

MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y
AGRIMENSURA**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

TESIS DE GRADUACION

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS

DIRECTOR:

Dra. Ing. Marta PAGOLA

CO- DIRECTOR:

Dr. Ing. Oscar GIOVANON

Maestrando: Ing. Jorge E. RAMONEDA

OCTUBRE 2019

RESUMEN

Sin lugar a dudas que el transporte de vehículos pesados en la República Argentina es el principal problema a resolver. Constituye la mayor vía de intercambio de mercaderías, sistema sustentado por políticas de estado que no fomentan o apoyan otras formas de transporte de mayor viabilidad como el ferrocarril o las vías navegables. Por distintos motivos el transporte vial se ha convertido en el principal medio que ha ganado, y lo sigue logrando, campo de acción en el régimen de intercambios de mercadería nacional e internacional. Esta creciente demanda no se ve acompañada de estrategias gubernamentales tendientes no solo a controlar los pesos legales permitidos sino también a ajustar la principal variable que afecta a la infraestructura vial, el peso real por eje.

Numerosos autores, entre los que se pueden citar Lilli Lochart han profundizado estudios y análisis a los efectos de valorar el desarrollo en el tiempo de los pesos por eje que transitan en algunas rutas nacionales del país, y a partir de dicho dato el impacto que genera en el diseño y la vida útil de la obra. Sin embargo, los pocos estudios desarrollados se concentran en sectores que no necesariamente representan la extensa red de caminos de la República Argentina.

Sumado al aspecto del bajo nivel de conocimiento de las cargas que transitan por las diferentes rutas que conforman la red primaria tanto en nivel de pesos reales como de variabilidad anual de los mismos, se agrega que las reparticiones técnicas oficiales no han asumido en toda su dimensión un programa de verificación y actualización de datos recolectados sistemáticamente en forma anual que permita a los proyectistas contar con información fehaciente y actualizada del estado del transporte carretero. Si bien la Dirección Nacional de Vialidad ha logrado elaborar un sistema de control de tránsito asociado a la auscultación de la composición vehicular, velocidades y niveles de servicio que mantiene relativamente actualizado vía página web, no ha podido replicar el mismo procedimiento para publicar los factores de camión por ruta y kilómetro, principal input del diseño vial. Otro aspecto a considerar es que el sistema de pesaje tradicional no se ha complementado a la fecha con sistemas automáticos y dinámicos de recolección de datos, tan difundidos a nivel mundial

A través del presente trabajo se pretende sumar un aporte al conocimiento de la valoración del factor de camión en tres Rutas Nacionales de gran impronta que conforman arterias primarias de relevancia como lo son la RN N° 168, RN N° 9 y RN N° 11, profundizando el análisis de las cargas pesadas en tres pares de balanzas de la zona Centro del país, como lo son la Ruta Nacional N° 168, N° 9 y N° 11, durante períodos superiores a dos años. Sumado al objetivo del factor de camión se propusieron ajustes en la valoración del mismo, de mejor aproximación a la bibliografía internacional que los propios adoptados por la dirección Nacional de Vialidad.

Para lograr los objetivos se sistematizaron, evaluaron y corrigieron los datos auscultados en las tres balanzas señaladas, input a partir de los cuales se calcularon los factores de camión por los métodos tradicionales como AASHTO, Vialidad Nacional, Lilli Lockhart y los propios propuestos por quien suscribe. A través de ejemplos de aplicación concretos de cálculo de ejes equivalentes se analizará la incidencia de cada una de las formulaciones en el resultado final.

Cabe acotar que se complementa el informe con el estudio de la variación de la trayectoria del tránsito pesado en el perfil transversal de la calzada, censos que se efectuaron durante la etapa de desarrollo del trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1.....	13
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	13
1.1. INTRODUCCIÓN	13
1.2. EL TRÁNSITO PESADO EN LAS RUTAS ARGENTINAS	13
1.3. RELEVANCIA DEL TEMA DE TESIS	17
1.4. OBJETIVOS.....	18
1.4.1. OBJETIVOS GENERALES	18
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO 2.....	20
MARCO NORMATIVO/ LEGAL	20
CAPÍTULO 3.....	27
CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES	27
3.1. INFLUENCIA DEL TRÁNSITO EN LA APLICACIÓN DE LA CARGAS EN EL PAVIMENTO	27
3.2. CONCEPTO DE ESPECTRO DE CARGAS	27
3.3. CONCEPTO DE CARGA EQUIVALENTE	28
3.3.1. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA EQUIVALENCIA DE CARGA.....	29
3.4. FACTORES QUE AFECTAN EL DAÑO EN PAVIMENTOS Y LA CARGA EQUIVALENTE (Universidad de Minnesota, 1999)	32
3.4.1. CARGAS.....	32
3.4.1.1. Magnitud de la Carga	33
3.4.1.2. Configuración de la Carga.....	33
3.4.1.3. Espaciado entre ejes	36
3.4.1.4. Distribución de la carga.....	37
3.4.1.5. Disposición lateral.....	39
3.4.1.6. Efectos dinámicos	40
3.4.1.6. Características de los neumáticos.....	49
3.4.2. CONDICIONES AMBIENTALES.....	57
3.4.2.1. Temperatura	57
3.4.2.2. Humedad	60
CAPÍTULO 4.....	62
FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGAS (LEF)	62

4.1. ENFOQUE EMPÍRICO	62
4.2. ENFOQUE RACIONAL.....	67
4.3. CONCLUSIONES	73
CAPÍTULO 5.....	76
ANTECEDENTES EN ARGENTINA	76
CAPÍTULO 6.....	90
METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	90
6.1. EQUIPOS PARA CONTROL DE PESOS Y DIMENSIONES	90
6.2. JUSTIFICACIÓN DE LA ADOPCIÓN DE LAS BALANZAS	90
6.2.1. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN	90
6.2.2. ESTACIONES DE CONTROL DE PESO	91
6.3. PROCEDIMIENTO DE CONTROL	94
6.3.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	94
CAPÍTULO 7.....	96
CARACTERIZACIÓN REGIONAL DEL TRANSITO.....	96
7.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA CALIBRACIÓN DE LAS BALANZAS DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD.....	96
7.1.1. RESOLUCIONES Y REGLAMENTOS VIGENTES.....	96
7.1.2. METODOLOGÍA APLICADA	97
7.1.3. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE LAS BALANZAS ADOPTADAS	99
7.2. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO REGIONAL CONSIDERANDO LAS BALANZAS EN ESTUDIO	100
7.2.1. CONSIDERACIONES SOBRE LA SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN ...	100
7.2.2. EJES RELEVADOS POR BALANZA.....	100
7.2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS ACTUANTES EN CADA SECCIÓN	102
7.2.3.1. Porcentaje de vehículos sobrecargados s/ tipo de eje- Balanzas RN N° 168- “Colastiné”	103
7.2.3.2. Porcentaje de vehículos sobrecargados s/ tipo de eje- Balanzas RN N° 9- “Río Tala”	105
7.2.3.3. Porcentaje de vehículos sobrecargados s/ tipo de eje- Balanzas RN N° 11- “Margarita Belén”	108
7.2.4. DETERMINACIÓN DE LOS ESPECTROS DE CARGA	112
7.3. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE CAMIÓN.....	113

