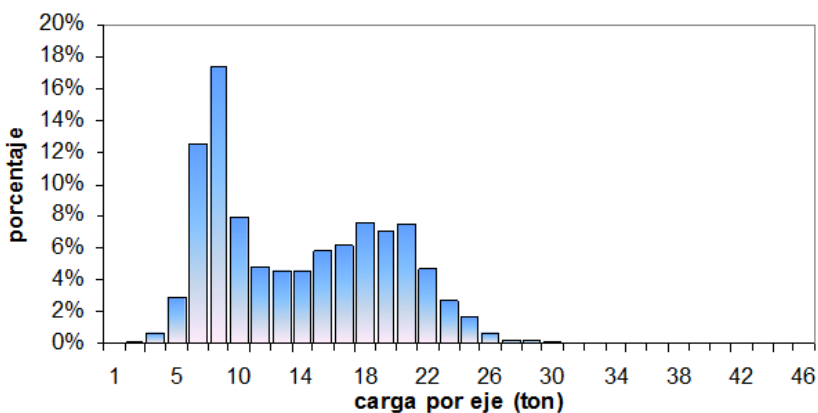


Figura 12: Espectro de carga típico de un eje Tandem

Fuente: (Hernández, Garnica, & Solorio, 2010)

Entre los múltiples aspectos que se pueden mencionar con relación a los espectros de carga, conviene destacar los siguientes (Hernández, Garnica, & Solorio, 2010):

- a. Cada punto del espectro de carga representa el porcentaje de ejes de un cierto tipo que circula con cierto nivel de carga.
- b. El área bajo la curva de cada espectro de carga debe ser unitaria.
- c. El espectro de carga caracteriza al tránsito pesado en el tramo carretero en donde se hace la medición. El seguimiento en el tiempo permite valorar la evolución de la distribución de las cargas, aspecto que está relacionado con la intensidad de las actividades económicas en el sector transporte.
- d. Los valores máximos permiten identificar los niveles de carga más usuales; niveles que se pueden asociar a si los vehículos circulan vacíos o con carga completa.
- e. Permite identificar los tramos carreteros en donde los niveles de carga exceden el reglamento y en qué porcentaje.
- f. Se pueden asociar comportamientos del tránsito de vehículos de carga similares y establecer espectros regionales.
- g. Permiten diseñar y revisar la capacidad estructural de un pavimento con datos realmente representativos de una red carretera.
- h. Son indicadores de la severidad que se puede esperar de los distintos deterioros en una carretera a lo largo del tiempo. Esto puede ser de particular interés para los responsables de la conservación y mantenimiento de una red carretera en términos de desempeño.

Una ventaja de los espectros de carga es que se pueden modelar mediante funciones de distribución de gauss. La Figura 13 muestra una distribución de frecuencia multimodal.

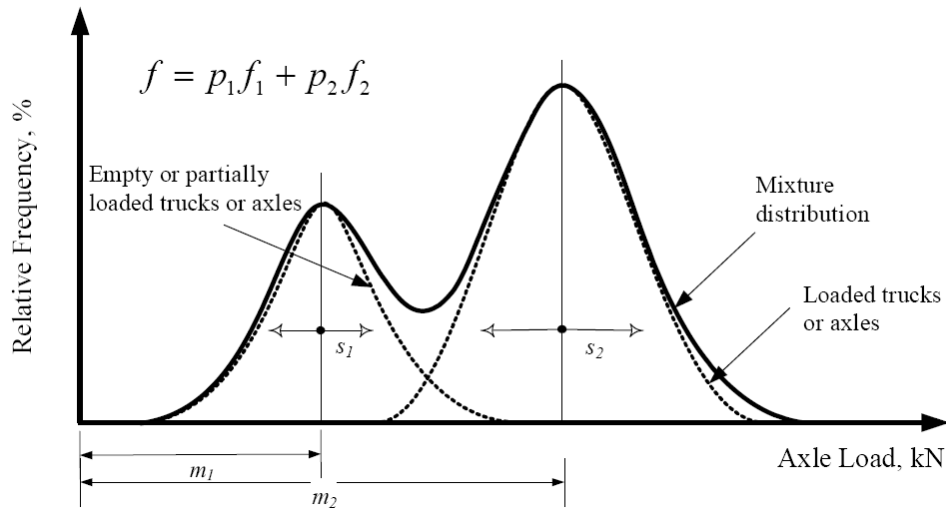


Figura 13: Caracterización de la distribución de frecuencia (multimodal)
 Fuente: (Hernández, Garnica, & Solorio, 2010)

La ecuación siguiente muestra la modelación de la Distribución log-normal

$$f(x, m, \sigma, W) = \sum_{k=1}^k \frac{W_k}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x) - m_k}{\sigma_k}\right)^2\right)$$

Cada campana es definida con la ecuación anterior contiene un parámetro de Peso W_k con una media m_k y una desviación estándar σ_k , la función total queda definida por la sumatoria.

Prozzi & Hong (2006), proponen una ecuación mediante un análisis estadísticos y estableció la distribución lognormal mixta, el cual se usó para el tratamiento de datos de la presente investigación.

$$f(x) = W_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi x} \sigma_1} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2} + W_2 \frac{1}{\sqrt{2\pi x} \sigma_2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2} + W_3 \frac{1}{\sqrt{2\pi x} \sigma_3} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu_3}{\sigma_3}\right)^2}$$

Donde μ_k y σ_k son los parámetros de la Media y la Desviación estándar para la distribución lognormal (k representa el k-ésimo modo); x representa la marca de clase o Carga sobre el eje; W_k representa el peso del k-ésimo modo ($W_1+W_2+W_3= 1$).

2.3.3 Modelos de deterioro

Para la obtención de los espectros de daño, se necesita el concepto de daño definido por Miner, 1945, en donde para cada tipo de eje, i , y cada nivel de carga, j , se obtiene el cociente entre el número de repeticiones correspondiente esperado por año, n , y el número de repeticiones admisibles, N , para limitar el desarrollo de un cierto tipo de deterioro. El daño total se calcula con la siguiente ecuación.

$$D = \sum_i \sum_j \frac{n_{ij}}{N_{ij}}$$

El coeficiente de Daño, D , así obtenido, está asociado a un cierto tipo de deterioro en el pavimento como los que se muestran en la Figura 14. El inverso de D representa el tiempo, T (en años), en que se alcanzará el número de repeticiones admisible de ese deterioro y es el que se debe comparar con el período de diseño deseado (usualmente 20 años en pavimentos asfálticos).



Figura 14: Tipos de deterioros comunes en pavimentos asfálticos: agrietamiento por fatiga y deformación permanente a nivel de subrasante
Fuente: (Hernández, Garnica, & Solorio, 2010)

Es práctica común asociar el número de repeticiones admisible con los esfuerzos y deformaciones máximos que se presentan en puntos críticos de la sección estructural de un pavimento. Para agrietamiento por fatiga se toma, por ejemplo, la deformación unitaria de tensión máxima, ϵ_t , en la fibra inferior de la carpeta asfáltica y, para la deformación permanente de las capas inferiores, la deformación unitaria de compresión máxima, ϵ_c , en la parte superior de la subrasante.

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.

(Orobio & Gil, 2015) indica, para el número de repeticiones admisible para agrietamiento por fatiga, N, se utilizan modelos similares a la ecuación:

$$N = 0.0796 \times \varepsilon t^{-3.291} \times E^{-0.854}$$

Esta modelo es del Instituto de Asfalto americano en el año 1981. Donde E es el módulo de la carpeta asfáltica en lb/in².

Para el modelo de deterioro por deformación permanente de las capas inferiores la forma matemática es la que se establece similar a la anterior ecuación. También el Instituto de Asfalto americano propone la siguiente ecuación:

$$N = 1.36 \times 10^{-9} \times \varepsilon c^{-4.477}$$

2.4 Definiciones de términos básicos

Los conceptos claves para la siguiente investigación son los siguientes:

- a) *Error de la desviación estándar del tráfico*, So, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio. (Corredor, 2011)
- b) *Distribución de frecuencia Log-normal*, en probabilidades y estadísticas, la distribución normal logarítmica es una distribución de probabilidad de una variable aleatoria cuyo logaritmo está normalmente distribuido. Es decir, si X es una variable aleatoria con una distribución normal, entonces exp(X) tiene una distribución log-normal. La base de una función logarítmica no es importante, ya que log_a X está distribuida normalmente si y solo si log_b X está distribuida normalmente, solo se diferencian en un factor constante.

La distribución log-normal tiende a la función densidad de probabilidad

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(x)-\mu)^2/2\sigma^2}$$

Para X>0, donde μ y σ son la media y la desviación estándar del logaritmo de variable. (Wikipedia, 2019).

- c) *ESAL*, es el acrónimo de carga de eje equivalente. Es un concepto desarrollado a partir de los datos recopilados en la Prueba de Carretera de la Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales (AASHO) para establecer una relación de daños para comparar los efectos de los ejes que transportan diferentes cargas. La carga de referencia es de 18,000 lb en un eje simple con neumáticos dobles. (Texas Department of Transportation, 2005).
- d) *Espectro de cargas*, la magnitud y frecuencia de las cargas por tipo de eje transmitidas al pavimento. Se toman los 4 tipos de ejes: simple, simple dual, tandem y tridem. (Garnica & Hernández, 2013).
- e) *Modelos de deterioro del pavimento*, el deterioro por fatiga y deformación permanente son expresiones matemáticas obtenidas en laboratorio y calibradas con estudios de comportamiento a escala real con las que se determina el número N de aplicaciones de carga-tipo que puede soportar el material estudiado antes de llegar a la rotura. (Bañón & Beviá, 2012).
- f) *Norma de Suelos y Pavimentos MTC*, desarrollado por Barriga Dall’Orto S.A. Contrato N° 072-2011-MTC/10, D.S. N° 034-2008-MTC con la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Resolución Directoral N° 05-2013- MTC/14. Entró en vigor el día 07 de marzo del 2013 la Sección: Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Esta Normativa ha simplificado, en gran medida, la norma AASHTO-93 en el capítulo Cap. VI: Tráfico Vial, y el Cap. XII: Pavimentos Flexibles. (MTC, 2014).
- g) *Series históricas de conteo y pesaje vehicular*, es la información tabular de conteo y composición vehicular de buses y camiones, también cuenta con resultados pesajes de cada uno de los ejes del vehículo durante el lapso de la serie histórica o tiempo. (Ruiz, et al, 2015)
- h) *Tiempo de vida el pavimento*, es el inverso de Daño por deterioro definido por Miner y representa el tiempo, T (en años), en que se alcanzará el número de repeticiones admisible de ese deterioro y es el que se debe comparar con el período de diseño deseado, usualmente 20 años en pavimentos asfálticos. (Garnica & Hernández, 2013).
- i) *Tipos de ejes*, los cuatro tipos de ejes son simple, simple dual, Tandem y tridem. Eje simple, es un eje cuyos extremos lleva una o dos ruedas sencillas. Eje tandem, constituido por dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos. Eje tridem, constituido por tres ejes sencillos con rueda doble en los extremos. (Hernández, Garnica, & Solorio, 2010)

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis General

A través de los Espectros de Carga y el Comportamiento moderno de los materiales se validan la Carga de Tráfico vehicular y la ecuación del AASHTO-93 a fin de proponer ajustes a la normativa vigente del MTC.

2.5.2 Hipótesis Nula

A través de los Espectros de Carga y el Comportamiento moderno de los materiales no se validan la Carga de Tráfico vehicular y la ecuación del AASHTO-93 a fin de proponer ajustes a la normativa vigente del MTC.

2.5.3 Hipótesis Específicas

- a. Mediante los Espectros de Carga se determina la Carga de Tráfico vehicular a fin de ser incluida en la normativa vigente.
- b. A través de los Espectros de Carga permiten ajustar el ESAL determinado por AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú a fin de modificar la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.
- c. Por medio de los Espectros de Carga y el comportamiento moderno de los materiales: esfuerzo, deformación y deterioro del pavimento se valida la ecuación de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93 a fin de ajustar la desviación estándar de corrección del tráfico (S_o) de nuestra normativa vigente.

2.6 Variables

Los conjuntos, grupos o familias de datos constituyen lo que se conoce como variables, que relacionado con otro u otros permite probar una hipótesis o parte de ella.

2.6.1 Operacionalización de las variables

1 *Tabla 8*

2 *Clasificación y Operacionalización de las variables*

Clasificación	Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medición	Escala	Instrumento	Item
Variable Independiente	Espectro de carga	la magnitud y frecuencia de las cargas por tipo de eje transmitidas al pavimento. (Garnica & Hernández, 2013)	Series históricas de conteos y pesaje vehicular	Tipos de ejes de vehículos pesados	Simple, simple dual, Tandem, tridem	Ordinal	Fichas de recolección datos	Del 4 al 2
			Carga del Tráfico vehicular por ejes	Conteo y Peso por tipo de ejes	Unidades, ton	Intervalo, continuo	Fichas de recolección datos	Del 3 al 4
				Número de ejes por intervalo de peso	Unidades, ton	Intervalo, continuo		
				Distribución de frecuencia Log-normal multimodal por tipo de eje	Toneladas, %	Intervalo, continuo		
Variable Interviniente	Modelos de deterioro del pavimento	el deterioro por fatiga y deformación permanente son expresiones matemáticas obtenidas en laboratorio y calibradas con estudios de comportamiento a escala real con las que se determina el número N de aplicaciones de carga-tipo que puede soportar el material estudiado antes de llegar a la rotura. (Bañón & Beviá, 2012).	Deterioro por fatiga	Esfuerzo y deformación	MPa, 10-6m	Intervalo, continuo	Teorías de Burmister, de Miner y Modelos de fatiga	Del 5 al 7
				Repeticiones de carga	Ejes Equivalente, referencia 8.2 ton	Intervalo, continuo		
				Agrietamiento por fatiga	Adimensional	Intervalo, continuo		
			Deterioro por deformación permanente	Deformación permanente	10-6m	Intervalo, continuo	Teorías de Burmister, de Miner y Modelos de fatiga	Del 8 al 10
				Acumulación de Daños del pavimento.	Adimensional	Intervalo, continuo		
	Tiempo de vida	Años	Intervalo, continuo					
Variable Dependiente	Normativa Vigente de Suelos y Pavimentos del MTC	Normativa desarrollada por Barriga Dall'Orto S.A. Contrato N° 072-2011-MTC/10, D.S. N° 034-2008-MTC con la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Resolución Directoral N° 05-2013- MTC/14. Entró en vigor el día 07 de marzo	ESAL por AASHTO-93	Eje estándar	8.2 ton	Intervalo, discreto	Norma AASHTO-93 y el MTC	Del 11 al 17
				Factor Equivalente de Eje (FEE) tradicional de AASHTO-93	ESAL	Intervalo, continuo		
				Factor direccional	Adimensional	Intervalo, discreto		
				Factor Carril	Adimensional	Intervalo, discreto		
				Ajuste de la corrección de la desviación estándar del tráfico So	Adimensional	Intervalo, continuo		

del 2013 la Sección: Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).		Nivel de confianza que se adopte para el diseño R	%	Intervalo, continuo	
		Valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Zr)	Adimensional	Intervalo, continuo	
		Factores denominadores de ecuación a la 4ta Potencia.	Adimensional	Intervalo, continuo	
	ESAL por Carga Legal en el Perú	Carga Legal de peso por tipo de eje	Toneladas	Intervalo, discreto	Norma AASHTO-93 y el MTC
		Factor Equivalente de Eje por la 4ta Potencia y carga legal en el Perú.	ESAL	Intervalo, continuo	Del 18 al 20

3 Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

3.1 Tipo y método y diseño de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación básica se apoya en un contexto teórico y su propósito fundamental es el de desarrollar teorías mediante el desarrollo de principios y de generalizaciones amplias. Tiene como objeto la búsqueda del conocimiento (Tamayo. 2003).

El tipo de investigación aplicada depende de los conocimientos y aportes de la investigación básica. Se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías. Confronta la teoría con la realidad.

Por consiguiente la presente investigación es de tipo Aplicada.

3.1.2 Método de la investigación

El método utilizado ha sido el deductivo debido a que he disgregado los conceptos principales de la investigación

El nivel o alcance de la investigación: exploratorio, descriptivo (simple o comparativo), correlacional o explicativo.

Para la presente investigación se usó el método correlacional, pues se estudió la relación asociativa que existe entre dos hechos o fenómenos en un contexto determinado.

3.1.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación puede ser experimental o no experimental dependiendo si se manipulan en forma intencional las variables que corresponden al hecho o fenómeno estudiado, o no se manipulan.

Por lo tanto la presente investigación tuvo un diseño de investigación no experimental.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población de estudio

Es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones que se denominan parámetros o criterios de inclusión o exclusión (ejemplo: varones y mujeres, edades comprendidas, nivel educativo, etc). Criterio de inclusión, características que hacen que una persona o un elemento sean considerados como parte de la población. Criterio de exclusión, es una condición que al agregarse hace que una persona o elemento sea excluida de la población.

En presente investigación los criterios de inclusión y exclusión fueron los siguientes:

3.2.1.1 Criterio de inclusión

Según el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC, 2013), la Red Vial Nacional está compuesta por tres (03) Ejes Longitudinales y veinte (20) Ejes Transversales, con un total de 13 307 Km pavimentada con asfalto (no tratamiento superficial o solución básica). Para el diseño del pavimento se toman en cuenta todos los tipos vehiculares pesados conformados por buses, camiones y unidades acoplados (tractos y tráileres) que producen daño o deterioro sobre el pavimento.

3.2.1.2 Criterio de exclusión

De la Red Vial Nacional, se excluyó: los pavimentos conformados tratamiento superficial o solución básica (2 600 km), y las carreteras no pavimentadas a nivel de base o afirmado (9 100 km).

De lo anteriormente expuesto, la población se conformó por la Red Vial Nacional compuesta por tres (03) Ejes Longitudinales y veinte (20) Ejes Transversales, con un total de 13 307 Km.

La data fue limitada a los años 2012 a 2018, 24 horas del día en los 365 días del año que pasan por la Estación de pesaje Ccatuyo,

3.2.2 Diseño muestral

Se elaboró un muestreo cuantitativo, del tipo intencional con el propósito que la elección resulte racional y la muestra sea representativa de la población (13 307 km).

La muestra se seleccionó *intencionalmente* y comprende 36 km de la Red Vial Nacional (población), esta muestra cumple con las siguientes características:

- a) Es una Vía Nacional importante: tramo 4 del IIRSA Sur con pavimento asfáltico homogéneo en material y espesor en los 36 km, desde el km 100+000 hasta 136+000.
- b) Tiene una Estación de Control de conteo y pesaje en el km 125+500, Ccatuyo distrito San Antón, provincia Azángaro, departamento de Puno.
- c) Existe información de tráfico en fichas de observación: series históricas de conteo y pesaje vehicular por un periodo 2012-2018 (7 años), 24 horas del día en los 365 días del año.
- d) Transitan todos los tipos vehiculares pesados conformados por buses, camiones y unidades acoplados (tractos y tráileres) necesarios cuantificar el daño o deterioro sobre el pavimento.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada es por observación y medición. La Estación de pesaje Ccatuyo provee datos de tipo de vehículos y mediciones de pesos por ejes.

El instrumento es los formatos o fichas de registro de datos denominados Series históricas de conteo y pesaje de tráfico. La obtención de la información es retrolectivo e histórico, cuyos resultados fueron registrados por la empresa concesionaria.

3.4 Descripción de procedimientos de análisis

3.4.1 Procedimiento para la recolección de datos

La fuente de información es indirecta. Los datos son provistos por informes mensuales por la empresa concesionaria desde la estación Ccatuyo Km 125+000 para fines de control e investigación por Ositran (Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura Vial).

3.4.2 Técnicas y procedimientos y análisis de datos

La base de datos estuvo en Excel, por medio de este fue procesado y apoyado también con Access, por su poder como base de datos, se obtuvo consultas o queries para su análisis posteriormente realizado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 Series históricas de conteo y pesaje vehicular y espectro de carga

Para lograr el objetivo 1 de la presente investigación: Determinar los Espectros de Carga del tráfico vehicular a fin de incluirlo en la normativa vigente.

Presentamos las siguientes tablas y figuras como evidencia.

4.1.1.1 Tipo y conteo vehicular pesado en la Estación Ccatuyo

El resumen del conteo vehicular pesado en la Estación pesaje Ccatuyo de acuerdo con el Reglamento Nacional de Vehículos se presentan a continuación.

Los valores presentados en la Tabla 9 es consecuencia de las series históricas de conteo y pesaje vehicular. Se muestra un extracto en el Anexo 2, y cuyos datos fueron registrados en la estación Ccatuyo y proporcionadas por Ositran como fiscalizador de las carreteras nacionales. En esta Tabla 9 puede apreciarse el total de vehículos que pasan en ambos sentidos por la carretera. Se ha descartado los vehículos ligeros como autos y camionetas, pues estos últimos, como lo determina AASHTO, no representan daño importante en la estructura del pavimento.

Tabla 9

Tabla de tipo y conteo vehicular pesado por años en la estación Ccatuyo

TIPO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
8X4	160	213	395	211	78	81	392
8X4R2	0	0	0	0	0	0	3
8X4R3	0	0	0	3	0	0	15
8X4R4	0	0	3	0	0	0	13
B2	14539	10849	9252	9299	10790	8589	5429
B3-1	2145	2627	1850	1841	3518	3944	3343
C2	24159	22109	18540	14873	13319	10720	8715
C2R2	42	22	26	39	31	55	30
C2R3	36	4	9	54	130	124	94
C3	6420	5595	6508	4747	3236	6299	3468
C3-1	1	0	1	1	0	0	11
C3R2	139	86	111	530	618	749	770
C3R3	47	95	56	63	167	240	249
C3R4-1	3	1	0	0	1	1	9
C4	532	372	176	275	270	163	246
C4-2	0	1	1	2	1	1	2
C4R2	10	10	23	12	34	34	52
C4R2B2	11	7	5	21	43	44	509
C4R3	4	0	1	0	1	0	10
C4R3R2	0	1	3	1	6	5	291
C4R3R3	0	5	4	1	22	1	507
C4RB1	6	7	4	3	10	0	34
COCHE	4152	3807	2771	1179	108	31	29
T2S1	87	87	105	121	204	181	105
T2S2	550	450	365	407	648	719	766
T2S2S1	19	5	19	9	23	28	18
T2S3	1378	1072	619	353	494	586	839
T2Se2	19	37	44	20	13	12	41
T2Se3	131	164	151	117	131	125	151
T3S1	223	475	623	496	787	695	535
T3S2	3093	4592	2970	2719	3906	6322	5731
T3S2S1	2	8	69	614	782	940	709
T3S2S2	166	175	1566	198	283	401	1084
T3S3	19982	21226	18939	17916	21896	24538	26771
T3Se2	172	433	552	587	703	696	1057
T3Se2S1	1	1	2	21	36	33	34
T3Se3	2	3	18	31	56	43	0
TOTAL	78,231	74,539	65,781	56,764	62,345	66,400	62,062

Fuente: Elaboración propia

Los valores presentados en la Tabla 10 están expresados en porcentaje de participación de cada tipo de vehículo pesado por año, y es consecuencia de las series históricas de conteo y pesaje vehicular. Se muestra un extracto en el Anexo 2, y cuyos datos fueron registrados en la estación Ccatuyo. Más del 5% del tráfico vehicular pesado: C2, B2, B3-1, C3, T3S2 y T3S3.

Tabla 10

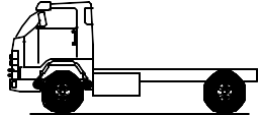
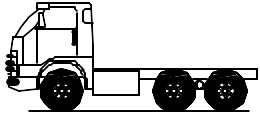
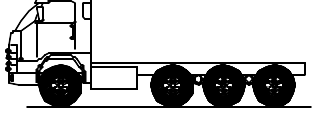
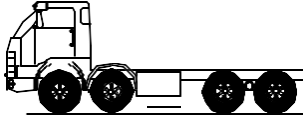
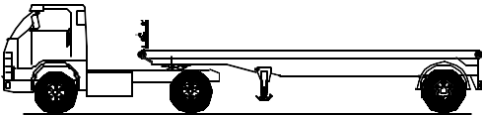
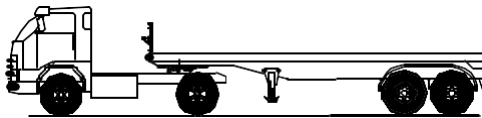
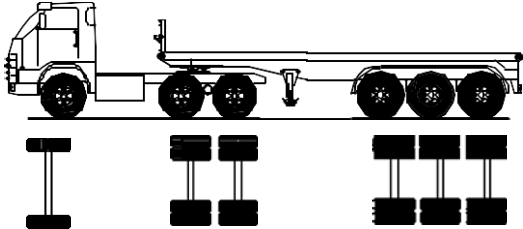
Tabla de tipo y conteo vehicular en porcentaje por años en la estación Ccatuyo

TIPO	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
8X4	0.1%	0.2%	0.3%	0.6%	0.4%	0.1%	0.1%	0.6%
8X4R2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8X4R3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8X4R4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B2	18.2%	18.6%	14.6%	14.1%	16.4%	17.3%	12.9%	8.7%
B3-1	1.5%	2.7%	3.5%	2.8%	3.2%	5.6%	5.9%	5.4%
C2	32.1%	30.9%	29.7%	28.2%	26.2%	21.4%	16.1%	14.0%
C2R2	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%
C2R3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%
C3	12.7%	8.2%	7.5%	9.9%	8.4%	5.2%	9.5%	5.6%
C3-1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C3R2	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.9%	1.0%	1.1%	1.2%
C3R3	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.3%	0.4%	0.4%
C3R4-1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C4	0.6%	0.7%	0.5%	0.3%	0.5%	0.4%	0.2%	0.4%
C4-2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C4R2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%
C4R2B2	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.8%
C4R3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C4R3R2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%
C4R3R3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%
C4RB1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
COCHE	4.9%	5.3%	5.1%	4.2%	2.1%	0.2%	0.0%	0.0%
T2S1	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.3%	0.3%	0.2%
T2S2	1.1%	0.7%	0.6%	0.6%	0.7%	1.0%	1.1%	1.2%
T2S2S1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
T2S3	2.0%	1.8%	1.4%	0.9%	0.6%	0.8%	0.9%	1.4%
T2Se2	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
T2Se3	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
T3S1	0.2%	0.3%	0.6%	0.9%	0.9%	1.3%	1.0%	0.9%
T3S2	4.5%	4.0%	6.2%	4.5%	4.8%	6.3%	9.5%	9.2%
T3S2S1	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	1.1%	1.3%	1.4%	1.1%
T3S2S2	0.4%	0.2%	0.2%	2.4%	0.3%	0.5%	0.6%	1.7%
T3S3	20.7%	25.5%	28.5%	28.8%	31.6%	35.1%	37.0%	43.1%
T3Se2	0.3%	0.2%	0.6%	0.8%	1.0%	1.1%	1.0%	1.7%
T3Se2S1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%
T3Se3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11 se presenta un extracto del Reglamento nacional de vehículos de Perú donde están los tipos de vehículos y su conformación de ejes, así como también los pesos máximos establecidos por la norma peruana. En la misma Tabla 11, la columna final muestra los pesos legales de la normativa peruana con el propósito de controlar el daño sobre el pavimento. Esta medida de control es muy referencial porque no se aplica a la realidad debido a la falta de instrumentos o balanzas de control en la red nacional de carreteras. Esto hace evidente la gran desventaja al fijar sólo un límite superior de peso sin la posibilidad de controlarlo muchas veces. Cuando se usa los Espectros de carga, los pesos son reales y por consiguiente se determina los daños reales, dejando sin sentido los límites de peso legal de los ejes para el diseño del pavimento.

Tabla 11
Tipos de vehículos pesados y conformación de ejes

Código Vehículo	Gráfico	Eje Direccional	Ejes Posterior (ton)	Peso Total Legal	
C2		7	11	18	
C3		7	18	25	
C4		7	23	30	
8x4		7+7	18	32	
T2S1		7	11	11	29
T2S2		7	11	18	36
T3S3		7	18	25	48

Fuente: Extracto del Reglamento nacional de vehículos

En la Figura 15 se presenta un extracto del Reglamento nacional de vehículos de Perú donde están los tipos de ejes y pesos legales permitidos en la normativa peruana.















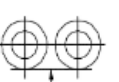



Código	Conjunto de ejes	Simbología	N° de neumáticos	Gráfico	Peso
_1VL	SIMPLE		2		1
_2VL	SIMPLE		2		2
_4VL	SIMPLE		4		4
_1RS	SIMPLE		2		7
_1RD	SIMPLE		4		11
_1RS_1RD	TANDEM		6		16
_2RS	TANDEM		4		12
_2RD	TANDEM		8		18
_3RD	TRIDEM		12		25

Figura 15: Tipos de ejes y pesos legales
Fuente: Norma de Suelos y Pavimentos del MTC

4.1.1.2 Espectro de carga del tráfico Estación Ccatuyo

Las series históricas de datos nos proporcionan información de los tipos vehiculares, ejes y pesos. A partir de dicha información se obtienen las siguientes tablas.

La Tabla 12 muestra el total de ejes por año desde el 2012 hasta 2018 por los 2 sentidos por la Estación de pesaje Ccatuyo. La información de las fichas o datos obtenidos por observación nos permite cuantificar no solo el número de ejes sino también el peso de cada tipo de eje. Los ejes de mayor participación son los ejes Simple, seguido por el Tandem y luego por el Simple Dual y finalmente por el Tridem. Ver el total por tipo de eje de la Tabla 12.

Tabla 12
Repeticiones de ejes por año

Ejes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Simple	78,070	74,321	65,377	56,547	62,250	66,307	61,627	464,499
Simple Dual	46,457	40,655	34,495	30,466	30,748	26,830	25,038	234,689
Tandem	36,949	41,434	40,010	34,629	42,650	54,459	56,386	306,517
Tridem	21,917	22,694	19,771	18,338	22,767	25,370	29,227	160,084
Total	183,393	179,104	159,653	139,980	158,415	172,966	172,278	1,165,789

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan los espectros de carga para cada tipo de eje: simple, simple dual, Tandem y tridem por año desde 2012 al 2018, así como también el acumulado total.

La Tabla 13 muestra las repeticiones de los ejes Simples que circula en los 2 sentidos de la estación de control de pesos Ccatuyo. Esta Tabla nos da la concentración de la carga, por ejemplo entre 3 a 8 ton de peso por eje Simple, y el número está por encima de los 78 000 ejes Simples por año.

Tabla 13
Repeticiones de ejes Simple en los años 2012 al 2018

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio anual	Total 2012-2018
0	1	186	188	135	56	105	62	1198	276	1930
1	2	1861	1460	1085	1029	1104	861	573	1139	7973
2	3	9342	9250	7766	6882	7686	6391	5079	7485	52396
3	4	10793	11768	10857	8540	8840	8076	6748	9375	65622
4	5	10941	11332	10571	8659	10682	11399	9915	10500	73499
5	6	14138	15531	14455	12654	16193	18312	18835	15731	110118
6	7	17858	16206	13963	11985	11492	14303	11628	13919	97435
7	8	10857	7473	5467	6041	5711	6309	6949	6972	48807
8	9	1871	992	834	622	390	506	628	835	5843
9	10	187	94	210	64	38	73	65	104	731
10	11	30	21	28	15	6	13	5	17	118
11	12	5	4	5	0	3	2	3	3	22
12	13	1	2	1	0	0	0	0	1	4
13	14	0	0	0	0	0	0	1	0	1
14	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		78,070	74,321	65,377	56,547	62,250	66,307	61,627		464,499

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 14 muestra las repeticiones de los ejes simple dual que circula en los 2 sentidos de la estación de control de pesos Ccatuyo. Esta Tabla nos da la concentración de la carga, por

ejemplo entre 2 a 12 ton de peso por eje Simple Dual, y el número está por encima de los 25 000 ejes Simples Duales por año.

Tabla 14
Repeticiones de ejes Simple Dual en los años 2012 al 2018

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio anual	Total 2012-2018
0	1	234	197	123	52	153	94	1421	325	2274
1	2	1797	1333	1002	971	962	783	666	1073	7514
2	3	5268	5090	3980	3412	4171	3583	2921	4061	28425
3	4	4480	4349	3896	3987	4401	3788	3321	4032	28222
4	5	3132	3247	2864	2689	3343	3003	2752	3004	21030
5	6	3410	3477	2928	2477	2505	2436	2297	2790	19530
6	7	3653	4011	3257	2096	1900	1887	1802	2658	18606
7	8	4264	4809	3914	2558	2019	2055	1846	3066	21465
8	9	5631	5102	4577	3035	2910	2368	2055	3668	25678
9	10	5590	3878	3555	3239	3297	2582	1850	3427	23991
10	11	4697	2542	2458	2930	2554	2038	1936	2736	19155
11	12	2368	1358	1181	1856	1567	1331	1275	1562	10936
12	13	905	558	438	792	634	552	580	637	4459
13	14	397	314	163	222	178	171	168	230	1613
14	15	249	170	87	72	66	82	68	113	794
15	16	189	123	37	31	40	41	32	70	493
16	17	110	61	23	24	26	22	26	42	292
17	18	50	20	9	10	17	11	14	19	131
18	19	19	13	2	9	3	2	3	7	51
19	20	5	3	0	4	2	1	5	3	20
20	21	3	0	1	0	0	0	0	1	4
21	22	3	0	0	0	0	0	0	0	3
22	23	2	0	0	0	0	0	0	0	2
23	24	1	0	0	0	0	0	0	0	1
24	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total anual		46,457	40,655	34,495	30,466	30,748	26,830	25,038		234,689

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 15 muestra las repeticiones de los ejes Tandem que circula en los 2 sentidos de la estación de control de pesos Ccatuyo. Esta Tabla nos da la concentración de la carga, por ejemplo entre 5 a 19 ton de peso por eje Tandem, y el número está por encima de los 40 000 ejes Tandem por año.

Tabla 15
Repeticiones de ejes Tandem en los años 2012 al 2018

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio anual	Total 2012-2018
0	1	4	4	142	21	7	4	63	35	245
1	2	109	103	101	45	32	25	324	106	739

2	3	32	29	139	37	39	59	193	75	528
3	4	160	84	216	109	251	331	482	233	1633
4	5	420	558	467	439	1035	1328	1347	799	5594
5	6	2008	2515	2250	2049	3535	5399	4846	3229	22602
6	7	3759	4198	3898	3650	4944	6492	6286	4747	33227
7	8	3582	4024	3359	3349	3734	4563	4843	3922	27454
8	9	1370	1317	1404	1197	1305	1879	2224	1528	10696
9	10	1392	1144	1648	1140	1097	3340	1800	1652	11561
10	11	1125	1092	1502	1007	1024	1484	1426	1237	8660
11	12	814	1024	1150	793	918	1034	1269	1000	7002
12	13	959	1180	1363	858	1220	1379	1342	1186	8301
13	14	1312	1697	1844	1283	1668	2009	2079	1699	11892
14	15	1605	2051	2273	1683	2319	2819	3046	2257	15796
15	16	2178	2887	2924	2484	2432	2899	3446	2750	19250
16	17	3525	4509	3835	3610	3792	4444	4584	4043	28299
17	18	4756	5171	4500	4368	5331	5942	6531	5228	36599
18	19	3961	3966	3498	3563	4668	5195	5697	4364	30548
19	20	1991	2167	1741	1857	2375	2550	3012	2242	15693
20	21	807	954	626	680	632	836	1064	800	5599
21	22	406	459	328	238	168	198	309	301	2106
22	23	195	188	139	79	59	77	93	119	830
23	24	96	62	53	29	30	37	50	51	357
24	25	72	25	16	13	13	21	22	26	182
25	26	50	11	19	5	10	13	5	16	113
26	27	56	6	40	6	7	26	3	21	144
27	28	56	4	92	2	1	18	0	25	173
28	29	36	2	130	5	2	19	0	28	194
29	30	49	3	135	5	1	10	0	29	203
30	31	16	0	102	9	0	13	0	20	140
31	32	25	0	51	4	0	8	0	13	88
32	33	15	0	21	8	1	5	0	7	50
33	34	5	0	4	3	0	1	0	2	13
34	35	1	0	0	1	0	1	0	0	3
35	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	38	1	0	0	0	0	1	0	0	2
38	39	1	0	0	0	0	0	0	0	1
39	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total anual		36,949	41,434	40,010	34,629	42,650	54,459	56,386		306,517

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 16 muestra las repeticiones de los ejes Tridem que circula en los 2 sentidos de la estación de control de pesos Ccatuyo. Esta Tabla nos da la concentración de la carga, por ejemplo entre 6 a 26 ton de peso por eje Tridem, y el número está por encima de los 20 000 ejes Tridem por año.

Esta Tabla 16 también presenta un intervalo más amplio y no tan evidente ver la media donde se concentra la carga. Veremos más adelante que podemos modelar estas tablas con

gráficos de frecuencia log-normal. Conocer con certeza la carga del tráfico mediante gráficos de espectros de carga como fué parte de primer objetivo de esta investigación.

Tabla 16
Repeticiones de ejes Tridem en los años 2012 al 2018

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio anual	Total 2012-2018
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	33	35	18	32	2	0	16	19	136
2	3	1	3	1	12	0	0	6	3	23
3	4	19	2	0	6	3	2	56	13	88
4	5	66	53	55	86	121	183	196	109	760
5	6	715	713	821	610	843	985	938	804	5625
6	7	1483	1390	1252	1055	1282	1213	1332	1287	9007
7	8	1491	1383	995	979	1006	909	1053	1117	7816
8	9	551	544	403	393	342	402	655	470	3290
9	10	175	178	137	177	161	194	338	194	1360
10	11	119	111	98	113	132	178	311	152	1062
11	12	109	127	102	89	137	151	297	145	1012
12	13	139	124	104	104	167	195	272	158	1105
13	14	135	149	118	103	181	189	256	162	1131
14	15	169	147	130	110	163	186	232	162	1137
15	16	194	229	171	142	184	171	294	198	1385
16	17	236	291	292	218	214	211	356	260	1818
17	18	238	308	389	332	377	322	463	347	2429
18	19	302	346	529	411	625	632	736	512	3581
19	20	495	579	674	587	998	1243	1244	831	5820
20	21	915	881	837	860	1333	1670	1779	1182	8275
21	22	1582	1547	1295	1112	1449	1598	1861	1492	10444
22	23	2440	2567	2156	1929	2136	2278	2475	2283	15981
23	24	3510	3680	3073	2870	3365	4064	4203	3538	24765
24	25	3441	3777	3148	2756	3558	3952	4325	3565	24957
25	26	2024	2219	1800	1784	2347	2445	2988	2230	15607
26	27	803	859	773	916	1086	1189	1486	1016	7112
27	28	314	304	268	372	382	544	705	413	2889
28	29	139	92	107	133	124	173	254	146	1022
29	30	42	36	18	31	31	62	75	42	295
30	31	22	15	5	9	13	20	15	14	99
31	32	10	4	1	2	2	4	7	4	30
32	33	5	1	1	4	1	3	3	3	18
33	34	0	0	0	0	0	2	0	0	2
34	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	36	0	0	0	1	0	0	0	0	1
36	37	0	0	0	0	2	0	0	0	2
37	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total anual		21,917	22,694	19,771	18,338	22,767	25,370	29,227		160,084

Fuente: Elaboración propia

En las tablas que sigue presentaremos el espectro de carga total del periodo acumulado 2012 al 2018 además se presentan las figuras de las Distribución de frecuencia Log-normal multimodal por tipo de eje con la finalidad de modelar el espectro de carga.

La Tabla 17 muestras los porcentajes de Ejes Simples para el periodo acumulado del 2012 al 2018 por intervalo de carga.

Tabla 17
Espectro de carga de ejes Simples

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	Marca de clase (ton)	Datos de la muestra	Normalizado	Ajustado	Diferencia al cuadrado
0.0	1.0	0.5	1,930	0.42%	0.00%	0.0000173
1.0	2.0	1.5	7,973	1.72%	1.67%	0.0000002
2.0	3.0	2.5	52,396	11.28%	11.30%	0.0000001
3.0	4.0	3.5	65,622	14.13%	14.11%	0.0000000
4.0	5.0	4.5	73,499	15.82%	15.82%	0.0000000
5.0	6.0	5.5	110,118	23.71%	23.71%	0.0000000
6.0	7.0	6.5	97,435	20.98%	20.98%	0.0000000
7.0	8.0	7.5	48,807	10.51%	10.51%	0.0000000
8.0	9.0	8.5	5,843	1.26%	1.25%	0.0000000
9.0	10.0	9.5	731	0.16%	0.23%	0.0000005
10.0	11.0	10.5	118	0.03%	0.09%	0.0000005
11.0	12.0	11.5	22	0.00%	0.04%	0.0000001
12.0	13.0	12.5	4	0.00%	0.02%	0.0000000
13.0	14.0	13.5	1	0.00%	0.01%	0.0000000
14.0	15.0	14.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
15.0	16.0	15.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
16.0	17.0	16.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
17.0	18.0	17.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
18.0	19.0	18.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
19.0	20.0	19.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
20.0	21.0	20.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
21.0	22.0	21.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
22.0	23.0	22.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
23.0	24.0	23.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
24.0	25.0	24.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
25.0	26.0	25.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
26.0	27.0	26.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
27.0	28.0	27.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
28.0	29.0	28.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
29.0	30.0	29.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
30.0	31.0	30.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
31.0	32.0	31.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
32.0	33.0	32.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000

33.0	34.0	33.5	0	0.00%	0.00%	0.000000
34.0	35.0	34.5	0	0.00%	0.00%	0.000000
35.0	36.0	35.5	0	0.00%	0.00%	0.000000
36.0	37.0	36.5	0	0.00%	0.00%	0.000000
37.0	38.0	37.5	0	0.00%	0.00%	0.000000
38.0	39.0	38.5	0	0.00%	0.00%	0.000000
39.0	40.0	39.5	0	0.00%	0.00%	0.000000
Suma			464,499	100.00%		0.0000187

Fuente: Elaboración propia

La Figura 16 muestra el Espectro de carga para los Ejes Simples del periodo acumulado del 2012 al 2018. Curva Ajustado con distribución de frecuencia Log-normal multimodal versus los datos reales normalizados, la correlación (R) es de 0.999.

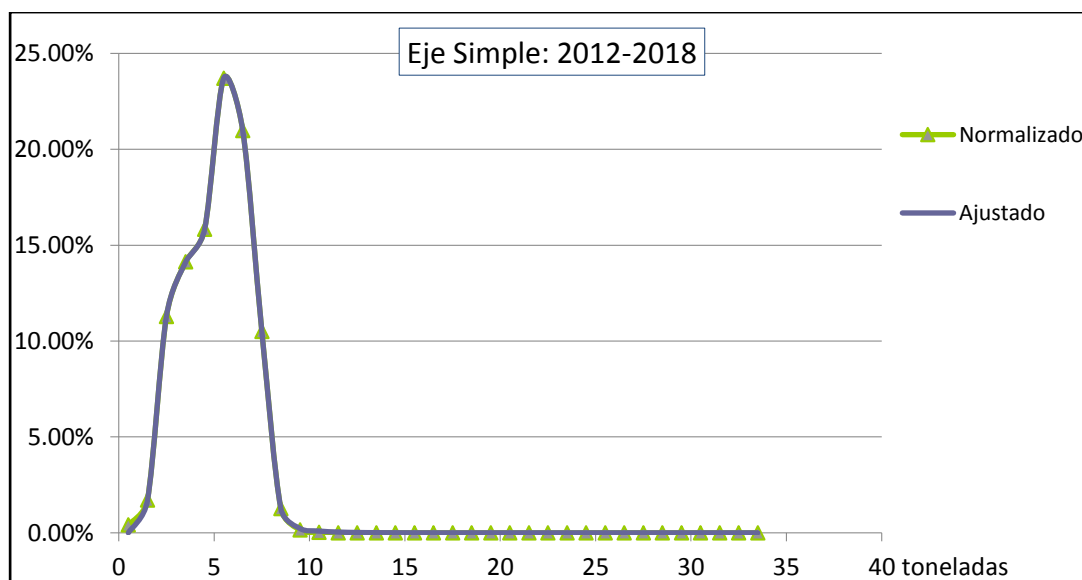


Figura 16: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 18 muestra los porcentajes de Ejes Simples Duales para el periodo acumulado del 2012 al 2018 por intervalo de carga.