7.3.1. ANÁLISIS DE LA VARIACION MENSUAL Y ANUAL DE LOS FACTORES DE CAMIÓN.....	113
7.3.1.1. Variación Mensual y Anual Balanzas “Colastiné” RN N° 168	114
7.3.1.2. Variación Mensual y Anual Balanzas “Río Tala” RN N° 9.....	118
7.3.1.3. Variación Mensual y Anual Balanza “Margarita Belén” RN N° 11	121
7.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CAMIÓN.....	124
7.3.2.1. Variación de los Factores de Camión Balanza “Colastiné” RN N° 168	124
7.3.2.2. Variación de los Factores de Camión Balanza “Río Tala” RN N° 9	125
7.3.2.3. Variación de los Factores de Camión Balanza “Margarita Belén” RN N° 11	125
7.3.3. COMPARACIÓN DE LOS FACTORES DE CAMIÓN RESPECTO A LOS MÉTODOS TRADICIONALES DE CÁLCULO.....	126
7.3.3.1. Comparación Factores de Camión Balanza “Colastiné” RN N° 168.....	126
7.3.3.2. Comparación Factores de Camión Balanza “Río Tala” RN N° 9	128
7.3.3.3. Comparación Factores de Camión Balanza “Margarita Belén” RN N° 11	130
7.3.3.4. Gráficos Comparación Factores de Camión Balanza “Margarita Belén” RN N° 11 ..	132
7.3.3.5. Comparación Factores de Camión según Tipo de Eje	145
7.4. TABLA RESUMEN DE ESPECTROS DE CARGA S/TIPO DE EJE.....	145
7.5. COMPARACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LOS FACTORES DE CAMIÓN	151
7.6. DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL DEL TRÁNSITO	154
CAPÍTULO 8.....	160
RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	160
8.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	160
8.2. CONCLUSIONES	162
BIBLIOGRAFÍA.....	164
ANEXO I- ESPECTRO DE CARGA ANUAL POR CONFIGURACIÓN DE VEHÍCULO	168
BALANZAS RN N° 168- “COLASTINÉ”	168
BALANZAS RN N° 9- “RÍO TALA”	168
BALANZAS RN N° 11- “MARGARITA BELÉN”	168
ANEXO II- VARIACIÓN MENSUAL FACTOR DE CAMIÓN.....	258
BALANZAS RN N° 168- “COLASTINÉ”	258
BALANZAS RN N° 9- “RÍO TALA”	258
BALANZAS RN N° 11- “MARGARITA BELÉN”	258

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación terminales portuarias entre localidades de Timbúes y Fray L. Beltran	16
Figura 2.1. Tabla según Ley 24.449- Fuente: Dirección Nacional de Vialidad.....	23
Figura 3.1. Aumento del factor de daño para determinadas configuraciones de vehículos pesados asociados a incrementos de carga (Deen et al., 1980).....	34
Figura 3.2. Fatiga relativa de un pavimento rígido vs carga por eje (Gillespie et al., 1993)	35
Figura 3.3. Fatiga relativa de un pavimento flexible vs carga por eje (Gillespie et al., 1993)	35
Figura 3.4. Tensiones en la parte inferior de una losa de pavimento rígido ocasionadas por un eje pasante (Gillespie et al., 1993)	37
Figura 3.5. Esfuerzo longitudinal máximo frente a la distancia del conjunto de rueda doble desde el borde del carril (Gillespie et al., 1993).....	40
Figura 3.6. Suspensiones típicas de camiones (Sousa, 1988)	43
Figura 3.7. El efecto de la velocidad del vehículo en las deflexiones de la superficie del pavimento máximo, según se midió en la prueba de carretera AASHO (Harr, 1962).....	44
Figura 3.8. Influencia del tipo de suspensión de eje simple en el daño por fatiga de un pavimento flexible.....	45
Figura 3.9. Influencia del tipo de suspensión de eje tandem en el daño por fatiga de un pavimento flexible.....	45
Figura 3.10. Ahuellamiento relativo causada por varios tipos de suspensión en tándem para un valor de IRI 150 in./mi. (Gillespie et al., 1993)	46
Figura 3.11. Daño relativo por fatiga del pavimento flexible (55 mph ESAL) vs. velocidad en tres niveles de rugosidad del camino (Gillespie et al., 1993)	47
Figura 3.12. Efecto de la velocidad del vehículo sobre la tensión de tracción en la parte inferior de la capa de CA (Sebaaly y Tabatabaee, 1993).....	47
Figura 3.13. Influencia del tipo de suspensión de eje simple sobre la fatiga del pavimento rígido (Gillespie et al., 1993).....	48
Figura 3.14. Influencia del tipo de suspensión de eje tandem sobre la fatiga del pavimento rígido (Gillespie et al., 1993).....	48
Figura 3.15. Influencia de la velocidad y del tipo de suspensión de eje tándem en el factor de carga dinámico (DLC) para pavimento rígido (Gillespie et al., 1993)	49
Figura 3.16. Influencia de la velocidad y el tipo de suspensión en tándem en la fatiga del pavimento rígido (Gillespie et al., 1993)	49
Figura 3.17. Distribución de las cargas de neumáticos (Deen et al., 1980)	50
Figura 3.18. Influencia de la deformación del pavimento flexible en función del tipo de neumáticos individuales, dobles y de base ancha (Gillespie et al., 1993).....	54
Figura 3.19. Influencia de la tensión del pavimento rígido en función del tipo de neumáticos simple, doble y de base ancha (Gillespie et al., 1993).....	55
Figura 3.20. Influencia de la temperatura de la superficie en el daño relativo por fatiga del pavimento flexible (Gillespie et al., 1993).....	58

Figura 3.21. Influencia de la temperatura de la superficie en el daño relativo por ahuellamiento (Gillespie et al., 1993).....	59
Figura 3.22. Efecto del gradiente térmico sobre la vida a fatiga a lo largo de una losa (Gillespie et al., 1993).....	60
Figura 4.1. Croquis representando las deflexiones observadas.....	71
Figura 6.1. Ubicación Estaciones de Control de Pesos Vialidad Nacional.....	91
Figura 6.2. Distribución por Provincias Estaciones de Control de Pesos Vialidad Nacional	91
Figura 6.3. Imagen satelital Estación de Control RN N° 168 “Colastiné- Prov. Santa Fe”	92
Figura 6.4. Imagen satelital Estación de Control RN N° 9 “Río Tala- Prov. de Bs As”.....	93
Figura 6.5. Imagen satelital Estación de Control RN N° 11 “Margarita Belén- Prov. Chaco”	94
Figuras 7.1. Variación anual factores de camión por configuración, Balanzas “Colastiné”	117
Figuras 7.2. Variación anual factores de camión por configuración, Balanzas “Río Tala”	121
Figuras 7.3. Variación anual factores de camión por configuración, Balanzas “Margarita Belén”.123	
Figura 7.4. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza ascendente “Colastiné”	133
Figura 7.5. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza ascendente “Colastiné”	134
Figura 7.6. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza descendente “Colastiné”	135
Figura 7.7. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza descendente “Colastiné”	136
Figura 7.8. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza ascendente “Río Tala”	137
Figura 7.9. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza ascendente “Río Tala”	138
Figura 7.10. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza ascendente “Río Tala”	139
Figura 7.11. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza descendente “Río Tala”	140
Figura 7.12. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza ascendente “Margarita Belén”	141
Figura 7.13. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza ascendente “Margarita Belén”	142
Figura 7.14. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza descendente “Margarita Belén”	143
Figura 7.15. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza descendente “Margarita Belén”	144
Figura 7.16. Foto relevamiento visual RN N° 34- Km 184,00	155
Figura 7.17. Foto relevamiento visual RN N° 11- Km 663,00	155

Figura 7.18. Foto relevamiento visual RN N° 34- Km 209,00	155
Figura 7.19. Foto relevamiento visual RN N° 34- Km 235,00	156
Figura 7.20. Foto relevamiento visual RN N° 34- Km 101,00	156
Figura 7.21. Foto relevamiento visual RN N° 11- Km 549,00	156
Figura 7.22. Foto relevamiento visual RN N° 11- Km 520,00	157
Figura 7.23. Foto relevamiento visual RN N° 11- Km 663,00	157
Figura 7.24. Foto relevamiento visual RN N° 11- Km 430,00	157
Figura 7.25. Variación transversal del neumático respecto al borde de calzada.....	158
Figura 7.26. Distribución normal de la posición del neumático	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Pesos máximos establecidos por configuración de ejes	25
Tabla 2.2. Denominación cubiertas superanchas	26
Tabla 3.1. Guía para el diseño empírico-mecanicista, parte 2. Entradas de diseño- Datos de carga y volumen- Capítulo 4. Tráfico	32
Tabla 3.2. Guía para el diseño empírico-mecanicista- Parte 2. Entradas de diseño - Capítulo 4	32
Tabla 3.3. Los factores de equivalencia en función del ahuellamiento para neumáticos convencionales y de base ancha (Gillespie et al., 1993)	54
Tabla 3.4. Los factores de equivalencia de carga neumáticos individuales de diferentes dimensiones (Gillespie et al., 1993)	56
Tabla 4.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $pt = 2,0$	65
Tabla 4.2. Mecanismos de falla y parámetros de respuesta	70
Tabla 4.3. Cargas en grupos de ejes con ruedas duales que causan el mismo daño que un eje estándar.....	73
Tabla 4.4. Resumen formulaciones LEF	75
Tabla 5.1. Coeficientes de daño, Manual de mejoramiento y refuerzos de pavimentos (1972)	76
Tabla 5.2. Factor de equivalencia DNV 1978	77
Tabla 5.3. Factor de equivalencia DNV (Década de 1990)	78
Tabla 5.4. Resumen de coeficientes LEF para las Rutas Nacionales N° 7, N° 8 y N° 14	79
Tabla 5.5. Planilla resumen de resultados obtenidos respecto a los Factores de Camión (TF)	81
Tabla 5.6. Comparación de valores LEF para ejes simples	84
Tabla 5.7. Comparación de valores LEF para ejes tándem	85
Tabla 5.8. Comparación de valores LEF para ejes trídém	86
Tabla 5.9. Comparación factores de camión de diversas metodologías aplicadas en el país.....	88
Tabla 5.10. Resumen de las diversas metodologías aplicadas en el país	89
Tabla 6.1. Rangos utilizados para la determinación de los espectros de carga.....	95

Tabla 7.1. Resolución (SCyNE) 2307/80. Del 11/11/1980. B.O.: 28/11/1980. Reglamentación metrológica y técnica	97
Tabla 7.2. Características de las Balanzas adoptadas.....	98
Tabla 7.3. Cargas de prueba para la calibración de balanzas	98
Tabla 7.4. Ciclo de pesada	98
Tabla 7.5. Porcentaje de vehículos pesados respecto al TMDA de cada tramo en estudio	100
Tabla 7.6. VP censados s/VP total (%)- “Colastiné”	101
Tabla 7.7. VP censados s/VP total (%)- “Río Tala”.....	101
Tabla 7.8. VP censados s/VP total (%)- “Margarita Belén”	101
Tabla 7.9. Cantidad de vehículos pesados por tipo de configuración- Balanza “Colastiné”	102
Tabla 7.10. Cantidad de vehículos pesados por tipo de configuración- Balanza “Río Tala”	102
Tabla 7.11. Cantidad de vehículos pesados por tipo de configuración- Balanza “Margarita Belén”	102
Tabla 7.12. Porcentaje de ejes sobrecargados por tipo de configuración - “Colastiné”	105
Tabla 7.13. Porcentaje de ejes sobrecargados por tipo de configuración - “Río Tala”	107
Tabla 7.14. Porcentaje de ejes sobrecargados por tipo de configuración - “Margarita Belén”	109
Tabla 7.15. Porcentajes máximos de sobrecarga por configuración- Balanzas “Colastiné”	110
Tabla 7.16. Porcentajes máximos de sobrecarga por configuración- Balanzas “Río Tala”	111
Tabla 7.17. Porcentajes máximos de sobrecarga por configuración- Balanzas “Margarita Belén”.111	
Tabla 7.18. Porcentajes de ejes simples direccionales con carga superior a 69 KN- Balanzas ascendentes.....	112
Tabla 7.19. Porcentajes de ejes simples direccionales con carga superior a 69 KN- Balanzas descendentes.....	112
Tabla 7.20. Comparación factores de camión balanzas “Colastiné”	124
Tabla 7.21. Comparación factores de camión balanzas “Río Tala”	125
Tabla 7.22. Comparación factores de camión balanzas “Margarita Belén”	126
Tabla 7.23. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza ascendente “Colastiné”	126
Tabla 7.24. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza ascendente “Colastiné”	127
Tabla 7.25. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza descendente “Colastiné”	127
Tabla 7.26. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza descendente “Colastiné”	127
Tabla 7.27. Relación factores s/distintos métodos de cálculo - Balanza ascendente “Colastiné”	128
Tabla 7.28. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza ascendente “Río Tala”	128
Tabla 7.29. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza ascendente “Río Tala”	129
Tabla 7.30. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza descendente “Río Tala”	129
Tabla 7.31. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza descendente “Río Tala”	129
Tabla 7.32. Relación factores s/distintos métodos de cálculo - Balanza ascendente “Río Tala”	130