Tabla 18
Espectro de carga de ejes Simples Duales

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	Marca de clase (ton)	Datos de la muestra	Normalizado	Ajustado	Diferencia al cuadrado
0.0	1.0	0.5	2,274	0.97%	0.00%	0.0000937
1.0	2.0	1.5	7,514	3.20%	3.26%	0.0000004
2.0	3.0	2.5	28,425	12.11%	12.21%	0.0000009
3.0	4.0	3.5	28,222	12.03%	12.06%	0.0000001

4.0	5.0	4.5	21,030	8.96%	9.11%	0.0000021
5.0	6.0	5.5	19,530	8.32%	8.29%	0.0000001
6.0	7.0	6.5	18,606	7.93%	8.13%	0.0000042
7.0	8.0	7.5	21,465	9.15%	9.14%	0.0000000
8.0	9.0	8.5	25,678	10.94%	10.91%	0.0000001
9.0	10.0	9.5	23,991	10.22%	10.64%	0.0000177
10.0	11.0	10.5	19,155	8.16%	7.91%	0.0000062
11.0	12.0	11.5	10,936	4.66%	4.63%	0.0000001
12.0	13.0	12.5	4,459	1.90%	2.25%	0.0000119
13.0	14.0	13.5	1,613	0.69%	0.94%	0.0000064
14.0	15.0	14.5	794	0.34%	0.35%	0.0000000
15.0	16.0	15.5	493	0.21%	0.12%	0.0000008
16.0	17.0	16.5	292	0.12%	0.04%	0.0000007
17.0	18.0	17.5	131	0.06%	0.01%	0.0000002
18.0	19.0	18.5	51	0.02%	0.00%	0.0000000
19.0	20.0	19.5	20	0.01%	0.00%	0.0000000
20.0	21.0	20.5	4	0.00%	0.00%	0.0000000
21.0	22.0	21.5	3	0.00%	0.00%	0.0000000
22.0	23.0	22.5	2	0.00%	0.00%	0.0000000
23.0	24.0	23.5	1	0.00%	0.00%	0.0000000
24.0	25.0	24.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
25.0	26.0	25.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
26.0	27.0	26.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
27.0	28.0	27.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
28.0	29.0	28.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
29.0	30.0	29.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
30.0	31.0	30.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
31.0	32.0	31.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
32.0	33.0	32.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
33.0	34.0	33.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
34.0	35.0	34.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
35.0	36.0	35.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
36.0	37.0	36.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
37.0	38.0	37.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
38.0	39.0	38.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
39.0	40.0	39.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
			234,689	100.00%		0.0001457

Fuente: Elaboración propia

La Figura 17 muestra el Espectro de carga para los Ejes Simples Dual del periodo acumulado del 2012 al 2018. Curva Ajustado con distribución de frecuencia Log-normal multimodal versus los datos reales normalizados, la correlación (R) es de 0.999.

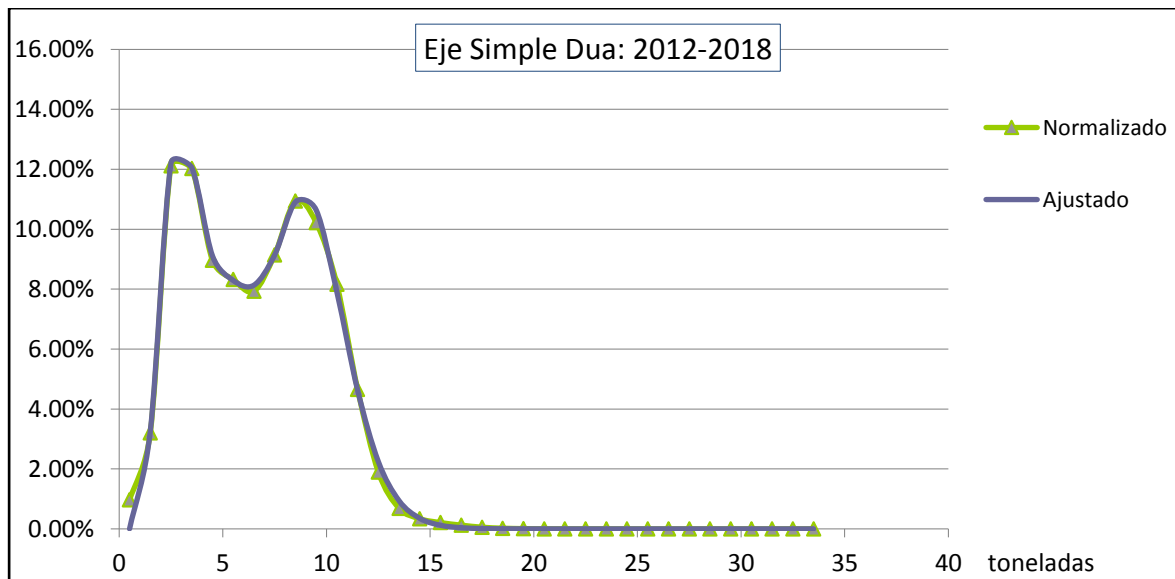


Figura 17: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple dual

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 19 muestra los porcentajes de Ejes Tandem para el periodo acumulado del 2012 al 2018 por intervalo de carga.

Tabla 19
Espectro de carga de ejes Tandem

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	Marca de clase (ton)	Datos de la muestra	Normalizado	Ajustado	Diferencia al cuadrado
0.0	1.0	0.5	245	0.08%	0.00%	0.0000006
1.0	2.0	1.5	739	0.24%	0.00%	0.0000058
2.0	3.0	2.5	528	0.17%	0.00%	0.0000030
3.0	4.0	3.5	1,633	0.53%	0.09%	0.0000193
4.0	5.0	4.5	5,594	1.83%	1.97%	0.0000021
5.0	6.0	5.5	22,602	7.37%	7.48%	0.0000012
6.0	7.0	6.5	33,227	10.84%	10.77%	0.0000005
7.0	8.0	7.5	27,454	8.96%	8.62%	0.0000116
8.0	9.0	8.5	10,696	3.49%	4.86%	0.0001891
9.0	10.0	9.5	11,561	3.77%	2.60%	0.0001383
10.0	11.0	10.5	8,660	2.83%	2.12%	0.0000502
11.0	12.0	11.5	7,002	2.28%	2.68%	0.0000157
12.0	13.0	12.5	8,301	2.71%	3.52%	0.0000660
13.0	14.0	13.5	11,892	3.88%	4.13%	0.0000064
14.0	15.0	14.5	15,796	5.15%	4.53%	0.0000385
15.0	16.0	15.5	19,250	6.28%	5.96%	0.0000101
16.0	17.0	16.5	28,299	9.23%	9.56%	0.0000110
17.0	18.0	17.5	36,599	11.94%	12.02%	0.0000006
18.0	19.0	18.5	30,548	9.97%	9.71%	0.0000065

19.0	20.0	19.5	15,693	5.12%	5.24%	0.0000015
20.0	21.0	20.5	5,599	1.83%	2.19%	0.0000130
21.0	22.0	21.5	2,106	0.69%	0.90%	0.0000044
22.0	23.0	22.5	830	0.27%	0.44%	0.0000028
23.0	24.0	23.5	357	0.12%	0.25%	0.0000018
24.0	25.0	24.5	182	0.06%	0.15%	0.0000008
25.0	26.0	25.5	113	0.04%	0.09%	0.0000003
26.0	27.0	26.5	144	0.05%	0.05%	0.0000000
27.0	28.0	27.5	173	0.06%	0.03%	0.0000001
28.0	29.0	28.5	194	0.06%	0.02%	0.0000002
29.0	30.0	29.5	203	0.07%	0.01%	0.0000003
30.0	31.0	30.5	140	0.05%	0.01%	0.0000002
31.0	32.0	31.5	88	0.03%	0.00%	0.0000001
32.0	33.0	32.5	50	0.02%	0.00%	0.0000000
33.0	34.0	33.5	13	0.00%	0.00%	0.0000000
34.0	35.0	34.5	3	0.00%	0.00%	0.0000000
35.0	36.0	35.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
36.0	37.0	36.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
37.0	38.0	37.5	2	0.00%	0.00%	0.0000000
38.0	39.0	38.5	1	0.00%	0.00%	0.0000000
39.0	40.0	39.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
			306,517	100.00%		0.0006017

Fuente: Elaboración propia

La Figura 18 muestra el Espectro de carga para los Ejes Tandem del periodo acumulado del 2012 al 2018. Curva Ajustado con distribución de frecuencia Log-normal multimodal versus los datos reales normalizados, la correlación (R) es de 0.994.

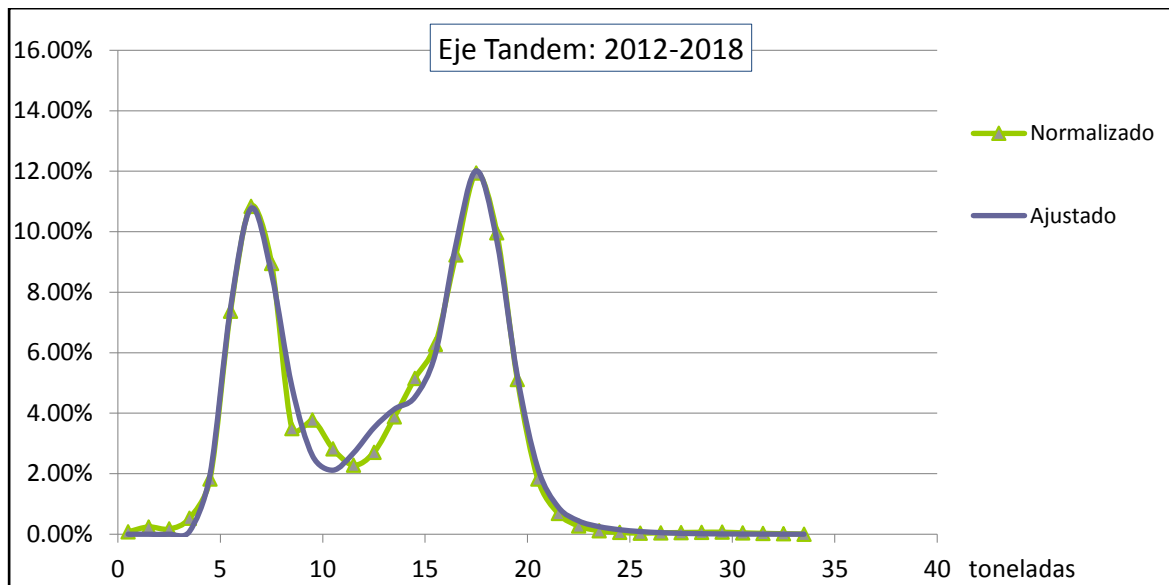


Figura 18: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Tandem

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 20 muestra los porcentajes de Ejes Tridem para el periodo acumulado del 2012 al 2018 por intervalo de carga.

Tabla 20
Espectro de carga de ejes Tridem

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	Marca de clase (ton)	Datos de la muestra	Normalizado	Ajustado	Diferencia al cuadrado
0.0	1.0	0.5	0	0.00%	0.00%	0.000000
1.0	2.0	1.5	136	0.08%	0.00%	0.0000007
2.0	3.0	2.5	23	0.01%	0.00%	0.0000000
3.0	4.0	3.5	88	0.05%	0.02%	0.0000001
4.0	5.0	4.5	760	0.47%	0.73%	0.0000067
5.0	6.0	5.5	5,625	3.51%	3.58%	0.0000004
6.0	7.0	6.5	9,007	5.63%	5.79%	0.0000028
7.0	8.0	7.5	7,816	4.88%	4.77%	0.0000012
8.0	9.0	8.5	3,290	2.06%	2.55%	0.0000246
9.0	10.0	9.5	1,360	0.85%	1.02%	0.0000029
10.0	11.0	10.5	1,062	0.66%	0.34%	0.0000107
11.0	12.0	11.5	1,012	0.63%	0.10%	0.0000287
12.0	13.0	12.5	1,105	0.69%	0.03%	0.0000438
13.0	14.0	13.5	1,131	0.71%	0.03%	0.0000461
14.0	15.0	14.5	1,137	0.71%	0.10%	0.0000372
15.0	16.0	15.5	1,385	0.87%	0.33%	0.0000284
16.0	17.0	16.5	1,818	1.14%	0.85%	0.0000083
17.0	18.0	17.5	2,429	1.52%	1.71%	0.0000038
18.0	19.0	18.5	3,581	2.24%	2.85%	0.0000373

19.0	20.0	19.5	5,820	3.64%	4.01%	0.0000139
20.0	21.0	20.5	8,275	5.17%	4.98%	0.0000035
21.0	22.0	21.5	10,444	6.52%	6.39%	0.0000019
22.0	23.0	22.5	15,981	9.98%	10.27%	0.0000084
23.0	24.0	23.5	24,765	15.47%	15.54%	0.0000004
24.0	25.0	24.5	24,957	15.59%	15.65%	0.0000004
25.0	26.0	25.5	15,607	9.75%	9.96%	0.0000043
26.0	27.0	26.5	7,112	4.44%	4.49%	0.0000003
27.0	28.0	27.5	2,889	1.80%	1.86%	0.0000003
28.0	29.0	28.5	1,022	0.64%	0.90%	0.0000069
29.0	30.0	29.5	295	0.18%	0.51%	0.0000103
30.0	31.0	30.5	99	0.06%	0.29%	0.0000053
31.0	32.0	31.5	30	0.02%	0.16%	0.0000021
32.0	33.0	32.5	18	0.01%	0.09%	0.0000006
33.0	34.0	33.5	2	0.00%	0.05%	0.0000002
34.0	35.0	34.5	0	0.00%	0.02%	0.0000001
35.0	36.0	35.5	1	0.00%	0.01%	0.0000000
36.0	37.0	36.5	2	0.00%	0.01%	0.0000000
37.0	38.0	37.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
38.0	39.0	38.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
39.0	40.0	39.5	0	0.00%	0.00%	0.0000000
			160,084	100.00%		0.0003428

Fuente: Elaboración propia

La Figura 19 muestra el Espectro de carga para los Ejes Tridem del periodo acumulado del 2012 al 2018. Curva Ajustado con distribución de frecuencia Log-normal multimodal versus los datos reales normalizados, la correlación (R) es de 0.997.

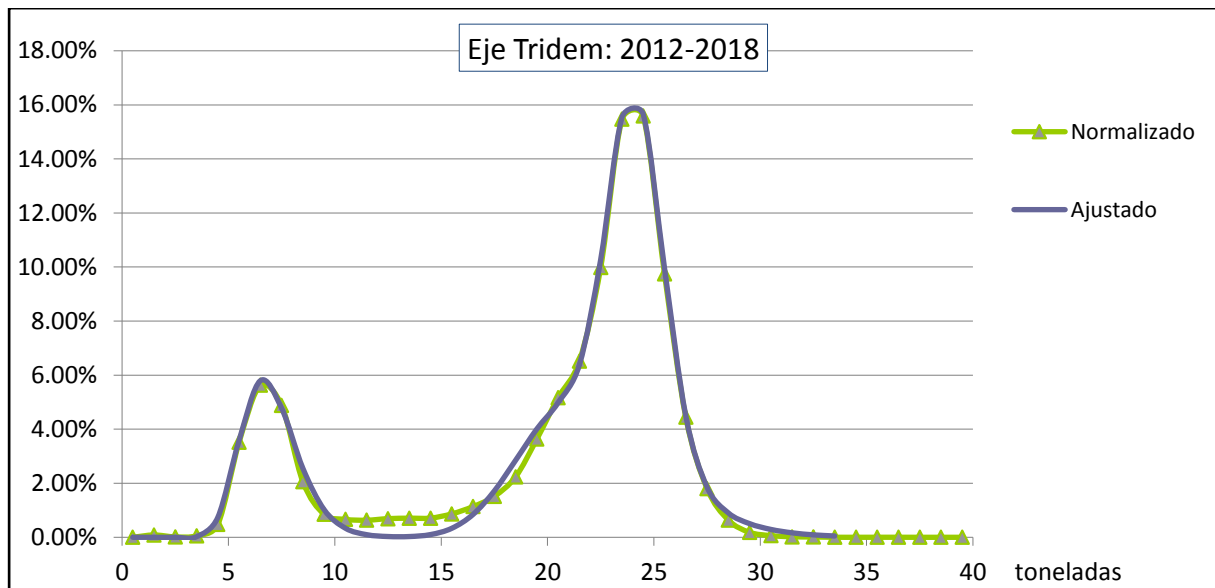


Figura 19: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Tridem

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se determinaron los espectros de carga para cada uno de los ejes Simple, Simple Dual, Tandem y Tridem los cuales muestran las Cargas del tráfico vehicular por eje y su porcentaje de participación por eje del total de vehículos que transitaron por la carretera en los 2 sentidos (2012-2018).

4.1.2 Carga de tráfico acumulado ESAL por AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal

Para lograr el objetivo 2 de la presente investigación: Ajustar la Carga de tráfico vehicular a fin de modificar la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC a través de los Espectros de Carga y el ESAL según AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú.

Presentamos las siguientes tablas y figuras como evidencia.

La Tabla 21 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simples año 2012 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 21

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2012

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	186	2.2	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	0	0	118
1	2	1861	4.4	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	3	8	1177
2	3	9342	6.6	0.41	0.02	0.0	1.27	0.5	1	88	199	5911
3	4	10793	8.8	0.43	0.06	0.1	1.27	0.5	1	327	728	6829
4	5	10941	11.0	0.46	0.15	0.3	1.27	0.5	1	819	1802	6922
5	6	14138	13.2	0.50	0.31	0.7	1.27	0.5	1	2178	4828	8945
6	7	17858	15.4	0.56	0.56	1.3	1.27	0.5	1	4970	11298	11298
7	8	10857	17.6	0.64	0.92	2.2	1.27	0.5	1	4978	11718	6869
8	9	1871	19.8	0.75	1.42	3.5	1.27	0.5	1	1324	3235	1184
9	10	187	22.0	0.88	2.09	5.3	1.27	0.5	1	195	493	118
10	11	30	24.2	1.04	2.97	7.7	1.27	0.5	1	45	116	19
11	12	5	26.4	1.24	4.14	10.9	1.27	0.5	1	10	27	3
12	13	1	28.6	1.48	5.64	15.1	1.27	0.5	1	3	8	1
13	14	0	30.8	1.76	7.56	20.2	1.27	0.5	1	0	0	0
14	15	0	33.0	2.09	10.00	26.7	1.27	0.5	1	0	0	0
15	16	0	35.2	2.47	13.05	34.5	1.27	0.5	1	0	0	0
16	17	0	37.4	2.90	16.83	44.0	1.27	0.5	1	0	0	0
17	18	0	39.6	3.39	21.47	55.3	1.27	0.5	1	0	0	0
18	19	0	41.8	3.95	27.12	68.7	1.27	0.5	1	0	0	0
19	20	0	44.0	4.58	33.93	84.3	1.27	0.5	1	0	0	0
20	21	0	46.2	5.27	42.08	102.5	1.27	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	123.5	1.27	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	147.5	1.27	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	174.9	1.27	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	205.9	1.27	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	240.8	1.27	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	280.1	1.27	0.5	1	0	0	0

27	28	0	61.6	12.53	154.69	323.9	1.27	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	372.7	1.27	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	426.9	1.27	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	486.7	1.27	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	552.6	1.27	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	625.0	1.27	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	704.3	1.27	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	790.9	1.27	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	885.2	1.27	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	987.7	1.27	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	1098.9	1.27	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	1219.2	1.27	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	1349.2	1.27	0.5	1	0	0	0
Total		78,070								14,941	34,460	49,394

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 22 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simples Duales año 2012 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 22

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2012

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple Dual	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	234	2.2	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	0	0	379
1	2	1797	4.4	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	3	3	2910
2	3	5268	6.6	0.41	0.02	0.0	3.24	0.5	1	49	47	8530
3	4	4480	8.8	0.43	0.06	0.1	3.24	0.5	1	136	127	7254
4	5	3132	11.0	0.46	0.15	0.1	3.24	0.5	1	235	216	5071
5	6	3410	13.2	0.50	0.31	0.3	3.24	0.5	1	525	489	5521
6	7	3653	15.4	0.56	0.56	0.5	3.24	0.5	1	1017	970	5915
7	8	4264	17.6	0.64	0.92	0.9	3.24	0.5	1	1955	1931	6904
8	9	5631	19.8	0.75	1.42	1.5	3.24	0.5	1	3986	4086	9117
9	10	5590	22.0	0.88	2.09	2.2	3.24	0.5	1	5832	6182	9051
10	11	4697	24.2	1.04	2.97	3.2	3.24	0.5	1	6985	7605	7605
11	12	2368	26.4	1.24	4.14	4.6	3.24	0.5	1	4897	5430	3834
12	13	905	28.6	1.48	5.64	6.3	3.24	0.5	1	2551	2858	1465
13	14	397	30.8	1.76	7.56	8.5	3.24	0.5	1	1501	1687	643
14	15	249	33.0	2.09	10.00	11.2	3.24	0.5	1	1244	1394	403
15	16	189	35.2	2.47	13.05	14.5	3.24	0.5	1	1233	1370	306
16	17	110	37.4	2.90	16.83	18.5	3.24	0.5	1	926	1016	178
17	18	50	39.6	3.39	21.47	23.2	3.24	0.5	1	537	580	81

18	19	19	41.8	3.95	27.12	28.8	3.24	0.5	1	258	274	31
19	20	5	44.0	4.58	33.93	35.4	3.24	0.5	1	85	88	8
20	21	3	46.2	5.27	42.08	43.0	3.24	0.5	1	63	65	5
21	22	3	48.4	6.04	51.76	51.8	3.24	0.5	1	78	78	5
22	23	2	50.6	6.90	63.18	61.9	3.24	0.5	1	63	62	3
23	24	1	52.8	7.83	76.55	73.4	3.24	0.5	1	38	37	2
24	25	0	55.0	8.86	92.11	86.4	3.24	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	101.1	3.24	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	117.5	3.24	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	135.9	3.24	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	156.4	3.24	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	179.2	3.24	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	204.3	3.24	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	231.9	3.24	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	262.3	3.24	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	295.6	3.24	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	331.9	3.24	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	371.5	3.24	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	414.5	3.24	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	461.2	3.24	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	511.7	3.24	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	566.2	3.24	0.5	1	0	0	0
Total		46,457								34,196	36,596	75,221

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 23 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tandem año 2012 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 23

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2012

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tandem	Lx Kips	β_x	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	4	2.2	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	4
1	2	109	4.4	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	110
2	3	32	6.6	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	32
3	4	160	8.8	0.40	0.01	0.0	2.02	0.5	1	0	0	162
4	5	420	11.0	0.41	0.01	0.0	2.02	0.5	1	3	3	424
5	6	2008	13.2	0.41	0.03	0.0	2.02	0.5	1	26	25	2027
6	7	3759	15.4	0.42	0.05	0.0	2.02	0.5	1	91	87	3795
7	8	3582	17.6	0.43	0.08	0.1	2.02	0.5	1	149	141	3616
8	9	1370	19.8	0.44	0.13	0.1	2.02	0.5	1	92	86	1383
9	10	1392	22.0	0.46	0.21	0.2	2.02	0.5	1	143	134	1405
10	11	1125	24.2	0.48	0.30	0.3	2.02	0.5	1	169	158	1136

11	12	814	26.4	0.50	0.42	0.4	2.02	0.5	1	172	162	822
12	13	959	28.6	0.53	0.58	0.5	2.02	0.5	1	277	263	968
13	14	1312	30.8	0.56	0.77	0.7	2.02	0.5	1	502	485	1325
14	15	1605	33.0	0.60	0.99	1.0	2.02	0.5	1	796	781	1620
15	16	2178	35.2	0.64	1.26	1.3	2.02	0.5	1	1374	1373	2199
16	17	3525	37.4	0.69	1.58	1.6	2.02	0.5	1	2781	2832	3559
17	18	4756	39.6	0.75	1.95	2.0	2.02	0.5	1	4630	4802	4802
18	19	3961	41.8	0.81	2.38	2.5	2.02	0.5	1	4705	4965	3999
19	20	1991	44.0	0.88	2.87	3.1	2.02	0.5	1	2857	3064	2010
20	21	807	46.2	0.96	3.44	3.7	2.02	0.5	1	1388	1509	815
21	22	406	48.4	1.04	4.09	4.5	2.02	0.5	1	831	915	410
22	23	195	50.6	1.14	4.84	5.4	2.02	0.5	1	472	525	197
23	24	96	52.8	1.24	5.69	6.4	2.02	0.5	1	273	306	97
24	25	72	55.0	1.35	6.66	7.5	2.02	0.5	1	240	270	73
25	26	50	57.2	1.48	7.76	8.8	2.02	0.5	1	194	220	50
26	27	56	59.4	1.61	9.00	10.2	2.02	0.5	1	252	286	57
27	28	56	61.6	1.76	10.40	11.8	2.02	0.5	1	291	331	57
28	29	36	63.8	1.92	11.98	13.6	2.02	0.5	1	216	245	36
29	30	49	66.0	2.09	13.75	15.6	2.02	0.5	1	337	382	49
30	31	16	68.2	2.27	15.73	17.8	2.02	0.5	1	126	142	16
31	32	25	70.4	2.47	17.94	20.2	2.02	0.5	1	224	252	25
32	33	15	72.6	2.68	20.41	22.8	2.02	0.5	1	153	171	15
33	34	5	74.8	2.90	23.15	25.7	2.02	0.5	1	58	64	5
34	35	1	77.0	3.14	26.18	28.9	2.02	0.5	1	13	14	1
35	36	0	79.2	3.39	29.53	32.3	2.02	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	3.66	33.23	36.0	2.02	0.5	1	0	0	0
37	38	1	83.6	3.95	37.30	40.1	2.02	0.5	1	19	20	1
38	39	1	85.8	4.25	41.78	44.5	2.02	0.5	1	21	22	1
39	40	0	88.0	4.58	46.68	49.2	2.02	0.5	1	0	0	0
Total		36,949								23,875	25,037	37,304

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 24 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tridem año 2012 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 24

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2012

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tridem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	0	2.2	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
1	2	33	4.4	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	28
2	3	1	6.6	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	1
3	4	19	8.8	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	16

4	5	66	11.0	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	56
5	6	715	13.2	0.40	0.01	0.0	1.71	0.5	1	2	2	610
6	7	1483	15.4	0.41	0.01	0.0	1.71	0.5	1	8	9	1265
7	8	1491	17.6	0.41	0.02	0.0	1.71	0.5	1	14	15	1272
8	9	551	19.8	0.41	0.03	0.0	1.71	0.5	1	9	9	470
9	10	175	22.0	0.42	0.05	0.0	1.71	0.5	1	4	4	149
10	11	119	24.2	0.42	0.07	0.1	1.71	0.5	1	4	4	102
11	12	109	26.4	0.43	0.10	0.1	1.71	0.5	1	5	5	93
12	13	139	28.6	0.44	0.14	0.1	1.71	0.5	1	10	9	119
13	14	135	30.8	0.45	0.19	0.2	1.71	0.5	1	13	12	115
14	15	169	33.0	0.46	0.25	0.2	1.71	0.5	1	21	20	144
15	16	194	35.2	0.47	0.32	0.3	1.71	0.5	1	31	29	165
16	17	236	37.4	0.48	0.41	0.4	1.71	0.5	1	48	45	201
17	18	238	39.6	0.50	0.51	0.5	1.71	0.5	1	61	56	203
18	19	302	41.8	0.52	0.63	0.6	1.71	0.5	1	95	88	258
19	20	495	44.0	0.54	0.77	0.7	1.71	0.5	1	190	177	422
20	21	915	46.2	0.56	0.92	0.9	1.71	0.5	1	422	395	781
21	22	1582	48.4	0.58	1.10	1.0	1.71	0.5	1	870	820	1349
22	23	2440	50.6	0.61	1.30	1.2	1.71	0.5	1	1583	1504	2081
23	24	3510	52.8	0.64	1.52	1.5	1.71	0.5	1	2668	2553	2994
24	25	3441	55.0	0.67	1.77	1.7	1.71	0.5	1	3041	2935	2935
25	26	2024	57.2	0.71	2.04	2.0	1.71	0.5	1	2067	2012	1726
26	27	803	59.4	0.75	2.35	2.3	1.71	0.5	1	942	925	685
27	28	314	61.6	0.79	2.68	2.7	1.71	0.5	1	421	417	268
28	29	139	63.8	0.83	3.05	3.0	1.71	0.5	1	212	212	119
29	30	42	66.0	0.88	3.46	3.5	1.71	0.5	1	73	73	36
30	31	22	68.2	0.93	3.90	3.9	1.71	0.5	1	43	43	19
31	32	10	70.4	0.98	4.39	4.5	1.71	0.5	1	22	22	9
32	33	5	72.6	1.04	4.93	5.0	1.71	0.5	1	12	13	4
33	34	0	74.8	1.10	5.52	5.7	1.71	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	1.17	6.16	6.3	1.71	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	1.24	6.86	7.1	1.71	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	1.32	7.62	7.9	1.71	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	1.40	8.45	8.7	1.71	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	1.48	9.35	9.7	1.71	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	1.57	10.32	10.7	1.71	0.5	1	0	0	0
Total		21,917								12,892	12,408	18,695

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 25 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simples año 2013 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 25

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2013

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	188	2.2	0.40	0.0	0.0	1.27	0.5	1	0	0	119
1	2	1460	4.4	0.40	0.0	0.0	1.27	0.5	1	3	6	924
2	3	9250	6.6	0.41	0.0	0.0	1.27	0.5	1	87	197	5852
3	4	11768	8.8	0.43	0.1	0.1	1.27	0.5	1	357	794	7445
4	5	11332	11.0	0.46	0.1	0.3	1.27	0.5	1	849	1866	7170
5	6	15531	13.2	0.50	0.3	0.7	1.27	0.5	1	2392	5304	9826
6	7	16206	15.4	0.56	0.6	1.3	1.27	0.5	1	4510	10253	10253
7	8	7473	17.6	0.64	0.9	2.2	1.27	0.5	1	3427	8066	4728
8	9	992	19.8	0.75	1.4	3.5	1.27	0.5	1	702	1715	628
9	10	94	22.0	0.88	2.1	5.3	1.27	0.5	1	98	248	59
10	11	21	24.2	1.04	3.0	7.7	1.27	0.5	1	31	81	13
11	12	4	26.4	1.24	4.1	10.9	1.27	0.5	1	8	22	3
12	13	2	28.6	1.48	5.6	15.1	1.27	0.5	1	6	15	1
13	14	0	30.8	1.76	7.6	20.2	1.27	0.5	1	0	0	0
14	15	0	33.0	2.09	10.0	26.7	1.27	0.5	1	0	0	0
15	16	0	35.2	2.47	13.0	34.5	1.27	0.5	1	0	0	0
16	17	0	37.4	2.90	16.8	44.0	1.27	0.5	1	0	0	0
17	18	0	39.6	3.39	21.5	55.3	1.27	0.5	1	0	0	0
18	19	0	41.8	3.95	27.1	68.7	1.27	0.5	1	0	0	0
19	20	0	44.0	4.58	33.9	84.3	1.27	0.5	1	0	0	0
20	21	0	46.2	5.27	42.1	102.5	1.27	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.8	123.5	1.27	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.2	147.5	1.27	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.5	174.9	1.27	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.1	205.9	1.27	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.1	240.8	1.27	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.9	280.1	1.27	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.7	323.9	1.27	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.8	372.7	1.27	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.7	426.9	1.27	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.5	486.7	1.27	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.8	552.6	1.27	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	331.0	625.0	1.27	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.4	704.3	1.27	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.5	790.9	1.27	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.8	885.2	1.27	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.7	987.7	1.27	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.9	1098.9	1.27	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.8	1219.2	1.27	0.5	1	0	0	0

39	40	0	88.0	38.19	814.1	1349.2	1.27	0.5	1	0	0	0
Total		74,321								12,469	28,567	47,022

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 26 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simples Duales año 2013 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 26
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2013

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple Dual	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	197	2.2	0.40	0.0	0.0	3.24	0.5	1	0	0	319
1	2	1333	4.4	0.40	0.0	0.0	3.24	0.5	1	2	2	2158
2	3	5090	6.6	0.41	0.0	0.0	3.24	0.5	1	48	46	8241
3	4	4349	8.8	0.43	0.1	0.1	3.24	0.5	1	132	123	7042
4	5	3247	11.0	0.46	0.1	0.1	3.24	0.5	1	243	224	5257
5	6	3477	13.2	0.50	0.3	0.3	3.24	0.5	1	536	498	5630
6	7	4011	15.4	0.56	0.6	0.5	3.24	0.5	1	1116	1065	6494
7	8	4809	17.6	0.64	0.9	0.9	3.24	0.5	1	2205	2178	7786
8	9	5102	19.8	0.75	1.4	1.5	3.24	0.5	1	3611	3702	8261
9	10	3878	22.0	0.88	2.1	2.2	3.24	0.5	1	4046	4289	6279
10	11	2542	24.2	1.04	3.0	3.2	3.24	0.5	1	3781	4116	4116
11	12	1358	26.4	1.24	4.1	4.6	3.24	0.5	1	2808	3114	2199
12	13	558	28.6	1.48	5.6	6.3	3.24	0.5	1	1573	1762	903
13	14	314	30.8	1.76	7.6	8.5	3.24	0.5	1	1187	1334	508
14	15	170	33.0	2.09	10.0	11.2	3.24	0.5	1	850	952	275
15	16	123	35.2	2.47	13.0	14.5	3.24	0.5	1	802	891	199
16	17	61	37.4	2.90	16.8	18.5	3.24	0.5	1	513	563	99
17	18	20	39.6	3.39	21.5	23.2	3.24	0.5	1	215	232	32
18	19	13	41.8	3.95	27.1	28.8	3.24	0.5	1	176	187	21
19	20	3	44.0	4.58	33.9	35.4	3.24	0.5	1	51	53	5
20	21	0	46.2	5.27	42.1	43.0	3.24	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.8	51.8	3.24	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.2	61.9	3.24	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.5	73.4	3.24	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.1	86.4	3.24	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.1	101.1	3.24	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.9	117.5	3.24	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.7	135.9	3.24	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.8	156.4	3.24	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.7	179.2	3.24	0.5	1	0	0	0

30	31	0	68.2	17.16	247.5	204.3	3.24	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.8	231.9	3.24	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	331.0	262.3	3.24	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.4	295.6	3.24	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.5	331.9	3.24	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.8	371.5	3.24	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.7	414.5	3.24	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.9	461.2	3.24	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.8	511.7	3.24	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.1	566.2	3.24	0.5	1	0	0	0
Total		40,655								23,895	25,334	65,826

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 27 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tandem año 2013 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

*Tabla 27
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2013*

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tandem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	4	2.2	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	4
1	2	103	4.4	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	104
2	3	29	6.6	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	29
3	4	84	8.8	0.40	0.01	0.0	2.02	0.5	1	0	0	85
4	5	558	11.0	0.41	0.01	0.0	2.02	0.5	1	3	3	563
5	6	2515	13.2	0.41	0.03	0.0	2.02	0.5	1	32	31	2539
6	7	4198	15.4	0.42	0.05	0.0	2.02	0.5	1	101	97	4238
7	8	4024	17.6	0.43	0.08	0.1	2.02	0.5	1	168	159	4063
8	9	1317	19.8	0.44	0.13	0.1	2.02	0.5	1	89	83	1330
9	10	1144	22.0	0.46	0.21	0.2	2.02	0.5	1	118	110	1155
10	11	1092	24.2	0.48	0.30	0.3	2.02	0.5	1	164	154	1102
11	12	1024	26.4	0.50	0.42	0.4	2.02	0.5	1	217	204	1034
12	13	1180	28.6	0.53	0.58	0.5	2.02	0.5	1	341	324	1191
13	14	1697	30.8	0.56	0.77	0.7	2.02	0.5	1	650	627	1713
14	15	2051	33.0	0.60	0.99	1.0	2.02	0.5	1	1018	999	2071
15	16	2887	35.2	0.64	1.26	1.3	2.02	0.5	1	1821	1820	2915
16	17	4509	37.4	0.69	1.58	1.6	2.02	0.5	1	3558	3622	4552
17	18	5171	39.6	0.75	1.95	2.0	2.02	0.5	1	5034	5221	5221
18	19	3966	41.8	0.81	2.38	2.5	2.02	0.5	1	4710	4971	4004
19	20	2167	44.0	0.88	2.87	3.1	2.02	0.5	1	3110	3335	2188
20	21	954	46.2	0.96	3.44	3.7	2.02	0.5	1	1640	1784	963
21	22	459	48.4	1.04	4.09	4.5	2.02	0.5	1	939	1034	463
22	23	188	50.6	1.14	4.84	5.4	2.02	0.5	1	455	506	190

23	24	62	52.8	1.24	5.69	6.4	2.02	0.5	1	176	198	63
24	25	25	55.0	1.35	6.66	7.5	2.02	0.5	1	83	94	25
25	26	11	57.2	1.48	7.76	8.8	2.02	0.5	1	43	48	11
26	27	6	59.4	1.61	9.00	10.2	2.02	0.5	1	27	31	6
27	28	4	61.6	1.76	10.40	11.8	2.02	0.5	1	21	24	4
28	29	2	63.8	1.92	11.98	13.6	2.02	0.5	1	12	14	2
29	30	3	66.0	2.09	13.75	15.6	2.02	0.5	1	21	23	3
30	31	0	68.2	2.27	15.73	17.8	2.02	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	2.47	17.94	20.2	2.02	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	2.68	20.41	22.8	2.02	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	2.90	23.15	25.7	2.02	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	3.14	26.18	28.9	2.02	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	3.39	29.53	32.3	2.02	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	3.66	33.23	36.0	2.02	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	3.95	37.30	40.1	2.02	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	4.25	41.78	44.5	2.02	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	4.58	46.68	49.2	2.02	0.5	1	0	0	0
Total		41,434								24,551	25,515	41,832

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 28 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tridem año 2013 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 28

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2013

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tridem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	0	2.2	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
1	2	35	4.4	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	30
2	3	3	6.6	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	3
3	4	2	8.8	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	2
4	5	53	11.0	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	45
5	6	713	13.2	0.40	0.01	0.0	1.71	0.5	1	2	2	608
6	7	1390	15.4	0.41	0.01	0.0	1.71	0.5	1	8	8	1186
7	8	1383	17.6	0.41	0.02	0.0	1.71	0.5	1	13	14	1180
8	9	544	19.8	0.41	0.03	0.0	1.71	0.5	1	8	9	464
9	10	178	22.0	0.42	0.05	0.0	1.71	0.5	1	4	4	152
10	11	111	24.2	0.42	0.07	0.1	1.71	0.5	1	4	4	95
11	12	127	26.4	0.43	0.10	0.1	1.71	0.5	1	6	6	108
12	13	124	28.6	0.44	0.14	0.1	1.71	0.5	1	9	8	106
13	14	149	30.8	0.45	0.19	0.2	1.71	0.5	1	14	13	127
14	15	147	33.0	0.46	0.25	0.2	1.71	0.5	1	18	17	125
15	16	229	35.2	0.47	0.32	0.3	1.71	0.5	1	37	34	195

16	17	291	37.4	0.48	0.41	0.4	1.71	0.5	1	59	55	248
17	18	308	39.6	0.50	0.51	0.5	1.71	0.5	1	79	73	263
18	19	346	41.8	0.52	0.63	0.6	1.71	0.5	1	109	101	295
19	20	579	44.0	0.54	0.77	0.7	1.71	0.5	1	222	207	494
20	21	881	46.2	0.56	0.92	0.9	1.71	0.5	1	406	381	752
21	22	1547	48.4	0.58	1.10	1.0	1.71	0.5	1	850	802	1320
22	23	2567	50.6	0.61	1.30	1.2	1.71	0.5	1	1666	1582	2190
23	24	3680	52.8	0.64	1.52	1.5	1.71	0.5	1	2797	2677	3139
24	25	3777	55.0	0.67	1.77	1.7	1.71	0.5	1	3338	3222	3222
25	26	2219	57.2	0.71	2.04	2.0	1.71	0.5	1	2266	2206	1893
26	27	859	59.4	0.75	2.35	2.3	1.71	0.5	1	1008	989	733
27	28	304	61.6	0.79	2.68	2.7	1.71	0.5	1	408	403	259
28	29	92	63.8	0.83	3.05	3.0	1.71	0.5	1	140	140	78
29	30	36	66.0	0.88	3.46	3.5	1.71	0.5	1	62	63	31
30	31	15	68.2	0.93	3.90	3.9	1.71	0.5	1	29	30	13
31	32	4	70.4	0.98	4.39	4.5	1.71	0.5	1	9	9	3
32	33	1	72.6	1.04	4.93	5.0	1.71	0.5	1	2	3	1
33	34	0	74.8	1.10	5.52	5.7	1.71	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	1.17	6.16	6.3	1.71	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	1.24	6.86	7.1	1.71	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	1.32	7.62	7.9	1.71	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	1.40	8.45	8.7	1.71	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	1.48	9.35	9.7	1.71	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	1.57	10.32	10.7	1.71	0.5	1	0	0	0
Total		22,694								13,576	13,062	19,358

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 29 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simple año 2014 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

*Tabla 29
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2014*

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	135	2.2	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	0	0	85
1	2	1085	4.4	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	2	5	686
2	3	7766	6.6	0.41	0.02	0.0	1.27	0.5	1	73	166	4913
3	4	10857	8.8	0.43	0.06	0.1	1.27	0.5	1	329	732	6869
4	5	10571	11.0	0.46	0.15	0.3	1.27	0.5	1	792	1741	6688
5	6	14455	13.2	0.50	0.31	0.7	1.27	0.5	1	2226	4936	9145
6	7	13963	15.4	0.56	0.56	1.3	1.27	0.5	1	3886	8834	8834
7	8	5467	17.6	0.64	0.92	2.2	1.27	0.5	1	2507	5901	3459
8	9	834	19.8	0.75	1.42	3.5	1.27	0.5	1	590	1442	528

9	10	210	22.0	0.88	2.09	5.3	1.27	0.5	1	219	553	133
10	11	28	24.2	1.04	2.97	7.7	1.27	0.5	1	42	108	18
11	12	5	26.4	1.24	4.14	10.9	1.27	0.5	1	10	27	3
12	13	1	28.6	1.48	5.64	15.1	1.27	0.5	1	3	8	1
13	14	0	30.8	1.76	7.56	20.2	1.27	0.5	1	0	0	0
14	15	0	33.0	2.09	10.00	26.7	1.27	0.5	1	0	0	0
15	16	0	35.2	2.47	13.05	34.5	1.27	0.5	1	0	0	0
16	17	0	37.4	2.90	16.83	44.0	1.27	0.5	1	0	0	0
17	18	0	39.6	3.39	21.47	55.3	1.27	0.5	1	0	0	0
18	19	0	41.8	3.95	27.12	68.7	1.27	0.5	1	0	0	0
19	20	0	44.0	4.58	33.93	84.3	1.27	0.5	1	0	0	0
20	21	0	46.2	5.27	42.08	102.5	1.27	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	123.5	1.27	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	147.5	1.27	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	174.9	1.27	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	205.9	1.27	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	240.8	1.27	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	280.1	1.27	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	323.9	1.27	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	372.7	1.27	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	426.9	1.27	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	486.7	1.27	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	552.6	1.27	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	625.0	1.27	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	704.3	1.27	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	790.9	1.27	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	885.2	1.27	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	987.7	1.27	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	1098.9	1.27	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	1219.2	1.27	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	1349.2	1.27	0.5	1	0	0	0
Total		65,377								10,679	24,453	41,363

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 30 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simples Duales año 2014 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 30
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2014

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple Dual	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
-------------	-------------	------------------	---------	-----------	-----	-------------	-------------------------	-----------------	-----------------	----------	---------------	---------------------------

0	1	123	2.2	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	0	0	199
1	2	1002	4.4	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	2	2	1622
2	3	3980	6.6	0.41	0.02	0.0	3.24	0.5	1	37	36	6444
3	4	3896	8.8	0.43	0.06	0.1	3.24	0.5	1	118	110	6308
4	5	2864	11.0	0.46	0.15	0.1	3.24	0.5	1	214	198	4637
5	6	2928	13.2	0.50	0.31	0.3	3.24	0.5	1	451	420	4741
6	7	3257	15.4	0.56	0.56	0.5	3.24	0.5	1	906	865	5274
7	8	3914	17.6	0.64	0.92	0.9	3.24	0.5	1	1795	1773	6337
8	9	4577	19.8	0.75	1.42	1.5	3.24	0.5	1	3240	3321	7411
9	10	3555	22.0	0.88	2.09	2.2	3.24	0.5	1	3709	3931	5756
10	11	2458	24.2	1.04	2.97	3.2	3.24	0.5	1	3656	3980	3980
11	12	1181	26.4	1.24	4.14	4.6	3.24	0.5	1	2442	2708	1912
12	13	438	28.6	1.48	5.64	6.3	3.24	0.5	1	1235	1383	709
13	14	163	30.8	1.76	7.56	8.5	3.24	0.5	1	616	692	264
14	15	87	33.0	2.09	10.00	11.2	3.24	0.5	1	435	487	141
15	16	37	35.2	2.47	13.05	14.5	3.24	0.5	1	241	268	60
16	17	23	37.4	2.90	16.83	18.5	3.24	0.5	1	194	212	37
17	18	9	39.6	3.39	21.47	23.2	3.24	0.5	1	97	104	15
18	19	2	41.8	3.95	27.12	28.8	3.24	0.5	1	27	29	3
19	20	0	44.0	4.58	33.93	35.4	3.24	0.5	1	0	0	0
20	21	1	46.2	5.27	42.08	43.0	3.24	0.5	1	21	22	2
21	22	0	48.4	6.04	51.76	51.8	3.24	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	61.9	3.24	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	73.4	3.24	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	86.4	3.24	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	101.1	3.24	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	117.5	3.24	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	135.9	3.24	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	156.4	3.24	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	179.2	3.24	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	204.3	3.24	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	231.9	3.24	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	262.3	3.24	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	295.6	3.24	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	331.9	3.24	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	371.5	3.24	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	414.5	3.24	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	461.2	3.24	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	511.7	3.24	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	566.2	3.24	0.5	1	0	0	0
Total		34,495								19,435	20,542	55,852

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 31 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tandem año 2014 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 31

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2014

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tandem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	142	2.2	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	143
1	2	101	4.4	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	102
2	3	139	6.6	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	140
3	4	216	8.8	0.40	0.01	0.0	2.02	0.5	1	1	1	218
4	5	467	11.0	0.41	0.01	0.0	2.02	0.5	1	3	3	471
5	6	2250	13.2	0.41	0.03	0.0	2.02	0.5	1	29	28	2272
6	7	3898	15.4	0.42	0.05	0.0	2.02	0.5	1	94	90	3935
7	8	3359	17.6	0.43	0.08	0.1	2.02	0.5	1	140	132	3391
8	9	1404	19.8	0.44	0.13	0.1	2.02	0.5	1	95	89	1417
9	10	1648	22.0	0.46	0.21	0.2	2.02	0.5	1	170	158	1664
10	11	1502	24.2	0.48	0.30	0.3	2.02	0.5	1	226	211	1516
11	12	1150	26.4	0.50	0.42	0.4	2.02	0.5	1	244	229	1161
12	13	1363	28.6	0.53	0.58	0.5	2.02	0.5	1	393	374	1376
13	14	1844	30.8	0.56	0.77	0.7	2.02	0.5	1	706	681	1862
14	15	2273	33.0	0.60	0.99	1.0	2.02	0.5	1	1128	1107	2295
15	16	2924	35.2	0.64	1.26	1.3	2.02	0.5	1	1844	1843	2952
16	17	3835	37.4	0.69	1.58	1.6	2.02	0.5	1	3026	3081	3872
17	18	4500	39.6	0.75	1.95	2.0	2.02	0.5	1	4381	4543	4543
18	19	3498	41.8	0.81	2.38	2.5	2.02	0.5	1	4155	4384	3532
19	20	1741	44.0	0.88	2.87	3.1	2.02	0.5	1	2498	2679	1758
20	21	626	46.2	0.96	3.44	3.7	2.02	0.5	1	1076	1171	632
21	22	328	48.4	1.04	4.09	4.5	2.02	0.5	1	671	739	331
22	23	139	50.6	1.14	4.84	5.4	2.02	0.5	1	336	374	140
23	24	53	52.8	1.24	5.69	6.4	2.02	0.5	1	151	169	54
24	25	16	55.0	1.35	6.66	7.5	2.02	0.5	1	53	60	16
25	26	19	57.2	1.48	7.76	8.8	2.02	0.5	1	74	84	19
26	27	40	59.4	1.61	9.00	10.2	2.02	0.5	1	180	204	40
27	28	92	61.6	1.76	10.40	11.8	2.02	0.5	1	478	544	93
28	29	130	63.8	1.92	11.98	13.6	2.02	0.5	1	779	884	131
29	30	135	66.0	2.09	13.75	15.6	2.02	0.5	1	928	1052	136
30	31	102	68.2	2.27	15.73	17.8	2.02	0.5	1	802	906	103
31	32	51	70.4	2.47	17.94	20.2	2.02	0.5	1	458	514	51
32	33	21	72.6	2.68	20.41	22.8	2.02	0.5	1	214	240	21
33	34	4	74.8	2.90	23.15	25.7	2.02	0.5	1	46	51	4
34	35	0	77.0	3.14	26.18	28.9	2.02	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	3.39	29.53	32.3	2.02	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	3.66	33.23	36.0	2.02	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	3.95	37.30	40.1	2.02	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	4.25	41.78	44.5	2.02	0.5	1	0	0	0

39	40	0	88.0	4.58	46.68	49.2	2.02	0.5	1	0	0	0
Total		40,010								25,379	26,626	40,394

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 32 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tridem año 2014 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 32

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2014

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tridem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	0	2.2	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
1	2	18	4.4	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	15
2	3	1	6.6	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	1
3	4	0	8.8	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
4	5	55	11.0	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	47
5	6	821	13.2	0.40	0.01	0.0	1.71	0.5	1	3	3	700
6	7	1252	15.4	0.41	0.01	0.0	1.71	0.5	1	7	7	1068
7	8	995	17.6	0.41	0.02	0.0	1.71	0.5	1	10	10	849
8	9	403	19.8	0.41	0.03	0.0	1.71	0.5	1	6	6	344
9	10	137	22.0	0.42	0.05	0.0	1.71	0.5	1	3	3	117
10	11	98	24.2	0.42	0.07	0.1	1.71	0.5	1	3	3	84
11	12	102	26.4	0.43	0.10	0.1	1.71	0.5	1	5	5	87
12	13	104	28.6	0.44	0.14	0.1	1.71	0.5	1	7	7	89
13	14	118	30.8	0.45	0.19	0.2	1.71	0.5	1	11	10	101
14	15	130	33.0	0.46	0.25	0.2	1.71	0.5	1	16	15	111
15	16	171	35.2	0.47	0.32	0.3	1.71	0.5	1	27	26	146
16	17	292	37.4	0.48	0.41	0.4	1.71	0.5	1	60	55	249
17	18	389	39.6	0.50	0.51	0.5	1.71	0.5	1	99	92	332
18	19	529	41.8	0.52	0.63	0.6	1.71	0.5	1	167	155	451
19	20	674	44.0	0.54	0.77	0.7	1.71	0.5	1	258	241	575
20	21	837	46.2	0.56	0.92	0.9	1.71	0.5	1	386	362	714
21	22	1295	48.4	0.58	1.10	1.0	1.71	0.5	1	712	671	1105
22	23	2156	50.6	0.61	1.30	1.2	1.71	0.5	1	1399	1329	1839
23	24	3073	52.8	0.64	1.52	1.5	1.71	0.5	1	2336	2236	2621
24	25	3148	55.0	0.67	1.77	1.7	1.71	0.5	1	2782	2685	2685
25	26	1800	57.2	0.71	2.04	2.0	1.71	0.5	1	1838	1789	1535
26	27	773	59.4	0.75	2.35	2.3	1.71	0.5	1	907	890	659
27	28	268	61.6	0.79	2.68	2.7	1.71	0.5	1	359	356	229
28	29	107	63.8	0.83	3.05	3.0	1.71	0.5	1	163	163	91
29	30	18	66.0	0.88	3.46	3.5	1.71	0.5	1	31	31	15
30	31	5	68.2	0.93	3.90	3.9	1.71	0.5	1	10	10	4
31	32	1	70.4	0.98	4.39	4.5	1.71	0.5	1	2	2	1

32	33	1	72.6	1.04	4.93	5.0	1.71	0.5	1	2	3	1
33	34	0	74.8	1.10	5.52	5.7	1.71	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	1.17	6.16	6.3	1.71	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	1.24	6.86	7.1	1.71	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	1.32	7.62	7.9	1.71	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	1.40	8.45	8.7	1.71	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	1.48	9.35	9.7	1.71	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	1.57	10.32	10.7	1.71	0.5	1	0	0	0
Total		19,771								11,612	11,165	16,865

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 33 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simple año 2015 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 33
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2015

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	56	2.2	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	0	0	35
1	2	1029	4.4	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	2	4	651
2	3	6882	6.6	0.41	0.02	0.0	1.27	0.5	1	65	147	4354
3	4	8540	8.8	0.43	0.06	0.1	1.27	0.5	1	259	576	5403
4	5	8659	11.0	0.46	0.15	0.3	1.27	0.5	1	648	1426	5478
5	6	12654	13.2	0.50	0.31	0.7	1.27	0.5	1	1949	4321	8006
6	7	11985	15.4	0.56	0.56	1.3	1.27	0.5	1	3335	7583	7583
7	8	6041	17.6	0.64	0.92	2.2	1.27	0.5	1	2770	6520	3822
8	9	622	19.8	0.75	1.42	3.5	1.27	0.5	1	440	1075	394
9	10	64	22.0	0.88	2.09	5.3	1.27	0.5	1	67	169	40
10	11	15	24.2	1.04	2.97	7.7	1.27	0.5	1	22	58	9
11	12	0	26.4	1.24	4.14	10.9	1.27	0.5	1	0	0	0
12	13	0	28.6	1.48	5.64	15.1	1.27	0.5	1	0	0	0
13	14	0	30.8	1.76	7.56	20.2	1.27	0.5	1	0	0	0
14	15	0	33.0	2.09	10.00	26.7	1.27	0.5	1	0	0	0
15	16	0	35.2	2.47	13.05	34.5	1.27	0.5	1	0	0	0
16	17	0	37.4	2.90	16.83	44.0	1.27	0.5	1	0	0	0
17	18	0	39.6	3.39	21.47	55.3	1.27	0.5	1	0	0	0
18	19	0	41.8	3.95	27.12	68.7	1.27	0.5	1	0	0	0
19	20	0	44.0	4.58	33.93	84.3	1.27	0.5	1	0	0	0
20	21	0	46.2	5.27	42.08	102.5	1.27	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	123.5	1.27	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	147.5	1.27	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	174.9	1.27	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	205.9	1.27	0.5	1	0	0	0

25	26	0	57.2	9.98	110.14	240.8	1.27	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	280.1	1.27	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	323.9	1.27	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	372.7	1.27	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	426.9	1.27	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	486.7	1.27	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	552.6	1.27	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	625.0	1.27	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	704.3	1.27	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	790.9	1.27	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	885.2	1.27	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	987.7	1.27	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	1098.9	1.27	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	1219.2	1.27	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	1349.2	1.27	0.5	1	0	0	0
Total		56,547								9,558	21,880	35,776

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 34 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simple Dual año 2015 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 34
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2015

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple Dual	Lx Kips	β_x	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	52	2.2	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	0	0	84
1	2	971	4.4	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	2	2	1572
2	3	3412	6.6	0.41	0.02	0.0	3.24	0.5	1	32	31	5525
3	4	3987	8.8	0.43	0.06	0.1	3.24	0.5	1	121	113	6456
4	5	2689	11.0	0.46	0.15	0.1	3.24	0.5	1	201	186	4354
5	6	2477	13.2	0.50	0.31	0.3	3.24	0.5	1	382	355	4011
6	7	2096	15.4	0.56	0.56	0.5	3.24	0.5	1	583	557	3394
7	8	2558	17.6	0.64	0.92	0.9	3.24	0.5	1	1173	1159	4142
8	9	3035	19.8	0.75	1.42	1.5	3.24	0.5	1	2148	2202	4914
9	10	3239	22.0	0.88	2.09	2.2	3.24	0.5	1	3379	3582	5244
10	11	2930	24.2	1.04	2.97	3.2	3.24	0.5	1	4358	4744	4744
11	12	1856	26.4	1.24	4.14	4.6	3.24	0.5	1	3838	4256	3005
12	13	792	28.6	1.48	5.64	6.3	3.24	0.5	1	2233	2502	1282
13	14	222	30.8	1.76	7.56	8.5	3.24	0.5	1	839	943	359

14	15	72	33.0	2.09	10.00	11.2	3.24	0.5	1	360	403	117
15	16	31	35.2	2.47	13.05	14.5	3.24	0.5	1	202	225	50
16	17	24	37.4	2.90	16.83	18.5	3.24	0.5	1	202	222	39
17	18	10	39.6	3.39	21.47	23.2	3.24	0.5	1	107	116	16
18	19	9	41.8	3.95	27.12	28.8	3.24	0.5	1	122	130	15
19	20	4	44.0	4.58	33.93	35.4	3.24	0.5	1	68	71	6
20	21	0	46.2	5.27	42.08	43.0	3.24	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	51.8	3.24	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	61.9	3.24	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	73.4	3.24	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	86.4	3.24	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	101.1	3.24	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	117.5	3.24	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	135.9	3.24	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	156.4	3.24	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	179.2	3.24	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	204.3	3.24	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	231.9	3.24	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	262.3	3.24	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	295.6	3.24	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	331.9	3.24	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	371.5	3.24	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	414.5	3.24	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	461.2	3.24	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	511.7	3.24	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	566.2	3.24	0.5	1	0	0	0
Total		30,466								20,350	21,796	49,329

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 35 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tandem año 2015 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

*Tabla 35
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2015*

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tandem	Lx Kips	β_x	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	21	2.2	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	21
1	2	45	4.4	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	45
2	3	37	6.6	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	37
3	4	109	8.8	0.40	0.01	0.0	2.02	0.5	1	0	0	110
4	5	439	11.0	0.41	0.01	0.0	2.02	0.5	1	3	3	443
5	6	2049	13.2	0.41	0.03	0.0	2.02	0.5	1	26	26	2069
6	7	3650	15.4	0.42	0.05	0.0	2.02	0.5	1	88	84	3685

7	8	3349	17.6	0.43	0.08	0.1	2.02	0.5	1	140	132	3381
8	9	1197	19.8	0.44	0.13	0.1	2.02	0.5	1	81	76	1208
9	10	1140	22.0	0.46	0.21	0.2	2.02	0.5	1	117	110	1151
10	11	1007	24.2	0.48	0.30	0.3	2.02	0.5	1	152	142	1017
11	12	793	26.4	0.50	0.42	0.4	2.02	0.5	1	168	158	801
12	13	858	28.6	0.53	0.58	0.5	2.02	0.5	1	248	236	866
13	14	1283	30.8	0.56	0.77	0.7	2.02	0.5	1	491	474	1295
14	15	1683	33.0	0.60	0.99	1.0	2.02	0.5	1	835	819	1699
15	16	2484	35.2	0.64	1.26	1.3	2.02	0.5	1	1567	1566	2508
16	17	3610	37.4	0.69	1.58	1.6	2.02	0.5	1	2848	2900	3645
17	18	4368	39.6	0.75	1.95	2.0	2.02	0.5	1	4253	4410	4410
18	19	3563	41.8	0.81	2.38	2.5	2.02	0.5	1	4232	4466	3597
19	20	1857	44.0	0.88	2.87	3.1	2.02	0.5	1	2665	2858	1875
20	21	680	46.2	0.96	3.44	3.7	2.02	0.5	1	1169	1272	687
21	22	238	48.4	1.04	4.09	4.5	2.02	0.5	1	487	536	240
22	23	79	50.6	1.14	4.84	5.4	2.02	0.5	1	191	213	80
23	24	29	52.8	1.24	5.69	6.4	2.02	0.5	1	82	93	29
24	25	13	55.0	1.35	6.66	7.5	2.02	0.5	1	43	49	13
25	26	5	57.2	1.48	7.76	8.8	2.02	0.5	1	19	22	5
26	27	6	59.4	1.61	9.00	10.2	2.02	0.5	1	27	31	6
27	28	2	61.6	1.76	10.40	11.8	2.02	0.5	1	10	12	2
28	29	5	63.8	1.92	11.98	13.6	2.02	0.5	1	30	34	5
29	30	5	66.0	2.09	13.75	15.6	2.02	0.5	1	34	39	5
30	31	9	68.2	2.27	15.73	17.8	2.02	0.5	1	71	80	9
31	32	4	70.4	2.47	17.94	20.2	2.02	0.5	1	36	40	4
32	33	8	72.6	2.68	20.41	22.8	2.02	0.5	1	82	91	8
33	34	3	74.8	2.90	23.15	25.7	2.02	0.5	1	35	39	3
34	35	1	77.0	3.14	26.18	28.9	2.02	0.5	1	13	14	1
35	36	0	79.2	3.39	29.53	32.3	2.02	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	3.66	33.23	36.0	2.02	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	3.95	37.30	40.1	2.02	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	4.25	41.78	44.5	2.02	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	4.58	46.68	49.2	2.02	0.5	1	0	0	0
Total		34,629								20,243	21,022	34,962

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 36 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tridem año 2015 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 36
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2015

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tridem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
-------------	-------------	-------------	---------	-----------	-----	-------------	-------------------------	-----------------	-----------------	----------	---------------	---------------------------

0	1	0	2.2	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
1	2	32	4.4	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	27
2	3	12	6.6	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	10
3	4	6	8.8	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	5
4	5	86	11.0	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	73
5	6	610	13.2	0.40	0.01	0.0	1.71	0.5	1	2	2	520
6	7	1055	15.4	0.41	0.01	0.0	1.71	0.5	1	6	6	900
7	8	979	17.6	0.41	0.02	0.0	1.71	0.5	1	9	10	835
8	9	393	19.8	0.41	0.03	0.0	1.71	0.5	1	6	6	335
9	10	177	22.0	0.42	0.05	0.0	1.71	0.5	1	4	4	151
10	11	113	24.2	0.42	0.07	0.1	1.71	0.5	1	4	4	96
11	12	89	26.4	0.43	0.10	0.1	1.71	0.5	1	4	4	76
12	13	104	28.6	0.44	0.14	0.1	1.71	0.5	1	7	7	89
13	14	103	30.8	0.45	0.19	0.2	1.71	0.5	1	10	9	88
14	15	110	33.0	0.46	0.25	0.2	1.71	0.5	1	14	13	94
15	16	142	35.2	0.47	0.32	0.3	1.71	0.5	1	23	21	121
16	17	218	37.4	0.48	0.41	0.4	1.71	0.5	1	44	41	186
17	18	332	39.6	0.50	0.51	0.5	1.71	0.5	1	85	79	283
18	19	411	41.8	0.52	0.63	0.6	1.71	0.5	1	129	120	351
19	20	587	44.0	0.54	0.77	0.7	1.71	0.5	1	225	210	501
20	21	860	46.2	0.56	0.92	0.9	1.71	0.5	1	397	372	734
21	22	1112	48.4	0.58	1.10	1.0	1.71	0.5	1	611	576	949
22	23	1929	50.6	0.61	1.30	1.2	1.71	0.5	1	1252	1189	1645
23	24	2870	52.8	0.64	1.52	1.5	1.71	0.5	1	2181	2088	2448
24	25	2756	55.0	0.67	1.77	1.7	1.71	0.5	1	2436	2351	2351
25	26	1784	57.2	0.71	2.04	2.0	1.71	0.5	1	1822	1773	1522
26	27	916	59.4	0.75	2.35	2.3	1.71	0.5	1	1075	1055	781
27	28	372	61.6	0.79	2.68	2.7	1.71	0.5	1	499	494	317
28	29	133	63.8	0.83	3.05	3.0	1.71	0.5	1	203	202	113
29	30	31	66.0	0.88	3.46	3.5	1.71	0.5	1	54	54	26
30	31	9	68.2	0.93	3.90	3.9	1.71	0.5	1	18	18	8
31	32	2	70.4	0.98	4.39	4.5	1.71	0.5	1	4	4	2
32	33	4	72.6	1.04	4.93	5.0	1.71	0.5	1	10	10	3
33	34	0	74.8	1.10	5.52	5.7	1.71	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	1.17	6.16	6.3	1.71	0.5	1	0	0	0
35	36	1	79.2	1.24	6.86	7.1	1.71	0.5	1	3	4	1
36	37	0	81.4	1.32	7.62	7.9	1.71	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	1.40	8.45	8.7	1.71	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	1.48	9.35	9.7	1.71	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	1.57	10.32	10.7	1.71	0.5	1	0	0	0
Total		18,338								11,138	10,726	15,643

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 37 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simple año 2016 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 37

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2016

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	105	2.2	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	0	0	66
1	2	1104	4.4	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	2	5	698
2	3	7686	6.6	0.41	0.02	0.0	1.27	0.5	1	72	164	4863
3	4	8840	8.8	0.43	0.06	0.1	1.27	0.5	1	268	596	5593
4	5	10682	11.0	0.46	0.15	0.3	1.27	0.5	1	800	1759	6758
5	6	16193	13.2	0.50	0.31	0.7	1.27	0.5	1	2494	5530	10245
6	7	11492	15.4	0.56	0.56	1.3	1.27	0.5	1	3198	7271	7271
7	8	5711	17.6	0.64	0.92	2.2	1.27	0.5	1	2619	6164	3613
8	9	390	19.8	0.75	1.42	3.5	1.27	0.5	1	276	674	247
9	10	38	22.0	0.88	2.09	5.3	1.27	0.5	1	40	100	24
10	11	6	24.2	1.04	2.97	7.7	1.27	0.5	1	9	23	4
11	12	3	26.4	1.24	4.14	10.9	1.27	0.5	1	6	16	2
12	13	0	28.6	1.48	5.64	15.1	1.27	0.5	1	0	0	0
13	14	0	30.8	1.76	7.56	20.2	1.27	0.5	1	0	0	0
14	15	0	33.0	2.09	10.00	26.7	1.27	0.5	1	0	0	0
15	16	0	35.2	2.47	13.05	34.5	1.27	0.5	1	0	0	0
16	17	0	37.4	2.90	16.83	44.0	1.27	0.5	1	0	0	0
17	18	0	39.6	3.39	21.47	55.3	1.27	0.5	1	0	0	0
18	19	0	41.8	3.95	27.12	68.7	1.27	0.5	1	0	0	0
19	20	0	44.0	4.58	33.93	84.3	1.27	0.5	1	0	0	0
20	21	0	46.2	5.27	42.08	102.5	1.27	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	123.5	1.27	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	147.5	1.27	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	174.9	1.27	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	205.9	1.27	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	240.8	1.27	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	280.1	1.27	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	323.9	1.27	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	372.7	1.27	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	426.9	1.27	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	486.7	1.27	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	552.6	1.27	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	625.0	1.27	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	704.3	1.27	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	790.9	1.27	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	885.2	1.27	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	987.7	1.27	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	1098.9	1.27	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	1219.2	1.27	0.5	1	0	0	0

39	40	0	88.0	38.19	814.08	1349.2	1.27	0.5	1	0	0	0
Total		62,250								9,784	22,303	39,385

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 38 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simple Dual año 2016 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 38
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2016

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple Dual	Lx Kips	β_x	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	153	2.2	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	0	0	248
1	2	962	4.4	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	2	2	1558
2	3	4171	6.6	0.41	0.02	0.0	3.24	0.5	1	39	37	6753
3	4	4401	8.8	0.43	0.06	0.1	3.24	0.5	1	133	125	7126
4	5	3343	11.0	0.46	0.15	0.1	3.24	0.5	1	250	231	5413
5	6	2505	13.2	0.50	0.31	0.3	3.24	0.5	1	386	359	4056
6	7	1900	15.4	0.56	0.56	0.5	3.24	0.5	1	529	504	3076
7	8	2019	17.6	0.64	0.92	0.9	3.24	0.5	1	926	915	3269
8	9	2910	19.8	0.75	1.42	1.5	3.24	0.5	1	2060	2111	4712
9	10	3297	22.0	0.88	2.09	2.2	3.24	0.5	1	3439	3646	5338
10	11	2554	24.2	1.04	2.97	3.2	3.24	0.5	1	3798	4135	4135
11	12	1567	26.4	1.24	4.14	4.6	3.24	0.5	1	3240	3593	2537
12	13	634	28.6	1.48	5.64	6.3	3.24	0.5	1	1787	2003	1027
13	14	178	30.8	1.76	7.56	8.5	3.24	0.5	1	673	756	288
14	15	66	33.0	2.09	10.00	11.2	3.24	0.5	1	330	370	107
15	16	40	35.2	2.47	13.05	14.5	3.24	0.5	1	261	290	65
16	17	26	37.4	2.90	16.83	18.5	3.24	0.5	1	219	240	42
17	18	17	39.6	3.39	21.47	23.2	3.24	0.5	1	183	197	28
18	19	3	41.8	3.95	27.12	28.8	3.24	0.5	1	41	43	5
19	20	2	44.0	4.58	33.93	35.4	3.24	0.5	1	34	35	3
20	21	0	46.2	5.27	42.08	43.0	3.24	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	51.8	3.24	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	61.9	3.24	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	73.4	3.24	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	86.4	3.24	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	101.1	3.24	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	117.5	3.24	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	135.9	3.24	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	156.4	3.24	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	179.2	3.24	0.5	1	0	0	0

30	31	0	68.2	17.16	247.54	204.3	3.24	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	231.9	3.24	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	262.3	3.24	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	295.6	3.24	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	331.9	3.24	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	371.5	3.24	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	414.5	3.24	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	461.2	3.24	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	511.7	3.24	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	566.2	3.24	0.5	1	0	0	0
Total		30,748								18,330	19,593	49,785

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 39 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tandem año 2016 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 39
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2016

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tandem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	7	2.2	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	7
1	2	32	4.4	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	32
2	3	39	6.6	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	39
3	4	251	8.8	0.40	0.01	0.0	2.02	0.5	1	1	1	253
4	5	1035	11.0	0.41	0.01	0.0	2.02	0.5	1	6	6	1045
5	6	3535	13.2	0.41	0.03	0.0	2.02	0.5	1	46	44	3569
6	7	4944	15.4	0.42	0.05	0.0	2.02	0.5	1	119	114	4991
7	8	3734	17.6	0.43	0.08	0.1	2.02	0.5	1	156	147	3770
8	9	1305	19.8	0.44	0.13	0.1	2.02	0.5	1	88	82	1318
9	10	1097	22.0	0.46	0.21	0.2	2.02	0.5	1	113	106	1108
10	11	1024	24.2	0.48	0.30	0.3	2.02	0.5	1	154	144	1034
11	12	918	26.4	0.50	0.42	0.4	2.02	0.5	1	194	183	927
12	13	1220	28.6	0.53	0.58	0.5	2.02	0.5	1	352	335	1232
13	14	1668	30.8	0.56	0.77	0.7	2.02	0.5	1	639	616	1684
14	15	2319	33.0	0.60	0.99	1.0	2.02	0.5	1	1151	1129	2341
15	16	2432	35.2	0.64	1.26	1.3	2.02	0.5	1	1534	1533	2455
16	17	3792	37.4	0.69	1.58	1.6	2.02	0.5	1	2992	3046	3828
17	18	5331	39.6	0.75	1.95	2.0	2.02	0.5	1	5190	5382	5382
18	19	4668	41.8	0.81	2.38	2.5	2.02	0.5	1	5544	5851	4713
19	20	2375	44.0	0.88	2.87	3.1	2.02	0.5	1	3408	3655	2398
20	21	632	46.2	0.96	3.44	3.7	2.02	0.5	1	1087	1182	638
21	22	168	48.4	1.04	4.09	4.5	2.02	0.5	1	344	378	170
22	23	59	50.6	1.14	4.84	5.4	2.02	0.5	1	143	159	60

23	24	30	52.8	1.24	5.69	6.4	2.02	0.5	1	85	96	30
24	25	13	55.0	1.35	6.66	7.5	2.02	0.5	1	43	49	13
25	26	10	57.2	1.48	7.76	8.8	2.02	0.5	1	39	44	10
26	27	7	59.4	1.61	9.00	10.2	2.02	0.5	1	31	36	7
27	28	1	61.6	1.76	10.40	11.8	2.02	0.5	1	5	6	1
28	29	2	63.8	1.92	11.98	13.6	2.02	0.5	1	12	14	2
29	30	1	66.0	2.09	13.75	15.6	2.02	0.5	1	7	8	1
30	31	0	68.2	2.27	15.73	17.8	2.02	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	2.47	17.94	20.2	2.02	0.5	1	0	0	0
32	33	1	72.6	2.68	20.41	22.8	2.02	0.5	1	10	11	1
33	34	0	74.8	2.90	23.15	25.7	2.02	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	3.14	26.18	28.9	2.02	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	3.39	29.53	32.3	2.02	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	3.66	33.23	36.0	2.02	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	3.95	37.30	40.1	2.02	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	4.25	41.78	44.5	2.02	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	4.58	46.68	49.2	2.02	0.5	1	0	0	0
Total		42,650								23,493	24,357	43,060

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 40 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tridem año 2016 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 40

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2016

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tridem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	0	2.2	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
1	2	2	4.4	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	2
2	3	0	6.6	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
3	4	3	8.8	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	3
4	5	121	11.0	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	103
5	6	843	13.2	0.40	0.01	0.0	1.71	0.5	1	3	3	719
6	7	1282	15.4	0.41	0.01	0.0	1.71	0.5	1	7	8	1094
7	8	1006	17.6	0.41	0.02	0.0	1.71	0.5	1	10	10	858
8	9	342	19.8	0.41	0.03	0.0	1.71	0.5	1	5	5	292
9	10	161	22.0	0.42	0.05	0.0	1.71	0.5	1	4	4	137
10	11	132	24.2	0.42	0.07	0.1	1.71	0.5	1	5	5	113
11	12	137	26.4	0.43	0.10	0.1	1.71	0.5	1	7	7	117
12	13	167	28.6	0.44	0.14	0.1	1.71	0.5	1	12	11	142
13	14	181	30.8	0.45	0.19	0.2	1.71	0.5	1	17	16	154
14	15	163	33.0	0.46	0.25	0.2	1.71	0.5	1	20	19	139
15	16	184	35.2	0.47	0.32	0.3	1.71	0.5	1	30	28	157

16	17	214	37.4	0.48	0.41	0.4	1.71	0.5	1	44	41	183
17	18	377	39.6	0.50	0.51	0.5	1.71	0.5	1	96	89	322
18	19	625	41.8	0.52	0.63	0.6	1.71	0.5	1	197	183	533
19	20	998	44.0	0.54	0.77	0.7	1.71	0.5	1	382	357	851
20	21	1333	46.2	0.56	0.92	0.9	1.71	0.5	1	615	576	1137
21	22	1449	48.4	0.58	1.10	1.0	1.71	0.5	1	796	751	1236
22	23	2136	50.6	0.61	1.30	1.2	1.71	0.5	1	1386	1316	1822
23	24	3365	52.8	0.64	1.52	1.5	1.71	0.5	1	2558	2448	2870
24	25	3558	55.0	0.67	1.77	1.7	1.71	0.5	1	3145	3035	3035
25	26	2347	57.2	0.71	2.04	2.0	1.71	0.5	1	2397	2333	2002
26	27	1086	59.4	0.75	2.35	2.3	1.71	0.5	1	1274	1251	926
27	28	382	61.6	0.79	2.68	2.7	1.71	0.5	1	512	507	326
28	29	124	63.8	0.83	3.05	3.0	1.71	0.5	1	189	189	106
29	30	31	66.0	0.88	3.46	3.5	1.71	0.5	1	54	54	26
30	31	13	68.2	0.93	3.90	3.9	1.71	0.5	1	25	26	11
31	32	2	70.4	0.98	4.39	4.5	1.71	0.5	1	4	4	2
32	33	1	72.6	1.04	4.93	5.0	1.71	0.5	1	2	3	1
33	34	0	74.8	1.10	5.52	5.7	1.71	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	1.17	6.16	6.3	1.71	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	1.24	6.86	7.1	1.71	0.5	1	0	0	0
36	37	2	81.4	1.32	7.62	7.9	1.71	0.5	1	8	8	2
37	38	0	83.6	1.40	8.45	8.7	1.71	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	1.48	9.35	9.7	1.71	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	1.57	10.32	10.7	1.71	0.5	1	0	0	0
Total		22,767								13,804	13,284	19,421

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 41 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simple año 2017 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 41

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2017

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	62	2.2	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	0	0	39
1	2	861	4.4	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	2	4	545
2	3	6391	6.6	0.41	0.02	0.0	1.27	0.5	1	60	136	4043
3	4	8076	8.8	0.43	0.06	0.1	1.27	0.5	1	245	545	5110
4	5	11399	11.0	0.46	0.15	0.3	1.27	0.5	1	854	1877	7212
5	6	18312	13.2	0.50	0.31	0.7	1.27	0.5	1	2820	6254	11586
6	7	14303	15.4	0.56	0.56	1.3	1.27	0.5	1	3981	9049	9049
7	8	6309	17.6	0.64	0.92	2.2	1.27	0.5	1	2893	6809	3992

8	9	506	19.8	0.75	1.42	3.5	1.27	0.5	1	358	875	320
9	10	73	22.0	0.88	2.09	5.3	1.27	0.5	1	76	192	46
10	11	13	24.2	1.04	2.97	7.7	1.27	0.5	1	19	50	8
11	12	2	26.4	1.24	4.14	10.9	1.27	0.5	1	4	11	1
12	13	0	28.6	1.48	5.64	15.1	1.27	0.5	1	0	0	0
13	14	0	30.8	1.76	7.56	20.2	1.27	0.5	1	0	0	0
14	15	0	33.0	2.09	10.00	26.7	1.27	0.5	1	0	0	0
15	16	0	35.2	2.47	13.05	34.5	1.27	0.5	1	0	0	0
16	17	0	37.4	2.90	16.83	44.0	1.27	0.5	1	0	0	0
17	18	0	39.6	3.39	21.47	55.3	1.27	0.5	1	0	0	0
18	19	0	41.8	3.95	27.12	68.7	1.27	0.5	1	0	0	0
19	20	0	44.0	4.58	33.93	84.3	1.27	0.5	1	0	0	0
20	21	0	46.2	5.27	42.08	102.5	1.27	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	123.5	1.27	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	147.5	1.27	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	174.9	1.27	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	205.9	1.27	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	240.8	1.27	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	280.1	1.27	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	323.9	1.27	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	372.7	1.27	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	426.9	1.27	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	486.7	1.27	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	552.6	1.27	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	625.0	1.27	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	704.3	1.27	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	790.9	1.27	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	885.2	1.27	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	987.7	1.27	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	1098.9	1.27	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	1219.2	1.27	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	1349.2	1.27	0.5	1	0	0	0
Total		66,307								11,312	25,803	41,951

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 42 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simple Dual año 2017 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 42

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2017

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple Dual	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
-------------	-------------	------------------	---------	-----------	-----	-------------	-------------------------	-----------------	-----------------	----------	---------------	---------------------------

0	1	94	2.2	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	0	0	152
1	2	783	4.4	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	1	1	1268
2	3	3583	6.6	0.41	0.02	0.0	3.24	0.5	1	34	32	5801
3	4	3788	8.8	0.43	0.06	0.1	3.24	0.5	1	115	107	6133
4	5	3003	11.0	0.46	0.15	0.1	3.24	0.5	1	225	208	4862
5	6	2436	13.2	0.50	0.31	0.3	3.24	0.5	1	375	349	3944
6	7	1887	15.4	0.56	0.56	0.5	3.24	0.5	1	525	501	3055
7	8	2055	17.6	0.64	0.92	0.9	3.24	0.5	1	942	931	3327
8	9	2368	19.8	0.75	1.42	1.5	3.24	0.5	1	1676	1718	3834
9	10	2582	22.0	0.88	2.09	2.2	3.24	0.5	1	2694	2855	4181
10	11	2038	24.2	1.04	2.97	3.2	3.24	0.5	1	3031	3300	3300
11	12	1331	26.4	1.24	4.14	4.6	3.24	0.5	1	2752	3052	2155
12	13	552	28.6	1.48	5.64	6.3	3.24	0.5	1	1556	1744	894
13	14	171	30.8	1.76	7.56	8.5	3.24	0.5	1	646	726	277
14	15	82	33.0	2.09	10.00	11.2	3.24	0.5	1	410	459	133
15	16	41	35.2	2.47	13.05	14.5	3.24	0.5	1	267	297	66
16	17	22	37.4	2.90	16.83	18.5	3.24	0.5	1	185	203	36
17	18	11	39.6	3.39	21.47	23.2	3.24	0.5	1	118	128	18
18	19	2	41.8	3.95	27.12	28.8	3.24	0.5	1	27	29	3
19	20	1	44.0	4.58	33.93	35.4	3.24	0.5	1	17	18	2
20	21	0	46.2	5.27	42.08	43.0	3.24	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	51.8	3.24	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	61.9	3.24	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	73.4	3.24	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	86.4	3.24	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	101.1	3.24	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	117.5	3.24	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	135.9	3.24	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	156.4	3.24	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	179.2	3.24	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	204.3	3.24	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	231.9	3.24	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	262.3	3.24	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	295.6	3.24	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	331.9	3.24	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	371.5	3.24	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	414.5	3.24	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	461.2	3.24	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	511.7	3.24	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	566.2	3.24	0.5	1	0	0	0
Total		26,830								15,598	16,659	43,442

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 43 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tandem año 2017 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 43

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2017

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tandem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	4	2.2	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	4
1	2	25	4.4	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	25
2	3	59	6.6	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	60
3	4	331	8.8	0.40	0.01	0.0	2.02	0.5	1	1	1	334
4	5	1328	11.0	0.41	0.01	0.0	2.02	0.5	1	8	8	1341
5	6	5399	13.2	0.41	0.03	0.0	2.02	0.5	1	70	67	5451
6	7	6492	15.4	0.42	0.05	0.0	2.02	0.5	1	157	150	6554
7	8	4563	17.6	0.43	0.08	0.1	2.02	0.5	1	190	180	4607
8	9	1879	19.8	0.44	0.13	0.1	2.02	0.5	1	127	119	1897
9	10	3340	22.0	0.46	0.21	0.2	2.02	0.5	1	344	321	3372
10	11	1484	24.2	0.48	0.30	0.3	2.02	0.5	1	223	209	1498
11	12	1034	26.4	0.50	0.42	0.4	2.02	0.5	1	219	206	1044
12	13	1379	28.6	0.53	0.58	0.5	2.02	0.5	1	398	379	1392
13	14	2009	30.8	0.56	0.77	0.7	2.02	0.5	1	769	742	2028
14	15	2819	33.0	0.60	0.99	1.0	2.02	0.5	1	1399	1373	2846
15	16	2899	35.2	0.64	1.26	1.3	2.02	0.5	1	1829	1827	2927
16	17	4444	37.4	0.69	1.58	1.6	2.02	0.5	1	3506	3570	4487
17	18	5942	39.6	0.75	1.95	2.0	2.02	0.5	1	5785	5999	5999
18	19	5195	41.8	0.81	2.38	2.5	2.02	0.5	1	6170	6511	5245
19	20	2550	44.0	0.88	2.87	3.1	2.02	0.5	1	3659	3924	2574
20	21	836	46.2	0.96	3.44	3.7	2.02	0.5	1	1437	1564	844
21	22	198	48.4	1.04	4.09	4.5	2.02	0.5	1	405	446	200
22	23	77	50.6	1.14	4.84	5.4	2.02	0.5	1	186	207	78
23	24	37	52.8	1.24	5.69	6.4	2.02	0.5	1	105	118	37
24	25	21	55.0	1.35	6.66	7.5	2.02	0.5	1	70	79	21
25	26	13	57.2	1.48	7.76	8.8	2.02	0.5	1	50	57	13
26	27	26	59.4	1.61	9.00	10.2	2.02	0.5	1	117	133	26
27	28	18	61.6	1.76	10.40	11.8	2.02	0.5	1	94	106	18
28	29	19	63.8	1.92	11.98	13.6	2.02	0.5	1	114	129	19
29	30	10	66.0	2.09	13.75	15.6	2.02	0.5	1	69	78	10
30	31	13	68.2	2.27	15.73	17.8	2.02	0.5	1	102	115	13
31	32	8	70.4	2.47	17.94	20.2	2.02	0.5	1	72	81	8
32	33	5	72.6	2.68	20.41	22.8	2.02	0.5	1	51	57	5
33	34	1	74.8	2.90	23.15	25.7	2.02	0.5	1	12	13	1
34	35	1	77.0	3.14	26.18	28.9	2.02	0.5	1	13	14	1
35	36	0	79.2	3.39	29.53	32.3	2.02	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	3.66	33.23	36.0	2.02	0.5	1	0	0	0
37	38	1	83.6	3.95	37.30	40.1	2.02	0.5	1	19	20	1
38	39	0	85.8	4.25	41.78	44.5	2.02	0.5	1	0	0	0

39	40	0	88.0	4.58	46.68	49.2	2.02	0.5	1	0	0	0
Total		54,459								27,770	28,804	54,982

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 44 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tridem año 2017 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 44