Tabla 7.33. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza ascendente“Margarita Belén”	130
Tabla 7.34. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza ascendente“Margarita Belén”	131
Tabla 7.35. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza descendente“Margarita Belén”	131
Tabla 7.36. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza descendente“Margarita Belén”	131
Tabla 7.37. Relación factores s/distintos métodos de cálculo - Balanza ascendente“Margarita Belén”	132
Tabla 7.38. Relación cargas legales vs ejes de referencia propuestos	132
Tabla 7.39. Comparación rango de variación factores de camión método AASHTO 93 vs fórmula propuesta	145
Tabla 7.40. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza ascendente RN N° 168 “Colastiné”.....	145
Tabla 7.41. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tandem y tridem – Balanza ascendente RN N° 168 “Colastiné”	146
Tabla 7.42. Espectros de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza descendente RN N° 168 “Colastiné”.....	146
Tabla 7.43. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tandem y tridem – Balanza descendente RN N° 168 “Colastiné”	147
Tabla 7.44. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza ascendente RN N° 9 “Río Tala”.....	147
Tabla 7.45. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tandem y tridem – Balanza ascendente RN N° 9 “Río Tala”	148
Tabla 7.46. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza descendente RN N° 9 “Río Tala”.....	148
Tabla 7.47. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tandem y tridem – Balanza descendente RN N° 9 “Río Tala”	149
Tabla 7.48. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza ascendente RN N° 11 “Margarita Belén”.....	149
Tabla 7.49. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tandem y tridem – Balanza ascendente RN N° 11 “Margarita Belén”	150
Tabla 7.50. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza descendente RN N° 11 “Margarita Belén”.....	150
Tabla 7.51. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tandem y tridem – Balanza descendente RN N° 11 “Margarita Belén”	151
Tabla 7.52. Condiciones de borde asumidas para el cálculo de ejes equivalentes.....	152
Tabla 7.53. Composición del tránsito pesado respecto al total de camiones	152
Tabla 7.54. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza ascendente “Colastiné”.....	152
Tabla 7.55. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza descendente “Colastiné”....	152
Tabla 7.56. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza ascendente “Río Tala”	153
Tabla 7.57. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza descendente “Río Tala”	153

Tabla 7.58. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza ascendente “Margarita Belén”.....	153
Tabla 7.59. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza descendente “Margarita Belén”.....	153
Tabla 7.60. Resultados censos visuales distancia entre borde de calzada y rueda externa.....	158
Tabla 8.1. Comparación factores de camión entre los antecedentes propuestos y las balanzas seleccionadas.....	161

GLOSARIO

A.I: Instituto del Asfalto (Asphalt Institute)

AASHO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales.

AASHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (Association of State Highway and Transportation Officials)

AVC (Automatic vehicle classifier, clasificación automática de vehículos)

DNV: Dirección Nacional de Vialidad.

ESWL: Carga equivalente de rueda única (Equivalent single wheel load)

FC: Factor de camión

FHWA: Administración Federal de Carreteras (The Federal Highway Administration)

IMAE: Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras

I.N.T.I.: Instituto Nacional de Tecnología Industrial

LEF: Factor de equivalencia de daño/carga (Load Equivalency Factor)

NCHRP: Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carretera The National Cooperative Highway Research Program

OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (Organization for Economic Co-operation and Development)

SN: Número Estructural (Structural Number)

TMDA: Tránsito medio diario anual

WIM (Weighing in Motion, pesaje en movimiento)

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

Dentro del gran número de factores que se consideran actualmente para el análisis estructural y diseño de pavimentos, el tránsito vehicular es uno de los más importantes y de mayor sensibilidad en relación con el espesor de las estructuras. Su caracterización adecuada es fundamental para poder concebir estructuras viales que sean capaces de ofrecer altos desempeños en términos de durabilidad asociados a inversiones óptimas en el tiempo.

La importancia de ese factor es exponencialmente mayor en vías de alto tránsito pesado, como sucede en los ejes carreteros troncales del País, concentrados especialmente en la región centro, baricentro del comercio tanto nacional como internacional, sobre todo del transporte de cereales.

Argentina, como todos los países de la región, ejerce y penaliza el control de pesos y dimensiones amparados por la Ley 24.449 y los Decretos Reglamentarios N° 779/95 y 79/98 en todos aquellos vehículos pesados que de acuerdo al tipo de ejes no respetan los máximos permitidos por eje o carga total. Atento a este marco regulatorio, los diseños de estructuras nuevas como proyectos de rehabilitación de calzadas adecuan la estimación teórica de pesos por ejes por distintos procedimientos, pero entre los más utilizados se adoptan los valores máximos permitidos por peso y eje, respectivamente. Sin embargo, la tendencia a nivel mundial es profundizar este aspecto que tanta importancia reviste en términos de inversiones en obras de recuperación y desarrollo de las redes viales, adecuándolos al plano o situación actual dominante, que década tras década sufre cambios modales de tipo de transporte. Esta adecuación o articulación a escenarios actuales puede ser factible siempre y cuando las metodologías de recopilación de datos lo permitan en términos de fiabilidad y sistematización, y es en esta instancia en donde surge la real trascendencia los trabajos censales de peso que ejercen las balanzas fijas y dinámicas en gran parte de las arterias nacionales y provinciales.

Este trabajo investigativo tiene por finalidad indagar en un profuso cúmulo de información censal, de origen y protocolos seguros, para verificar el estado actual del peso por eje, caracterizando los registros de acuerdo a metodologías vigentes y proponiendo mejoras en términos de modelos actualizados.

1.2. EL TRÁNSITO PESADO EN LAS RUTAS ARGENTINAS

La distribución territorial de la red pavimentada refleja el patrón histórico de organización del territorio nacional. Su mayor grado de desarrollo se concentra en la región pampeana, perdiendo densidad en sentido norte y sur. El sistema vial predomina como el principal soporte físico del movimiento de cargas y pasajeros en el territorio nacional. De acuerdo con los cómputos de noviembre de 2014 correspondientes a la Dirección Nacional de los Registros Nacionales de la Propiedad Automotor y de Créditos Prendarios, el parque de vehículos a nivel nacional es de 8.545.455 unidades. De éstos, 75% son automóviles, 18% vehículos pesados que se desplazan en torno de los núcleos urbanos y sus áreas metropolitanas y 7% vehículos de traslado, de los cuales 95% realiza viajes interprovinciales y 5% atraviesa las fronteras. Para 2014 la DNV ofrece datos de tránsito medio diario anual (TMDA) para 132 rutas que se subdividen en 1361 tramos, con un promedio por tramo de 9.700 vehículos/día. De acuerdo con el TMDA, el movimiento principal de cargas y pasajeros se da en el corredor donde se concentra gran parte de la población y de las

principales actividades económicas del país: el que une Buenos Aires con Córdoba y Santa Fe. El resto presenta volúmenes de tráfico significativamente menores.