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2017

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tridem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	0	2.2	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
1	2	0	4.4	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
2	3	0	6.6	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
3	4	2	8.8	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	2
4	5	183	11.0	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	156
5	6	985	13.2	0.40	0.01	0.0	1.71	0.5	1	3	3	840
6	7	1213	15.4	0.41	0.01	0.0	1.71	0.5	1	7	7	1035
7	8	909	17.6	0.41	0.02	0.0	1.71	0.5	1	9	9	775
8	9	402	19.8	0.41	0.03	0.0	1.71	0.5	1	6	6	343
9	10	194	22.0	0.42	0.05	0.0	1.71	0.5	1	5	5	165
10	11	178	24.2	0.42	0.07	0.1	1.71	0.5	1	6	6	152
11	12	151	26.4	0.43	0.10	0.1	1.71	0.5	1	8	7	129
12	13	195	28.6	0.44	0.14	0.1	1.71	0.5	1	14	13	166
13	14	189	30.8	0.45	0.19	0.2	1.71	0.5	1	18	17	161
14	15	186	33.0	0.46	0.25	0.2	1.71	0.5	1	23	22	159
15	16	171	35.2	0.47	0.32	0.3	1.71	0.5	1	27	26	146
16	17	211	37.4	0.48	0.41	0.4	1.71	0.5	1	43	40	180
17	18	322	39.6	0.50	0.51	0.5	1.71	0.5	1	82	76	275
18	19	632	41.8	0.52	0.63	0.6	1.71	0.5	1	199	185	539
19	20	1243	44.0	0.54	0.77	0.7	1.71	0.5	1	476	444	1060
20	21	1670	46.2	0.56	0.92	0.9	1.71	0.5	1	770	722	1425
21	22	1598	48.4	0.58	1.10	1.0	1.71	0.5	1	878	828	1363
22	23	2278	50.6	0.61	1.30	1.2	1.71	0.5	1	1478	1404	1943
23	24	4064	52.8	0.64	1.52	1.5	1.71	0.5	1	3089	2956	3467
24	25	3952	55.0	0.67	1.77	1.7	1.71	0.5	1	3493	3371	3371
25	26	2445	57.2	0.71	2.04	2.0	1.71	0.5	1	2497	2430	2086
26	27	1189	59.4	0.75	2.35	2.3	1.71	0.5	1	1395	1369	1014
27	28	544	61.6	0.79	2.68	2.7	1.71	0.5	1	730	722	464
28	29	173	63.8	0.83	3.05	3.0	1.71	0.5	1	264	263	148
29	30	62	66.0	0.88	3.46	3.5	1.71	0.5	1	107	108	53
30	31	20	68.2	0.93	3.90	3.9	1.71	0.5	1	39	39	17
31	32	4	70.4	0.98	4.39	4.5	1.71	0.5	1	9	9	3

32	33	3	72.6	1.04	4.93	5.0	1.71	0.5	1	7	8	3
33	34	2	74.8	1.10	5.52	5.7	1.71	0.5	1	6	6	2
34	35	0	77.0	1.17	6.16	6.3	1.71	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	1.24	6.86	7.1	1.71	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	1.32	7.62	7.9	1.71	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	1.40	8.45	8.7	1.71	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	1.48	9.35	9.7	1.71	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	1.57	10.32	10.7	1.71	0.5	1	0	0	0
Total		25,370								15,689	15,102	21,641

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 45 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simple año 2018 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 45
ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple año 2018

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	1198	2.2	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	0	0	758
1	2	573	4.4	0.40	0.00	0.0	1.27	0.5	1	1	2	363
2	3	5079	6.6	0.41	0.02	0.0	1.27	0.5	1	48	108	3213
3	4	6748	8.8	0.43	0.06	0.1	1.27	0.5	1	205	455	4269
4	5	9915	11.0	0.46	0.15	0.3	1.27	0.5	1	742	1633	6273
5	6	18835	13.2	0.50	0.31	0.7	1.27	0.5	1	2901	6432	11917
6	7	11628	15.4	0.56	0.56	1.3	1.27	0.5	1	3236	7357	7357
7	8	6949	17.6	0.64	0.92	2.2	1.27	0.5	1	3186	7500	4397
8	9	628	19.8	0.75	1.42	3.5	1.27	0.5	1	444	1086	397
9	10	65	22.0	0.88	2.09	5.3	1.27	0.5	1	68	171	41
10	11	5	24.2	1.04	2.97	7.7	1.27	0.5	1	7	19	3
11	12	3	26.4	1.24	4.14	10.9	1.27	0.5	1	6	16	2
12	13	0	28.6	1.48	5.64	15.1	1.27	0.5	1	0	0	0
13	14	1	30.8	1.76	7.56	20.2	1.27	0.5	1	4	10	1
14	15	0	33.0	2.09	10.00	26.7	1.27	0.5	1	0	0	0
15	16	0	35.2	2.47	13.05	34.5	1.27	0.5	1	0	0	0
16	17	0	37.4	2.90	16.83	44.0	1.27	0.5	1	0	0	0
17	18	0	39.6	3.39	21.47	55.3	1.27	0.5	1	0	0	0
18	19	0	41.8	3.95	27.12	68.7	1.27	0.5	1	0	0	0
19	20	0	44.0	4.58	33.93	84.3	1.27	0.5	1	0	0	0
20	21	0	46.2	5.27	42.08	102.5	1.27	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	123.5	1.27	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	147.5	1.27	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	174.9	1.27	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	205.9	1.27	0.5	1	0	0	0

25	26	0	57.2	9.98	110.14	240.8	1.27	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	280.1	1.27	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	323.9	1.27	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	372.7	1.27	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	426.9	1.27	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	486.7	1.27	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	552.6	1.27	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	625.0	1.27	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	704.3	1.27	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	790.9	1.27	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	885.2	1.27	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	987.7	1.27	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	1098.9	1.27	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	1219.2	1.27	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	1349.2	1.27	0.5	1	0	0	0
Total		61,627								10,849	24,791	38,990

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 46 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Simple Dual año 2018 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 46

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Simple Dual año 2018

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Simple Dual	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	1421	2.2	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	0	0	2301
1	2	666	4.4	0.40	0.00	0.0	3.24	0.5	1	1	1	1078
2	3	2921	6.6	0.41	0.02	0.0	3.24	0.5	1	27	26	4730
3	4	3321	8.8	0.43	0.06	0.1	3.24	0.5	1	101	94	5377
4	5	2752	11.0	0.46	0.15	0.1	3.24	0.5	1	206	190	4456
5	6	2297	13.2	0.50	0.31	0.3	3.24	0.5	1	354	329	3719
6	7	1802	15.4	0.56	0.56	0.5	3.24	0.5	1	502	478	2918
7	8	1846	17.6	0.64	0.92	0.9	3.24	0.5	1	846	836	2989
8	9	2055	19.8	0.75	1.42	1.5	3.24	0.5	1	1455	1491	3327
9	10	1850	22.0	0.88	2.09	2.2	3.24	0.5	1	1930	2046	2995
10	11	1936	24.2	1.04	2.97	3.2	3.24	0.5	1	2879	3135	3135
11	12	1275	26.4	1.24	4.14	4.6	3.24	0.5	1	2637	2924	2064
12	13	580	28.6	1.48	5.64	6.3	3.24	0.5	1	1635	1832	939
13	14	168	30.8	1.76	7.56	8.5	3.24	0.5	1	635	714	272
14	15	68	33.0	2.09	10.00	11.2	3.24	0.5	1	340	381	110
15	16	32	35.2	2.47	13.05	14.5	3.24	0.5	1	209	232	52

16	17	26	37.4	2.90	16.83	18.5	3.24	0.5	1	219	240	42
17	18	14	39.6	3.39	21.47	23.2	3.24	0.5	1	150	163	23
18	19	3	41.8	3.95	27.12	28.8	3.24	0.5	1	41	43	5
19	20	5	44.0	4.58	33.93	35.4	3.24	0.5	1	85	88	8
20	21	0	46.2	5.27	42.08	43.0	3.24	0.5	1	0	0	0
21	22	0	48.4	6.04	51.76	51.8	3.24	0.5	1	0	0	0
22	23	0	50.6	6.90	63.18	61.9	3.24	0.5	1	0	0	0
23	24	0	52.8	7.83	76.55	73.4	3.24	0.5	1	0	0	0
24	25	0	55.0	8.86	92.11	86.4	3.24	0.5	1	0	0	0
25	26	0	57.2	9.98	110.14	101.1	3.24	0.5	1	0	0	0
26	27	0	59.4	11.20	130.90	117.5	3.24	0.5	1	0	0	0
27	28	0	61.6	12.53	154.69	135.9	3.24	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	13.96	181.83	156.4	3.24	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	15.50	212.66	179.2	3.24	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	17.16	247.54	204.3	3.24	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	18.95	286.85	231.9	3.24	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	20.86	330.98	262.3	3.24	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	22.90	380.38	295.6	3.24	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	25.08	435.49	331.9	3.24	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	27.40	496.77	371.5	3.24	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	29.86	564.74	414.5	3.24	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	32.48	639.91	461.2	3.24	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	35.25	722.83	511.7	3.24	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	38.19	814.08	566.2	3.24	0.5	1	0	0	0
Total		25,038								14,251	15,244	40,540

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 47 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tandem año 2018 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 47

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tandem año 2018

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tandem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	63	2.2	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	64
1	2	324	4.4	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	327
2	3	193	6.6	0.40	0.00	0.0	2.02	0.5	1	0	0	195
3	4	482	8.8	0.40	0.01	0.0	2.02	0.5	1	1	1	487
4	5	1347	11.0	0.41	0.01	0.0	2.02	0.5	1	8	8	1360
5	6	4846	13.2	0.41	0.03	0.0	2.02	0.5	1	62	60	4893
6	7	6286	15.4	0.42	0.05	0.0	2.02	0.5	1	152	145	6346
7	8	4843	17.6	0.43	0.08	0.1	2.02	0.5	1	202	191	4890
8	9	2224	19.8	0.44	0.13	0.1	2.02	0.5	1	150	140	2245

9	10	1800	22.0	0.46	0.21	0.2	2.02	0.5	1	185	173	1817
10	11	1426	24.2	0.48	0.30	0.3	2.02	0.5	1	215	201	1440
11	12	1269	26.4	0.50	0.42	0.4	2.02	0.5	1	269	253	1281
12	13	1342	28.6	0.53	0.58	0.5	2.02	0.5	1	387	369	1355
13	14	2079	30.8	0.56	0.77	0.7	2.02	0.5	1	796	768	2099
14	15	3046	33.0	0.60	0.99	1.0	2.02	0.5	1	1511	1483	3075
15	16	3446	35.2	0.64	1.26	1.3	2.02	0.5	1	2174	2172	3479
16	17	4584	37.4	0.69	1.58	1.6	2.02	0.5	1	3617	3682	4628
17	18	6531	39.6	0.75	1.95	2.0	2.02	0.5	1	6359	6594	6594
18	19	5697	41.8	0.81	2.38	2.5	2.02	0.5	1	6766	7140	5752
19	20	3012	44.0	0.88	2.87	3.1	2.02	0.5	1	4322	4635	3041
20	21	1064	46.2	0.96	3.44	3.7	2.02	0.5	1	1829	1990	1074
21	22	309	48.4	1.04	4.09	4.5	2.02	0.5	1	632	696	312
22	23	93	50.6	1.14	4.84	5.4	2.02	0.5	1	225	250	94
23	24	50	52.8	1.24	5.69	6.4	2.02	0.5	1	142	160	50
24	25	22	55.0	1.35	6.66	7.5	2.02	0.5	1	73	83	22
25	26	5	57.2	1.48	7.76	8.8	2.02	0.5	1	19	22	5
26	27	3	59.4	1.61	9.00	10.2	2.02	0.5	1	13	15	3
27	28	0	61.6	1.76	10.40	11.8	2.02	0.5	1	0	0	0
28	29	0	63.8	1.92	11.98	13.6	2.02	0.5	1	0	0	0
29	30	0	66.0	2.09	13.75	15.6	2.02	0.5	1	0	0	0
30	31	0	68.2	2.27	15.73	17.8	2.02	0.5	1	0	0	0
31	32	0	70.4	2.47	17.94	20.2	2.02	0.5	1	0	0	0
32	33	0	72.6	2.68	20.41	22.8	2.02	0.5	1	0	0	0
33	34	0	74.8	2.90	23.15	25.7	2.02	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	3.14	26.18	28.9	2.02	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	3.39	29.53	32.3	2.02	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	3.66	33.23	36.0	2.02	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	3.95	37.30	40.1	2.02	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	4.25	41.78	44.5	2.02	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	4.58	46.68	49.2	2.02	0.5	1	0	0	0
Total		56,386								30,112	31,232	56,928

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 48 muestra los resultados ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para los Ejes Tridem año 2018 en cual muestra diferencias relevantes en el ESAL.

Tabla 48

ESAL por los métodos AASHTO-93, 4ta Potencia y carga legal para el eje Tridem año 2018

Carg inf. T	Carg Sup. T	Ejes Tridem	Lx Kips	βx	FEE	EE 4ta Pot.	EE 4ta Pot. Carga legal	Fact. Direc. FD	Fact. Carril FC	ESAL FEE	ESAL 4ta Pot.	ESAL 4ta Pot. Carga legal
0	1	0	2.2	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	0
1	2	16	4.4	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	14

2	3	6	6.6	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	5
3	4	56	8.8	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	48
4	5	196	11.0	0.40	0.00	0.0	1.71	0.5	1	0	0	167
5	6	938	13.2	0.40	0.01	0.0	1.71	0.5	1	3	3	800
6	7	1332	15.4	0.41	0.01	0.0	1.71	0.5	1	8	8	1136
7	8	1053	17.6	0.41	0.02	0.0	1.71	0.5	1	10	11	898
8	9	655	19.8	0.41	0.03	0.0	1.71	0.5	1	10	10	559
9	10	338	22.0	0.42	0.05	0.0	1.71	0.5	1	8	8	288
10	11	311	24.2	0.42	0.07	0.1	1.71	0.5	1	11	11	265
11	12	297	26.4	0.43	0.10	0.1	1.71	0.5	1	15	14	253
12	13	272	28.6	0.44	0.14	0.1	1.71	0.5	1	19	18	232
13	14	256	30.8	0.45	0.19	0.2	1.71	0.5	1	24	23	218
14	15	232	33.0	0.46	0.25	0.2	1.71	0.5	1	29	27	198
15	16	294	35.2	0.47	0.32	0.3	1.71	0.5	1	47	44	251
16	17	356	37.4	0.48	0.41	0.4	1.71	0.5	1	73	67	304
17	18	463	39.6	0.50	0.51	0.5	1.71	0.5	1	118	110	395
18	19	736	41.8	0.52	0.63	0.6	1.71	0.5	1	232	215	628
19	20	1244	44.0	0.54	0.77	0.7	1.71	0.5	1	477	444	1061
20	21	1779	46.2	0.56	0.92	0.9	1.71	0.5	1	821	769	1518
21	22	1861	48.4	0.58	1.10	1.0	1.71	0.5	1	1023	964	1587
22	23	2475	50.6	0.61	1.30	1.2	1.71	0.5	1	1606	1525	2111
23	24	4203	52.8	0.64	1.52	1.5	1.71	0.5	1	3195	3058	3585
24	25	4325	55.0	0.67	1.77	1.7	1.71	0.5	1	3823	3689	3689
25	26	2988	57.2	0.71	2.04	2.0	1.71	0.5	1	3051	2970	2549
26	27	1486	59.4	0.75	2.35	2.3	1.71	0.5	1	1743	1711	1268
27	28	705	61.6	0.79	2.68	2.7	1.71	0.5	1	945	936	601
28	29	254	63.8	0.83	3.05	3.0	1.71	0.5	1	388	387	217
29	30	75	66.0	0.88	3.46	3.5	1.71	0.5	1	130	130	64
30	31	15	68.2	0.93	3.90	3.9	1.71	0.5	1	29	30	13
31	32	7	70.4	0.98	4.39	4.5	1.71	0.5	1	15	16	6
32	33	3	72.6	1.04	4.93	5.0	1.71	0.5	1	7	8	3
33	34	0	74.8	1.10	5.52	5.7	1.71	0.5	1	0	0	0
34	35	0	77.0	1.17	6.16	6.3	1.71	0.5	1	0	0	0
35	36	0	79.2	1.24	6.86	7.1	1.71	0.5	1	0	0	0
36	37	0	81.4	1.32	7.62	7.9	1.71	0.5	1	0	0	0
37	38	0	83.6	1.40	8.45	8.7	1.71	0.5	1	0	0	0
38	39	0	85.8	1.48	9.35	9.7	1.71	0.5	1	0	0	0
39	40	0	88.0	1.57	10.32	10.7	1.71	0.5	1	0	0	0
Total		29,227								17,860	17,206	24,931

Fuente: Elaboración propia

Las evidencias presentadas en las tablas anteriores para los 4 tipos de ejes: Simple, Simple Dual, Tandem y Tridem para los años 2012 hasta 2018 son relevantes en el ESAL. A continuación se muestra la Tabla 49, Tabla 50, Tabla 51 y Tabla 52 como resúmenes de ESAL para el mismo periodo.

Tabla 49

ESAL del espectro de carga por AASHTO-93 para los años 2012 al 2018

Ejes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Simple	14,941	12,469	10,679	9,558	9,784	11,312	10,849	79,591
Simple Dual	34,196	23,895	19,435	20,350	18,330	15,598	14,251	146,054
Tandem	23,875	24,551	25,379	20,243	23,493	27,770	30,112	175,423
Tridem	12,892	13,576	11,612	11,138	13,804	15,689	17,860	96,570
Total	85,904	74,491	67,105	61,288	65,411	70,368	73,072	497,638

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50

ESAL del espectro de carga por 4ta Potencia para los años 2012 al 2018

Ejes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Simple	34,460	28,567	24,453	21,880	22,303	25,803	24,791	182,258
Simple Dual	36,596	25,334	20,542	21,796	19,593	16,659	15,244	155,763
Tandem	25,037	25,515	26,626	21,022	24,357	28,804	31,232	182,592
Tridem	12,408	13,062	11,165	10,726	13,284	15,102	17,206	92,953
Total	108,501	92,477	82,787	75,424	79,537	86,367	88,473	613,566

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51

ESAL Estimado con Carga legal MTC para los años 2012 al 2018

Ejes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Simple	49,394	47,022	41,363	35,776	39,385	41,951	38,990	293,881
Simple Dual	75,221	65,826	55,852	49,329	49,785	43,442	40,540	379,995
Tandem	37,304	41,832	40,394	34,962	43,060	54,982	56,928	309,462
Tridem	18,695	19,358	16,865	15,643	19,421	21,641	24,931	136,554
Total	180,614	174,038	154,475	135,709	151,650	162,016	161,389	1,119,891

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52

Resumen ESAL acum. periodo 2012-2018

Método	ESAL
AASHTO-93	497,638
4ta Potencia	613,566
Carga legal MTC	1,119,891

Fuente: Elaboración propia

La Figura 20 muestra un gráfico circular del ESAL total calculado por diferentes métodos (también en porcentaje en referencia a 100) y los resultados distintos pone en evidencia la necesidad de ajustar las ecuaciones de cálculo para obtener un mismo valor sobre la base de AASHTO-93.

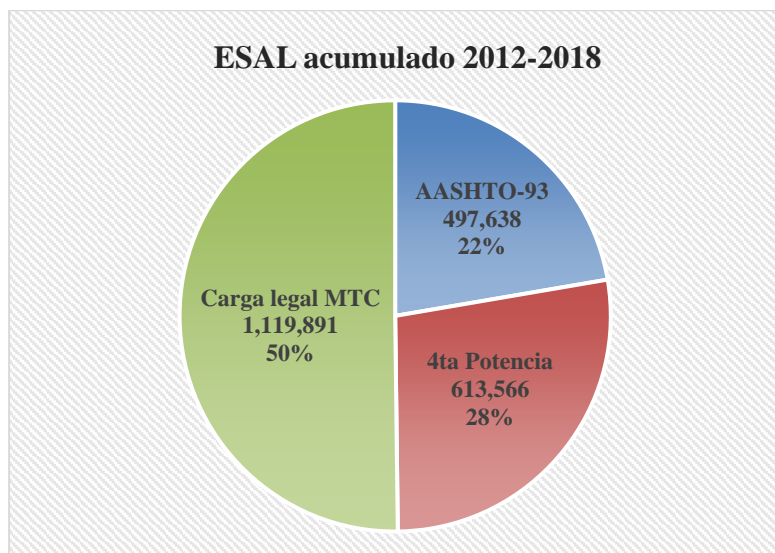


Figura 20: Resumen del ESAL acumulado para el periodo 2012 – 2018 calculado por los tres métodos. Pone en evidencia el problema.

La Tabla 53 presenta las fórmulas de la 4ta Potencia para el cálculo de los Ejes equivalente (EE) para el Perú.

Tabla 53
Fórmulas de la 4ta Potencia para el cálculo de los Ejes Equivalente EE

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$

Fuente: Norma de Suelos y Pavimentos del MTC

Para efecto de la presente investigación se ha generalizado los ejes: Tandem conformado por 2 ruedas dobles y el Tridem conformado por 3 ruedas dobles por ser prácticamente los usados por los vehículos pesados. La Tabla 54 presenta los 4 ejes materia de análisis. Se presenta los 4 denominadores de cada uno de los ejes, el Simple es 6.6, el Simple Dual es 8.2, el Tandem es 15.1 y el Tridem es 21.8.

Tabla 54
Fórmulas de la 4ta Potencia para el cálculo EE para el presente estudio

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2})
-------------	--------------------------------------

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 (2 ejes de ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$

Fuente: Extracto de la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC

La normativa peruana de Suelos y Pavimentos del MTC calcula la carga de tráfico con las ecuaciones presentadas anteriormente. La presente investigación ajustará los estos valores para ser acorde con el método original de la AASHTO-93.

La siguiente Tabla 55 presenta la relación de ESAL: 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Simple para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el denominador de 6.6 como corresponde en la fórmula del MTC.

Tabla 55
Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
4ta Potencia	34,460	28,567	24,453	21,880	22,303	25,803	24,791
AASHTO-93	14,941	12,469	10,679	9,558	9,784	11,312	10,849
4ta Potencia/AASHTO-93	2.31	2.29	2.29	2.29	2.28	2.28	2.29
Denom. Eje Simple MTC	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6

Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla 56 presenta la relación de ESAL: 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Simple Dual para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el denominador de 8.2 como corresponde en la fórmula del MTC.

Tabla 56
Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple Dual

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
4ta Potencia	36,596	25,334	20,542	21,796	19,593	16,659	15,244
AASHTO-93	34,196	23,895	19,435	20,350	18,330	15,598	14,251
4ta Potencia/AASHTO-93	1.07	1.06	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07
Denom. Eje Simple Dual MTC	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2

Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla 57 presenta la relación de ESAL: 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Tandem para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el denominador de 15.1 como corresponde en la fórmula del MTC.

Tabla 57

Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tandem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
4ta Potencia	25,037	25,515	26,626	21,022	24,357	28,804	31,232
AASHTO-93	23,875	24,551	25,379	20,243	23,493	27,770	30,112
4ta Potencia/AASHTO-93	1.05	1.04	1.05	1.04	1.04	1.04	1.04
Denom. Eje Tandem MTC	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1

Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla 58 presenta la relación de ESAL: 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Tridem para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el denominador de 21.8 como corresponde en la fórmula del MTC.

Tabla 58

Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tridem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
4ta Potencia	12,408	13,062	11,165	10,726	13,284	15,102	17,206
AASHTO-93	12,892	13,576	11,612	11,138	13,804	15,689	17,860
4ta Potencia/AASHTO-93	0.962	0.962	0.962	0.963	0.962	0.963	0.963
Denom. Eje Tridem MTC	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del ESAL para Cargas legal se aplica de acuerdo con la siguiente Figura 21 extracto del Reglamento nacional de vehículos de Perú donde están los tipos de ejes y pesos legales permitidos en la normativa peruana. Estos pesos legales también se usan para determinar la Carga del tráfico vehicular mediante las ecuaciones del MTC presentadas en la Tabla 54, más arriba. Sin embargo, nos entregan valores muy altos en referencia al AASHTO-93 tradicional.

Código	Conjunto de ejes	Simbología	N° de neumáticos	Gráfico	Peso
_1VL	SIMPLE		2		1
_2VL	SIMPLE		2		2
_4VL	SIMPLE		4		4
_1RS	SIMPLE		2		7
_1RD	SIMPLE		4		11
_1RS_1RD	TANDEM		6		16
_2RS	TANDEM		4		12
_2RD	TANDEM		8		18
_3RD	TRIDEM		12		25

Figura 21: Tipos de ejes y Pesos legales para el cálculo del ESAL

La siguiente Tabla 59 presenta la relación de ESAL: Carga Legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Simple para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el Peso legal de 7.0 ton como se observa en la figura anterior de la normativa del MTC.

Tabla 59
Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Carga Legal 4ta Potencia	21,415	20,524	18,064	15,628	17,277	18,391	17,063
AASHTO-93	14,941	12,469	10,679	9,558	9,784	11,312	10,849
C. Legal 4ta Potencia/AASHTO-93	1.43	1.65	1.69	1.64	1.77	1.63	1.57
Peso Legal	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0

Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla 60 presenta la relación de ESAL, Carga Legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Simple Dual para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el Peso legal de 11.0 ton como se observa en la figura anterior.

Tabla 60

Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple Dual

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Carga Legal 4ta Potencia	75,221	65,826	55,852	49,329	49,785	43,442	40,540
AASHTO-93	34,196	23,895	19,435	20,350	18,330	15,598	14,251
C. Legal 4ta Potencia/AASHTO-93	2.20	2.75	2.87	2.42	2.72	2.79	2.84
Peso Legal	11	11	11	11	11	11	11

Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla 61 presenta la relación de ESAL, Carga Legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Tandem para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el Peso legal de 18.0 ton como se observa en la figura anterior de la normativa del MTC.

Tabla 61

Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tandem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Carga Legal 4ta Potencia	35,573	40,252	38,502	33,667	41,534	53,009	54,885
AASHTO-93	23,875	24,551	25,379	20,243	23,493	27,770	30,112
C. Legal 4ta Potencia/AASHTO-93	1.49	1.64	1.52	1.66	1.77	1.91	1.82
Peso Legal	18	18	18	18	18	18	18

Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla 62 presenta la relación de ESAL, Carga Legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Tridem para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el Peso legal de 25.0 ton como se observa en la figura anterior de la normativa del MTC.

Tabla 62

Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tridem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Carga Legal 4ta Potencia	19,425	20,120	17,539	16,242	20,181	22,482	25,879
AASHTO-93	12,892	13,576	11,612	11,138	13,804	15,689	17,860
C. Legal 4ta Potencia/AASHTO-93	1.51	1.48	1.51	1.46	1.46	1.43	1.45
Peso Legal	25	25	25	25	25	25	25

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se pone en evidencia la gran diferencia del ESAL calculado en función del método de cálculo y por consiguiente deben ajustarse sobre la base del AASHTO-93 tradicional. En la siguiente sección de Análisis de resultados veremos el ajuste del método del MTC para que los valores sean acordes con el AASHTO-93.

4.1.3 Esfuerzos, deformación y daño en el pavimento

Para lograr el objetivo 3 de la presente investigación: Validar la ecuación de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93 a fin de ajustar la desviación estándar de corrección del tráfico (So) de la normativa vigente, a través del comportamiento moderno de los materiales: esfuerzo, deformación y deterioro del pavimento.

Presentamos las siguientes tablas y figuras como evidencia.

La Tabla 63 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple en el año 2012, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica (ϵ_t) y la deformación de compresión sobre la subrasante (ϵ_c). Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 63
Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2012

Carga (ton)	Ejes Simple	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	186	59	53	97,993,126	0.0000	18,877,993,846	0.0000
1.5	1861	159	157	3,752,076	0.0005	146,048,185	0.0000
2.5	9342	237	259	1,008,725	0.0093	15,530,873	0.0006
3.5	10793	300	357	464,369	0.0232	3,691,844	0.0029
4.5	10941	351	453	276,990	0.0395	1,271,122	0.0086
5.5	14138	392	546	192,560	0.0734	550,969	0.0257
6.5	17858	425	637	147,585	0.1210	276,316	0.0646
7.5	10857	451	725	121,388	0.0894	154,812	0.0701
8.5	1871	473	811	103,777	0.0180	93,724	0.0200
9.5	187	490	895	92,392	0.0020	60,287	0.0031
10.5	30	503	977	84,764	0.0004	40,717	0.0007
11.5	5	514	1056	78,939	0.0001	28,747	0.0002
12.5	1	522	1134	75,027	0.0000	20,895	0.0000
13.5	0	528	1209	72,257	0.0000	15,686	0.0000
14.5	0	532	1283	70,485	0.0000	12,023	0.0000
15.5	0	535	1354	69,192	0.0000	9,447	0.0000
16.5	0	536	1424	68,768	0.0000	7,538	0.0000
17.5	0	537	1493	68,348	0.0000	6,099	0.0000
18.5	0	537	1559	68,348	0.0000	5,025	0.0000
19.5	0	535	1624	69,192	0.0000	4,185	0.0000
20.5	0	534	1688	69,620	0.0000	3,520	0.0000
21.5	0	531	1750	70,922	0.0000	2,995	0.0000
22.5	0	529	1810	71,809	0.0000	2,576	0.0000
23.5	0	525	1869	73,625	0.0000	2,231	0.0000

24.5	0	522	1927	75,027	0.0000	1,946	0.0000
25.5	0	518	1983	76,950	0.0000	1,712	0.0000
26.5	0	514	2038	78,939	0.0000	1,514	0.0000
27.5	0	510	2092	80,995	0.0000	1,347	0.0000
28.5	0	505	2144	83,664	0.0000	1,207	0.0000
29.5	0	500	2195	86,449	0.0000	1,086	0.0000
30.5	0	496	2245	88,765	0.0000	982	0.0000
31.5	0	491	2294	91,774	0.0000	892	0.0000
32.5	0	486	2342	94,918	0.0000	813	0.0000
33.5	0	481	2389	98,204	0.0000	743	0.0000
34.5	0	476	2435	101,640	0.0000	683	0.0000
35.5	0	471	2480	105,234	0.0000	629	0.0000
36.5	0	466	2524	108,996	0.0000	581	0.0000
37.5	0	461	2566	112,935	0.0000	540	0.0000
38.5	0	456	2608	117,062	0.0000	502	0.0000
39.5	0	451	2649	121,388	0.0000	468	0.0000
Daño Total					0.3768		0.1966

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 64 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple Dual en el año 2012, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 64

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2012

Carga (ton)	Ejes Simple Dual	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	234	20	38	3,446,512,558	0.0000	83,723,571,503	0.0000
1.5	1797	61	114	87,811,035	0.0000	612,034,479	0.0000
2.5	5268	100	189	17,261,144	0.0003	63,653,078	0.0001
3.5	4480	140	265	5,703,773	0.0008	14,017,389	0.0003
4.5	3132	180	341	2,494,410	0.0013	4,533,124	0.0007
5.5	3410	213	417	1,433,416	0.0024	1,841,577	0.0019
6.5	3653	244	492	916,578	0.0040	878,236	0.0042
7.5	4264	278	568	596,648	0.0071	461,659	0.0092
8.5	5631	311	644	412,473	0.0137	263,122	0.0214
9.5	5590	343	719	298,825	0.0187	160,681	0.0348
10.5	4697	372	795	228,777	0.0205	102,470	0.0458
11.5	2368	401	871	178,699	0.0133	68,089	0.0348
12.5	905	430	947	142,012	0.0064	46,819	0.0193
13.5	397	456	1022	117,062	0.0034	33,283	0.0119
14.5	249	482	1098	97,535	0.0026	24,141	0.0103

15.5	189	508	1174	82,049	0.0023	17,891	0.0106
16.5	110	532	1250	70,485	0.0016	13,511	0.0081
17.5	50	555	1325	61,320	0.0008	10,408	0.0048
18.5	19	578	1401	53,649	0.0004	8,108	0.0023
19.5	5	599	1477	47,704	0.0001	6,401	0.0008
20.5	3	618	1553	43,045	0.0001	5,113	0.0006
21.5	3	637	1628	38,962	0.0001	4,140	0.0007
22.5	2	656	1704	35,370	0.0001	3,375	0.0006
23.5	1	674	1780	32,356	0.0000	2,776	0.0004
24.5	0	691	1855	29,809	0.0000	2,308	0.0000
25.5	0	708	1931	27,518	0.0000	1,928	0.0000
26.5	0	724	2007	25,566	0.0000	1,622	0.0000
27.5	0	738	2083	24,005	0.0000	1,373	0.0000
28.5	0	751	2158	22,664	0.0000	1,172	0.0000
29.5	0	763	2234	21,512	0.0000	1,004	0.0000
30.5	0	776	2310	20,349	0.0000	864	0.0000
31.5	0	787	2386	19,427	0.0000	748	0.0000
32.5	0	799	2461	18,484	0.0000	651	0.0000
33.5	0	809	2537	17,742	0.0000	568	0.0000
34.5	0	818	2613	17,108	0.0000	498	0.0000
35.5	0	827	2689	16,503	0.0000	438	0.0000
36.5	0	836	2764	15,925	0.0000	387	0.0000
37.5	0	844	2840	15,434	0.0000	343	0.0000
38.5	0	852	2916	14,962	0.0000	305	0.0000
39.5	0	860	2992	14,509	0.0000	271	0.0000
				Daño Total	0.0997		0.2236

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 65 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tandem en el año 2012, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 65

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2012

Carga (ton)	Ejes Tandem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	4	10	19	33,734,135,185	0.0000	1,864,485,614,532	0.0000
1.5	109	30	56	907,535,311	0.0000	14,753,705,542	0.0000
2.5	32	51	94	158,290,967	0.0000	1,451,595,148	0.0000
3.5	160	71	131	53,281,735	0.0000	328,484,830	0.0000
4.5	420	91	169	23,543,139	0.0000	105,024,381	0.0000
5.5	2008	111	206	12,243,671	0.0002	43,286,788	0.0000

6.5	3759	132	244	6,922,465	0.0005	20,285,918	0.0002
7.5	3582	152	281	4,351,333	0.0008	10,781,538	0.0003
8.5	1370	168	319	3,130,233	0.0004	6,110,377	0.0002
9.5	1392	186	356	2,239,249	0.0006	3,738,499	0.0004
10.5	1125	203	394	1,679,191	0.0007	2,374,118	0.0005
11.5	814	219	432	1,308,181	0.0006	1,572,093	0.0005
12.5	959	235	469	1,037,254	0.0009	1,088,173	0.0009
13.5	1312	252	507	824,253	0.0016	767,747	0.0017
14.5	1605	268	544	673,097	0.0024	560,096	0.0029
15.5	2178	285	582	549,763	0.0040	413,979	0.0053
16.5	3525	301	619	459,311	0.0077	314,152	0.0112
17.5	4756	317	657	387,332	0.0123	240,602	0.0198
18.5	3961	332	694	332,663	0.0119	188,266	0.0210
19.5	1991	348	732	284,926	0.0070	148,294	0.0134
20.5	807	363	769	247,980	0.0033	118,918	0.0068
21.5	406	377	807	218,943	0.0019	95,822	0.0042
22.5	195	391	844	194,185	0.0010	78,398	0.0025
23.5	96	406	882	171,558	0.0006	64,369	0.0015
24.5	72	420	919	153,446	0.0005	53,552	0.0013
25.5	50	433	957	138,800	0.0004	44,668	0.0011
26.5	56	446	994	125,924	0.0004	37,691	0.0015
27.5	56	459	1032	114,563	0.0005	31,864	0.0018
28.5	36	472	1069	104,502	0.0003	27,215	0.0013
29.5	49	485	1107	95,564	0.0005	23,275	0.0021
30.5	16	497	1145	88,178	0.0002	20,011	0.0008
31.5	25	509	1182	81,519	0.0003	17,355	0.0014
32.5	15	522	1220	75,027	0.0002	15,063	0.0010
33.5	5	533	1257	70,050	0.0001	13,177	0.0004
34.5	1	545	1295	65,101	0.0000	11,532	0.0001
35.5	0	557	1332	60,598	0.0000	10,166	0.0000
36.5	0	568	1370	56,821	0.0000	8,963	0.0000
37.5	1	579	1407	53,345	0.0000	7,955	0.0001
38.5	1	589	1445	50,422	0.0000	7,060	0.0001
39.5	0	599	1482	47,704	0.0000	6,305	0.0000
				Daño Total	0.0617		0.1064

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 66 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tridem en el año 2012, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 66

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2012

Carga (ton)	Ejes Tridem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_C ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	0	7	12	109,106,828,332	0.0000	14,589,636,439,872	0.0000
1.5	33	20	37	3,446,512,558	0.0000	94,340,851,054	0.0000
2.5	1	34	62	601,135,623	0.0000	9,354,085,054	0.0000
3.5	19	47	87	207,107,359	0.0000	2,052,632,564	0.0000
4.5	66	61	112	87,811,035	0.0000	662,506,008	0.0000
5.5	715	74	137	46,497,327	0.0000	268,807,220	0.0000
6.5	1483	88	162	26,289,184	0.0001	126,922,959	0.0000
7.5	1491	101	187	16,705,056	0.0001	66,758,110	0.0000
8.5	551	115	212	10,897,151	0.0001	38,065,651	0.0000
9.5	175	128	237	7,660,226	0.0000	23,109,501	0.0000
10.5	119	137	262	6,125,227	0.0000	14,750,408	0.0000
11.5	109	151	287	4,446,891	0.0000	9,808,479	0.0000
12.5	139	165	312	3,321,467	0.0000	6,748,524	0.0000
13.5	135	177	337	2,636,268	0.0001	4,779,031	0.0000
14.5	169	189	362	2,124,388	0.0001	3,468,971	0.0000
15.5	194	200	387	1,763,518	0.0001	2,572,509	0.0001
16.5	236	211	412	1,478,618	0.0002	1,943,766	0.0001
17.5	238	222	437	1,250,898	0.0002	1,493,150	0.0002
18.5	302	232	461	1,082,053	0.0003	1,175,303	0.0003
19.5	495	242	486	941,745	0.0005	927,830	0.0005
20.5	915	254	511	803,086	0.0011	741,205	0.0012
21.5	1582	265	536	698,502	0.0023	598,505	0.0026
22.5	2440	276	561	610,995	0.0040	488,014	0.0050
23.5	3510	287	586	537,255	0.0065	401,478	0.0087
24.5	3441	298	611	474,705	0.0072	332,991	0.0103
25.5	2024	309	636	421,324	0.0048	278,267	0.0073
26.5	803	320	661	375,510	0.0021	234,152	0.0034
27.5	314	330	686	339,344	0.0009	198,297	0.0016
28.5	139	340	711	307,590	0.0005	168,935	0.0008
29.5	42	350	736	279,603	0.0002	144,719	0.0003
30.5	22	360	761	254,846	0.0001	124,618	0.0002
31.5	10	370	786	232,872	0.0000	107,828	0.0001
32.5	5	379	811	215,163	0.0000	93,724	0.0001
33.5	0	389	836	197,490	0.0000	81,813	0.0000
34.5	0	398	861	183,170	0.0000	71,702	0.0000
35.5	0	409	886	167,451	0.0000	63,078	0.0000
36.5	0	418	911	155,876	0.0000	55,690	0.0000
37.5	0	427	935	145,322	0.0000	49,570	0.0000
38.5	0	435	960	136,710	0.0000	44,046	0.0000
39.5	0	444	985	127,800	0.0000	39,258	0.0000
Daño Total					0.0315		0.0430

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 67 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple en el año 2013, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 67

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2013

Carga (ton)	Ejes Simple	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	188	59	53	97,993,126	0.0000	18,877,993,846	0.0000
1.5	1460	159	157	3,752,076	0.0004	146,048,185	0.0000
2.5	9250	237	259	1,008,725	0.0092	15,530,873	0.0006
3.5	11768	300	357	464,369	0.0253	3,691,844	0.0032
4.5	11332	351	453	276,990	0.0409	1,271,122	0.0089
5.5	15531	392	546	192,560	0.0807	550,969	0.0282
6.5	16206	425	637	147,585	0.1098	276,316	0.0587
7.5	7473	451	725	121,388	0.0616	154,812	0.0483
8.5	992	473	811	103,777	0.0096	93,724	0.0106
9.5	94	490	895	92,392	0.0010	60,287	0.0016
10.5	21	503	977	84,764	0.0002	40,717	0.0005
11.5	4	514	1056	78,939	0.0001	28,747	0.0001
12.5	2	522	1134	75,027	0.0000	20,895	0.0001
13.5	0	528	1209	72,257	0.0000	15,686	0.0000
14.5	0	532	1283	70,485	0.0000	12,023	0.0000
15.5	0	535	1354	69,192	0.0000	9,447	0.0000
16.5	0	536	1424	68,768	0.0000	7,538	0.0000
17.5	0	537	1493	68,348	0.0000	6,099	0.0000
18.5	0	537	1559	68,348	0.0000	5,025	0.0000
19.5	0	535	1624	69,192	0.0000	4,185	0.0000
20.5	0	534	1688	69,620	0.0000	3,520	0.0000
21.5	0	531	1750	70,922	0.0000	2,995	0.0000
22.5	0	529	1810	71,809	0.0000	2,576	0.0000
23.5	0	525	1869	73,625	0.0000	2,231	0.0000
24.5	0	522	1927	75,027	0.0000	1,946	0.0000
25.5	0	518	1983	76,950	0.0000	1,712	0.0000
26.5	0	514	2038	78,939	0.0000	1,514	0.0000
27.5	0	510	2092	80,995	0.0000	1,347	0.0000
28.5	0	505	2144	83,664	0.0000	1,207	0.0000
29.5	0	500	2195	86,449	0.0000	1,086	0.0000
30.5	0	496	2245	88,765	0.0000	982	0.0000
31.5	0	491	2294	91,774	0.0000	892	0.0000
32.5	0	486	2342	94,918	0.0000	813	0.0000
33.5	0	481	2389	98,204	0.0000	743	0.0000

34.5	0	476	2435	101,640	0.0000	683	0.0000
35.5	0	471	2480	105,234	0.0000	629	0.0000
36.5	0	466	2524	108,996	0.0000	581	0.0000
37.5	0	461	2566	112,935	0.0000	540	0.0000
38.5	0	456	2608	117,062	0.0000	502	0.0000
39.5	0	451	2649	121,388	0.0000	468	0.0000
				Daño Total	0.3387		0.1607

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 68 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple Dual en el año 2013, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 68

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2013

Carga (ton)	Ejes Simple Dual	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	197	20	38	3,446,512,558	0.0000	83,723,571,503	0.0000
1.5	1333	61	114	87,811,035	0.0000	612,034,479	0.0000
2.5	5090	100	189	17,261,144	0.0003	63,653,078	0.0001
3.5	4349	140	265	5,703,773	0.0008	14,017,389	0.0003
4.5	3247	180	341	2,494,410	0.0013	4,533,124	0.0007
5.5	3477	213	417	1,433,416	0.0024	1,841,577	0.0019
6.5	4011	244	492	916,578	0.0044	878,236	0.0046
7.5	4809	278	568	596,648	0.0081	461,659	0.0104
8.5	5102	311	644	412,473	0.0124	263,122	0.0194
9.5	3878	343	719	298,825	0.0130	160,681	0.0241
10.5	2542	372	795	228,777	0.0111	102,470	0.0248
11.5	1358	401	871	178,699	0.0076	68,089	0.0199
12.5	558	430	947	142,012	0.0039	46,819	0.0119
13.5	314	456	1022	117,062	0.0027	33,283	0.0094
14.5	170	482	1098	97,535	0.0017	24,141	0.0070
15.5	123	508	1174	82,049	0.0015	17,891	0.0069
16.5	61	532	1250	70,485	0.0009	13,511	0.0045
17.5	20	555	1325	61,320	0.0003	10,408	0.0019
18.5	13	578	1401	53,649	0.0002	8,108	0.0016
19.5	3	599	1477	47,704	0.0001	6,401	0.0005
20.5	0	618	1553	43,045	0.0000	5,113	0.0000
21.5	0	637	1628	38,962	0.0000	4,140	0.0000
22.5	0	656	1704	35,370	0.0000	3,375	0.0000
23.5	0	674	1780	32,356	0.0000	2,776	0.0000
24.5	0	691	1855	29,809	0.0000	2,308	0.0000

25.5	0	708	1931	27,518	0.0000	1,928	0.0000
26.5	0	724	2007	25,566	0.0000	1,622	0.0000
27.5	0	738	2083	24,005	0.0000	1,373	0.0000
28.5	0	751	2158	22,664	0.0000	1,172	0.0000
29.5	0	763	2234	21,512	0.0000	1,004	0.0000
30.5	0	776	2310	20,349	0.0000	864	0.0000
31.5	0	787	2386	19,427	0.0000	748	0.0000
32.5	0	799	2461	18,484	0.0000	651	0.0000
33.5	0	809	2537	17,742	0.0000	568	0.0000
34.5	0	818	2613	17,108	0.0000	498	0.0000
35.5	0	827	2689	16,503	0.0000	438	0.0000
36.5	0	836	2764	15,925	0.0000	387	0.0000
37.5	0	844	2840	15,434	0.0000	343	0.0000
38.5	0	852	2916	14,962	0.0000	305	0.0000
39.5	0	860	2992	14,509	0.0000	271	0.0000
				Daño Total	0.0726		0.1500

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 69 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tandem en el año 2013, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 69
Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2013

Carga (ton)	Ejes Tandem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	4	10	19	33,734,135,185	0.0000	1,864,485,614,532	0.0000
1.5	103	30	56	907,535,311	0.0000	14,753,705,542	0.0000
2.5	29	51	94	158,290,967	0.0000	1,451,595,148	0.0000
3.5	84	71	131	53,281,735	0.0000	328,484,830	0.0000
4.5	558	91	169	23,543,139	0.0000	105,024,381	0.0000
5.5	2515	111	206	12,243,671	0.0002	43,286,788	0.0001
6.5	4198	132	244	6,922,465	0.0006	20,285,918	0.0002
7.5	4024	152	281	4,351,333	0.0009	10,781,538	0.0004
8.5	1317	168	319	3,130,233	0.0004	6,110,377	0.0002
9.5	1144	186	356	2,239,249	0.0005	3,738,499	0.0003
10.5	1092	203	394	1,679,191	0.0007	2,374,118	0.0005
11.5	1024	219	432	1,308,181	0.0008	1,572,093	0.0007
12.5	1180	235	469	1,037,254	0.0011	1,088,173	0.0011
13.5	1697	252	507	824,253	0.0021	767,747	0.0022
14.5	2051	268	544	673,097	0.0030	560,096	0.0037
15.5	2887	285	582	549,763	0.0053	413,979	0.0070

16.5	4509	301	619	459,311	0.0098	314,152	0.0144
17.5	5171	317	657	387,332	0.0134	240,602	0.0215
18.5	3966	332	694	332,663	0.0119	188,266	0.0211
19.5	2167	348	732	284,926	0.0076	148,294	0.0146
20.5	954	363	769	247,980	0.0038	118,918	0.0080
21.5	459	377	807	218,943	0.0021	95,822	0.0048
22.5	188	391	844	194,185	0.0010	78,398	0.0024
23.5	62	406	882	171,558	0.0004	64,369	0.0010
24.5	25	420	919	153,446	0.0002	53,552	0.0005
25.5	11	433	957	138,800	0.0001	44,668	0.0002
26.5	6	446	994	125,924	0.0000	37,691	0.0002
27.5	4	459	1032	114,563	0.0000	31,864	0.0001
28.5	2	472	1069	104,502	0.0000	27,215	0.0001
29.5	3	485	1107	95,564	0.0000	23,275	0.0001
30.5	0	497	1145	88,178	0.0000	20,011	0.0000
31.5	0	509	1182	81,519	0.0000	17,355	0.0000
32.5	0	522	1220	75,027	0.0000	15,063	0.0000
33.5	0	533	1257	70,050	0.0000	13,177	0.0000
34.5	0	545	1295	65,101	0.0000	11,532	0.0000
35.5	0	557	1332	60,598	0.0000	10,166	0.0000
36.5	0	568	1370	56,821	0.0000	8,963	0.0000
37.5	0	579	1407	53,345	0.0000	7,955	0.0000
38.5	0	589	1445	50,422	0.0000	7,060	0.0000
39.5	0	599	1482	47,704	0.0000	6,305	0.0000
				Daño Total	0.0660		0.1051

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 70 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tridem en el año 2013, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 70
Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2013

Carga (ton)	Ejes Tridem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	0	7	12	109,106,828,332	0.0000	14,589,636,439,872	0.0000
1.5	35	20	37	3,446,512,558	0.0000	94,340,851,054	0.0000
2.5	3	34	62	601,135,623	0.0000	9,354,085,054	0.0000
3.5	2	47	87	207,107,359	0.0000	2,052,632,564	0.0000
4.5	53	61	112	87,811,035	0.0000	662,506,008	0.0000
5.5	713	74	137	46,497,327	0.0000	268,807,220	0.0000
6.5	1390	88	162	26,289,184	0.0001	126,922,959	0.0000

7.5	1383	101	187	16,705,056	0.0001	66,758,110	0.0000
8.5	544	115	212	10,897,151	0.0000	38,065,651	0.0000
9.5	178	128	237	7,660,226	0.0000	23,109,501	0.0000
10.5	111	137	262	6,125,227	0.0000	14,750,408	0.0000
11.5	127	151	287	4,446,891	0.0000	9,808,479	0.0000
12.5	124	165	312	3,321,467	0.0000	6,748,524	0.0000
13.5	149	177	337	2,636,268	0.0001	4,779,031	0.0000
14.5	147	189	362	2,124,388	0.0001	3,468,971	0.0000
15.5	229	200	387	1,763,518	0.0001	2,572,509	0.0001
16.5	291	211	412	1,478,618	0.0002	1,943,766	0.0001
17.5	308	222	437	1,250,898	0.0002	1,493,150	0.0002
18.5	346	232	461	1,082,053	0.0003	1,175,303	0.0003
19.5	579	242	486	941,745	0.0006	927,830	0.0006
20.5	881	254	511	803,086	0.0011	741,205	0.0012
21.5	1547	265	536	698,502	0.0022	598,505	0.0026
22.5	2567	276	561	610,995	0.0042	488,014	0.0053
23.5	3680	287	586	537,255	0.0068	401,478	0.0092
24.5	3777	298	611	474,705	0.0080	332,991	0.0113
25.5	2219	309	636	421,324	0.0053	278,267	0.0080
26.5	859	320	661	375,510	0.0023	234,152	0.0037
27.5	304	330	686	339,344	0.0009	198,297	0.0015
28.5	92	340	711	307,590	0.0003	168,935	0.0005
29.5	36	350	736	279,603	0.0001	144,719	0.0002
30.5	15	360	761	254,846	0.0001	124,618	0.0001
31.5	4	370	786	232,872	0.0000	107,828	0.0000
32.5	1	379	811	215,163	0.0000	93,724	0.0000
33.5	0	389	836	197,490	0.0000	81,813	0.0000
34.5	0	398	861	183,170	0.0000	71,702	0.0000
35.5	0	409	886	167,451	0.0000	63,078	0.0000
36.5	0	418	911	155,876	0.0000	55,690	0.0000
37.5	0	427	935	145,322	0.0000	49,570	0.0000
38.5	0	435	960	136,710	0.0000	44,046	0.0000
39.5	0	444	985	127,800	0.0000	39,258	0.0000
				Daño Total	0.0332		0.0452

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 71 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple en el año 2014, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 71

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2014

Carga (ton)	Ejes Simple	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_C ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	135	59	53	97,993,126	0.0000	18,877,993,846	0.0000
1.5	1085	159	157	3,752,076	0.0003	146,048,185	0.0000
2.5	7766	237	259	1,008,725	0.0077	15,530,873	0.0005
3.5	10857	300	357	464,369	0.0234	3,691,844	0.0029
4.5	10571	351	453	276,990	0.0382	1,271,122	0.0083
5.5	14455	392	546	192,560	0.0751	550,969	0.0262
6.5	13963	425	637	147,585	0.0946	276,316	0.0505
7.5	5467	451	725	121,388	0.0450	154,812	0.0353
8.5	834	473	811	103,777	0.0080	93,724	0.0089
9.5	210	490	895	92,392	0.0023	60,287	0.0035
10.5	28	503	977	84,764	0.0003	40,717	0.0007
11.5	5	514	1056	78,939	0.0001	28,747	0.0002
12.5	1	522	1134	75,027	0.0000	20,895	0.0000
13.5	0	528	1209	72,257	0.0000	15,686	0.0000
14.5	0	532	1283	70,485	0.0000	12,023	0.0000
15.5	0	535	1354	69,192	0.0000	9,447	0.0000
16.5	0	536	1424	68,768	0.0000	7,538	0.0000
17.5	0	537	1493	68,348	0.0000	6,099	0.0000
18.5	0	537	1559	68,348	0.0000	5,025	0.0000
19.5	0	535	1624	69,192	0.0000	4,185	0.0000
20.5	0	534	1688	69,620	0.0000	3,520	0.0000
21.5	0	531	1750	70,922	0.0000	2,995	0.0000
22.5	0	529	1810	71,809	0.0000	2,576	0.0000
23.5	0	525	1869	73,625	0.0000	2,231	0.0000
24.5	0	522	1927	75,027	0.0000	1,946	0.0000
25.5	0	518	1983	76,950	0.0000	1,712	0.0000
26.5	0	514	2038	78,939	0.0000	1,514	0.0000
27.5	0	510	2092	80,995	0.0000	1,347	0.0000
28.5	0	505	2144	83,664	0.0000	1,207	0.0000
29.5	0	500	2195	86,449	0.0000	1,086	0.0000
30.5	0	496	2245	88,765	0.0000	982	0.0000
31.5	0	491	2294	91,774	0.0000	892	0.0000
32.5	0	486	2342	94,918	0.0000	813	0.0000
33.5	0	481	2389	98,204	0.0000	743	0.0000
34.5	0	476	2435	101,640	0.0000	683	0.0000
35.5	0	471	2480	105,234	0.0000	629	0.0000
36.5	0	466	2524	108,996	0.0000	581	0.0000
37.5	0	461	2566	112,935	0.0000	540	0.0000
38.5	0	456	2608	117,062	0.0000	502	0.0000
39.5	0	451	2649	121,388	0.0000	468	0.0000
				Daño Total	0.2950		0.1371

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 72 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple Dual en el año 2014, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 72

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2014

Carga (ton)	Ejes Simple Dual	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	123	20	38	3,446,512,558	0.0000	83,723,571,503	0.0000
1.5	1002	61	114	87,811,035	0.0000	612,034,479	0.0000
2.5	3980	100	189	17,261,144	0.0002	63,653,078	0.0001
3.5	3896	140	265	5,703,773	0.0007	14,017,389	0.0003
4.5	2864	180	341	2,494,410	0.0011	4,533,124	0.0006
5.5	2928	213	417	1,433,416	0.0020	1,841,577	0.0016
6.5	3257	244	492	916,578	0.0036	878,236	0.0037
7.5	3914	278	568	596,648	0.0066	461,659	0.0085
8.5	4577	311	644	412,473	0.0111	263,122	0.0174
9.5	3555	343	719	298,825	0.0119	160,681	0.0221
10.5	2458	372	795	228,777	0.0107	102,470	0.0240
11.5	1181	401	871	178,699	0.0066	68,089	0.0173
12.5	438	430	947	142,012	0.0031	46,819	0.0094
13.5	163	456	1022	117,062	0.0014	33,283	0.0049
14.5	87	482	1098	97,535	0.0009	24,141	0.0036
15.5	37	508	1174	82,049	0.0005	17,891	0.0021
16.5	23	532	1250	70,485	0.0003	13,511	0.0017
17.5	9	555	1325	61,320	0.0001	10,408	0.0009
18.5	2	578	1401	53,649	0.0000	8,108	0.0002
19.5	0	599	1477	47,704	0.0000	6,401	0.0000
20.5	1	618	1553	43,045	0.0000	5,113	0.0002
21.5	0	637	1628	38,962	0.0000	4,140	0.0000
22.5	0	656	1704	35,370	0.0000	3,375	0.0000
23.5	0	674	1780	32,356	0.0000	2,776	0.0000
24.5	0	691	1855	29,809	0.0000	2,308	0.0000
25.5	0	708	1931	27,518	0.0000	1,928	0.0000
26.5	0	724	2007	25,566	0.0000	1,622	0.0000
27.5	0	738	2083	24,005	0.0000	1,373	0.0000
28.5	0	751	2158	22,664	0.0000	1,172	0.0000
29.5	0	763	2234	21,512	0.0000	1,004	0.0000
30.5	0	776	2310	20,349	0.0000	864	0.0000
31.5	0	787	2386	19,427	0.0000	748	0.0000
32.5	0	799	2461	18,484	0.0000	651	0.0000

33.5	0	809	2537	17,742	0.0000	568	0.0000
34.5	0	818	2613	17,108	0.0000	498	0.0000
35.5	0	827	2689	16,503	0.0000	438	0.0000
36.5	0	836	2764	15,925	0.0000	387	0.0000
37.5	0	844	2840	15,434	0.0000	343	0.0000
38.5	0	852	2916	14,962	0.0000	305	0.0000
39.5	0	860	2992	14,509	0.0000	271	0.0000
				Daño Total	0.0609		0.1185

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 73 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tandem en el año 2014, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 73

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2014

Carga (ton)	Ejes Tandem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	142	10	19	33,734,135,185	0.0000	1,864,485,614,532	0.0000
1.5	101	30	56	907,535,311	0.0000	14,753,705,542	0.0000
2.5	139	51	94	158,290,967	0.0000	1,451,595,148	0.0000
3.5	216	71	131	53,281,735	0.0000	328,484,830	0.0000
4.5	467	91	169	23,543,139	0.0000	105,024,381	0.0000
5.5	2250	111	206	12,243,671	0.0002	43,286,788	0.0001
6.5	3898	132	244	6,922,465	0.0006	20,285,918	0.0002
7.5	3359	152	281	4,351,333	0.0008	10,781,538	0.0003
8.5	1404	168	319	3,130,233	0.0004	6,110,377	0.0002
9.5	1648	186	356	2,239,249	0.0007	3,738,499	0.0004
10.5	1502	203	394	1,679,191	0.0009	2,374,118	0.0006
11.5	1150	219	432	1,308,181	0.0009	1,572,093	0.0007
12.5	1363	235	469	1,037,254	0.0013	1,088,173	0.0013
13.5	1844	252	507	824,253	0.0022	767,747	0.0024
14.5	2273	268	544	673,097	0.0034	560,096	0.0041
15.5	2924	285	582	549,763	0.0053	413,979	0.0071
16.5	3835	301	619	459,311	0.0083	314,152	0.0122
17.5	4500	317	657	387,332	0.0116	240,602	0.0187
18.5	3498	332	694	332,663	0.0105	188,266	0.0186
19.5	1741	348	732	284,926	0.0061	148,294	0.0117
20.5	626	363	769	247,980	0.0025	118,918	0.0053
21.5	328	377	807	218,943	0.0015	95,822	0.0034
22.5	139	391	844	194,185	0.0007	78,398	0.0018
23.5	53	406	882	171,558	0.0003	64,369	0.0008

24.5	16	420	919	153,446	0.0001	53,552	0.0003
25.5	19	433	957	138,800	0.0001	44,668	0.0004
26.5	40	446	994	125,924	0.0003	37,691	0.0011
27.5	92	459	1032	114,563	0.0008	31,864	0.0029
28.5	130	472	1069	104,502	0.0012	27,215	0.0048
29.5	135	485	1107	95,564	0.0014	23,275	0.0058
30.5	102	497	1145	88,178	0.0012	20,011	0.0051
31.5	51	509	1182	81,519	0.0006	17,355	0.0029
32.5	21	522	1220	75,027	0.0003	15,063	0.0014
33.5	4	533	1257	70,050	0.0001	13,177	0.0003
34.5	0	545	1295	65,101	0.0000	11,532	0.0000
35.5	0	557	1332	60,598	0.0000	10,166	0.0000
36.5	0	568	1370	56,821	0.0000	8,963	0.0000
37.5	0	579	1407	53,345	0.0000	7,955	0.0000
38.5	0	589	1445	50,422	0.0000	7,060	0.0000
39.5	0	599	1482	47,704	0.0000	6,305	0.0000
				Daño Total	0.0645		0.1149

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 74 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tridem en el año 2014, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 74

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2014

Carga (ton)	Ejes Tridem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	0	7	12	109,106,828,332	0.0000	14,589,636,439,872	0.0000
1.5	18	20	37	3,446,512,558	0.0000	94,340,851,054	0.0000
2.5	1	34	62	601,135,623	0.0000	9,354,085,054	0.0000
3.5	0	47	87	207,107,359	0.0000	2,052,632,564	0.0000
4.5	55	61	112	87,811,035	0.0000	662,506,008	0.0000
5.5	821	74	137	46,497,327	0.0000	268,807,220	0.0000
6.5	1252	88	162	26,289,184	0.0000	126,922,959	0.0000
7.5	995	101	187	16,705,056	0.0001	66,758,110	0.0000
8.5	403	115	212	10,897,151	0.0000	38,065,651	0.0000
9.5	137	128	237	7,660,226	0.0000	23,109,501	0.0000
10.5	98	137	262	6,125,227	0.0000	14,750,408	0.0000
11.5	102	151	287	4,446,891	0.0000	9,808,479	0.0000
12.5	104	165	312	3,321,467	0.0000	6,748,524	0.0000
13.5	118	177	337	2,636,268	0.0000	4,779,031	0.0000
14.5	130	189	362	2,124,388	0.0001	3,468,971	0.0000

15.5	171	200	387	1,763,518	0.0001	2,572,509	0.0001
16.5	292	211	412	1,478,618	0.0002	1,943,766	0.0002
17.5	389	222	437	1,250,898	0.0003	1,493,150	0.0003
18.5	529	232	461	1,082,053	0.0005	1,175,303	0.0005
19.5	674	242	486	941,745	0.0007	927,830	0.0007
20.5	837	254	511	803,086	0.0010	741,205	0.0011
21.5	1295	265	536	698,502	0.0019	598,505	0.0022
22.5	2156	276	561	610,995	0.0035	488,014	0.0044
23.5	3073	287	586	537,255	0.0057	401,478	0.0077
24.5	3148	298	611	474,705	0.0066	332,991	0.0095
25.5	1800	309	636	421,324	0.0043	278,267	0.0065
26.5	773	320	661	375,510	0.0021	234,152	0.0033
27.5	268	330	686	339,344	0.0008	198,297	0.0014
28.5	107	340	711	307,590	0.0003	168,935	0.0006
29.5	18	350	736	279,603	0.0001	144,719	0.0001
30.5	5	360	761	254,846	0.0000	124,618	0.0000
31.5	1	370	786	232,872	0.0000	107,828	0.0000
32.5	1	379	811	215,163	0.0000	93,724	0.0000
33.5	0	389	836	197,490	0.0000	81,813	0.0000
34.5	0	398	861	183,170	0.0000	71,702	0.0000
35.5	0	409	886	167,451	0.0000	63,078	0.0000
36.5	0	418	911	155,876	0.0000	55,690	0.0000
37.5	0	427	935	145,322	0.0000	49,570	0.0000
38.5	0	435	960	136,710	0.0000	44,046	0.0000
39.5	0	444	985	127,800	0.0000	39,258	0.0000
				Daño Total	0.0285		0.0386

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 75 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple en el año 2015, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 75

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2015

Carga (ton)	Ejes Simple	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	56	59	53	97,993,126	0.0000	18,877,993,846	0.0000
1.5	1029	159	157	3,752,076	0.0003	146,048,185	0.0000
2.5	6882	237	259	1,008,725	0.0068	15,530,873	0.0004
3.5	8540	300	357	464,369	0.0184	3,691,844	0.0023
4.5	8659	351	453	276,990	0.0313	1,271,122	0.0068
5.5	12654	392	546	192,560	0.0657	550,969	0.0230

6.5	11985	425	637	147,585	0.0812	276,316	0.0434
7.5	6041	451	725	121,388	0.0498	154,812	0.0390
8.5	622	473	811	103,777	0.0060	93,724	0.0066
9.5	64	490	895	92,392	0.0007	60,287	0.0011
10.5	15	503	977	84,764	0.0002	40,717	0.0004
11.5	0	514	1056	78,939	0.0000	28,747	0.0000
12.5	0	522	1134	75,027	0.0000	20,895	0.0000
13.5	0	528	1209	72,257	0.0000	15,686	0.0000
14.5	0	532	1283	70,485	0.0000	12,023	0.0000
15.5	0	535	1354	69,192	0.0000	9,447	0.0000
16.5	0	536	1424	68,768	0.0000	7,538	0.0000
17.5	0	537	1493	68,348	0.0000	6,099	0.0000
18.5	0	537	1559	68,348	0.0000	5,025	0.0000
19.5	0	535	1624	69,192	0.0000	4,185	0.0000
20.5	0	534	1688	69,620	0.0000	3,520	0.0000
21.5	0	531	1750	70,922	0.0000	2,995	0.0000
22.5	0	529	1810	71,809	0.0000	2,576	0.0000
23.5	0	525	1869	73,625	0.0000	2,231	0.0000
24.5	0	522	1927	75,027	0.0000	1,946	0.0000
25.5	0	518	1983	76,950	0.0000	1,712	0.0000
26.5	0	514	2038	78,939	0.0000	1,514	0.0000
27.5	0	510	2092	80,995	0.0000	1,347	0.0000
28.5	0	505	2144	83,664	0.0000	1,207	0.0000
29.5	0	500	2195	86,449	0.0000	1,086	0.0000
30.5	0	496	2245	88,765	0.0000	982	0.0000
31.5	0	491	2294	91,774	0.0000	892	0.0000
32.5	0	486	2342	94,918	0.0000	813	0.0000
33.5	0	481	2389	98,204	0.0000	743	0.0000
34.5	0	476	2435	101,640	0.0000	683	0.0000
35.5	0	471	2480	105,234	0.0000	629	0.0000
36.5	0	466	2524	108,996	0.0000	581	0.0000
37.5	0	461	2566	112,935	0.0000	540	0.0000
38.5	0	456	2608	117,062	0.0000	502	0.0000
39.5	0	451	2649	121,388	0.0000	468	0.0000
				Daño Total	0.2603		0.1230

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 76 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple Dual en el año 2015, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 76

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2015

Carga (ton)	Ejes Simple Dual	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	52	20	38	3,446,512,558	0.0000	83,723,571,503	0.0000
1.5	971	61	114	87,811,035	0.0000	612,034,479	0.0000
2.5	3412	100	189	17,261,144	0.0002	63,653,078	0.0001
3.5	3987	140	265	5,703,773	0.0007	14,017,389	0.0003
4.5	2689	180	341	2,494,410	0.0011	4,533,124	0.0006
5.5	2477	213	417	1,433,416	0.0017	1,841,577	0.0013
6.5	2096	244	492	916,578	0.0023	878,236	0.0024
7.5	2558	278	568	596,648	0.0043	461,659	0.0055
8.5	3035	311	644	412,473	0.0074	263,122	0.0115
9.5	3239	343	719	298,825	0.0108	160,681	0.0202
10.5	2930	372	795	228,777	0.0128	102,470	0.0286
11.5	1856	401	871	178,699	0.0104	68,089	0.0273
12.5	792	430	947	142,012	0.0056	46,819	0.0169
13.5	222	456	1022	117,062	0.0019	33,283	0.0067
14.5	72	482	1098	97,535	0.0007	24,141	0.0030
15.5	31	508	1174	82,049	0.0004	17,891	0.0017
16.5	24	532	1250	70,485	0.0003	13,511	0.0018
17.5	10	555	1325	61,320	0.0002	10,408	0.0010
18.5	9	578	1401	53,649	0.0002	8,108	0.0011
19.5	4	599	1477	47,704	0.0001	6,401	0.0006
20.5	0	618	1553	43,045	0.0000	5,113	0.0000
21.5	0	637	1628	38,962	0.0000	4,140	0.0000
22.5	0	656	1704	35,370	0.0000	3,375	0.0000
23.5	0	674	1780	32,356	0.0000	2,776	0.0000
24.5	0	691	1855	29,809	0.0000	2,308	0.0000
25.5	0	708	1931	27,518	0.0000	1,928	0.0000
26.5	0	724	2007	25,566	0.0000	1,622	0.0000
27.5	0	738	2083	24,005	0.0000	1,373	0.0000
28.5	0	751	2158	22,664	0.0000	1,172	0.0000
29.5	0	763	2234	21,512	0.0000	1,004	0.0000
30.5	0	776	2310	20,349	0.0000	864	0.0000
31.5	0	787	2386	19,427	0.0000	748	0.0000
32.5	0	799	2461	18,484	0.0000	651	0.0000
33.5	0	809	2537	17,742	0.0000	568	0.0000
34.5	0	818	2613	17,108	0.0000	498	0.0000
35.5	0	827	2689	16,503	0.0000	438	0.0000
36.5	0	836	2764	15,925	0.0000	387	0.0000
37.5	0	844	2840	15,434	0.0000	343	0.0000
38.5	0	852	2916	14,962	0.0000	305	0.0000
39.5	0	860	2992	14,509	0.0000	271	0.0000
				Daño Total	0.0610		0.1305

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 77 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tandem en el año 2015, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 77

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2015

Carga (ton)	Ejes Tandem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	21	10	19	33,734,135,185	0.0000	1,864,485,614,532	0.0000
1.5	45	30	56	907,535,311	0.0000	14,753,705,542	0.0000
2.5	37	51	94	158,290,967	0.0000	1,451,595,148	0.0000
3.5	109	71	131	53,281,735	0.0000	328,484,830	0.0000
4.5	439	91	169	23,543,139	0.0000	105,024,381	0.0000
5.5	2049	111	206	12,243,671	0.0002	43,286,788	0.0000
6.5	3650	132	244	6,922,465	0.0005	20,285,918	0.0002
7.5	3349	152	281	4,351,333	0.0008	10,781,538	0.0003
8.5	1197	168	319	3,130,233	0.0004	6,110,377	0.0002
9.5	1140	186	356	2,239,249	0.0005	3,738,499	0.0003
10.5	1007	203	394	1,679,191	0.0006	2,374,118	0.0004
11.5	793	219	432	1,308,181	0.0006	1,572,093	0.0005
12.5	858	235	469	1,037,254	0.0008	1,088,173	0.0008
13.5	1283	252	507	824,253	0.0016	767,747	0.0017
14.5	1683	268	544	673,097	0.0025	560,096	0.0030
15.5	2484	285	582	549,763	0.0045	413,979	0.0060
16.5	3610	301	619	459,311	0.0079	314,152	0.0115
17.5	4368	317	657	387,332	0.0113	240,602	0.0182
18.5	3563	332	694	332,663	0.0107	188,266	0.0189
19.5	1857	348	732	284,926	0.0065	148,294	0.0125
20.5	680	363	769	247,980	0.0027	118,918	0.0057
21.5	238	377	807	218,943	0.0011	95,822	0.0025
22.5	79	391	844	194,185	0.0004	78,398	0.0010
23.5	29	406	882	171,558	0.0002	64,369	0.0005
24.5	13	420	919	153,446	0.0001	53,552	0.0002
25.5	5	433	957	138,800	0.0000	44,668	0.0001
26.5	6	446	994	125,924	0.0000	37,691	0.0002
27.5	2	459	1032	114,563	0.0000	31,864	0.0001
28.5	5	472	1069	104,502	0.0000	27,215	0.0002
29.5	5	485	1107	95,564	0.0001	23,275	0.0002
30.5	9	497	1145	88,178	0.0001	20,011	0.0004
31.5	4	509	1182	81,519	0.0000	17,355	0.0002
32.5	8	522	1220	75,027	0.0001	15,063	0.0005

33.5	3	533	1257	70,050	0.0000	13,177	0.0002
34.5	1	545	1295	65,101	0.0000	11,532	0.0001
35.5	0	557	1332	60,598	0.0000	10,166	0.0000
36.5	0	568	1370	56,821	0.0000	8,963	0.0000
37.5	0	579	1407	53,345	0.0000	7,955	0.0000
38.5	0	589	1445	50,422	0.0000	7,060	0.0000
39.5	0	599	1482	47,704	0.0000	6,305	0.0000
				Daño Total	0.0544		0.0867

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 78 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tridem en el año 2015, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 78

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2015

Carga (ton)	Ejes Tridem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	0	7	12	109,106,828,332	0.0000	14,589,636,439,872	0.0000
1.5	32	20	37	3,446,512,558	0.0000	94,340,851,054	0.0000
2.5	12	34	62	601,135,623	0.0000	9,354,085,054	0.0000
3.5	6	47	87	207,107,359	0.0000	2,052,632,564	0.0000
4.5	86	61	112	87,811,035	0.0000	662,506,008	0.0000
5.5	610	74	137	46,497,327	0.0000	268,807,220	0.0000
6.5	1055	88	162	26,289,184	0.0000	126,922,959	0.0000
7.5	979	101	187	16,705,056	0.0001	66,758,110	0.0000
8.5	393	115	212	10,897,151	0.0000	38,065,651	0.0000
9.5	177	128	237	7,660,226	0.0000	23,109,501	0.0000
10.5	113	137	262	6,125,227	0.0000	14,750,408	0.0000
11.5	89	151	287	4,446,891	0.0000	9,808,479	0.0000
12.5	104	165	312	3,321,467	0.0000	6,748,524	0.0000
13.5	103	177	337	2,636,268	0.0000	4,779,031	0.0000
14.5	110	189	362	2,124,388	0.0001	3,468,971	0.0000
15.5	142	200	387	1,763,518	0.0001	2,572,509	0.0001
16.5	218	211	412	1,478,618	0.0001	1,943,766	0.0001
17.5	332	222	437	1,250,898	0.0003	1,493,150	0.0002
18.5	411	232	461	1,082,053	0.0004	1,175,303	0.0003
19.5	587	242	486	941,745	0.0006	927,830	0.0006
20.5	860	254	511	803,086	0.0011	741,205	0.0012
21.5	1112	265	536	698,502	0.0016	598,505	0.0019
22.5	1929	276	561	610,995	0.0032	488,014	0.0040
23.5	2870	287	586	537,255	0.0053	401,478	0.0071

24.5	2756	298	611	474,705	0.0058	332,991	0.0083
25.5	1784	309	636	421,324	0.0042	278,267	0.0064
26.5	916	320	661	375,510	0.0024	234,152	0.0039
27.5	372	330	686	339,344	0.0011	198,297	0.0019
28.5	133	340	711	307,590	0.0004	168,935	0.0008
29.5	31	350	736	279,603	0.0001	144,719	0.0002
30.5	9	360	761	254,846	0.0000	124,618	0.0001
31.5	2	370	786	232,872	0.0000	107,828	0.0000
32.5	4	379	811	215,163	0.0000	93,724	0.0000
33.5	0	389	836	197,490	0.0000	81,813	0.0000
34.5	0	398	861	183,170	0.0000	71,702	0.0000
35.5	1	409	886	167,451	0.0000	63,078	0.0000
36.5	0	418	911	155,876	0.0000	55,690	0.0000
37.5	0	427	935	145,322	0.0000	49,570	0.0000
38.5	0	435	960	136,710	0.0000	44,046	0.0000
39.5	0	444	985	127,800	0.0000	39,258	0.0000
				Daño Total	0.0272		0.0372

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 79 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple en el año 2016, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 79

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2015

Carga (ton)	Ejes Simple	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	105	59	53	97,993,126	0.0000	18,877,993,846	0.0000
1.5	1104	159	157	3,752,076	0.0003	146,048,185	0.0000
2.5	7686	237	259	1,008,725	0.0076	15,530,873	0.0005
3.5	8840	300	357	464,369	0.0190	3,691,844	0.0024
4.5	10682	351	453	276,990	0.0386	1,271,122	0.0084
5.5	16193	392	546	192,560	0.0841	550,969	0.0294
6.5	11492	425	637	147,585	0.0779	276,316	0.0416
7.5	5711	451	725	121,388	0.0470	154,812	0.0369
8.5	390	473	811	103,777	0.0038	93,724	0.0042
9.5	38	490	895	92,392	0.0004	60,287	0.0006
10.5	6	503	977	84,764	0.0001	40,717	0.0001
11.5	3	514	1056	78,939	0.0000	28,747	0.0001
12.5	0	522	1134	75,027	0.0000	20,895	0.0000
13.5	0	528	1209	72,257	0.0000	15,686	0.0000

14.5	0	532	1283	70,485	0.0000	12,023	0.0000
15.5	0	535	1354	69,192	0.0000	9,447	0.0000
16.5	0	536	1424	68,768	0.0000	7,538	0.0000
17.5	0	537	1493	68,348	0.0000	6,099	0.0000
18.5	0	537	1559	68,348	0.0000	5,025	0.0000
19.5	0	535	1624	69,192	0.0000	4,185	0.0000
20.5	0	534	1688	69,620	0.0000	3,520	0.0000
21.5	0	531	1750	70,922	0.0000	2,995	0.0000
22.5	0	529	1810	71,809	0.0000	2,576	0.0000
23.5	0	525	1869	73,625	0.0000	2,231	0.0000
24.5	0	522	1927	75,027	0.0000	1,946	0.0000
25.5	0	518	1983	76,950	0.0000	1,712	0.0000
26.5	0	514	2038	78,939	0.0000	1,514	0.0000
27.5	0	510	2092	80,995	0.0000	1,347	0.0000
28.5	0	505	2144	83,664	0.0000	1,207	0.0000
29.5	0	500	2195	86,449	0.0000	1,086	0.0000
30.5	0	496	2245	88,765	0.0000	982	0.0000
31.5	0	491	2294	91,774	0.0000	892	0.0000
32.5	0	486	2342	94,918	0.0000	813	0.0000
33.5	0	481	2389	98,204	0.0000	743	0.0000
34.5	0	476	2435	101,640	0.0000	683	0.0000
35.5	0	471	2480	105,234	0.0000	629	0.0000
36.5	0	466	2524	108,996	0.0000	581	0.0000
37.5	0	461	2566	112,935	0.0000	540	0.0000
38.5	0	456	2608	117,062	0.0000	502	0.0000
39.5	0	451	2649	121,388	0.0000	468	0.0000
				Daño Total	0.2788		0.1242

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 80 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple Dual en el año 2016, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 80
Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2016

Carga (ton)	Ejes Simple Dual	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	153	20	38	3,446,512,558	0.0000	83,723,571,503	0.0000
1.5	962	61	114	87,811,035	0.0000	612,034,479	0.0000
2.5	4171	100	189	17,261,144	0.0002	63,653,078	0.0001
3.5	4401	140	265	5,703,773	0.0008	14,017,389	0.0003
4.5	3343	180	341	2,494,410	0.0013	4,533,124	0.0007

5.5	2505	213	417	1,433,416	0.0017	1,841,577	0.0014
6.5	1900	244	492	916,578	0.0021	878,236	0.0022
7.5	2019	278	568	596,648	0.0034	461,659	0.0044
8.5	2910	311	644	412,473	0.0071	263,122	0.0111
9.5	3297	343	719	298,825	0.0110	160,681	0.0205
10.5	2554	372	795	228,777	0.0112	102,470	0.0249
11.5	1567	401	871	178,699	0.0088	68,089	0.0230
12.5	634	430	947	142,012	0.0045	46,819	0.0135
13.5	178	456	1022	117,062	0.0015	33,283	0.0053
14.5	66	482	1098	97,535	0.0007	24,141	0.0027
15.5	40	508	1174	82,049	0.0005	17,891	0.0022
16.5	26	532	1250	70,485	0.0004	13,511	0.0019
17.5	17	555	1325	61,320	0.0003	10,408	0.0016
18.5	3	578	1401	53,649	0.0001	8,108	0.0004
19.5	2	599	1477	47,704	0.0000	6,401	0.0003
20.5	0	618	1553	43,045	0.0000	5,113	0.0000
21.5	0	637	1628	38,962	0.0000	4,140	0.0000
22.5	0	656	1704	35,370	0.0000	3,375	0.0000
23.5	0	674	1780	32,356	0.0000	2,776	0.0000
24.5	0	691	1855	29,809	0.0000	2,308	0.0000
25.5	0	708	1931	27,518	0.0000	1,928	0.0000
26.5	0	724	2007	25,566	0.0000	1,622	0.0000
27.5	0	738	2083	24,005	0.0000	1,373	0.0000
28.5	0	751	2158	22,664	0.0000	1,172	0.0000
29.5	0	763	2234	21,512	0.0000	1,004	0.0000
30.5	0	776	2310	20,349	0.0000	864	0.0000
31.5	0	787	2386	19,427	0.0000	748	0.0000
32.5	0	799	2461	18,484	0.0000	651	0.0000
33.5	0	809	2537	17,742	0.0000	568	0.0000
34.5	0	818	2613	17,108	0.0000	498	0.0000
35.5	0	827	2689	16,503	0.0000	438	0.0000
36.5	0	836	2764	15,925	0.0000	387	0.0000
37.5	0	844	2840	15,434	0.0000	343	0.0000
38.5	0	852	2916	14,962	0.0000	305	0.0000
39.5	0	860	2992	14,509	0.0000	271	0.0000
				Daño Total	0.0555		0.1166

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 81 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tandem en el año 2016, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 81

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2016

Carga (ton)	Ejes Tandem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_C ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	7	10	19	33,734,135,185	0.0000	1,864,485,614,532	0.0000
1.5	32	30	56	907,535,311	0.0000	14,753,705,542	0.0000
2.5	39	51	94	158,290,967	0.0000	1,451,595,148	0.0000
3.5	251	71	131	53,281,735	0.0000	328,484,830	0.0000
4.5	1035	91	169	23,543,139	0.0000	105,024,381	0.0000
5.5	3535	111	206	12,243,671	0.0003	43,286,788	0.0001
6.5	4944	132	244	6,922,465	0.0007	20,285,918	0.0002
7.5	3734	152	281	4,351,333	0.0009	10,781,538	0.0003
8.5	1305	168	319	3,130,233	0.0004	6,110,377	0.0002
9.5	1097	186	356	2,239,249	0.0005	3,738,499	0.0003
10.5	1024	203	394	1,679,191	0.0006	2,374,118	0.0004
11.5	918	219	432	1,308,181	0.0007	1,572,093	0.0006
12.5	1220	235	469	1,037,254	0.0012	1,088,173	0.0011
13.5	1668	252	507	824,253	0.0020	767,747	0.0022
14.5	2319	268	544	673,097	0.0034	560,096	0.0041
15.5	2432	285	582	549,763	0.0044	413,979	0.0059
16.5	3792	301	619	459,311	0.0083	314,152	0.0121
17.5	5331	317	657	387,332	0.0138	240,602	0.0222
18.5	4668	332	694	332,663	0.0140	188,266	0.0248
19.5	2375	348	732	284,926	0.0083	148,294	0.0160
20.5	632	363	769	247,980	0.0025	118,918	0.0053
21.5	168	377	807	218,943	0.0008	95,822	0.0018
22.5	59	391	844	194,185	0.0003	78,398	0.0008
23.5	30	406	882	171,558	0.0002	64,369	0.0005
24.5	13	420	919	153,446	0.0001	53,552	0.0002
25.5	10	433	957	138,800	0.0001	44,668	0.0002
26.5	7	446	994	125,924	0.0001	37,691	0.0002
27.5	1	459	1032	114,563	0.0000	31,864	0.0000
28.5	2	472	1069	104,502	0.0000	27,215	0.0001
29.5	1	485	1107	95,564	0.0000	23,275	0.0000
30.5	0	497	1145	88,178	0.0000	20,011	0.0000
31.5	0	509	1182	81,519	0.0000	17,355	0.0000
32.5	1	522	1220	75,027	0.0000	15,063	0.0001
33.5	0	533	1257	70,050	0.0000	13,177	0.0000
34.5	0	545	1295	65,101	0.0000	11,532	0.0000
35.5	0	557	1332	60,598	0.0000	10,166	0.0000
36.5	0	568	1370	56,821	0.0000	8,963	0.0000
37.5	0	579	1407	53,345	0.0000	7,955	0.0000
38.5	0	589	1445	50,422	0.0000	7,060	0.0000
39.5	0	599	1482	47,704	0.0000	6,305	0.0000
				Daño Total	0.0636		0.0997

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 82 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tridem en el año 2016, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 82

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2016

Carga (ton)	Ejes Tridem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	0	7	12	109,106,828,332	0.0000	14,589,636,439,872	0.0000
1.5	2	20	37	3,446,512,558	0.0000	94,340,851,054	0.0000
2.5	0	34	62	601,135,623	0.0000	9,354,085,054	0.0000
3.5	3	47	87	207,107,359	0.0000	2,052,632,564	0.0000
4.5	121	61	112	87,811,035	0.0000	662,506,008	0.0000
5.5	843	74	137	46,497,327	0.0000	268,807,220	0.0000
6.5	1282	88	162	26,289,184	0.0000	126,922,959	0.0000
7.5	1006	101	187	16,705,056	0.0001	66,758,110	0.0000
8.5	342	115	212	10,897,151	0.0000	38,065,651	0.0000
9.5	161	128	237	7,660,226	0.0000	23,109,501	0.0000
10.5	132	137	262	6,125,227	0.0000	14,750,408	0.0000
11.5	137	151	287	4,446,891	0.0000	9,808,479	0.0000
12.5	167	165	312	3,321,467	0.0001	6,748,524	0.0000
13.5	181	177	337	2,636,268	0.0001	4,779,031	0.0000
14.5	163	189	362	2,124,388	0.0001	3,468,971	0.0000
15.5	184	200	387	1,763,518	0.0001	2,572,509	0.0001
16.5	214	211	412	1,478,618	0.0001	1,943,766	0.0001
17.5	377	222	437	1,250,898	0.0003	1,493,150	0.0003
18.5	625	232	461	1,082,053	0.0006	1,175,303	0.0005
19.5	998	242	486	941,745	0.0011	927,830	0.0011
20.5	1333	254	511	803,086	0.0017	741,205	0.0018
21.5	1449	265	536	698,502	0.0021	598,505	0.0024
22.5	2136	276	561	610,995	0.0035	488,014	0.0044
23.5	3365	287	586	537,255	0.0063	401,478	0.0084
24.5	3558	298	611	474,705	0.0075	332,991	0.0107
25.5	2347	309	636	421,324	0.0056	278,267	0.0084
26.5	1086	320	661	375,510	0.0029	234,152	0.0046
27.5	382	330	686	339,344	0.0011	198,297	0.0019
28.5	124	340	711	307,590	0.0004	168,935	0.0007
29.5	31	350	736	279,603	0.0001	144,719	0.0002
30.5	13	360	761	254,846	0.0001	124,618	0.0001
31.5	2	370	786	232,872	0.0000	107,828	0.0000
32.5	1	379	811	215,163	0.0000	93,724	0.0000
33.5	0	389	836	197,490	0.0000	81,813	0.0000

34.5	0	398	861	183,170	0.0000	71,702	0.0000
35.5	0	409	886	167,451	0.0000	63,078	0.0000
36.5	2	418	911	155,876	0.0000	55,690	0.0000
37.5	0	427	935	145,322	0.0000	49,570	0.0000
38.5	0	435	960	136,710	0.0000	44,046	0.0000
39.5	0	444	985	127,800	0.0000	39,258	0.0000
				Daño Total	0.0338		0.0460