En cuanto a las cargas, según la publicación del Instituto del Transporte (Ministerio del Interior y Transporte- Presidencia de la Nación- Argentina) denominada PLAN FEDERAL ESTRATEGICO DE MOVILIDAD Y TRANSPORTE, el total transportado en 2015 se estima en 408.913.542tn (que surgen de 13.630.451 camiones de 30 toneladas de capacidad, según el TMDA). De esta carga, 55% se debe a productos y sub-productos agrícolas y forestales, 20% a productos de origen animal, 9% a combustibles, 7% a minería y otro tanto a construcción y productos industriales, respectivamente. Eso se corresponde con un total de 126.523 millones de toneladas equivalentes-kilómetro, para una distancia media de 309km.

Las actividades agro-ganaderas ocuparon un lugar preponderante en la región Centro y Buenos Aires hasta comienzos de los años '30 del siglo XX. Desde entonces y hasta mediados de los años '70, la industria creció muy fuertemente en sus principales centros urbanos; básicamente en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), Rosario y Córdoba. Por su parte, las regiones extrapampeanas basan su estructura productiva en bienes agrícolas, ganaderos, ictícolas y mineros con diverso grado de manufactura. En cuanto a la producción de complejos, el relevamiento preliminar permite identificar diversos productos que incluyen bienes primarios (agrícolas, ganaderos, mineros, hidrocarbúricos, forestales y pesqueros) y secundarios (tanto manufacturas de origen agropecuario como industrial, y combustibles).

Por dar un ejemplo del movimiento de mercaderías, los commodities conforman el principal ingreso de divisas en el país, las exportaciones de productos primarios y de manufacturas de origen agropecuario (no se incluyen en la estadística otras manufacturas ligadas al sector rural) representaron más del 50% del total, al superar los 21.000 millones de dólares.

La producción argentina de granos llegó en la campaña 2004/05 a algo más de 85 millones de toneladas de las que se exportaron durante el año pasado, como granos, subproductos y aceites, 65 millones. De ese total, desde los puertos situados en la franja del río Paraná que va desde Puerto San Martín a Arroyo Seco, es decir 70 Km., se exportaron 48,5 millones de toneladas, la mayor parte, productos del complejo sojero.

El tradicional Mercado Físico de Granos de la Bolsa de Comercio de Rosario es el más importante del país en volumen de operaciones, y sus cotizaciones son referencia obligada nacional e internacionalmente. Más del 45% de la producción argentina de cereales y oleaginosos se comercializa en él, a través de un gran número de operadores en la tradicional rueda diaria. La soja es el principal producto negociado en este mercado y Rosario es hoy un centro muy importante de comercialización física de esta oleaginosa a nivel mundial. El 80% de la capacidad instalada de la industria aceitera argentina está emplazada en su zona de influencia y lo mismo ocurre con las terminales portuarias privadas, que embarcan más del 90% de las exportaciones de soja y sus derivados.

Las mencionadas exportaciones de 65 millones de toneladas a valor CIF (puesta la mercadería en los puertos de destino) llegaron a alrededor de 14.300 millones de dólares y a valor FOB a alrededor de 12.000 millones de dólares.

Por ferrocarril se estima que se recibieron alrededor de 7,2 millones de toneladas. El resto, se habrían recibido en camión. Estimando que los camiones transporten por viaje 28 toneladas en promedio, tendrían que estar ingresando en la mencionada franja de puertos del Río Paraná alrededor de 1,48 millones de camiones.

De ese total de camiones, prácticamente el 70% ingresó entre los meses de marzo y julio y el 30% restante entre agosto y febrero. Entre los meses de marzo y julio, es decir 150 días, habrían ingresado alrededor de 1.040.000 de camiones, es decir aproximadamente 7.000 camiones por día.

Las terminales portuarias del gran Rosario se ven ampliamente beneficiadas por este movimiento de mercaderías, desarrollándose en un frente costero de aproximadamente 70 kilómetros, entre las más importantes se pueden indicar:

I) Terminales portuarias desde la localidad de Timbúes hasta la desembocadura del Arroyo San Lorenzo (Incluye los puertos localizados en el ejido urbano de las ciudades de Puerto Gral. San Martín y Timbúes). Localización de norte a sur.

- Terminal Portuaria de Termoeléctrica San Martín. Timbúes. Km. 466.
- Terminal Portuaria Renova. Timbúes. Km. 465. GSA.
- Terminal Portuaria Dreyfus. Timbúes. (Industrial Complex) Km. 464. GSA
- Terminal Portuaria Noble. Timbúes. Km. 462. GSA.
- Terminal Portuaria de Profertil. Puerto General San Martín. Km. 458 (Opera fertilizantes).
- Terminal Portuaria Minera Alumbrera. Puerto General San Martín. Km. 456 (Opera oro y cobre).
- Terminal Portuaria T6. Puerto General San Martín. Km. 456. GSA.
- Terminal Portuaria Resinfor (Alto Paraná S.A.) Despacha aceites. Puerto Gral. San Martín. Km. 455. GSA
- Terminal Portuaria Cargill. Quebracho. Puerto Gral. San Martín. Km. 454. GSA
- Terminal de Fertilizantes Argentinos (Ex Mosaic). Operan Bunge (75%) y ACA (25%) Puerto General San Martín Km. 454. Opera fertilizantes.
- Terminal Petrobras. Puerto Gral. San Martín. Km. 451. Opera combustibles.
- Terminal Portuaria de Nidera (IMSA). Puerto General San Martín. Km. 451. GSA.
- Terminal Portuaria El Tránsito (Toepfer) Puerto General San Martín. Km. 449. GSA.
- Terminal Portuaria Bunge Argentina (Muelles Pampa y Dempa). Puerto General San Martín Km. 448 y 449. GSA

II) Terminales portuarias en la ciudad de San Lorenzo desde la desembocadura del Arroyo San Lorenzo. Localización de norte a sur.

- Terminal Portuaria Chacabuco. YPF. San Lorenzo. Km. 448. Opera combustibles.
- Terminal Portuaria Esso. Km. 447. San Lorenzo. Opera combustibles.
- Terminal Portuaria Oil Combustibles. Km. 446,7. San Lorenzo. Opera combustibles.
- Terminal Portuaria de ACA (Asociación de Cooperativas Argentinas). San Lorenzo. Km. 446,2. GSA.
- Terminal Portuaria de AKZO Nobel. San Lorenzo. Km. 443. Despacha aceites. GSA.
- Terminal Portuaria de Vicentín SA. San Lorenzo. Km. 442. GSA

- III) Terminales portuarias desde la ciudad de Rosario y hasta Arroyo Seco. Localización de norte a sur.