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 83 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple en el año 2017, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 83

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2017

Carga (ton)	Ejes Simple	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	62	59	53	97,993,126	0.0000	18,877,993,846	0.0000
1.5	861	159	157	3,752,076	0.0002	146,048,185	0.0000
2.5	6391	237	259	1,008,725	0.0063	15,530,873	0.0004
3.5	8076	300	357	464,369	0.0174	3,691,844	0.0022
4.5	11399	351	453	276,990	0.0412	1,271,122	0.0090
5.5	18312	392	546	192,560	0.0951	550,969	0.0332
6.5	14303	425	637	147,585	0.0969	276,316	0.0518
7.5	6309	451	725	121,388	0.0520	154,812	0.0408
8.5	506	473	811	103,777	0.0049	93,724	0.0054
9.5	73	490	895	92,392	0.0008	60,287	0.0012
10.5	13	503	977	84,764	0.0002	40,717	0.0003
11.5	2	514	1056	78,939	0.0000	28,747	0.0001
12.5	0	522	1134	75,027	0.0000	20,895	0.0000
13.5	0	528	1209	72,257	0.0000	15,686	0.0000
14.5	0	532	1283	70,485	0.0000	12,023	0.0000
15.5	0	535	1354	69,192	0.0000	9,447	0.0000
16.5	0	536	1424	68,768	0.0000	7,538	0.0000
17.5	0	537	1493	68,348	0.0000	6,099	0.0000
18.5	0	537	1559	68,348	0.0000	5,025	0.0000
19.5	0	535	1624	69,192	0.0000	4,185	0.0000
20.5	0	534	1688	69,620	0.0000	3,520	0.0000
21.5	0	531	1750	70,922	0.0000	2,995	0.0000
22.5	0	529	1810	71,809	0.0000	2,576	0.0000
23.5	0	525	1869	73,625	0.0000	2,231	0.0000
24.5	0	522	1927	75,027	0.0000	1,946	0.0000

25.5	0	518	1983	76,950	0.0000	1,712	0.0000
26.5	0	514	2038	78,939	0.0000	1,514	0.0000
27.5	0	510	2092	80,995	0.0000	1,347	0.0000
28.5	0	505	2144	83,664	0.0000	1,207	0.0000
29.5	0	500	2195	86,449	0.0000	1,086	0.0000
30.5	0	496	2245	88,765	0.0000	982	0.0000
31.5	0	491	2294	91,774	0.0000	892	0.0000
32.5	0	486	2342	94,918	0.0000	813	0.0000
33.5	0	481	2389	98,204	0.0000	743	0.0000
34.5	0	476	2435	101,640	0.0000	683	0.0000
35.5	0	471	2480	105,234	0.0000	629	0.0000
36.5	0	466	2524	108,996	0.0000	581	0.0000
37.5	0	461	2566	112,935	0.0000	540	0.0000
38.5	0	456	2608	117,062	0.0000	502	0.0000
39.5	0	451	2649	121,388	0.0000	468	0.0000
				Daño Total	0.3149		0.1443

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 84 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple Dual en el año 2017, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 84

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2017

Carga (ton)	Ejes Simple Dual	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	94	20	38	3,446,512,558	0.0000	83,723,571,503	0.0000
1.5	783	61	114	87,811,035	0.0000	612,034,479	0.0000
2.5	3583	100	189	17,261,144	0.0002	63,653,078	0.0001
3.5	3788	140	265	5,703,773	0.0007	14,017,389	0.0003
4.5	3003	180	341	2,494,410	0.0012	4,533,124	0.0007
5.5	2436	213	417	1,433,416	0.0017	1,841,577	0.0013
6.5	1887	244	492	916,578	0.0021	878,236	0.0021
7.5	2055	278	568	596,648	0.0034	461,659	0.0045
8.5	2368	311	644	412,473	0.0057	263,122	0.0090
9.5	2582	343	719	298,825	0.0086	160,681	0.0161
10.5	2038	372	795	228,777	0.0089	102,470	0.0199
11.5	1331	401	871	178,699	0.0074	68,089	0.0195
12.5	552	430	947	142,012	0.0039	46,819	0.0118
13.5	171	456	1022	117,062	0.0015	33,283	0.0051
14.5	82	482	1098	97,535	0.0008	24,141	0.0034
15.5	41	508	1174	82,049	0.0005	17,891	0.0023

16.5	22	532	1250	70,485	0.0003	13,511	0.0016
17.5	11	555	1325	61,320	0.0002	10,408	0.0011
18.5	2	578	1401	53,649	0.0000	8,108	0.0002
19.5	1	599	1477	47,704	0.0000	6,401	0.0002
20.5	0	618	1553	43,045	0.0000	5,113	0.0000
21.5	0	637	1628	38,962	0.0000	4,140	0.0000
22.5	0	656	1704	35,370	0.0000	3,375	0.0000
23.5	0	674	1780	32,356	0.0000	2,776	0.0000
24.5	0	691	1855	29,809	0.0000	2,308	0.0000
25.5	0	708	1931	27,518	0.0000	1,928	0.0000
26.5	0	724	2007	25,566	0.0000	1,622	0.0000
27.5	0	738	2083	24,005	0.0000	1,373	0.0000
28.5	0	751	2158	22,664	0.0000	1,172	0.0000
29.5	0	763	2234	21,512	0.0000	1,004	0.0000
30.5	0	776	2310	20,349	0.0000	864	0.0000
31.5	0	787	2386	19,427	0.0000	748	0.0000
32.5	0	799	2461	18,484	0.0000	651	0.0000
33.5	0	809	2537	17,742	0.0000	568	0.0000
34.5	0	818	2613	17,108	0.0000	498	0.0000
35.5	0	827	2689	16,503	0.0000	438	0.0000
36.5	0	836	2764	15,925	0.0000	387	0.0000
37.5	0	844	2840	15,434	0.0000	343	0.0000
38.5	0	852	2916	14,962	0.0000	305	0.0000
39.5	0	860	2992	14,509	0.0000	271	0.0000
				Daño Total	0.0473		0.0991

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 85 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tandem en el año 2017, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 85

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2017

Carga (ton)	Ejes Tandem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	4	10	19	33,734,135,185	0.0000	1,864,485,614,532	0.0000
1.5	25	30	56	907,535,311	0.0000	14,753,705,542	0.0000
2.5	59	51	94	158,290,967	0.0000	1,451,595,148	0.0000
3.5	331	71	131	53,281,735	0.0000	328,484,830	0.0000
4.5	1328	91	169	23,543,139	0.0001	105,024,381	0.0000
5.5	5399	111	206	12,243,671	0.0004	43,286,788	0.0001
6.5	6492	132	244	6,922,465	0.0009	20,285,918	0.0003

7.5	4563	152	281	4,351,333	0.0010	10,781,538	0.0004
8.5	1879	168	319	3,130,233	0.0006	6,110,377	0.0003
9.5	3340	186	356	2,239,249	0.0015	3,738,499	0.0009
10.5	1484	203	394	1,679,191	0.0009	2,374,118	0.0006
11.5	1034	219	432	1,308,181	0.0008	1,572,093	0.0007
12.5	1379	235	469	1,037,254	0.0013	1,088,173	0.0013
13.5	2009	252	507	824,253	0.0024	767,747	0.0026
14.5	2819	268	544	673,097	0.0042	560,096	0.0050
15.5	2899	285	582	549,763	0.0053	413,979	0.0070
16.5	4444	301	619	459,311	0.0097	314,152	0.0141
17.5	5942	317	657	387,332	0.0153	240,602	0.0247
18.5	5195	332	694	332,663	0.0156	188,266	0.0276
19.5	2550	348	732	284,926	0.0089	148,294	0.0172
20.5	836	363	769	247,980	0.0034	118,918	0.0070
21.5	198	377	807	218,943	0.0009	95,822	0.0021
22.5	77	391	844	194,185	0.0004	78,398	0.0010
23.5	37	406	882	171,558	0.0002	64,369	0.0006
24.5	21	420	919	153,446	0.0001	53,552	0.0004
25.5	13	433	957	138,800	0.0001	44,668	0.0003
26.5	26	446	994	125,924	0.0002	37,691	0.0007
27.5	18	459	1032	114,563	0.0002	31,864	0.0006
28.5	19	472	1069	104,502	0.0002	27,215	0.0007
29.5	10	485	1107	95,564	0.0001	23,275	0.0004
30.5	13	497	1145	88,178	0.0001	20,011	0.0006
31.5	8	509	1182	81,519	0.0001	17,355	0.0005
32.5	5	522	1220	75,027	0.0001	15,063	0.0003
33.5	1	533	1257	70,050	0.0000	13,177	0.0001
34.5	1	545	1295	65,101	0.0000	11,532	0.0001
35.5	0	557	1332	60,598	0.0000	10,166	0.0000
36.5	0	568	1370	56,821	0.0000	8,963	0.0000
37.5	1	579	1407	53,345	0.0000	7,955	0.0001
38.5	0	589	1445	50,422	0.0000	7,060	0.0000
39.5	0	599	1482	47,704	0.0000	6,305	0.0000
				Daño Total	0.0752		0.1184

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 86 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tridem en el año 2017, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 86

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2017

Carga (ton)	Ejes Tridem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_C ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	0	7	12	109,106,828,332	0.0000	14,589,636,439,872	0.0000
1.5	0	20	37	3,446,512,558	0.0000	94,340,851,054	0.0000
2.5	0	34	62	601,135,623	0.0000	9,354,085,054	0.0000
3.5	2	47	87	207,107,359	0.0000	2,052,632,564	0.0000
4.5	183	61	112	87,811,035	0.0000	662,506,008	0.0000
5.5	985	74	137	46,497,327	0.0000	268,807,220	0.0000
6.5	1213	88	162	26,289,184	0.0000	126,922,959	0.0000
7.5	909	101	187	16,705,056	0.0001	66,758,110	0.0000
8.5	402	115	212	10,897,151	0.0000	38,065,651	0.0000
9.5	194	128	237	7,660,226	0.0000	23,109,501	0.0000
10.5	178	137	262	6,125,227	0.0000	14,750,408	0.0000
11.5	151	151	287	4,446,891	0.0000	9,808,479	0.0000
12.5	195	165	312	3,321,467	0.0001	6,748,524	0.0000
13.5	189	177	337	2,636,268	0.0001	4,779,031	0.0000
14.5	186	189	362	2,124,388	0.0001	3,468,971	0.0001
15.5	171	200	387	1,763,518	0.0001	2,572,509	0.0001
16.5	211	211	412	1,478,618	0.0001	1,943,766	0.0001
17.5	322	222	437	1,250,898	0.0003	1,493,150	0.0002
18.5	632	232	461	1,082,053	0.0006	1,175,303	0.0005
19.5	1243	242	486	941,745	0.0013	927,830	0.0013
20.5	1670	254	511	803,086	0.0021	741,205	0.0023
21.5	1598	265	536	698,502	0.0023	598,505	0.0027
22.5	2278	276	561	610,995	0.0037	488,014	0.0047
23.5	4064	287	586	537,255	0.0076	401,478	0.0101
24.5	3952	298	611	474,705	0.0083	332,991	0.0119
25.5	2445	309	636	421,324	0.0058	278,267	0.0088
26.5	1189	320	661	375,510	0.0032	234,152	0.0051
27.5	544	330	686	339,344	0.0016	198,297	0.0027
28.5	173	340	711	307,590	0.0006	168,935	0.0010
29.5	62	350	736	279,603	0.0002	144,719	0.0004
30.5	20	360	761	254,846	0.0001	124,618	0.0002
31.5	4	370	786	232,872	0.0000	107,828	0.0000
32.5	3	379	811	215,163	0.0000	93,724	0.0000
33.5	2	389	836	197,490	0.0000	81,813	0.0000
34.5	0	398	861	183,170	0.0000	71,702	0.0000
35.5	0	409	886	167,451	0.0000	63,078	0.0000
36.5	0	418	911	155,876	0.0000	55,690	0.0000
37.5	0	427	935	145,322	0.0000	49,570	0.0000
38.5	0	435	960	136,710	0.0000	44,046	0.0000
39.5	0	444	985	127,800	0.0000	39,258	0.0000
				Daño Total	0.0383		0.0524

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 87 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple en el año 2018, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 87

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple año 2018

Carga (ton)	Ejes Simple	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	1198	59	53	97,993,126	0.0000	18,877,993,846	0.0000
1.5	573	159	157	3,752,076	0.0002	146,048,185	0.0000
2.5	5079	237	259	1,008,725	0.0050	15,530,873	0.0003
3.5	6748	300	357	464,369	0.0145	3,691,844	0.0018
4.5	9915	351	453	276,990	0.0358	1,271,122	0.0078
5.5	18835	392	546	192,560	0.0978	550,969	0.0342
6.5	11628	425	637	147,585	0.0788	276,316	0.0421
7.5	6949	451	725	121,388	0.0572	154,812	0.0449
8.5	628	473	811	103,777	0.0061	93,724	0.0067
9.5	65	490	895	92,392	0.0007	60,287	0.0011
10.5	5	503	977	84,764	0.0001	40,717	0.0001
11.5	3	514	1056	78,939	0.0000	28,747	0.0001
12.5	0	522	1134	75,027	0.0000	20,895	0.0000
13.5	1	528	1209	72,257	0.0000	15,686	0.0001
14.5	0	532	1283	70,485	0.0000	12,023	0.0000
15.5	0	535	1354	69,192	0.0000	9,447	0.0000
16.5	0	536	1424	68,768	0.0000	7,538	0.0000
17.5	0	537	1493	68,348	0.0000	6,099	0.0000
18.5	0	537	1559	68,348	0.0000	5,025	0.0000
19.5	0	535	1624	69,192	0.0000	4,185	0.0000
20.5	0	534	1688	69,620	0.0000	3,520	0.0000
21.5	0	531	1750	70,922	0.0000	2,995	0.0000
22.5	0	529	1810	71,809	0.0000	2,576	0.0000
23.5	0	525	1869	73,625	0.0000	2,231	0.0000
24.5	0	522	1927	75,027	0.0000	1,946	0.0000
25.5	0	518	1983	76,950	0.0000	1,712	0.0000
26.5	0	514	2038	78,939	0.0000	1,514	0.0000
27.5	0	510	2092	80,995	0.0000	1,347	0.0000
28.5	0	505	2144	83,664	0.0000	1,207	0.0000
29.5	0	500	2195	86,449	0.0000	1,086	0.0000
30.5	0	496	2245	88,765	0.0000	982	0.0000
31.5	0	491	2294	91,774	0.0000	892	0.0000
32.5	0	486	2342	94,918	0.0000	813	0.0000
33.5	0	481	2389	98,204	0.0000	743	0.0000

34.5	0	476	2435	101,640	0.0000	683	0.0000
35.5	0	471	2480	105,234	0.0000	629	0.0000
36.5	0	466	2524	108,996	0.0000	581	0.0000
37.5	0	461	2566	112,935	0.0000	540	0.0000
38.5	0	456	2608	117,062	0.0000	502	0.0000
39.5	0	451	2649	121,388	0.0000	468	0.0000
				Daño Total	0.2962		0.1392

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 88 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Simple Dual en el año 2018, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 88

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Simple Dual año 2018

Carga (ton)	Ejes Simple Dual	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	1421	20	38	3,446,512,558	0.0000	83,723,571,503	0.0000
1.5	666	61	114	87,811,035	0.0000	612,034,479	0.0000
2.5	2921	100	189	17,261,144	0.0002	63,653,078	0.0000
3.5	3321	140	265	5,703,773	0.0006	14,017,389	0.0002
4.5	2752	180	341	2,494,410	0.0011	4,533,124	0.0006
5.5	2297	213	417	1,433,416	0.0016	1,841,577	0.0012
6.5	1802	244	492	916,578	0.0020	878,236	0.0021
7.5	1846	278	568	596,648	0.0031	461,659	0.0040
8.5	2055	311	644	412,473	0.0050	263,122	0.0078
9.5	1850	343	719	298,825	0.0062	160,681	0.0115
10.5	1936	372	795	228,777	0.0085	102,470	0.0189
11.5	1275	401	871	178,699	0.0071	68,089	0.0187
12.5	580	430	947	142,012	0.0041	46,819	0.0124
13.5	168	456	1022	117,062	0.0014	33,283	0.0050
14.5	68	482	1098	97,535	0.0007	24,141	0.0028
15.5	32	508	1174	82,049	0.0004	17,891	0.0018
16.5	26	532	1250	70,485	0.0004	13,511	0.0019
17.5	14	555	1325	61,320	0.0002	10,408	0.0013
18.5	3	578	1401	53,649	0.0001	8,108	0.0004
19.5	5	599	1477	47,704	0.0001	6,401	0.0008
20.5	0	618	1553	43,045	0.0000	5,113	0.0000
21.5	0	637	1628	38,962	0.0000	4,140	0.0000
22.5	0	656	1704	35,370	0.0000	3,375	0.0000
23.5	0	674	1780	32,356	0.0000	2,776	0.0000
24.5	0	691	1855	29,809	0.0000	2,308	0.0000

25.5	0	708	1931	27,518	0.0000	1,928	0.0000
26.5	0	724	2007	25,566	0.0000	1,622	0.0000
27.5	0	738	2083	24,005	0.0000	1,373	0.0000
28.5	0	751	2158	22,664	0.0000	1,172	0.0000
29.5	0	763	2234	21,512	0.0000	1,004	0.0000
30.5	0	776	2310	20,349	0.0000	864	0.0000
31.5	0	787	2386	19,427	0.0000	748	0.0000
32.5	0	799	2461	18,484	0.0000	651	0.0000
33.5	0	809	2537	17,742	0.0000	568	0.0000
34.5	0	818	2613	17,108	0.0000	498	0.0000
35.5	0	827	2689	16,503	0.0000	438	0.0000
36.5	0	836	2764	15,925	0.0000	387	0.0000
37.5	0	844	2840	15,434	0.0000	343	0.0000
38.5	0	852	2916	14,962	0.0000	305	0.0000
39.5	0	860	2992	14,509	0.0000	271	0.0000
				Daño Total	0.0427		0.0916

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 89 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tandem en el año 2018, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 89
Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tandem año 2018

Carga (ton)	Ejes Tandem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	63	10	19	33,734,135,185	0.0000	1,864,485,614,532	0.0000
1.5	324	30	56	907,535,311	0.0000	14,753,705,542	0.0000
2.5	193	51	94	158,290,967	0.0000	1,451,595,148	0.0000
3.5	482	71	131	53,281,735	0.0000	328,484,830	0.0000
4.5	1347	91	169	23,543,139	0.0001	105,024,381	0.0000
5.5	4846	111	206	12,243,671	0.0004	43,286,788	0.0001
6.5	6286	132	244	6,922,465	0.0009	20,285,918	0.0003
7.5	4843	152	281	4,351,333	0.0011	10,781,538	0.0004
8.5	2224	168	319	3,130,233	0.0007	6,110,377	0.0004
9.5	1800	186	356	2,239,249	0.0008	3,738,499	0.0005
10.5	1426	203	394	1,679,191	0.0008	2,374,118	0.0006
11.5	1269	219	432	1,308,181	0.0010	1,572,093	0.0008
12.5	1342	235	469	1,037,254	0.0013	1,088,173	0.0012
13.5	2079	252	507	824,253	0.0025	767,747	0.0027
14.5	3046	268	544	673,097	0.0045	560,096	0.0054
15.5	3446	285	582	549,763	0.0063	413,979	0.0083

16.5	4584	301	619	459,311	0.0100	314,152	0.0146
17.5	6531	317	657	387,332	0.0169	240,602	0.0271
18.5	5697	332	694	332,663	0.0171	188,266	0.0303
19.5	3012	348	732	284,926	0.0106	148,294	0.0203
20.5	1064	363	769	247,980	0.0043	118,918	0.0089
21.5	309	377	807	218,943	0.0014	95,822	0.0032
22.5	93	391	844	194,185	0.0005	78,398	0.0012
23.5	50	406	882	171,558	0.0003	64,369	0.0008
24.5	22	420	919	153,446	0.0001	53,552	0.0004
25.5	5	433	957	138,800	0.0000	44,668	0.0001
26.5	3	446	994	125,924	0.0000	37,691	0.0001
27.5	0	459	1032	114,563	0.0000	31,864	0.0000
28.5	0	472	1069	104,502	0.0000	27,215	0.0000
29.5	0	485	1107	95,564	0.0000	23,275	0.0000
30.5	0	497	1145	88,178	0.0000	20,011	0.0000
31.5	0	509	1182	81,519	0.0000	17,355	0.0000
32.5	0	522	1220	75,027	0.0000	15,063	0.0000
33.5	0	533	1257	70,050	0.0000	13,177	0.0000
34.5	0	545	1295	65,101	0.0000	11,532	0.0000
35.5	0	557	1332	60,598	0.0000	10,166	0.0000
36.5	0	568	1370	56,821	0.0000	8,963	0.0000
37.5	0	579	1407	53,345	0.0000	7,955	0.0000
38.5	0	589	1445	50,422	0.0000	7,060	0.0000
39.5	0	599	1482	47,704	0.0000	6,305	0.0000
				Daño Total	0.0816		0.1279

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 90 muestra para diferentes niveles de carga desde 0.5 a 39.5 ton sobre el eje Tridem en el año 2018, la deformación tangencial debajo de la carpeta asfáltica y la deformación de compresión sobre la subrasante. Además muestra el número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente; y los niveles de daño real sobre el pavimento.

Tabla 90

Esfuerzo, deformación y daño por fatiga y deformación permanente por Ejes Tridem año 2018

Carga (ton)	Ejes Tridem	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	Fatiga N (Repet.)	Daño fatiga Ejes/Repet.	Deformación N (Repet.)	Daño deform. Ejes/Repet.
0.5	0	7	12	109,106,828,332	0.0000	14,589,636,439,872	0.0000
1.5	16	20	37	3,446,512,558	0.0000	94,340,851,054	0.0000
2.5	6	34	62	601,135,623	0.0000	9,354,085,054	0.0000
3.5	56	47	87	207,107,359	0.0000	2,052,632,564	0.0000
4.5	196	61	112	87,811,035	0.0000	662,506,008	0.0000
5.5	938	74	137	46,497,327	0.0000	268,807,220	0.0000
6.5	1332	88	162	26,289,184	0.0001	126,922,959	0.0000

7.5	1053	101	187	16,705,056	0.0001	66,758,110	0.0000
8.5	655	115	212	10,897,151	0.0001	38,065,651	0.0000
9.5	338	128	237	7,660,226	0.0000	23,109,501	0.0000
10.5	311	137	262	6,125,227	0.0001	14,750,408	0.0000
11.5	297	151	287	4,446,891	0.0001	9,808,479	0.0000
12.5	272	165	312	3,321,467	0.0001	6,748,524	0.0000
13.5	256	177	337	2,636,268	0.0001	4,779,031	0.0001
14.5	232	189	362	2,124,388	0.0001	3,468,971	0.0001
15.5	294	200	387	1,763,518	0.0002	2,572,509	0.0001
16.5	356	211	412	1,478,618	0.0002	1,943,766	0.0002
17.5	463	222	437	1,250,898	0.0004	1,493,150	0.0003
18.5	736	232	461	1,082,053	0.0007	1,175,303	0.0006
19.5	1244	242	486	941,745	0.0013	927,830	0.0013
20.5	1779	254	511	803,086	0.0022	741,205	0.0024
21.5	1861	265	536	698,502	0.0027	598,505	0.0031
22.5	2475	276	561	610,995	0.0041	488,014	0.0051
23.5	4203	287	586	537,255	0.0078	401,478	0.0105
24.5	4325	298	611	474,705	0.0091	332,991	0.0130
25.5	2988	309	636	421,324	0.0071	278,267	0.0107
26.5	1486	320	661	375,510	0.0040	234,152	0.0063
27.5	705	330	686	339,344	0.0021	198,297	0.0036
28.5	254	340	711	307,590	0.0008	168,935	0.0015
29.5	75	350	736	279,603	0.0003	144,719	0.0005
30.5	15	360	761	254,846	0.0001	124,618	0.0001
31.5	7	370	786	232,872	0.0000	107,828	0.0001
32.5	3	379	811	215,163	0.0000	93,724	0.0000
33.5	0	389	836	197,490	0.0000	81,813	0.0000
34.5	0	398	861	183,170	0.0000	71,702	0.0000
35.5	0	409	886	167,451	0.0000	63,078	0.0000
36.5	0	418	911	155,876	0.0000	55,690	0.0000
37.5	0	427	935	145,322	0.0000	49,570	0.0000
38.5	0	435	960	136,710	0.0000	44,046	0.0000
39.5	0	444	985	127,800	0.0000	39,258	0.0000
				Daño Total	0.0436		0.0598

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, en las tablas anteriores se presentó el Daño por fatiga y deformación permanente que causa cada tipo de eje en cada año. En las Tablas siguientes se presenta el resumen de los cálculos realizados líneas arriba.

La Tabla 91 muestra el resumen del daño por fatiga parciales por ejes y totales por año, así como la vida útil.

Tabla 91
Daño por fatiga y tipo de eje para el periodo 2012-2018

Eje	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
Simple	0.377	0.339	0.295	0.260	0.279	0.315	0.296	0.309
Simple Dual	0.100	0.073	0.061	0.061	0.055	0.047	0.043	0.063
Tandem	0.062	0.066	0.065	0.054	0.064	0.075	0.082	0.067
Tridem	0.032	0.033	0.029	0.027	0.034	0.038	0.044	0.034
Daño total:	0.570	0.511	0.449	0.403	0.432	0.476	0.464	0.472
Vida útil (años)	1.755	1.959	2.228	2.482	2.316	2.102	2.154	<u>2.142</u>

Fuente: Elaboración propia

Esta Tabla 91 resumen el daño y vida útil promedio, el daño es 0.472 y la vida útil es 2.142 años. Según con la teoría de Miner este es el tiempo para que se produzca un 10% de fisuras en el pavimento.

La Tabla 92 muestra el resumen del daño por deformación permanente parciales por ejes y totales por año, así como la vida útil.

Tabla 92
Daño por deformación permanente y tipo de eje para el periodo 2012-2018

Eje	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
Simple	0.197	0.161	0.137	0.123	0.124	0.144	0.139	0.146
Simple Dual	0.224	0.150	0.119	0.131	0.117	0.099	0.092	0.133
Tandem	0.106	0.105	0.115	0.087	0.100	0.118	0.128	0.108
Tridem	0.043	0.045	0.039	0.037	0.046	0.052	0.060	0.046
Daño total:	0.570	0.461	0.409	0.377	0.387	0.414	0.418	0.434
Vida útil (años)	1.755	2.169	2.444	2.649	2.587	2.414	2.390	<u>2.344</u>

Fuente: Elaboración propia

Esta Tabla 92 resumen el daño y vida útil promedio, el daño es 0.434 y la vida útil es 2.344 años. Según con la teoría de Miner este es el tiempo para que se produzca un 10% de deformación permanente admisible.

En la siguiente sección analizaremos estos resultados.

Los cálculos de esfuerzos y deformaciones fueron realizados con un programa desarrollado por el Instituto Mexicano de Transporte IMT de México. La Figura 22 muestra la presentación del programa sobre la plataforma Excel.

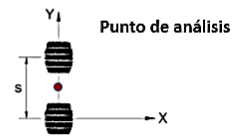
ANÁLISIS INDIVIDUAL

CONDICIONES DE CARGA (CC)	
Peso del eje (Ton) =	11
Tipo de eje:	Sencillo Dual

Numero de capas:	4
------------------	---

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
No. Capa	Nombre Capa	Espesor (cm)	Módulo (MPa)
1	Carpeta Asfált.	7.5	3103
2	Base Granular	20	211
3	SubBase Granul.	20	116
4	Relleno Estruct.		91
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Dimensiones	
D (cm) =	122.0
S (cm) =	36.0
Punto de análisis	
X (cm) =	0
Y (cm) =	18



Análisis Individual

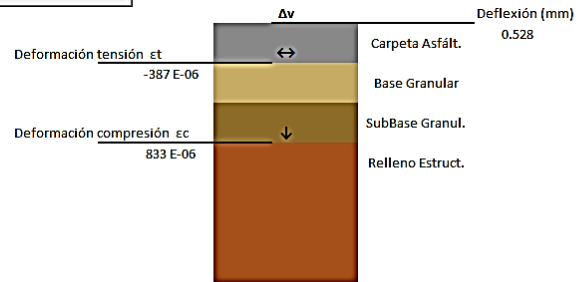


Figura 22
Programa del Instituto Mexicano de Transporte para el cálculo de las deformaciones en el pavimento

4.2 Análisis de resultados

4.2.1 Series históricas de conteo y pesaje vehicular y espectro de carga

Para lograr el objetivo 1 de la presente investigación: Determinar los Espectros de Carga del tráfico vehicular a fin de incluirlo en la normativa vigente.

Se analiza y explica a través de los resultados obtenidos a partir de las series históricas de conteo y pesaje vehicular y los Espectros de Carga.

4.2.1.1 Tipo y conteo vehicular pesado en la Estación Ccatuyo

El tráfico pesado característico es determinado por las configuraciones de vehículos pesados de mayor incidencia en carga. En la Tabla 93 se presenta los tipos vehiculares que representan el 93% del total de vehículos pesados que cruza la estación Ccatuyo en su viaje.

Tabla 93

Tipo de vehículos que transitan en los 2 sentidos por la Estación de pesaje Ccatuyo

TIPO	PORCENTAJE
B2	13%
B3-1	6%
C2	17%
C3	7%
T2S2	1%
T2S3	1%
T3S2	8%
T3S3	38%
T3Se2	1%
TOTAL	93%

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, estos tipos vehiculares son los más representativos, y siguen en un porcentaje menor los camiones acoplados con carretas tipo tráiler con los cuales completan el 100% de la muestra.

En la presente investigación se han considerado todo el universo de vehículos pesados en el periodo 2012 al 2018 en transitaron por la Estación Ccatuyo.

La Tabla 94 muestra el total de ejes por año desde el 2012 hasta 2018 por los 2 sentidos por la Estación de pesaje Ccatuyo.

Tabla 94
Repeticiones de ejes por año

Ejes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio	Total
Simple	78,070	74,321	65,377	56,547	62,250	66,307	61,627	66,357	464,499
Simple Dual	46,457	40,655	34,495	30,466	30,748	26,830	25,038	33,527	234,689
Tandem	36,949	41,434	40,010	34,629	42,650	54,459	56,386	43,788	306,517
Tridem	21,917	22,694	19,771	18,338	22,767	25,370	29,227	22,869	160,084
Total	183,393	179,104	159,653	139,980	158,415	172,966	172,278		1,165,789

Fuente: Elaboración propia

Esta Tabla 94 se puede apreciar mejor en la siguiente Figura 23 en porcentajes.

La Figura 23 muestra los tipos de ejes y los porcentajes promedio entre los años 2012 al 2018.

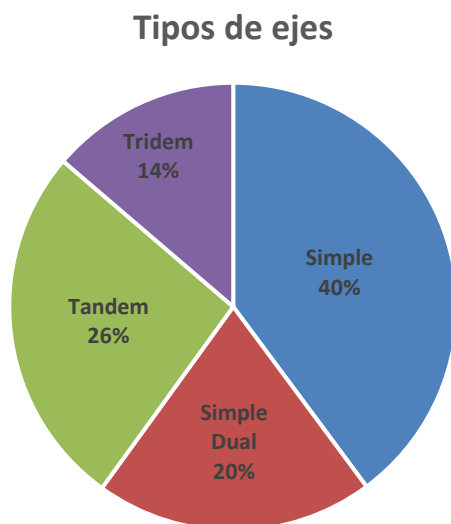


Figura 23: Porcentaje promedio por tipo de eje en los años 2012-2018

Para conocer la carga del tráfico, por el método tradicional, es suficiente con la información presentada; sin embargo, un conocimiento más detallada del tráfico para conocer el comportamiento real nos da los espectros de carga.

4.2.1.2 Espectro de carga del tráfico Estación Ccatuyo

Los espectros de carga nos entregan información más detallada como la Tabla 95 que resume las tablas presentada en la Sección anterior de Resultados. Nos indica los niveles de peso y el número de ejes para cada tipo de eje para cada uno de los años de investigación y su promedio en los 7 años.

Tabla 95
Repeticiones de ejes Simple en los años 2012 al 2018

Carga inf. (ton)	Carga Sup. (ton)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio	Total 2012-2018
0	1	186	188	135	56	105	62	1198	276	1930
1	2	1861	1460	1085	1029	1104	861	573	1139	7973
2	3	9342	9250	7766	6882	7686	6391	5079	7485	52396
3	4	10793	11768	10857	8540	8840	8076	6748	9375	65622
4	5	10941	11332	10571	8659	10682	11399	9915	10500	73499
5	6	14138	15531	14455	12654	16193	18312	18835	15731	110118
6	7	17858	16206	13963	11985	11492	14303	11628	13919	97435
7	8	10857	7473	5467	6041	5711	6309	6949	6972	48807
8	9	1871	992	834	622	390	506	628	835	5843
9	10	187	94	210	64	38	73	65	104	731
10	11	30	21	28	15	6	13	5	17	118
11	12	5	4	5	0	3	2	3	3	22
12	13	1	2	1	0	0	0	0	1	4
13	14	0	0	0	0	0	0	1	0	1
14	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		78,070	74,321	65,377	56,547	62,250	66,307	61,627		464,499

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo se presentaron en la sección 4.1.1.2 Espectro de carga del tráfico Estación Ccatuyo, las tablas para los 4 tipos de ejes: simple, simple dual, tandem y tridem.

Esta información tabular se ha graficado mediante una función distribución de frecuencia Log-normal multimodal. Se presenta la forma de la función en la siguiente ecuación.

$$f(x) = W_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi x \sigma_1}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \mu_1}{\sigma_1} \right)^2} + W_2 \frac{1}{\sqrt{2\pi x \sigma_2}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \mu_2}{\sigma_2} \right)^2} + W_3 \frac{1}{\sqrt{2\pi x \sigma_3}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \mu_3}{\sigma_3} \right)^2}$$

Donde μ_k y σ_k son la Media y la Desviación estándar para la distribución log-normal (k representa el k-ésimo modo); x representa la marca de clase o Carga sobre el eje; W_k representa el peso del k-ésimo modo ($W_1 + W_2 + W_3 = 1$).

Las funciones graficadas se presentan para el periodo acumulado 2012 hasta 2018 se presentan a continuación en las Figura 24 a la Figura 27. La curva Ajustado con distribución de

frecuencia Log-normal multimodal versus los datos reales Normalizado tiene una correlación (R) es de 0.999 con el cual muestra muy buena modelación de la función de distribución de frecuencia con los datos reales.

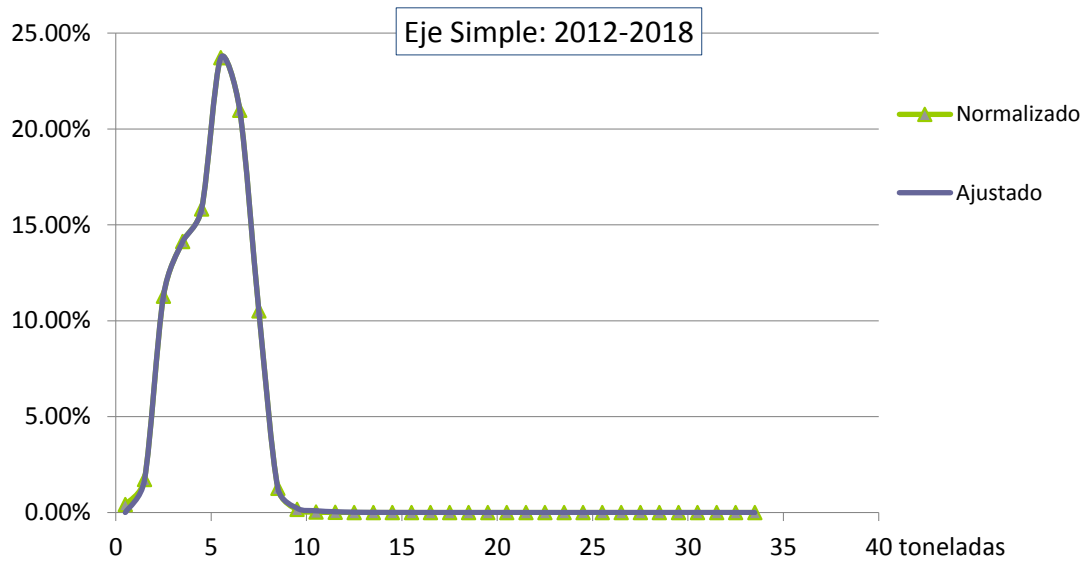


Figura 24: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple
Fuente: Elaboración propia

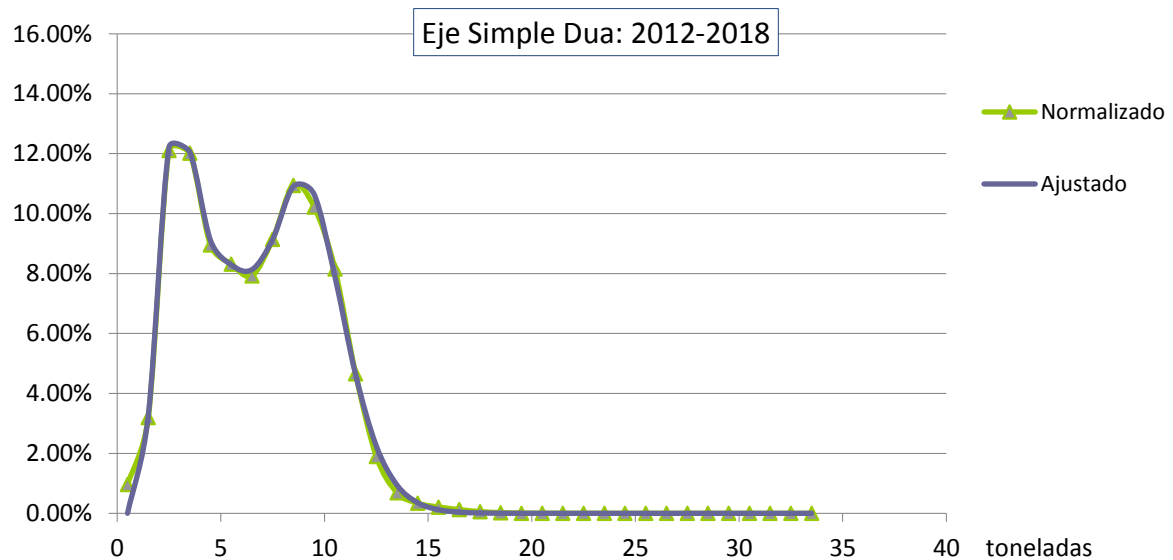


Figura 25: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Simple Dual
Fuente: Elaboración propia

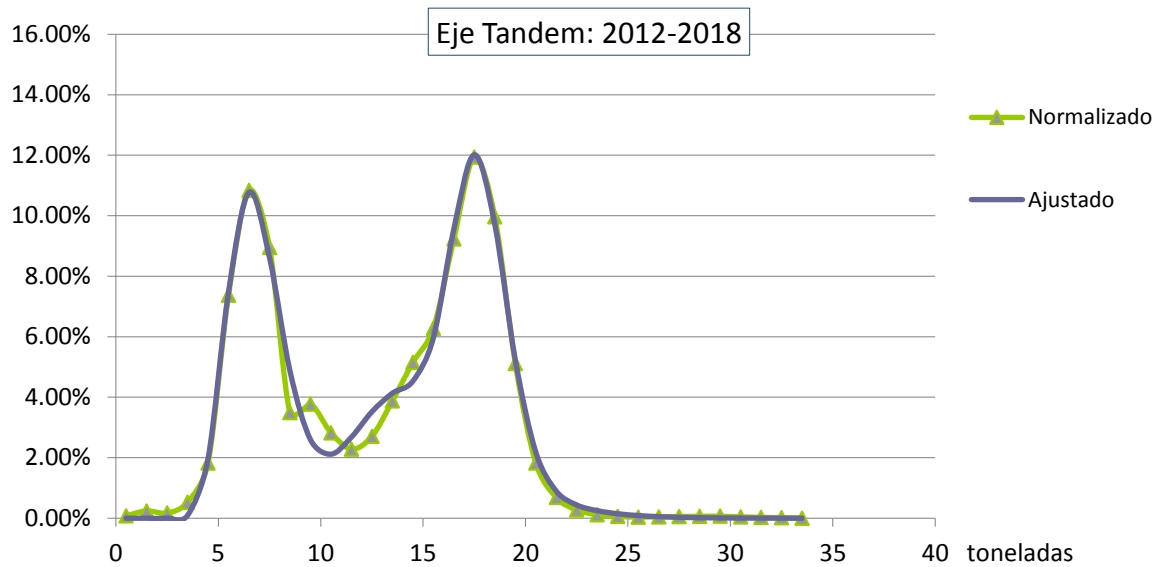


Figura 26: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Tandem

Fuente: Elaboración propia

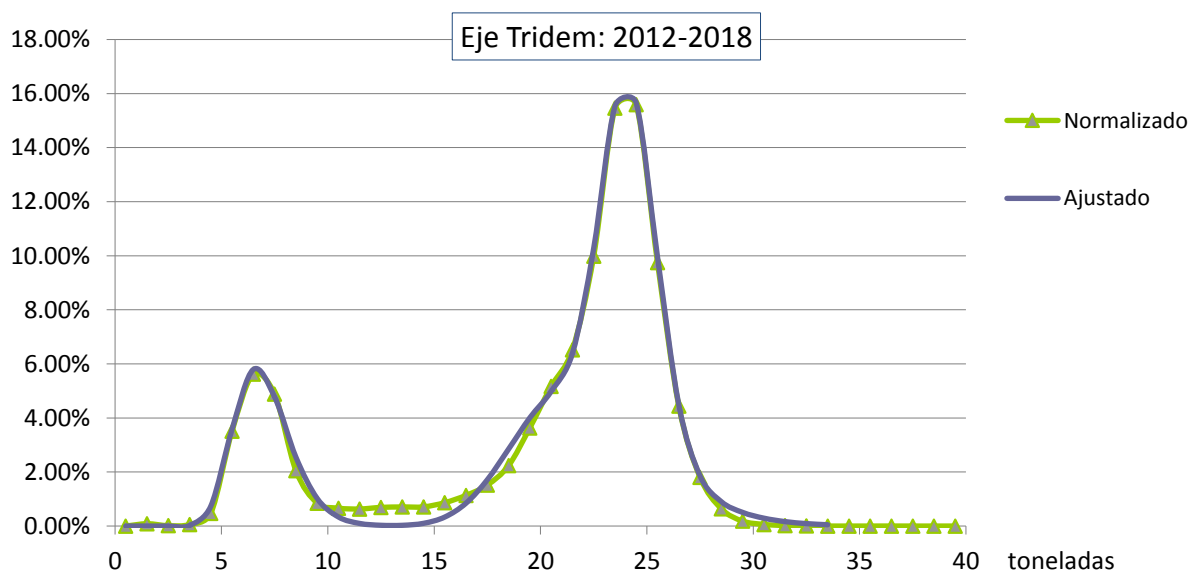


Figura 27: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para el eje Tridem

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, estas 4 funciones de distribución log-normal modelan muy bien el tráfico característico de la carretera para uno de los años del periodo 2012-2018 y para cada tipo de eje. El tráfico de cada uno de los años 2012 al 2018 de manera independiente se correlaciona con $R=0.98$ o más para cualquier año y tipo de eje. La presente investigación muestra el 2016 y sus diferentes correlaciones obtenidas: ver Figura 28, Figura 29, Figura 30 y Figura 31.