- Terminales Unidad VI y VII. Opera Servicios Portuarios S.A. En Rosario. GSA.
- Terminal Portuaria Cargill. APG terminal. Villa Gobernador Gálvez. Km. 408. GSA.
- Terminal Portuaria Cargill. Punta Alvear. Km.406. GSA.
- UABL. Punta Alvear. Km. 406 y UABL. Pueblo Esther. Reparación de barcasas.
- Terminal Portuaria Dreyfus S.A. General Lagos. Km. 396. GSA.
- Terminal Portuaria Toepfer. Arroyo Seco. Km. 395. GSA.
- Terminal Portuaria Shell. Punta San Martín Arroyo Seco. Km. 394. Opera combustibles.

pesar de demostrar ser comparativamente más económicos, necesitan indefectiblemente una política estatal que respalde las inversiones a largo plazo.

1.3. RELEVANCIA DEL TEMA DE TESIS

La importancia de establecer y controlar el peso de los vehículos pesados deriva en el hecho que a través de las estaciones de balanza se puede controlar el efecto que éste tiene sobre el deterioro de los pavimentos. El daño ocasionado a los pavimentos por efecto del peso de los ejes crece en forma exponencial respecto al incremento del mismo. Esta circunstancia deriva en un costo invisible de una magnitud desmesuradamente alta, por causa del transporte automotor, sobre todo aquellos con carga de sobrepeso. A este hecho se le suman las obras de refuerzo y rehabilitación que suelen ejecutarse de manera extemporal, lo que convierte cualquier intento de mejora estructural directamente en obras de recuperación y mantenimiento de las condiciones seguras de transitabilidad, que en ningún caso refuerzan las estructuras vigentes.

Se estima, a ciencia cierta, que el 30% de los camiones circula con un sobrepeso del 20%, repercutiendo efectiva e imprevisiblemente en el costo del mantenimiento de la red vial nacional, colocando en tela de juicio la veracidad de los modelos, métodos de cálculo y predicción de la incidencia de los vehículos pesados en el diseño de rehabilitaciones y pavimentos nuevos.

A partir de los años ´50, con la aparición de cargas por eje cada vez mayores y los constantes incrementos en los volúmenes del tránsito en todos los países, se generó especialmente en Europa y en Estados Unidos, la necesidad de evaluar adecuadamente los efectos que tales cargas producían sobre los pavimentos.

Diversas entidades públicas y privadas impulsaron estudios teóricos y experimentales. El más conocido es el denominado AASHTO ROAD TEST, llevado a cabo en Illinois (Estados Unidos) y el que actualmente se aplica en el país.

Este método, utilizado actualmente, requiere convertir tránsitos y configuraciones de ejes en ejes equivalentes a 8,16 toneladas (18.000 libras- 80KN), valor estándar propuesto en el procedimiento. Actualmente la conversión se realiza con coeficientes de efecto destructivo calculados en base a censos de carga materializados en los inicios del procedimiento y con la tipología de tránsito de ese momento. Resultaría de mayor exactitud para valorar el efecto destructivo considerar la variación de registros durante el año, la variación también del peso por eje asociado a distintos tipos de mercaderías transportadas, entre otros aspectos. Estos datos pueden ser aproximados con suficiente precisión si se poseen datos de balanzas fijas y dinámicas, y más aún, si es posible recopilar distintas balanzas representativas de la región que converjan en condiciones reales de operación.

Entre el gran número de factores que se consideran actualmente para el análisis estructural y diseño de pavimentos, el tránsito vehicular es uno de los más importantes. Su caracterización adecuada es fundamental para poder concebir estructuras de pavimento que sean capaces de ofrecer altos desempeños en términos de durabilidad optimizando la relación costo- beneficio y por lo tanto la vida útil. La importancia de ese factor es exponencialmente mayor en vías de gran volumen diario de vehículos pesados, como sucede en las rutas nacionales de la región centro del país, en donde un gran porcentaje de los mismos se concentra en el transporte a granel de gran variedad de insumos cerealeros (comodities) que tienen destino de exportación.

Si bien en la Argentina La Ley 2449 establece los máximos pesos legales por eje y por tipo de vehículo de carga, en ningún caso se les podría considerar como valores de diseño atendiendo a que la autoridad competente responsable de su cumplimiento no se encuentra tan presente como debería. Para fines de diseño, rehabilitación, modernización, reconstrucción, preservación y operación de carreteras, se propone que la mejor caracterización del tránsito vehicular es en

términos de lo que denomina espectros de carga de cada uno de los diferentes tipos de ejes. Para valorar los mismos con precisión es posible utilizar los puestos fijos permanentes ubicados en arterias principales del país que registran censos de peso durante 24 horas y gran parte del año.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVOS GENERALES

Uno de los aspectos requeridos tanto para el diseño de nuevos pavimentos como para la rehabilitación y refuerzo de los existentes es disponer de datos confiables y razonablemente representativos de cada una de las cargas que actúan sobre las calzadas.

Para lograr esta información es necesario realizar una recopilación detallada de los antecedentes disponibles en las reparticiones técnicas específicas en la materia encargadas del mantenimiento de la Red Vial, como es la Dirección Nacional de Vialidad o como lo son las Direcciones de Vialidades Provinciales. Analizar la confiabilidad y coherencia de los datos reales respecto a las hipótesis de carga asumidas en proyectos de estructuras de pavimento, es un desafío en sí muy complejo de resolver atendiendo a la necesidad de contar con gran cantidad de datos fiables, temporalmente continuos de al menos dos años, y cargados sistemáticamente por técnicos de capacidad operativa.

Aún cuando el dato de tránsito sea confiable, existe una modificación permanente en el tiempo de las características del mismo, configuraciones, posicionamiento de cargas, estacionalidad que hacen complejo materializar la modelización lo más certeramente posible.

Por lo tanto, el objetivo general de esta tesis es mejorar la caracterización del tránsito a nivel regional, zona centro del país, incluyendo balanzas de peso permanente en las Provincias de Santa Fe, Chaco y Buenos Aires. Para cumplir con esta premisa se evaluaron pomenorizadamente las distintas composiciones de ejes y sus pesos asociados, en forma diaria, mensual y anual.

Se procurará alcanzar una caracterización pomenorizada a través de los factores de camión contrastando su uso con las metodologías tradicionales aproximadas aún vigentes en nuestro país, analizando las diferencias desde el punto de vista técnico.

También se pretende profundizar sobre el nivel de desvío del tránsito pesado en el perfil transversal de la calzada, campañas materializadas en simultaneo con censos de composición del tránsito.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos de la tesis consisten:

- Caracterizar el tránsito a nivel regional, mediante el estudio de las cargas por configuración de ejes por vehículo (Espectro de Cargas) en tres rutas nacionales de fuerte influencia de tránsito pesado vinculado a cargas agrícolas- ganaderas. Se adoptarán para tal fin balanzas fijas de pesaje por eje, de datos que fueron analizados en profundidad y resultaron fiables en tiempo y forma, coincidiendo también por su reconocida capacidad operativa, a saber:

- Ruta Nacional N° 168, Km. 10,44, nombre del Puesto “Colastiné” (Provincia de Santa Fe). Sentido de control: ascendente y descendente. Tipo de Balanzas: fijas de peso por ejes y total. TMDA vehículos pesados: 1845 v/d (datos del 2016).