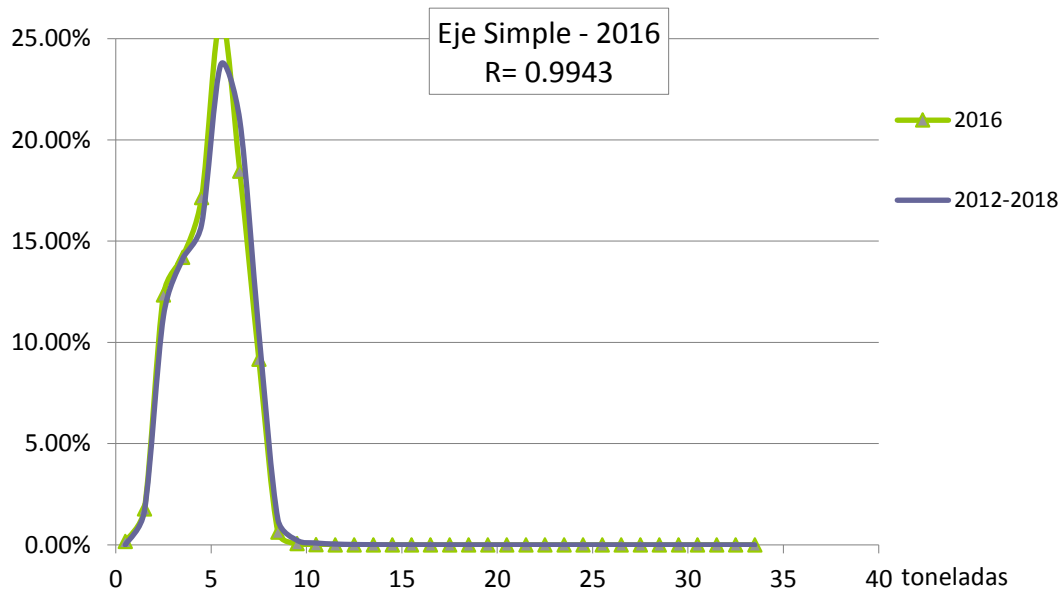


Figura 28: Espectro de carga del 2016 vs periodo 201-2018 Eje Simple
Fuente: Elaboración propia

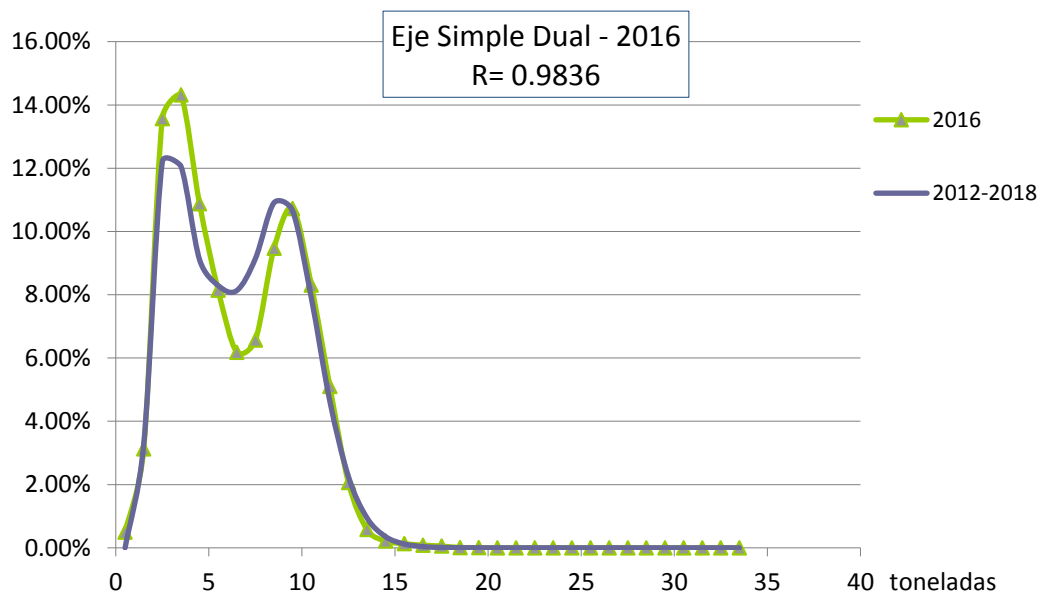


Figura 29: Espectro de carga del 2016 vs periodo 201-2018 Eje Simple Dual
Fuente: Elaboración propia

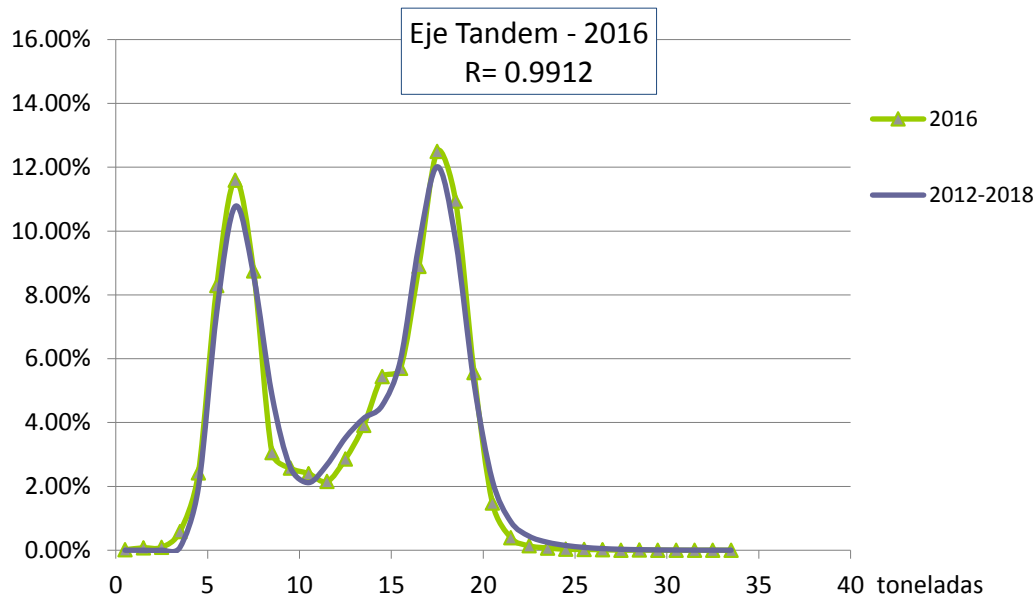


Figura 30: Espectro de carga del 2016 vs periodo 201-2018 Eje Tandem
Fuente: Elaboración propia

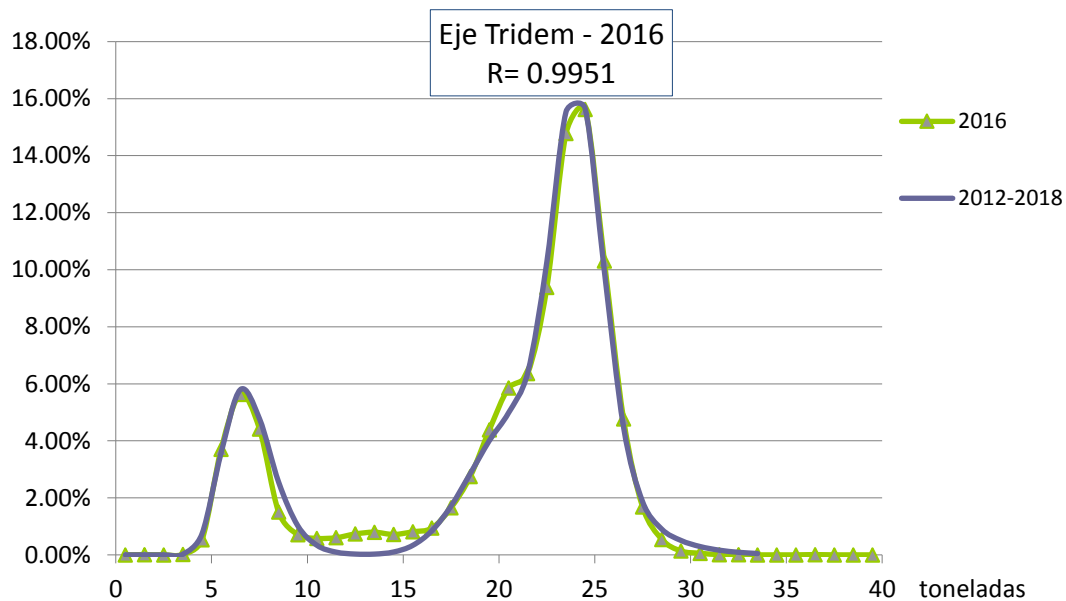


Figura 31: Espectro de carga del 2016 vs periodo 201-2018 Eje Tridem
Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la presente investigación muestra el espectro de carga para las carreteras del Perú y se mostraron en las figuras: Figura 24, Figura 25, Figura 26 y Figura 27 a fin de ser incluidas en la normativa vigente del MTC.

4.2.2 Carga del tráfico acumulado ESAL por AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú

Para lograr el objetivo 2 de la presente investigación: Ajustar la Carga de tráfico vehicular a fin de modificar la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC a través de los Espectros de Carga y el ESAL según AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú.

Se analiza y explica a través de los resultados obtenidos de los Espectros de Carga y el ESAL determinados por AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú.

Para efecto de la presente investigación se ha generalizado los ejes: Tandem conformado por 2 ruedas dobles y el Tridem conformado por 3 ruedas dobles por ser prácticamente los usados por los vehículos pesados. La Tabla 96 presenta los 4 ejes materia de análisis. Se presenta los 4 denominadores de cada uno de los ejes, el Simple es 6.6, el Simple Dual es 8.2, el Tandem es 15.1 y el Tridem es 21.8.

Tabla 96
Fórmulas de la 4ta Potencia para el cálculo EE según la actual normativa

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 (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$

Fuente: Extracto de la Normativa Vigente de Suelos y Pavimentos del MTC

La siguiente Tabla 97 presenta la relación de ESAL, por la 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Simple para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el denominador de 6.6 como corresponde en la fórmula.

Tabla 97
Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
4ta Potencia	34,460	28,567	24,453	21,880	22,303	25,803	24,791
AASHTO-93	14,941	12,469	10,679	9,558	9,784	11,312	10,849
4ta Potencia/AASHTO-93	2.31	2.29	2.29	2.29	2.28	2.28	2.29
Denom. Eje Simple MTC	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 98 para los ejes Simple muestra los valores de denominadores para cada año, el cual hace que los ESAL por 4ta Potencia y AASHTO-93 son iguales gracias al uso iterativo

del complemento *Solver* de Excel. Como se observa el denominador promedio es 8.12 para el periodo 2012-2018.

Tabla 98
Ajuste del Denominador para Eje Simple

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
4ta Potencia	14,941	12,469	10,679	9,558	9,784	11,312	10,849		
AASHTO-93	14,941	12,469	10,679	9,558	9,784	11,312	10,849		
4ta Potencia/AASHTO-93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Denom. Eje Simple MTC	8.13	8.12	8.12	8.12	8.11	8.11	8.11	8.12	Prom.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, El denominador para el Eje Simple ajustado es 8.12, valor que modifica la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.

La siguiente Tabla 99 presenta la relación de ESAL, por la 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Simple Dual para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el denominador de 8.2 como corresponde en la fórmula.

Tabla 99
Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple Dual

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
4ta Potencia	36,596	25,334	20,542	21,796	19,593	16,659	15,244		
AASHTO-93	34,196	23,895	19,435	20,350	18,330	15,598	14,251		
4ta Potencia/AASHTO-93	1.07	1.06	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07		
Denom. Eje Simple Dual MTC	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 100 para los ejes Simple Dual muestra los valores de denominadores para cada año, el cual hace que los ESAL por 4ta Potencia y AASHTO-93 son iguales gracias al uso iterativo del complemento *Solver* de Excel. Como se observa el denominador promedio es 8.3 para el periodo 2012-2018.

Tabla 100
Ajuste del Denominador para Eje Simple Dual

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
4ta Potencia	34,196	23,895	19,435	20,350	18,293	15,598	14,251		
AASHTO-93	34,196	23,895	19,435	20,350	18,330	15,598	14,251		
4ta Potencia/AASHTO-93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Denom. Eje Simple Dual MTC	8.3	8.3	8.3	8.3	8.2	8.3	8.3	8.3	Prom.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, El denominador para el Eje Simple Dual ajustado es 8.3, valor que modifica la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.

La siguiente Tabla 101 presenta la relación de ESAL, por la 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Tandem para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el denominador de 15.1 como corresponde en la fórmula.

Tabla 101
Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tandem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
4ta Potencia	25,037	25,515	26,626	21,022	24,357	28,804	31,232
AASHTO-93	23,875	24,551	25,379	20,243	23,493	27,770	30,112
4ta Potencia/AASHTO-93	1.05	1.04	1.05	1.04	1.04	1.04	1.04
Denom. Eje Tandem MTC	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 102 para los ejes Tandem muestra los valores de denominadores para cada año, el cual hace que los ESAL por 4ta Potencia y AASHTO-93 son iguales gracias al uso iterativo del complemento *Solver* de Excel. Como se observa el denominador promedio es 15.3 para el periodo 2012-2018.

Tabla 102
Ajuste del Denominador para Eje Tandem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
4ta Potencia	23,875	24,551	25,379	20,243	23,493	27,770	30,112	
AASHTO-93	23,875	24,551	25,379	20,243	23,493	27,770	30,112	
4ta Potencia/AASHTO-93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Denom. Eje Tandem MTC	15.3	15.2	15.3	15.2	15.2	15.2	15.2	15.3 Prom.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, El denominador para el Eje Tandem ajustado es 15.3, valor que modifica la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.

La siguiente Tabla 103 presenta la relación de ESAL, por la 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Tridem para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el denominador de 21.8 como corresponde en la fórmula.

Tabla 103
Relación de ESAL por 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tridem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
4ta Potencia	12,408	13,062	11,165	10,726	13,284	15,102	17,206

AASHTO-93	12,892	13,576	11,612	11,138	13,804	15,689	17,860
4ta Potencia/AASHTO-93	0.962	0.962	0.962	0.963	0.962	0.963	0.963
Denom. Eje Tridem MTC	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 104 para los ejes Tridem muestra los valores de denominadores para cada año, el cual hace que los ESAL por 4ta Potencia y AASHTO-93 son iguales gracias al uso iterativo del complemento *Solver* de Excel. Como se observa el denominador promedio es 21.6 para el periodo 2012-2018.

Tabla 104
Ajuste del Denominador para Tridem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
4ta Potencia	12,892	13,576	11,612	11,138	13,804	15,689	17,860		
AASHTO-93	12,892	13,576	11,612	11,138	13,804	15,689	17,860		
4ta Potencia/AASHTO-93	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
Denom. Eje Tridem MTC	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	Prom.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, El denominador para el Eje Tridem ajustado es 21.6, valor que modifica la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.

El cálculo del ESAL para Cargas legal se aplica de acuerdo con la siguiente Figura 32 extracto del Reglamento nacional de vehículos de Perú donde están los tipos de ejes y pesos legales permitidos en la normativa peruana y además, sirve para el cálculo de la Carga de tráfico vehicular, asumiendo que todos los ejes vienen cargados del mismo modo.











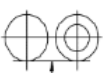







Código	Conjunto de ejes	Simbología	N° de neumáticos	Gráfico	Peso
_1VL	SIMPLE		2		1
_2VL	SIMPLE		2		2
_4VL	SIMPLE		4		4
_1RS	SIMPLE		2		7
_1RD	SIMPLE		4		11
_1RS_1RD	TANDEM		6		16
_2RS	TANDEM		4		12
_2RD	TANDEM		8		18
_3RD	TRIDEM		12		25

Figura 32: Tipos de ejes y Pesos legales para el cálculo del ESAL

La siguiente Tabla 105 presenta la relación de ESAL: Carga Legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Simple para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el Peso legal de 7.0 ton como se observa en la Figura 32.

Tabla 105

Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Carga Legal 4ta Potencia	21,415	20,524	18,064	15,628	17,277	18,391	17,063
AASHTO-93	14,941	12,469	10,679	9,558	9,784	11,312	10,849
C. Legal 4ta Potencia/AASHTO-93	1.43	1.65	1.69	1.64	1.77	1.63	1.57
Peso Legal	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 106 para los ejes Simple muestra el ajuste de Carga equivalente para cada año, el cual hace que los ESAL por Carga legal 4ta Potencia y AASHTO-93 son iguales gracias al

uso iterativo del complemento *Solver* de Excel. Como se observa la Carga equivalente máxima es 6.4 para el periodo 2012-2018.

Tabla 106
Ajuste de la Carga Equivalente para Eje Simple

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Carga Legal 4ta Potencia	14,941	12,469	10,679	9,558	9,784	11,312	10,849		
AASHTO-93	14,941	12,469	10,679	9,558	9,784	11,312	10,849		
C.Legal 4ta Pot./AASHTO-93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Peso Equivalente	6.40	6.18	6.14	6.19	6.07	6.20	6.25	6.40	Máx.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, El Peso equivalente para el Eje Simple ajustado es 6.4, valor que modifica la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.

La siguiente Tabla 107 presenta la relación de ESAL, Carga Legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Simple Dual para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el Peso legal de 11.0 ton como se observa en la figura anterior.

Tabla 107
Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Simple Dual

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Carga Legal 4ta Potencia	75,221	65,826	55,852	49,329	49,785	43,442	40,540
AASHTO-93	34,196	23,895	19,435	20,350	18,330	15,598	14,251
C. Legal 4ta Potencia/AASHTO-93	2.20	2.75	2.87	2.42	2.72	2.79	2.84
Peso Legal	11	11	11	11	11	11	11

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 108 para los ejes Simple Dual muestra el ajuste de Carga equivalente para cada año, el cual hace que los ESAL por Carga legal 4ta Potencia y AASHTO-93 son iguales gracias al uso iterativo del complemento *Solver* de Excel. Como se observa la Carga equivalente máxima es 8.6 para el periodo 2012-2018.

Tabla 108
Ajuste de la Carga Equivalente para Eje Simple Dual

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Carga Legal 4ta Potencia	34,196	23,895	19,435	20,350	18,330	15,598	14,251		
AASHTO-93	34,196	23,895	19,435	20,350	18,330	15,598	14,251		
C.Legal 4ta Pot./AASHTO-93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Carga Equivalente	9.0	8.5	8.4	8.8	8.6	8.5	8.5	9.0	Máx.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, El Peso equivalente para el Eje Simple Dual ajustado es 8.5, valor que modifica la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.

La siguiente Tabla 109 presenta la relación de ESAL, Carga Legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Tandem para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el Peso legal de 18.0 ton como se observa en la figura anterior.

Tabla 109
Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tandem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Carga Legal 4ta Potencia	35,573	40,252	38,502	33,667	41,534	53,009	54,885
AASHTO-93	23,875	24,551	25,379	20,243	23,493	27,770	30,112
C. Legal 4ta Potencia/AASHTO-93	1.49	1.64	1.52	1.66	1.77	1.91	1.82
Peso Legal	18	18	18	18	18	18	18

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 110 para los ejes Tandem muestra el ajuste de Carga equivalente para cada año, el cual hace que los ESAL por Carga legal 4ta Potencia y AASHTO-93 son iguales gracias al uso iterativo del complemento *Solver* de Excel. Como se observa la Carga equivalente máxima es 16.3 para el periodo 2012-2018.

Tabla 110
Ajuste de la Carga Equivalente para Eje Tandem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Carga Legal 4ta Potencia	23,875	24,551	25,379	20,243	23,493	27,770	30,112		
AASHTO-93	23,875	24,551	25,379	20,243	23,493	27,770	30,112		
C. Legal 4ta Pot.AASHTO-93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Carga Equivalente	16.3	15.9	16.2	15.9	15.6	15.3	15.5	16.3	Máx.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, El Peso equivalente para el Eje Tandem ajustado es 16.3, valor que modifica la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.

La siguiente Tabla 111 presenta la relación de ESAL, Carga Legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para ejes Tridem para los años 2012 hasta 2018. Se aplicó el Peso legal de 25.0 ton como se observa en la figura anterior.

Tabla 111
Relación de ESAL por Carga legal 4ta Potencia vs AASHTO-93 para los ejes Tridem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Carga Legal 4ta Potencia	19,425	20,120	17,539	16,242	20,181	22,482	25,879

AASHTO-93	12,892	13,576	11,612	11,138	13,804	15,689	17,860
C. Legal 4ta Potencia/AASHTO-93	1.51	1.48	1.51	1.46	1.46	1.43	1.45
Peso Legal	25	25	25	25	25	25	25

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 112 para los ejes Tridem muestra el ajuste de Carga equivalente para cada año, el cual hace que los ESAL por Carga legal 4ta Potencia y AASHTO-93 son iguales gracias al uso iterativo del complemento *Solver* de Excel. Como se observa la Carga equivalente máxima es 22.8 para el periodo 2012-2018.

Tabla 112
Ajuste de la Carga Equivalente para Eje Tridem

ESAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Carga Legal 4ta Potencia	12,892	13,576	11,612	11,138	13,804	15,689	17,860		
AASHTO-93	12,892	13,576	11,612	11,138	13,804	15,689	17,860		
C. Legal 4ta Pot./AASHTO-93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Carga Equivalente	22.5	22.6	22.5	22.7	22.7	22.8	22.7	22.8	Máx.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, El Peso equivalente para el Eje Tridem ajustado es 22.8, valor que modifica la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.

La Tabla 113 muestra el resumen de los denominadores y Carga equivalente del MTC y propuesto por el investigador. Estos valores conllevan a la igualdad de ESAL calculado tradicionalmente o por 4ta Potencia.

Tabla 113
Denominadores y Carga equivalente ESAL AASHTO-93 y 4ta Potencia Carga Legal

Tipo de Eje	Carga Legal MTC	Carga J. Ponce
Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1} = [7 / 6.6]^{4.0}$	$EE_{S1} = [6.4 / 8.12]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2} = [11 / 8.2]^{4.0}$	$EE_{S2} = [9 / 8.3]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [18 / 15.1]^{4.0}$	$EE_{TA2} = [16.3 / 15.3]^{4.0}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [25 / 21.8]^{3.9}$	$EE_{TR2} = [22.8 / 21.6]^{3.9}$

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 113, modifica las ecuaciones de la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.

4.2.3 Esfuerzos, deformación y daño en el pavimento

Para lograr el objetivo 3 de la presente investigación: Validar la ecuación de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93 a fin de ajustar la desviación estándar de corrección del tráfico (S_o) de la normativa vigente, a través del comportamiento moderno de los materiales: esfuerzo, deformación y deterioro del pavimento.

Se analiza y explica los resultados sobre el pavimento, de acuerdo con el comportamiento moderno de los materiales, los resultados obtenidos para diferentes niveles de carga: 0.5 a 39.5 ton, en los 4 tipos de ejes, y en cada año del periodo 2012 al 2018. Además se determinó el Número de repeticiones permisibles tanto por falla por fatiga como por deformación permanente y los Niveles de daño real sobre el pavimento, y finalmente el Tiempo de vida útil del pavimento.

Para el análisis de esfuerzos y deformaciones sobre el diseño del pavimento se ha empleado el programa IMT-PAVE 2.0 desarrollado por el Instituto mexicano de transporte. Una captura de la pantalla se muestra en la Figura 33.

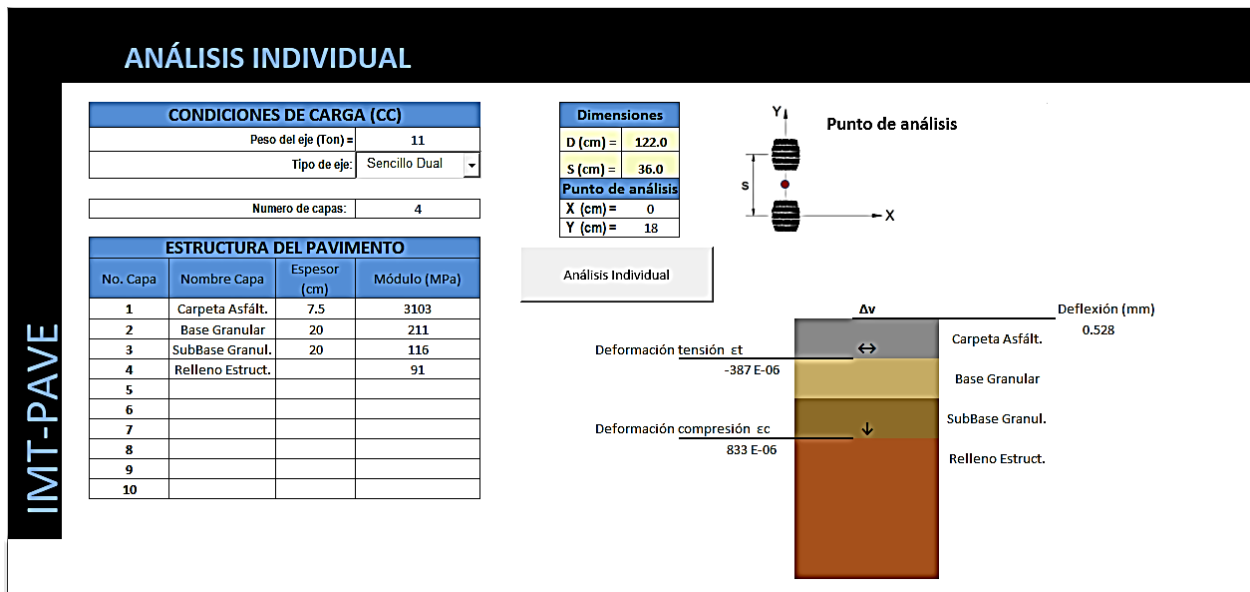


Figura 33

Programa IMT-PAVE del Instituto Mexicano de Transporte para el cálculo de las deformaciones en el pavimento

Este programa sobre macros en Excel calcula el comportamiento mecánico de los materiales del pavimento frente a las cargas de los ejes.

En la sección anterior de Resultados, se calcularon los esfuerzos y deformaciones de los materiales cargados con el Espectro de Cargas del tráfico de la carretera.

La Tabla 114 muestra el resumen del daño por fatiga parciales por ejes y totales por año, así como la vida útil.

Tabla 114
Daño por fatiga y tipo de eje para el periodo 2012-2018

Eje	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
Simple	0.377	0.339	0.295	0.260	0.279	0.315	0.296	0.309
Simple Dual	0.100	0.073	0.061	0.061	0.055	0.047	0.043	0.063
Tandem	0.062	0.066	0.065	0.054	0.064	0.075	0.082	0.067
Tridem	0.032	0.033	0.029	0.027	0.034	0.038	0.044	0.034
Daño total:	0.570	0.511	0.449	0.403	0.432	0.476	0.464	0.472
Vida útil (años)	1.755	1.959	2.228	2.482	2.316	2.102	2.154	<u>2.142</u>

Fuente: Elaboración propia

Esta Tabla 114 resume el daño por fatiga y vida útil promedio, el daño es 0.472 y la vida útil es 2.142 años. Según con la teoría de Miner este es el tiempo para que se produzca un 10% de fisuras en el pavimento. Para mantener un buen nivel de servicio de la carretera, se ha tolerado hasta 30% de fisuras. Por lo tanto, el tiempo de vida queda multiplicado por 3.

La Tabla 115 muestra el resumen del daño por deformación permanente parciales por ejes y totales por año, así como la vida útil.

Tabla 115
Daño por deformación permanente y tipo de eje para el periodo 2012-2018

Eje	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
Simple	0.197	0.161	0.137	0.123	0.124	0.144	0.139	0.146
Simple Dual	0.224	0.150	0.119	0.131	0.117	0.099	0.092	0.133
Tandem	0.106	0.105	0.115	0.087	0.100	0.118	0.128	0.108
Tridem	0.043	0.045	0.039	0.037	0.046	0.052	0.060	0.046
Daño total:	0.570	0.461	0.409	0.377	0.387	0.414	0.418	0.434
Vida útil (años)	1.755	2.169	2.444	2.649	2.587	2.414	2.390	<u>2.344</u>

Fuente: Elaboración propia

Esta Tabla 115 resume el daño por deformación permanente y vida útil promedio, el daño es 0.434 y la vida útil es 2.344 años. Según con la teoría de Miner este es el tiempo para que se produzca un 10% de deformación permanente admisible. Para mantener un buen nivel de servicio de la carretera, se ha tolerado hasta 30% de deformación permanente admisible. Por lo tanto, el tiempo de vida queda multiplicado por 3.

Ambos daños: fatiga y deformación permanente actúan de manera independiente sobre el pavimento. Como se observa en las 2 tablas anteriores, para nuestro caso, el daño por fatiga es mayor y nos resulta un menor tiempo de vida útil a 2.142 años. El cual presenta un estado de fisuración del 10% a lo largo de la huella “H” de la llanta del eje.

Para que el carril de diseño se vea afectado por la misma falla de fatiga requiere que la huella sea amplificadas al menos a 3 veces la huella de la llanta del eje “3H” a cada lado del eje. Por consiguiente, la vida útil también se vería multiplicado por 3 veces y resulta 6.5 años (3 x 2.142).

El diseño racional de pavimentos indica para las mismas condiciones de materiales, espesores y tráfico real, el pavimento duraría 6.5 años. A continuación determinaremos el tráfico real para este tiempo tomando como referencia el año 2015, ver Tabla 116 y Figura 34.

Tabla 116
ESAL AASHTO-93 para la vida útil de 6.5 años

Año	Vida útil (años)	ESAL AASHTO-93
2015	1	61,489
2016	2	65,520
2017	3	69,550
2018	4	73,581
Extrapolado 2019	5	77,612
Extrapolado 2020	6	81,643
Extrapolado 2020.5	6.5	41,829
TOTAL		471,224

Fuente: Elaboración propia

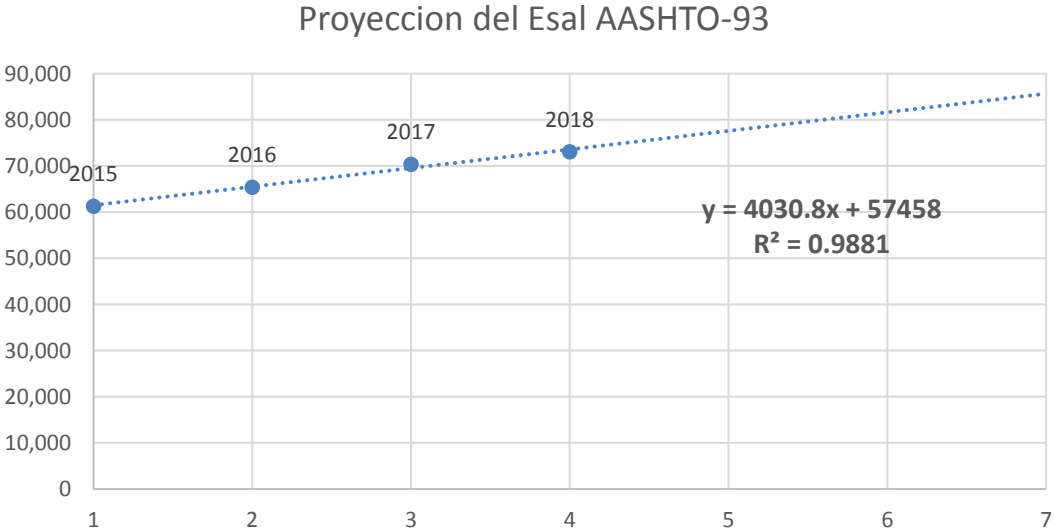


Figura 34: Proyección del ESAL AASHTO-93

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el ESAL para 6.5 años de vida útil es 471 224 Ejes equivalente.

La Ecuación para el diseño de pavimento de la AASHTO-93 es la siguiente:

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Donde el Z_R es la desviación estándar normal y por convención esta es negativa para esta ecuación. La verdadera naturaleza de la ecuación se presenta a continuación, y muestra de manera natural como modifica el ESAL del tráfico vehicular pesado agregando un factor de seguridad en función de la desviación estándar normal y el error S_o .

$$\log_{10}(ESAL) + Z_R S_o = 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

El pavimento construido materia de estudio es como se muestra en la Figura 35, se muestra los espesores de capa y las propiedades mecánicas de los materiales.

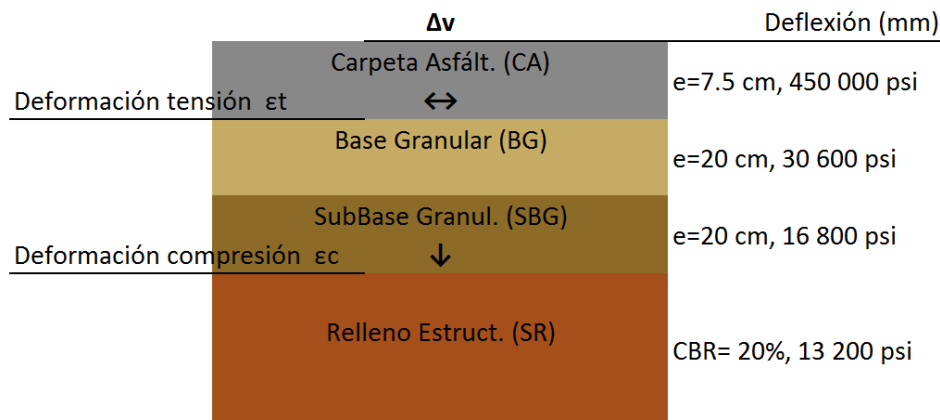


Figura 35: Sección de pavimento construido Km 100+480 - 136+000

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de diseño AASHTO-93 son los que se indica en la Tabla 117.

Tabla 117

Parámetros de diseño para la ecuación AASHTO-93

Vida útil	ESAL	R	Z_R	P_o	Pt	ΔPSI	MR_{SR}	SN
6.5 años	471 224	85%	-1.036	4.2	2.5	1.7	13 201	3.30

Fuente: Elaboración propia

Para los parámetros mostrados, la ecuación AASHTO-93 resuelve un error $S_o= 1.29$. Con este valor se valida la ecuación de la AASHTO-93 de la normativa vigente del MTC.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Se determinó los espectros de Carga del tráfico vehicular pesado con el propósito de incluirlo en la normativa vigente: Suelos y Pavimentos, Capítulo VI (Tráfico Vial), Sección 6.1 (Conocimiento de la Demanda para Estudios) para conocer las cargas de tráfico de cada uno de los 4 tipos de ejes. La Figura 36 muestra los espectros de carga de los 4 tipos de ejes: Simple, Simple Dual, Tandem y Tridem, obtenido sobre la base de más de 460 000 vehículos pesados que transitaron en 7 años de operación continuo (2012-2018):

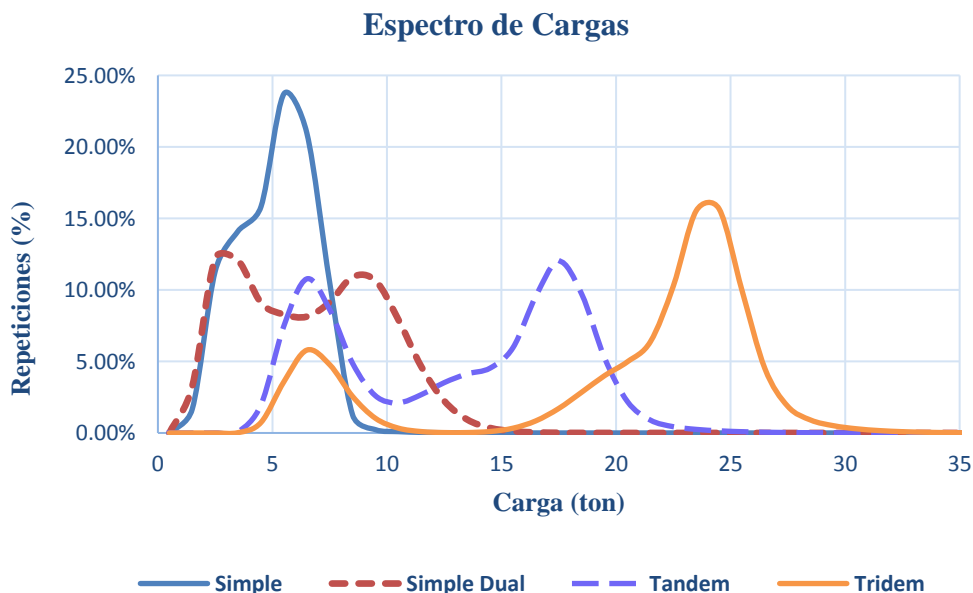


Figura 36: Espectro de carga con distribución de frecuencia Log-normal multimodal para cada tipo de eje del Perú
Fuente: Elaboración propia

Este gráfico es la integración de las Figura 24, Figura 25, Figuras 26 y Figura 27 de la presente investigación, visto en la sección de Análisis.

- Se ajustó las ecuaciones de Carga de Tráfico vehicular que modifican la normativa vigente de Suelos y Pavimentos, Capítulo VI (Tráfico Vial), Sección 6.4 (Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes), Cuadro 6.3. La Tabla 118 presenta las nuevas ecuaciones.

Tabla 118
Denominadores y Carga equivalente ESAL AASHTO-93 y 4ta Potencia Carga Legal que modifica la Normativa Vigente

Tipo de Eje	Ecuaciones de la Normativa vigente del MTC	Ecuaciones J.Ponce que modifica la Normativa Vigente Cap. VI, Secc 6.4 Cuadro 6.3
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	EE _{S1} = [7 / 6.6] ^{4.0}	EE _{S1} = [6.4 / 8.12] ^{4.0}
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	EE _{S2} = [11 / 8.2] ^{4.0}	EE _{S2} = [9 / 8.3] ^{4.0}
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	EE _{TA2} = [18 / 15.1] ^{4.0}	EE _{TA2} = [16.3 / 15.3] ^{4.0}
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	EE _{TR2} = [25 / 21.8] ^{3.9}	EE _{TR2} = [22.8 / 21.6] ^{3.9}

Fuente: Elaboración propia

- Se validó la ecuación de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93 mediante el ajuste la desviación estándar de corrección del tráfico (So), a través de un análisis empírico-mecanicista del comportamiento moderno de los materiales, deterioro y vida útil del pavimento. El valor ajustado de So es 1.29 con el cual se validó la ecuación de la AASHTO-93. Por lo tanto, este valor de So= 1.29 debe modificar el So (So= 0.45) en la ecuación de diseño de pavimentos AASHTO-93 de nuestra normativa vigente de Suelos y Pavimentos. Capítulo XII, Sección 12.1.1 (Método Guía AASHTO 93 de diseño) Variables:

$$\log_{10}(ESAL) + Z_R S_o = 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

5.2 Recomendaciones

1. La infraestructura vial es fundamental para el desarrollo económico y social de una región, los pavimentos deben ser duraderos y los diseños revisados con la metodología mecanicista-empírica, como se realizó en el presente trabajo de investigación. Tomar en cuenta el cálculo de los esfuerzos y deformaciones permisibles en la carpeta de rodadura, las propiedades de material y el deterioro en el tiempo. Incorporar las nuevas fórmulas (J. Ponce) de Cuarta Potencia con Carga Legal (Carga equivalente) e nuestra normativa actual del MTC y normal el So a 1.29 de la ecuación de la AASHTO-93, descartando el So tradicional de 0.45.
2. Adoptar las nuevas metodologías mecanicistas-empíricas para el diseño de pavimentos y aplicación a nuevos materiales como asfaltos modificados, bases tratadas y subrasante mejoradas a fin de hacer diseños confiables, de costo justo y mayor servicio al país. Los nuevos materiales son alternativas nacionales para utilizarlos en las carreteras, los cuales son compatible con las conclusiones de este estudio.
3. Determinar los “modelos de deterioro” del pavimento asfáltico para el Perú, de acuerdo con los materiales, clima y temperatura de la zona. La presente investigación uso la ley de fatiga americana del Instituto de Asfalto, el cual podría ajustarse en una investigación futura con el apoyo institucional especializado. Estas leyes deben ser estudiadas para cada uno de los materiales a usar como carpeta de rodadura y nuevos materiales de aplicación nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, G., & Fuente, A. (Octubre de 2009). Caracterización de los espectros de carga en la red federal de carreteras. Querétaro, México.
- Bañón, L., & Beviá, J. (2012). *Manual de carreteras*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Barreto Cedeño, S., Banguera Garces, J., & Córdova Rozo, J. (2018). *Análisis comparativo de ejes equivalentes obtenidos mediante método AASHTO 93 y los proporcionados por pesaje en balanza fija de vehículos*. Ecuador: Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos.
- Carey, W., & Irick, P. (1960). El concepto de rendimiento y servicio del pavimento. *AASHTO*, 40-58.
- Corredor, G. (2011). *Experimento vial de la AASHTO y las guías de diseño AASHTO*. Caracas: Sección para delegados de la Cámara de la Construcción.
- Das, A. (2015). Structural Design of Asphalt Pavements: Principles and Practices. *Transportation in Developing Economies*, 25-32.
- Garnica, P., & Correa, A. (2004). *Conceptos mecanicistas en pavimentos*. Querétaro, México: Publicación técnica N°258 del IMT.
- Garnica, P., & Hernández, R. (2013). *Manual de Usuario del IMT-PAVE 1.1*. Sanfandila, Qro, México: Documento técnico N°53 del IMT.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGrawHill.
- Hernández, R., Garnica, P., & Solorio, R. (2010). *Caracterización de los espectros de carga en la red carretera mexicana*. Querétaro, México: Instituto mexicano de transporte IMT.
- Lara, E. (2011). *Fundamentos de investigación*. México: Alfaomega.
- Martinez Rodriguez, D. (2015). Impacto del control de pesos por eje de los vehículos pesados sobre la estructura de los pavimentos. (*Tesis bachiller*). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Middleton, D., Crawford, J., Carlson, T., Cothron, S., Jasek, D., & Sepúlveda, E. (2001). *Evaluation of Txdot's traffic data collection and load forecasting process*. Austin, Texas: Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office.
- Moreano Roldan, V. (2015). Comparación del diseño de pavimento por el método racional y el método AASHTO 1993. (*Tesis bachiller*). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- MTC. (2014). *Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- Mujaddad, A., Hafeez, I., Zaidi, B., Riaz, K., Khitab, A., Hayat, A., . . . Asif, A. (2013). Sensitivity Analysis of Design Variables of Flexible Pavement Design Equation in the AASHTO 1993 Design Guide. *Life Science Journal*, 878-882.
- Murga Salcedo, A. (2017). Aplicación de la metodología racional para el diseño del pavimento flexible de la carretera Inambari-Azángaro Km 125+00 - 126+000, Puno, 2017. (*Tesis bachiller*). Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Orobio, A., & Gil, J. (2015). Análisis de costos de construcción asociados al diseño racional de pavimentos con diferentes modelos de fatiga. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 177-188.
- Prozzi, J., & Hong, F. (2006). *Traffic Characterization for a Mechanistic-Empirical Pavement Design*. Texas: Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin.
- Rodríguez Moreno, M. (2014). Determinación de la confiabilidad implícita en el método de diseño estructural de pavimentos flexibles Aashto-93 en base a modelos de predicción del deterioro. (*Tesis doctoral*). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- Rodríguez, M. (2015). *Including reliability in the AASHTO-93 flexible pavement design method integrating pavement deterioration models*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín.
- Ruiz, J., Chavarro, E., Arenas, H., Cruz, L., Rivera, G., & Solano, E. (2015). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito*. Bogotá, Colombia: Instituto nacional de vías - Dirección técnica subdirección de estudios e innovación.
- Sancho Ninahuanca, C. (2017). Implementación de resultados del ensayo a escaa real acelerado en el diseño de pavimentos en el Perú-2017. (*Tesis bachiller*). Universidad Continental, Huancayo.
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Mexico: Limusa.