- Ruta Nacional N° 9, Km. 152,500, nombre del Puesto “Río Tala” (Provincia de Buenos Aires). Sentido de control: ascendente y descendente. Tipo de Balanzas: fijas de peso total y por ejes. TMDA vehículos pesados: 6360v/d (datos del 2016). Ruta Nacional N° 11, Km. 1041, nombre

del puesto “Margarita Belén” (Provincia de Chaco). Sentido de control: ascendente y descendente. Tipo de Balanzas: fijas, peso por ejes. TMDA vehículos pesados: 1601v/d (datos del 2016).

- Análisis estadístico de la variación de la carga equivalente (LEF) y el factor de camión (FC), para los distintos tipos de vehículos y condiciones de borde s/ el Método AASHTO, considerando números estructurales (SN) característicos del país como lo son 2, 3 y 4. Para cada SN se adoptará una Serviciabilidad Final de 2,0 y 2,5 respectivamente, de manera de hacer una comparación mensual y anual.
- Ajuste del modelo de cálculo de los LEF en función de los espectros de carga considerando las siguientes cargas de referencia: Eje direccional: 69,00 kN (7,00 tn), Eje simple dual de 80,00 kN (8,16 tn) , eje tandem 147,00 kN (15,00 tn) y eje tridem 196,00 kN (20,00 tn).
- Análisis comparativo del Factor de Camión regional con los propios de aplicación usuales en Argentina (Dirección Nacional de Vialidad, Lilli y Lockhart 1995 y 1997, AASHTO 93).
- Análisis estadístico de la deriva transversal del tránsito, valorada a través de los puestos de censos de cobertura distribuidos en Rutas Nacionales de la Provincia de Santa Fe.

Por lo tanto, a través del procesamiento y organización de la información disponible, se procuró alcanzar los objetivos planteados en el marco de la tesis, específicamente en mejorar el estado del conocimiento de la situación actual del espectro de carga en la Región Centro Este del país.

Esta actualización de datos permitirá comparar los coeficientes de equivalencia por vehículo con los ajustados por autores locales así como también los adoptados por la Dirección Nacional de Vialidad.

CAPÍTULO 2

MARCO NORMATIVO/ LEGAL

En la actualidad, el transporte de vehículos pesados de cargas se desarrolla en un ambiente plenamente desregulado en materia de entrada y salida de la actividad, fijación de precios, ámbito de operación, etc. Sólo rigen cuestiones técnicas relacionadas con la seguridad de los vehículos o de los conductores. Para el transporte internacional, también desregulado, el requisito para operar es poseer un permiso de carga internacional, trámite que debe ser iniciado en la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT) y por la Secretaría de Transporte de la Nación. A raíz de esta inexistencia de barreras legales, técnicas y de requerimientos de capital inicial a la entrada, la actividad muestra un grado muy alto de atomización con una diversidad muy amplia en materia de estructuras empresarias, tipos de servicios ofrecidos y rentabilidad.

Como dato ilustrativo, el sector en su conjunto opera contratando servicios de otros transportistas carreteros, lo que representa un peso del orden del 30% dentro del costo total de operación. Esta característica se concentra, básicamente, en sólo una porción de empresas que son las de mayor presencia en el mercado. Hasta principios de la década del '90, el marco legal en que se desenvolvía la actividad estaba constituido por la Ley 12.346 del año 1937, que creó la Comisión Nacional de Coordinación de Transporte como ente coordinador de los medios de transporte por agua y tierra y encargado de otorgar los permisos para la explotación de los servicios. Es de destacar que esta ley se dictó cubriendo la necesidad de establecer un marco al incipiente transporte automotor frente al ya consolidado transporte ferroviario (que comenzaba a presentar señales de pérdida de importancia relativa), tanto de cargas como de pasajeros. Bajo esta ley, las empresas de transporte que hubieren obtenido el permiso de la Comisión Nacional de Coordinación de Transporte estaban obligadas a no cobrar precios distintos a los establecidos en las tarifas aprobadas por la Comisión. Sin embargo, la norma, dictada en épocas donde el autotransporte de cargas prácticamente no existía, perdió paulatinamente vigencia aunque resultó precisa en la definición de competencias: - las Provincias podrían reglamentar su transporte de carga local. - el transporte interprovincial solo podría ser reglamentado por la Nación.

Con la intención de actualizar la normativa del transporte de carga por automotor se creó, mediante el Decreto N° 405 del año 1981, el Registro Nacional de Transporte de Cargas por Carretera donde se definían los tipos de transporte y se establecían dos categorías de servicios: regulados y no regulados; esta última categoría era la que involucraba a todo el transporte de cargas por carreteras de Jurisdicción Nacional quedando la primera reservada para posibles situaciones de necesidad aunque, en la práctica, no fue utilizada. La realidad también indicó que el Registro, que comenzó a operar en 1988, nunca tuvo plena vigencia y fue derogado por la Ley de Cargas, sancionada en el año 1996; por otro lado, el pago de la Tasa Nacional de Fiscalización del Transporte, obligatoria para poder desarrollarse en el tráfico interjurisdiccional, mostró un nivel de evasión extremadamente alto, hasta que fue derogado en el año 1994.

El actual marco legal en que se desenvuelve la actividad está constituido por la Ley 24.653, del año 1996 (reglamentada por el Decreto 1035 del año 2002). Los controles establecidos en la normativa del transporte automotor de cargas hacen referencia a la obligación de inscribirse en el Registro Único del Transporte Automotor (RUTA) a todo aquel que realice transporte (como actividad exclusiva o no), además de registrar sus vehículos, quedando así habilitado para operar. La Ley establece que en el sector no existen restricciones a la libre entrada y salida de operadores del mercado, ni regulación referente a la asignación de rutas y cupos de carga sujetas a escrutinio

público o fijación de tarifas. En este marco, las responsabilidades del Estado Nacional se remiten a garantizar la amplia competencia del mercado, impedir las acciones oligopólicas que tiendan a interferir en el funcionamiento del sector y garantizar que ninguna disposición nacional, provincial o municipal grave, intervenga o dificulte en forma directa o no, los servicios regidos por la Ley 24.653, salvo en materia de tránsito y seguridad vial. Históricamente, la libertad de contratación de servicios entre tomador y dador de cargas ha caracterizado el mercado, a pesar de la existencia de regulación tarifaria, por lo menos en algunos sectores o tipos de productos, por ejemplo los de cosecha, aunque no fue respetada de manera generalizada en la práctica.