Anexo 1: Matriz de consistencia

Tesis: El Espectro de carga para validar la carga de tráfico acumulada calculado por la AASHTO-93.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	MÉTODO
<p>General ¿De qué manera los Espectros de Carga de las series históricas de conteo y pesaje vehicular validan la Carga de Tráfico vehicular y la ecuación del AASHTO-93 a fin de proponer ajustes para la normativa vigente del MTC?</p> <p>Específicos a. ¿De qué manera los Espectros de Carga determinan la Carga de tráfico vehicular a fin de incluirlo en la normativa vigente? b. ¿De qué manera los Espectros de Carga ajustan el ESAL determinado por AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú a fin de modificar la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC?</p>	<p>General Validar la Carga de tráfico y la ecuación del AASHTO-93 a fin de proponer ajustes para la normativa vigente del MTC a través de espectro de carga de las series históricas de pesaje vehicular y el comportamiento moderno de los materiales.</p> <p>Específicos a. Determinar los Espectros de Carga del tráfico vehicular a fin de incluirlo en la normativa vigente. b. Ajustar la Carga de tráfico vehicular a fin de modificar la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC a través de los Espectros de Carga y el ESAL según AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú.</p>	<p>General A través de los Espectros de Carga y el Comportamiento moderno de los materiales se validan la Carga de Tráfico vehicular y la ecuación del AASHTO-93 a fin de proponer ajustes a la normativa vigente del MTC.</p> <p>Específicos a. Mediante los Espectros de Carga se determina la Carga de Tráfico vehicular a fin de ser incluida en la normativa vigente. b. A través de los Espectros de Carga permiten ajustar el ESAL determinado por AASHTO-93, Cuarta Potencia y Carga Legal en el Perú a fin de modificar la Norma de Suelos y Pavimentos del MTC.</p>	<p>Variable Independiente: Espectro de carga</p> <p>Variable dependiente: Normativa Vigente de Suelos y Pavimentos del MTC</p>	<p><u>X1</u>: Series históricas de conteos y pesaje vehicular <u>X2</u>: Carga del Tráfico vehicular por ejes</p> <p><u>Y1</u>: ESAL por AASHTO-93 <u>Y2</u>: ESAL por Carga Legal en el Perú.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tipos de ejes de vehículos pesados Conteo y Peso por tipo de ejes Número de ejes por intervalo de peso. Distribución de frecuencia Log-normal multimodal por tipo de eje. Eje estándar Factor Equivalente de Eje (FEE) tradicional de AASHTO-93 Factor direccional Factor Carril Ajuste de la corrección de la desviación estándar del tráfico S_o en la ecuación de diseño AASHTO-93 Nivel de confianza que se adopte para el diseño R y Valor asociado de la distribución normal (Z_r) Factores denominadores de ecuación a la 4ta Potencia. 	<p>Simple, simple dual, Tandem, tridem Unidades, toneladas</p> <p>Unidades, toneladas Toneladas, %</p> <p>8.2 ton ESAL</p> <p>Adimensional Adimensional Adimensional</p> <p>% Adimensional Adimensional</p>	<p>Método de la investigación: Deductivo</p> <p>Orientación de la investigación: Aplicada</p> <p>Enfoque de la investigación: Cuantitativo</p> <p>Fuente de Recolección de información: Retrolectiva</p> <p>Tipología: Descriptiva</p> <p>Nivel de Investigación: Descriptivo</p> <p>Diseño de la Investigación: Longitudinal – Retrospectivo</p> <p>Diseño de Casos y Controles</p>

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	MÉTODO
c. ¿De qué manera los Espectros de Carga y el comportamiento moderno de los materiales: esfuerzo, deformación y deterioro del pavimento validan la ecuación de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93 a fin de ajustar la desviación estándar de corrección del tráfico (So) de la normativa vigente?	c. Validar la ecuación de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93 a fin de ajustar la desviación estándar de corrección del tráfico (So) de la normativa vigente, a través del comportamiento moderno de los materiales: esfuerzo, deformación y deterioro del pavimento.	c. Por medio de los Espectros de Carga y el comportamiento moderno de los materiales: esfuerzo, deformación y deterioro del pavimento se valida la ecuación de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93 a fin de ajustar la desviación estándar de corrección del tráfico (So) de la normativa vigente.	Variable interviniente: Modelos de deterioro del pavimento	 <u>Z1</u> : Deterioro por Fatiga <u>Z2</u> : Deterioro por deformación permanente	<ul style="list-style-type: none"> • Carga Legal de peso por tipo de eje. • Factor Equivalente de Eje por la 4ta Potencia y carga legal en el Perú. • Esfuerzo y deformación • Repeticiones de carga • Agrietamiento por fatiga • Deformación permanente • Acumulación de Daños del pavimento. • Tiempo de vida 	Toneladas ESAL MPa, 10 ⁻⁶ m Adimensional o ejes Adimensional 10 ⁻⁶ m Adimensional Años	

Anexo 2: Extracto de Series históricas, primera semana enero-2012, sentido subida

SENT	FECH	HORA	TIPO	EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4	EJE 5	EJE 6	EJE 7	EJE 8	EJE 9	EJE 10
SUBE	1/1/12	11:56	C2	2,067	1,863	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	13:07	C2	2,561	3,214	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	13:16	C2	1,196	1,237	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	14:26	T3S3	6,363	9,290	8,104	8,171	8,866	7,771	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	14:59	T3S3	5,647	9,041	8,697	5,036	7,452	10,041	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	18:03	T3S3	5,362	12,008	7,479	1,196	9,399	11,000	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	18:03	C2	3,653	5,812	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	18:04	B3-1	6,644	8,596	4,113	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	18:26	T3S3	6,798	8,199	8,311	5,588	10,902	9,329	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	18:56	C2	2,084	2,060	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	19:22	T3S3	6,461	7,900	7,753	7,873	8,830	8,048	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	19:58	B3-1	6,903	9,631	5,131	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	20:15	B2	6,981	11,046	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	20:18	B2	6,349	11,151	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	20:26	B2	5,626	8,357	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	20:52	B2	6,858	7,346	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	21:18	C2	6,911	8,413	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	21:23	C2	2,499	2,990	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	21:32	B2	7,637	9,256	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	21:59	T3S3	7,223	8,813	7,427	3,839	10,003	10,428	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	23:44	C2	6,549	9,845	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	02:39	T2S3	6,802	13,068	9,901	7,879	6,518	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	04:59	T3S3	5,475	8,055	8,206	8,704	6,788	8,157	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	05:16	T2S3	6,247	14,211	9,469	8,265	6,911	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	08:34	T3S3	6,321	4,973	3,832	3,523	5,696	5,405	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	09:41	C3	4,509	4,176	3,860	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	11:18	C2	2,453	5,714	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	1/1/12	11:46	C2	4,201	7,448	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	07:06	T3S2	5,089	8,230	7,886	9,062	9,498	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	07:36	C2	4,514	7,673	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	07:54	C2	2,737	3,119	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	09:03	C4	7,879	11,639	11,306	2,288	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	10:36	B2	6,549	8,827	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	11:00	B2	6,612	7,634	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	11:58	B2	6,914	10,569	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	13:01	COCHE	1,659	1,589	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	14:32	T3S3	8,192	8,704	8,192	4,183	8,648	10,550	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	14:48	C2	2,038	1,695	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	14:49	T3S3	6,823	7,862	7,851	6,198	6,521	7,511	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	15:12	B2	6,949	11,038	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	15:19	C4	9,098	10,986	10,084	2,147	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	15:23	C3	7,185	8,515	8,016	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	15:45	B2	4,084	8,175	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	15:58	C2	2,607	6,528	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	16:14	C2	7,865	11,351	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	16:39	C2	7,757	9,028	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	16:40	B2	6,268	9,743	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:00	C2	4,095	6,626	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:01	C2	6,844	11,063	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:08	C2	7,480	9,863	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:16	C2	3,397	4,548	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:19	B2	6,549	9,223	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:21	C2	6,184	8,276	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:40	T3S3	6,184	12,639	7,213	7,349	7,230	9,210	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:46	C2	2,877	4,752	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:47	B2	2,857	4,819	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	17:51	C2	2,007	1,860	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	18:25	C2	3,053	6,093	0	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	2/1/12	18:37	B2	6,107	10,069	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	18:45	C2	3,474	4,864	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:16	C2	3,660	6,616	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:34	C2	4,481	7,329	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:34	T3S3	4,489	10,649	10,863	7,469	7,796	5,457	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:36	C2	4,464	10,975	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:37	C2	3,860	6,736	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:42	C2	3,376	9,031	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:47	C2	4,650	8,031	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:50	B2	6,009	9,213	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:54	B2	7,192	10,772	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	19:58	B2	7,605	9,909	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:06	COCHE	2,291	1,789	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:10	C2	2,358	3,134	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:16	B2	3,600	8,340	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:18	B2	7,462	11,632	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:27	B3-1	6,911	9,031	4,327	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:27	B2	7,009	10,410	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:28	B2	6,798	10,266	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:30	B2	7,529	11,519	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:32	C2	6,946	9,852	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:32	B2	7,160	10,835	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:32	B2	7,009	9,807	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:36	C2	6,475	9,007	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:49	T3S3	6,279	9,273	9,125	5,875	7,455	9,346	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:50	C2	4,046	4,783	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	20:53	B2	7,307	8,217	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:02	C2	3,804	7,444	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:03	C2	4,341	13,117	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:10	B2	5,937	9,129	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:13	B2	6,676	10,554	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:21	C3	4,478	8,957	8,603	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:24	B2	5,498	8,252	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:25	C2	7,658	10,993	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:26	B2	7,880	11,197	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:37	B2	6,791	10,197	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:37	B2	7,405	10,010	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:50	B2	6,805	10,343	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	21:51	C2	6,030	9,712	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	22:08	C2	5,279	10,828	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	22:09	C2	9,312	10,604	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	22:15	B3-1	7,104	9,579	5,209	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	22:22	C2	4,144	7,943	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	22:25	C2	4,664	11,003	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	22:27	C2	5,043	13,735	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	23:26	C2	4,829	3,436	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	23:39	C2	3,024	9,417	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	23:45	C2	4,215	9,477	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	2/1/12	23:50	B2	6,889	11,007	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	00:17	T3S3	4,446	18,116	1,747	7,806	8,311	7,697	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	00:36	B2	7,539	11,208	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	00:53	C2	4,931	9,087	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	00:54	C3	5,531	5,773	5,387	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	01:00	C2	4,103	10,762	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	01:02	C3	3,586	5,809	6,029	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	02:11	C3	5,555	4,867	4,699	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	02:54	C2	3,225	7,244	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	03:58	C3	7,922	14,170	10,691	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	04:56	T3S1	6,711	11,386	8,483	8,017	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	05:10	COCHE	2,596	2,706	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	05:32	C2	2,176	2,301	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	05:34	C3	5,629	4,046	3,843	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	3/1/12	06:01	T3S3	5,170	9,066	9,016	7,953	7,932	7,774	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	06:05	T3S3	5,920	1,076	3,976	1,800	2,347	3,145	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	06:09	C2	2,154	2,148	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	06:11	T3S3	5,492	2,852	2,839	1,895	2,046	2,109	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	06:30	T3S3	5,651	2,663	2,878	1,537	2,063	2,172	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	06:48	T3S3	4,748	3,085	3,071	1,497	1,775	2,375	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	06:52	C2	7,553	17,525	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	07:04	T3S3	6,325	5,679	5,791	3,920	4,955	6,107	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	07:13	C2	5,679	8,156	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	07:13	C2	3,839	6,777	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	07:38	C3	5,563	4,207	4,169	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	07:51	T3S3	5,514	8,729	8,722	11,800	7,560	4,433	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	08:18	C4R2B2	6,444	6,240	6,134	476	582	4,190	4,716	3,572	0	0
SUBE	3/1/12	08:49	C2	4,369	5,412	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	08:50	B2	1,940	5,061	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	09:04	C3	5,675	4,085	4,109	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	09:07	T3S2	6,507	10,368	5,998	8,347	12,422	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	09:24	C2	4,776	9,648	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	09:35	C2	5,556	9,642	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	09:40	C2	3,952	9,754	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	09:40	C2	3,600	7,529	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	09:54	C2	6,827	9,491	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	10:09	T3S2	5,896	7,592	7,392	8,118	8,553	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	10:39	B2	6,328	10,508	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	10:50	T3S3	5,426	1,673	3,260	2,000	1,824	2,095	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	11:01	T3S3	6,461	8,195	6,918	5,187	5,837	6,099	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	11:03	B2	5,542	9,371	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	11:20	T2S3	6,532	10,049	6,985	4,734	3,558	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	12:09	C2	6,335	9,796	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	12:14	C2	2,207	4,418	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	12:24	T3S2	5,942	3,730	2,179	1,881	3,621	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	13:17	T3S3	5,819	3,190	2,617	873	2,288	2,966	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	13:26	B2	7,883	8,813	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	13:27	T3S3	5,475	3,257	2,336	1,189	1,368	3,618	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	13:56	8X4	4,331	4,626	4,106	3,882	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	14:11	C2	2,302	1,919	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	14:17	T3S3	7,129	7,279	6,370	7,964	7,195	7,269	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	14:33	COCHE	504	504	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	14:53	C2	1,993	1,954	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	14:55	C3	6,893	3,875	4,443	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	15:08	T3S3	7,500	10,839	6,142	6,289	8,708	12,214	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	15:18	C2	3,485	6,567	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	15:18	B2	6,907	10,695	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	15:42	COCHE	2,277	2,130	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	15:43	B2	4,068	8,802	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	15:51	COCHE	1,915	3,271	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	16:18	B2	6,876	10,224	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	16:22	C2	6,549	10,709	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	16:38	C2	6,876	11,692	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	16:42	COCHE	2,066	2,565	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	16:58	B2	7,553	11,021	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	17:03	B2	6,626	9,908	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	17:14	C2	3,401	5,913	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	17:16	COCHE	2,677	4,123	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	17:19	COCHE	2,233	3,524	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	17:37	C2	2,386	5,404	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	17:48	T3S3	4,689	2,730	3,049	2,077	2,611	2,340	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	18:22	C3	6,054	3,499	3,411	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	18:31	C2	6,458	11,010	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	18:37	T3S3	7,079	9,192	9,515	2,541	8,263	9,614	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	18:58	B3-1	7,921	8,020	6,862	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	18:58	C2	3,309	4,004	0	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	3/1/12	19:00	C2	3,211	6,984	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	19:20	C3	6,539	4,773	4,854	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	19:50	T3S3	7,065	9,024	7,813	4,450	10,182	9,814	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	19:54	B2	6,971	10,421	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	19:57	B2	7,385	9,845	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:03	C2	2,747	4,464	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:05	C2	3,386	4,176	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:12	B2	4,330	8,911	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:22	T3S3	4,520	4,324	4,271	2,568	2,944	4,513	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:37	T2S3	6,697	4,675	1,691	2,053	2,375	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:39	C2	6,272	9,915	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:40	B2	4,787	8,620	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:47	B2	7,613	11,590	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:49	C2	6,858	10,021	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:50	B2	7,658	10,281	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	20:50	B2	7,006	11,347	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:03	C2	7,258	8,802	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:04	C2	2,551	6,511	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:12	B2	6,156	10,923	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:13	B2	7,560	11,396	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:14	B2	7,377	10,505	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:15	C2	7,191	10,323	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:15	B2	7,778	11,934	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:16	B2	6,935	10,197	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:16	C3	7,125	5,064	5,019	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:20	C3	6,103	3,987	4,029	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:21	C3	6,346	4,639	4,426	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:22	C3	6,479	5,486	5,107	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:23	C3	6,212	4,394	4,317	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:25	COCHE	1,902	8,747	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:32	B3-1	6,767	12,281	3,085	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:41	B2	7,743	10,895	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:42	B2	6,981	12,502	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	21:56	B2	6,886	10,937	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	22:01	C2	4,341	7,809	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	22:05	COCHE	1,859	1,337	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	22:22	B3-1	6,738	9,024	4,429	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	22:23	T3S3	6,697	8,167	8,230	6,960	9,424	9,565	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	22:53	COCHE	1,743	3,045	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	22:53	C2	6,384	10,147	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	22:58	C4	8,339	10,769	6,826	3,980	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	23:11	T3S3	6,517	7,276	12,011	4,152	8,686	10,252	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	23:18	C2	5,367	11,688	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	23:28	C3	6,398	5,047	4,998	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	3/1/12	23:32	C2	6,876	9,996	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	00:38	C2	2,996	4,015	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	03:03	C2	6,015	16,567	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	03:47	C3	6,303	12,948	11,973	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	04:45	T3S3	5,500	8,669	8,553	6,247	9,932	6,718	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	05:23	C2	4,060	7,977	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	05:48	C2	4,910	11,471	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	05:49	C2	2,042	1,901	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	05:56	C2	2,751	3,734	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	05:57	C3	7,230	9,904	9,371	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	06:01	C2	2,308	1,993	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	06:40	C2	2,225	2,607	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	06:58	T2S3	4,840	5,552	1,754	2,070	1,982	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	07:07	T3S3	5,562	2,969	1,828	1,617	1,793	1,901	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	07:09	T2S2	5,650	4,397	2,691	3,463	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	07:14	T3S3	5,436	3,355	2,952	800	2,815	3,474	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	07:51	COCHE	1,951	3,302	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	07:57	C2	4,984	8,996	0	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	4/1/12	08:22	C2	6,163	7,283	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	08:22	C2	2,453	4,840	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	08:38	T3S3	5,699	13,966	3,351	7,627	8,599	8,493	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	08:51	C2	3,533	6,862	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	08:52	COCHE	2,301	2,597	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	09:06	T3S3	5,423	7,503	7,999	8,701	6,257	4,840	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	09:24	B2	6,244	11,470	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	09:54	C2	6,476	9,298	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	10:23	T3S3	5,475	8,785	8,743	7,851	8,354	7,999	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	10:48	B2	6,953	10,603	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	10:59	B2	3,656	8,999	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	11:08	T3S3	6,577	6,236	9,729	6,637	7,476	8,213	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	11:10	C2	2,115	4,143	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	11:28	T3S2S2	6,935	9,975	10,035	978	7,164	7,170	4,808	0	0	0
SUBE	4/1/12	12:05	B2	7,683	11,277	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	12:40	T3S2	5,626	9,298	8,645	12,081	12,207	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	13:16	B2	7,350	10,846	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	13:24	T3S3	6,268	8,108	7,655	6,630	6,328	5,686	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	14:19	C2	3,958	6,247	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	14:39	T3S3	6,889	8,971	8,936	5,257	7,905	10,263	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	15:16	B2	5,802	10,527	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	15:18	C3	7,476	9,744	8,504	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	15:21	C2	2,071	3,629	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	15:40	COCHE	2,131	3,996	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	15:59	B2	4,931	8,869	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	16:06	T3S3	6,977	8,184	8,209	9,673	9,189	6,268	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	16:08	T3S3	6,426	9,291	9,164	5,584	8,079	10,877	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	16:20	C2	3,621	9,733	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	16:25	B2	6,865	10,593	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	16:36	B2	5,033	9,708	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	16:39	B2	7,627	10,561	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	16:56	C2	2,319	3,368	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	16:58	C2	6,072	9,392	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	17:03	T3S3	6,665	8,655	8,104	6,026	7,212	7,999	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	17:40	T3S3	5,450	2,926	3,032	1,642	2,148	2,593	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	17:45	C2	7,335	9,880	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	18:01	C2	2,456	2,709	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	18:06	C2	4,773	10,778	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	18:25	T3S3	4,952	3,309	3,337	1,318	1,115	3,706	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	18:55	T3S2	5,053	8,051	8,279	8,585	7,707	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	19:24	C2	7,978	11,667	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	19:28	B2	8,399	12,081	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	19:34	T3S3	5,127	9,578	9,462	7,044	8,750	7,974	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	19:47	C4	8,065	11,408	8,129	3,204	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	19:54	C2	6,008	12,811	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	20:12	C2	3,017	8,771	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	20:13	B2	7,581	11,425	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	20:16	B2	7,114	11,871	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	20:23	B2	3,836	8,933	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	20:29	B2	7,626	10,645	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	20:33	B2	7,230	9,452	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	20:40	B2	7,567	11,709	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	20:53	B2	8,364	12,419	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:00	B2	7,633	12,759	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:02	C3	6,321	9,417	10,119	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:03	B2	8,922	9,990	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:17	B2	7,307	10,923	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:18	B2	6,953	10,140	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:27	B2	7,616	11,000	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:27	T3S3	6,637	10,452	10,319	912	9,147	13,461	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:29	C3	5,475	4,798	4,095	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:44	B2	7,163	11,292	0	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	4/1/12	21:49	B2	7,216	11,815	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:52	C2	4,179	7,641	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	21:58	B2	7,609	12,657	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	22:08	B3-1	7,799	9,663	5,299	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	22:11	B2	8,333	11,291	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	22:16	C3	6,402	5,205	4,741	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	22:21	C2	2,632	10,032	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	22:42	C2	7,532	10,543	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	23:34	C2	3,509	10,024	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	23:39	C3	5,233	5,036	4,864	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	4/1/12	23:43	C2	2,555	4,611	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	00:06	B2	6,024	8,538	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	00:16	T3S3	7,332	10,333	5,851	5,991	9,224	9,311	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	00:16	C2	3,562	6,346	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	00:17	T3S3	5,219	8,065	13,078	6,131	7,813	8,866	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	00:33	C3	5,383	3,779	2,203	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	01:23	C3	8,304	13,050	13,749	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	01:37	T2S3	7,630	14,026	6,012	7,282	9,442	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	01:50	C3	7,002	10,137	8,922	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	01:50	C2	8,813	7,743	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	01:57	T3S3	7,707	11,730	7,367	4,780	7,026	9,940	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:13	T3S3	6,468	8,265	8,065	8,216	8,743	6,068	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:27	T3S3	6,493	8,683	8,715	8,227	9,175	6,791	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:28	T3S3	5,619	10,141	6,177	6,492	8,855	10,143	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:32	C2	1,650	1,882	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:33	C2	6,486	8,953	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:34	C2	2,579	2,843	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:45	T3S3	5,040	9,129	9,069	6,872	7,353	8,564	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:45	T3S3	4,962	9,463	9,325	5,117	7,722	9,800	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:56	T3S3	7,311	9,550	9,182	5,840	8,473	8,392	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:56	T3S3	5,837	9,677	9,340	6,229	8,754	8,504	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	04:56	T3S3	5,847	8,561	8,704	5,299	9,515	12,120	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	05:01	C2	4,973	12,474	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	05:19	T2S3	6,128	4,275	1,923	1,782	2,315	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	05:35	COCHE	3,685	7,606	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	05:42	T3S3	7,083	9,993	9,785	5,286	7,353	9,083	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	05:59	C4	8,901	9,284	8,855	4,738	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	06:28	T3S3	7,107	9,041	8,848	7,641	9,150	8,181	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	06:50	T3S3	7,181	10,572	7,356	4,172	8,747	9,869	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	06:50	COCHE	504	504	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	07:01	T3S3	6,177	4,720	5,046	3,636	4,355	4,671	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	07:04	COCHE	680	501	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	07:04	T3S3	5,307	7,202	7,061	10,695	6,896	4,443	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	07:27	C3	6,422	5,152	5,096	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	07:45	T3S3	5,857	2,755	2,726	1,543	2,165	1,940	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	07:46	T3S3	6,760	7,645	7,732	6,886	7,279	7,816	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	08:00	T3S3	4,811	2,681	2,758	2,109	2,031	2,175	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	08:25	COCHE	2,217	2,319	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	08:52	T3S3	5,549	6,307	6,469	7,224	6,395	5,251	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	09:15	T3S3	5,046	8,392	8,413	7,672	8,470	8,037	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	09:25	C3	7,756	8,153	8,610	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	09:26	C2	5,749	8,729	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	10:38	B2	6,349	9,656	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	10:58	B2	4,531	9,056	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	11:24	B2	6,072	8,900	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	11:25	C2	2,962	6,875	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	11:32	C2	2,031	1,674	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	11:39	C2	4,958	8,728	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	11:44	T3S3	6,676	8,550	8,624	6,704	8,694	9,852	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	12:09	B2	8,164	11,976	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	12:11	C2	4,604	7,223	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	12:26	C2	4,053	9,761	0	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	5/1/12	12:48	T3S3	5,391	9,880	9,817	6,615	6,991	8,178	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	12:48	T3S3	5,567	9,017	8,887	7,490	7,974	8,213	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	12:59	C2	1,859	1,372	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	13:03	C3	7,813	5,422	4,503	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	13:06	C3	7,110	4,980	5,218	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	13:10	T3S3	5,338	10,407	10,213	922	11,428	10,698	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	13:15	T3S3	5,594	8,659	8,529	7,760	8,308	8,971	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	13:19	COCHE	2,172	2,161	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	13:47	T3S3	6,033	9,733	10,020	7,392	7,939	7,332	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	13:59	T3S3	4,822	9,126	9,635	7,827	7,536	7,335	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	14:05	T3S3	6,609	9,115	8,866	7,714	7,444	8,634	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	14:06	T3S3	5,451	8,508	8,385	6,753	8,013	9,571	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	14:22	C3	6,605	5,229	5,201	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	14:29	C2	6,655	9,972	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	14:37	C2	5,328	11,674	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:07	C3	6,029	1,793	2,017	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:12	B2	6,630	10,972	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:19	T3S3	5,365	8,324	7,982	6,257	6,155	5,970	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:24	T3S3	6,957	10,435	4,991	6,128	8,936	10,045	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:34	T3S3	6,739	8,666	8,613	8,540	8,083	8,248	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:34	T3S3	5,952	16,536	2,811	6,398	8,490	9,884	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:35	T3S3	6,630	13,387	2,769	9,589	10,003	7,364	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:35	T3S3	5,991	13,587	3,587	8,662	10,119	9,989	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:35	T3S3	5,447	9,662	9,789	5,204	8,431	9,501	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:36	T3S3	4,201	9,523	9,480	9,024	8,929	7,672	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:42	T3S3	5,552	16,420	2,951	5,370	8,217	9,189	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:43	T3S3	5,682	9,171	8,961	6,984	8,455	8,757	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:46	C2	2,555	4,134	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:52	B2	3,481	7,771	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	15:56	C2	4,910	9,620	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	16:03	T3S3	4,776	8,606	8,665	6,043	7,023	10,074	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	16:09	T3S3	5,160	9,262	9,192	6,918	6,615	6,785	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	16:24	B2	7,251	10,814	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	16:25	T3S3	6,914	6,384	10,136	4,573	10,088	9,277	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	16:31	T3S3	6,788	8,957	8,350	7,978	8,543	8,322	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	16:32	C2	7,546	11,877	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	16:39	B2	5,952	11,014	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	16:47	C2	3,555	4,615	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	16:48	B2	7,742	11,319	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	17:09	COCHE	2,888	4,050	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	17:16	B2	7,223	12,165	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	17:22	B2	7,195	11,442	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	17:57	T2S3	5,689	12,274	3,692	5,545	7,823	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	17:58	C3	6,928	5,033	5,081	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	17:58	C2	4,756	6,742	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	17:59	T3S3	4,088	8,904	9,056	8,118	8,522	7,255	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	18:08	C2	3,312	5,784	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	18:15	C2	3,155	7,546	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	18:21	C2	2,063	2,155	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	18:42	C2	7,659	12,018	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:06	T3S3	5,527	3,319	3,116	1,515	2,028	3,127	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:13	C2	3,158	7,831	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:15	B2	7,125	11,499	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:17	C2	6,356	15,156	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:18	T3S2S2	5,727	3,049	3,096	704	912	1,351	3,752	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:19	C2	3,401	6,851	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:24	C2	4,650	6,949	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:28	C2	4,004	4,843	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:34	C2	4,562	9,312	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:39	C2	6,767	9,434	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:53	C2	4,931	12,461	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	19:57	B2	7,164	10,200	0	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	5/1/12	19:58	C2	6,760	6,276	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:06	C2	5,173	9,087	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:07	B2	7,139	10,670	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:15	B2	4,412	8,863	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:18	C2	2,109	1,221	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:31	B2	7,437	12,425	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:35	C2	5,563	13,612	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:38	B2	8,086	10,716	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:42	B2	4,243	7,634	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:57	B2	7,494	13,026	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	20:58	B2	7,370	11,295	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:01	B3-1	8,515	8,719	7,142	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:02	C2	2,316	2,171	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:15	B2	7,073	10,508	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:19	B2	8,768	13,253	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:25	C2	6,960	9,193	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:30	B3-1	7,996	10,491	5,514	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:33	B2	6,928	10,864	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:39	C2	4,468	8,409	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:39	C3	3,892	7,023	4,429	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:45	C2	5,651	5,654	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:52	C2	4,219	7,557	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:55	B2	7,862	11,323	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:56	C2	4,390	9,750	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:57	C2	4,201	12,190	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	21:58	C2	7,371	11,748	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:04	C2	4,545	4,818	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:09	B2	8,480	12,162	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:14	COCHE	3,464	7,971	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:15	C2	3,814	9,708	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:19	C2	3,885	12,120	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:23	B2	7,827	11,723	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:30	C4	7,433	8,206	7,304	3,439	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:34	C2	2,684	6,732	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:45	C2	9,631	12,306	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:47	C2	4,562	11,207	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:48	C2	4,352	7,795	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:49	C2	3,720	13,787	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:51	C2	5,022	7,321	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:51	C2	5,285	10,955	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:52	B2	8,529	11,818	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:53	C2	4,496	11,091	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:54	C2	1,735	1,776	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	22:58	C2	4,643	8,599	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	23:01	COCHE	2,990	5,840	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	23:04	B2	7,191	12,225	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	23:13	C2	5,067	8,836	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	5/1/12	23:38	T3S3	5,875	3,313	3,257	3,228	2,611	1,775	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	00:00	C2	3,944	8,887	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	00:10	C2	4,780	12,331	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	00:27	C2	6,609	10,431	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	00:30	C2	3,025	4,632	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	01:11	C3	6,475	4,930	5,373	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	01:52	T3S3	4,046	16,251	1,168	6,949	7,974	7,914	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	02:30	COCHE	2,242	2,881	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	03:04	T3S3	6,844	8,052	6,763	5,198	5,492	6,258	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	03:29	T3S3	4,973	8,588	8,880	6,054	8,694	9,445	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	03:32	C2	4,710	10,617	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	04:04	T3S3	6,391	7,202	7,048	6,931	7,721	6,413	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	04:05	C2	4,267	9,206	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	04:19	COCHE	2,189	3,243	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	05:11	C3	6,868	15,367	12,499	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	6/1/12	05:13	C4	7,423	11,966	9,158	1,639	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	05:39	C2	3,176	6,479	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	05:45	C3	4,759	5,046	4,085	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	05:49	C2	4,573	10,077	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	05:49	C2	3,126	3,554	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	06:15	T3S3	6,199	8,129	7,507	8,020	8,184	7,143	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	06:19	C3	5,802	9,325	9,034	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	07:12	T3S3	7,620	9,245	9,133	5,949	8,838	10,010	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	07:16	T3S3	5,756	7,943	7,861	8,034	7,206	7,342	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	07:44	T2S3	7,083	14,201	7,391	7,550	9,329	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	08:29	T3S2	6,037	9,263	9,217	12,138	11,698	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	08:30	COCHE	2,351	5,338	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	08:33	T2S2	5,114	13,689	8,483	7,553	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	08:35	T3S3	7,069	585	14,286	7,610	8,122	6,858	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	08:42	T2S2	4,657	6,886	3,148	2,919	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	08:53	T3S3	5,110	5,430	1,642	1,287	3,159	2,958	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	09:39	T3S3	6,135	5,612	10,776	6,370	8,410	9,291	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:06	C2	7,581	11,358	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:17	T3Se2	7,805	10,312	5,798	9,585	13,254	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:18	T2S2	7,753	14,686	9,624	11,186	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:18	T3S2	5,285	9,175	8,718	10,175	9,656	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:18	T3S2	5,742	9,652	9,536	10,754	10,979	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:18	T3S2	5,237	8,704	8,712	8,396	10,681	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:18	C2	3,758	9,379	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:19	T3S2	5,707	9,796	9,754	10,165	11,011	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:25	C3	6,198	9,231	8,364	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:34	T3S3	6,630	8,684	8,578	1,255	11,909	11,814	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:48	B2	6,528	9,789	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:50	T3S3	5,689	8,628	8,760	7,034	7,416	9,747	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	10:57	B2	4,889	10,116	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	11:02	T3S3	5,289	8,981	8,943	8,403	8,346	7,549	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	11:11	C2	7,904	10,046	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	11:16	C2	3,871	8,069	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	11:24	C2	5,457	6,342	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	11:55	C3	8,350	10,480	8,814	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	11:58	C3	6,820	8,315	8,378	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	12:02	T3S3	5,752	9,245	9,066	7,230	7,974	9,193	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	12:31	C2	2,804	4,822	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	13:04	T3S2S2	4,893	3,899	3,548	1,042	3,197	2,741	3,148	0	0	0
SUBE	6/1/12	13:07	T2S3	4,847	6,079	1,923	2,070	1,719	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	13:09	C3R3	7,237	9,508	7,171	9,708	4,313	4,973	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	13:14	T3S3	7,013	8,817	8,679	8,715	7,911	8,234	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	13:27	COCHE	2,758	3,369	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	13:38	T3S3	5,703	9,715	9,862	7,072	7,658	7,792	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	13:50	T3S3	4,671	9,171	9,645	8,006	9,150	8,669	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	14:06	T3S3	6,988	7,178	6,724	6,841	7,609	7,676	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	14:07	T3S3	6,401	9,473	9,778	7,532	7,620	6,539	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	14:08	COCHE	1,990	3,727	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	14:21	C2	2,481	3,877	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	14:38	T3S3	6,802	8,452	8,252	6,556	7,732	8,125	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	14:42	C2	3,471	5,707	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	14:50	T3S3	8,140	9,393	8,413	3,475	6,763	8,585	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	14:52	COCHE	2,179	3,260	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	15:03	T3S2	6,384	7,103	6,795	9,041	9,831	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	15:10	T3S3	7,153	8,774	8,684	5,956	7,371	11,354	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	15:15	C2	2,811	4,018	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	15:23	B2	6,785	9,372	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	15:31	T3S3	5,408	9,027	9,171	5,857	8,392	9,867	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	15:32	T3S2	5,135	7,588	7,248	8,048	8,596	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	15:43	T2S2S1	7,536	14,359	1,045	11,481	10,723	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	15:46	C2	4,151	8,771	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	15:59	C2R2	4,036	5,159	3,257	3,604	0	0	0	0	0	0

SUBE	6/1/12	16:13	COCHE	1,835	1,635	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	16:14	T3S3	6,904	8,585	8,326	5,485	9,767	9,932	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	16:46	B2	6,500	9,419	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	16:49	B3-1	7,090	8,767	4,439	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	16:58	B2	5,341	11,565	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	17:01	T2S3	4,495	6,612	1,332	1,708	1,926	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	17:16	T3S3	7,953	1,607	13,012	7,732	8,276	8,859	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	17:21	C2	3,597	7,287	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	17:31	T3S3	6,977	7,272	7,427	7,693	8,079	8,589	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	17:33	B2	7,851	10,824	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	17:41	B3-1	6,848	9,813	4,692	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	18:05	T3S3	6,584	8,037	8,108	10,375	10,214	4,692	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	18:07	T3S3	4,766	8,097	8,150	8,448	9,603	7,459	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	18:07	C2	1,979	1,189	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	18:16	T3S3	5,413	6,576	6,709	5,996	6,679	6,512	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	18:25	C2	2,498	7,985	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	18:29	T3S3	6,605	8,286	8,508	5,394	7,409	8,802	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	18:50	T3S3	5,538	8,441	9,063	8,947	7,831	8,090	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	19:16	C2	7,097	10,712	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	19:24	T3S3	5,008	2,895	2,860	3,348	1,919	1,442	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	19:49	T3S3	5,422	8,472	8,554	9,206	8,132	7,883	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	19:50	T3S2	6,629	12,313	4,762	9,705	11,007	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	19:54	B2	7,006	12,664	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	19:54	T3S3	5,050	18,298	4,345	1,776	7,984	9,519	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	19:55	B2	7,241	11,154	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	19:57	C2	5,380	10,680	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:08	T3S3	4,811	3,331	3,123	1,083	1,824	3,017	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:09	B2	7,749	10,126	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:16	B2	5,440	9,115	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:17	B2	7,644	10,667	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:18	B2	3,723	8,862	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:26	C2	4,243	7,026	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:47	C2	7,521	12,748	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:49	C2	3,355	6,391	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:52	B2	7,810	11,586	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	20:55	B2	7,104	12,075	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:04	B2	6,946	9,870	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:07	B2	7,627	12,239	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:12	C2	5,756	6,988	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:19	B2	6,869	12,165	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:19	B2	6,924	12,225	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:24	B2	6,258	7,434	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:26	B2	8,241	10,839	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:33	C2	6,781	9,624	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:40	C2	2,765	6,275	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:43	C2	2,649	4,594	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:47	B2	7,308	11,962	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	21:54	C3	4,587	6,318	6,198	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	22:02	C2	3,895	7,048	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	22:04	C2	4,731	12,109	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	22:18	C2	7,310	11,758	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	22:22	COCHE	2,397	5,040	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	22:42	C2	3,755	7,441	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	22:51	T3S3	7,233	6,001	10,846	5,106	8,525	8,486	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	22:53	T3S3	5,728	15,595	3,004	7,381	7,254	7,872	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	22:59	C3	6,812	14,230	13,970	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	23:04	C3	5,429	8,715	8,300	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	23:07	COCHE	2,334	2,775	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	6/1/12	23:26	C2	5,472	13,032	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	00:04	C3	8,188	12,930	11,860	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	03:50	C3	7,623	16,223	13,833	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	04:07	C3	5,246	9,020	9,143	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	7/1/12	04:14	C3	6,044	9,691	8,189	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	04:29	T3S3	5,570	8,663	8,416	6,395	7,887	10,677	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	04:30	T3S3	5,440	8,687	8,448	6,623	8,497	10,386	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	05:35	COCHE	2,407	4,418	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	05:58	T3S3	7,216	9,656	9,164	5,980	8,119	8,529	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	05:59	T3S3	7,132	9,322	9,115	5,065	9,382	8,312	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	06:00	T3S3	5,341	6,195	6,745	6,075	4,362	3,176	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	06:03	C3R2	7,602	9,862	9,097	7,553	8,031	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	06:50	T3S3	7,514	9,740	10,091	6,616	8,202	9,487	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	07:02	T3S3	7,097	8,354	7,914	4,812	7,490	10,389	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	07:35	T3S3	7,118	8,824	8,476	6,254	8,016	8,592	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	07:35	T3S3	6,854	8,694	8,578	9,537	7,353	6,957	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	07:36	T3S3	5,285	8,290	8,192	7,795	8,862	8,687	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	07:39	T3S3	6,932	8,736	8,648	8,030	8,518	8,388	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	07:51	C3	4,604	7,644	8,377	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	08:02	C2	4,756	10,368	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	08:20	C2	4,085	8,445	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	08:26	T3S3	7,030	9,683	9,382	4,057	8,487	9,228	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	08:30	C2	2,211	2,516	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	09:43	C2	5,563	10,249	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	10:02	C2	4,355	6,331	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	10:48	C2	6,444	7,936	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	10:56	T3S3	6,746	11,650	5,366	6,465	8,623	11,218	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	11:04	B2	4,063	8,529	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	12:00	T3S3	5,277	7,761	7,812	6,450	6,032	6,243	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	12:43	T3S2	7,468	8,582	9,024	8,606	10,214	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	13:05	B2	8,767	13,352	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	13:07	T3S3	5,022	11,141	11,207	6,261	6,809	7,637	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	13:07	C2	3,527	5,742	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	13:22	T3S3	4,682	8,498	9,070	9,561	8,304	5,352	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	13:27	C2	2,214	1,653	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	13:33	B2	6,960	9,593	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	14:10	T3S3	5,335	2,979	2,341	1,835	2,544	2,604	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	14:15	T3S3	4,661	9,277	9,231	6,837	8,441	8,627	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	15:07	T3S3	6,075	8,455	8,420	6,549	9,912	6,819	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	15:26	B2	7,016	9,392	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	15:52	C2	6,040	9,926	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	16:06	C2	4,355	9,972	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	16:11	T3S3	4,111	2,717	2,409	1,213	1,472	1,787	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	16:41	B2	7,177	9,937	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:05	B3-1	7,143	9,245	4,537	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:12	T3S3	5,759	9,038	9,154	6,496	7,353	8,410	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:16	C3	4,825	7,226	3,776	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:18	C3	9,000	11,292	5,022	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:23	T2S3	5,622	3,783	2,263	2,298	1,751	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:23	T3S3	5,549	3,099	2,716	1,484	2,467	2,976	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:23	T3S3	5,970	1,028	4,204	1,797	2,313	2,636	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:35	T3S3	7,160	9,431	9,392	4,959	7,216	9,115	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:43	T3S3	5,232	8,659	8,385	6,956	9,154	7,539	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	17:46	C2	6,850	11,931	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	18:29	C2	4,152	9,372	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	18:44	C3	6,209	4,836	4,839	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	18:51	T3S3	7,104	8,041	8,441	7,399	6,816	6,648	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	18:55	B2	6,956	9,841	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	19:00	C3	4,250	11,755	7,146	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	19:02	C2	3,800	6,391	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	19:13	COCHE	3,299	2,625	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	19:56	C2	3,660	5,061	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	20:13	B2	5,710	10,677	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	20:13	B2	7,096	10,470	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	20:23	C3	6,531	4,773	4,650	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	20:24	B2	4,043	8,023	0	0	0	0	0	0	0	0

SUBE	7/1/12	20:26	COCHE	2,828	7,188	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	20:31	B2	8,002	12,337	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	20:34	C2	4,885	7,020	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	20:40	T3S3	6,826	7,609	7,644	5,690	7,517	7,627	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	20:54	B2	7,897	10,663	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	20:58	T3S3	6,577	7,054	12,376	1,098	10,656	14,110	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:02	COCHE	3,095	6,682	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:14	B2	7,546	13,510	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:23	B2	7,609	11,948	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:24	B2	6,781	11,428	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:25	C2	7,209	9,600	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:27	B2	6,553	10,119	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:30	T3S3	6,875	6,457	12,720	1,154	9,224	11,361	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:36	B2	7,364	10,729	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:42	C2	6,177	13,025	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:47	B2	6,798	10,302	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	21:47	C2	7,662	11,905	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	22:03	B2	7,416	10,993	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	22:04	B2	7,553	10,863	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	22:08	B2	7,725	11,660	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	22:12	T2Se3	6,900	14,191	7,124	7,834	9,431	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	23:07	C3	7,532	16,034	9,792	0	0	0	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	23:07	C3R3	7,510	10,386	9,873	10,098	6,121	6,071	0	0	0	0
SUBE	7/1/12	23:45	B2	7,259	11,151	0	0	0	0	0	0	0	0