En materia de tránsito, pesos y dimensiones, se aplica lo establecido en la ley de tránsito N° 24.449 de diciembre de 1994 (reglamentada por el decreto 779 del año 1995, posteriormente modificado por los decretos 714/96 y 79/98 en lo referido a pesos y medidas), ley a la que la mayoría de las provincias argentinas ha adherido, con las excepciones de Buenos Aires, Mendoza y Córdoba, aunque en todas ellas rigen los mismos pesos y dimensiones para los vehículos de carga. Esta ley La Ley 24449 en su Art. 53, cuyo texto se transcribe parcialmente, establece claramente los pesos y dimensiones máximos permitidos.

"Art. 53.-EXIGENCIAS COMUNES. Los propietarios de vehículos del servicio de Transporte de Pasajeros y Carga deben tener organizado el servicio de modo que:

a) Los vehículos y su carga no transmitan a la calzada un peso superior a los siguientes:

Por eje simple

1.1. Con ruedas individuales: 6 toneladas;

1.2. Con rodado doble: 10,5 toneladas;

2. Por conjunto (tándem) doble de ejes:

2.1. Con ruedas individuales: 10 toneladas;

2.2 .Ambos con rodado doble: 18 toneladas;

3. Por conjunto tándem triple de ejes con rodado doble: 25,5 toneladas;

4. En total para una formación normal de vehículos: 45 toneladas;

5. Para camión o acoplado considerados individualmente: 30 toneladas.

La reglamentación define los límites intermedios de diversas combinaciones de ruedas, las dimensiones del tándem, las tolerancias, el uso de ruedas super anchas, las excepciones y restricciones para los vehículos especiales de otros vehículos sobre sí.

Cuando se verificase la circulación de un vehículo en infracción a lo señalado en los párrafos anteriores, se dispondrá la paralización del servicio y la retención del vehículo utilizado hasta subsanarse las irregularidades comprobadas, sin perjuicio de que la autoridad nacional de transporte; prosiga la sustanciación de las actuaciones pertinentes en orden a la aplicación de las sanciones que correspondan.

El Poder Ejecutivo Nacional, dispondrá las medidas que resulten pertinentes a fin de coordinar el accionar de los organismos de seguridad de las distintas jurisdicciones, a los efectos de posibilitar el cumplimiento de lo precedentemente establecido.

Por otra parte, el Art. 57 en su último párrafo, dice:

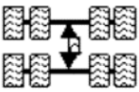
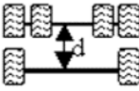
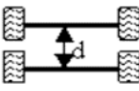
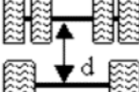
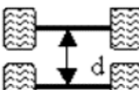
"...El transportista responde por el daño que ocasione a la vía pública como consecuencia de la extralimitación en el peso o dimensiones de su vehículo. También el cargador y todo el que intervenga en la contratación o prestación del servicio, responden solidariamente por multas y daños. El receptor de cargas, debe facilitar a la autoridad competente, los medios y constancias de que disponga, caso contrario incurre en infracción.

LEY 24.449: art 57) Exceso de Carga

Es responsabilidad del transportista la distribución o descarga fuera de la vía pública, y bajo su exclusiva responsabilidad, de la carga que exceda las dimensiones o pesos máximos permitidos.

Cuando una carga excepcional no pueda ser transportada en otra forma o por otro medio, la autoridad jurisdiccional competente, con intervención de la responsable de la estructura vial, si juzga aceptable el tránsito del modo solicitado, otorgará un permiso especial para exceder los pesos y dimensiones máximos permitidos, lo cual no exime de responsabilidad por los daños que se causen ni del pago compensatorio por disminución de la vida útil de la vía.

En resumen, la ley 24.449-DECRETO 779/95-DECRETO 79/98-RES. S.T. 497/94 establece las siguientes condiciones de peso por tipo de eje, incluyendo la separación entre los mismos:

TIPO DE EJE	SEPARACION DE EJES	peso (t)	CONDICIONES ESPECIALES
		6	
		10.5	
	1,20m < d < 2,40m	18	
	1,20m < d < 2,40m	14	
	1,20m < d < 2,40m	10	
	1,20m < d < 2,40m	17	1 eje con duales y 1 eje con cubiertas superanchas (de fabrica, suspensión neumática permitido en ejes traseros, medidas autorizadas por Res ST 497/94
	1,20m < d < 2,40m	16	2 ejes con cubiertas superanchas (de fabrica, con suspensión neumática, ejes traseros) medidas autorizadas Res ST 497/94

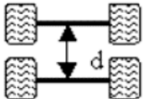
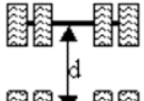
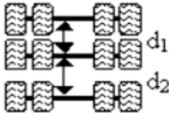
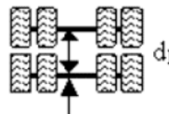
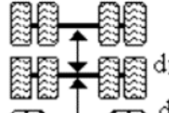
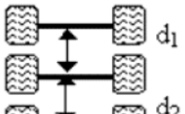
	$1,20m < d < 2,40m$	16	2 ejes con cubiertas superanchas (de fabrica, con suspensión neumática, ejes traseros) medidas autorizadas Res ST 497/94
	$d > 2,40m$	21	2 ejes independientes
	$1,20m < d1 < 2,40m$ $1,20m < d2 < 2,40m$	25.5	
	$1,20m < d1 < 2,40m$ $d2 > 2,40m$	18 10.5	Vehículos modelo 1999 en adelante, el eje separado debe ser direccional . Los ejes levadizos tendrán un mecanismo que les impida ser levantados cuando el vehículo está cargado
	$1,20m < d1 < 2,40m$ $1,20m < d2 < 2,40m$	21	
	$1,20m < d1 < 2,40m$ $1,20m < d2 < 2,40m$	24	3 ejes con cubiertas superanchas (de fabrica, con suspensión neumática, ejes traseros) medidas Res ST 497/94
	1,8 toneladas por rueda (carretones)	14.4	SOLO PARA CARRETONES (Transporte de cargas excepcionales indivisibles con permiso)

Figura 2.1. Tabla según Ley 24.449- Fuente: Dirección Nacional de Vialidad

En la legislación vigente, se entiende por Multa a una Penalidad que aplica un Juez, dentro de los límites establecidos por la Ley de Tránsito al infractor, el Tribunal puede determinar en función de lo que él considera justo que el infractor pague más, menos o nada, el Juez analiza la forma en que se cometió la infracción y en base a ello determina, la penalidad. Puede ser multa solidaria entre el cargador y el transportista.

La Tasa de Resarcimiento, está establecida y es un valor de costo de pavimento proporcional al daño causado, no es una penalidad, si destruyó involuntariamente igual destruyó, es decir la Tasa de Resarcimiento no tiene condonación ni tampoco incremento por reincidencia. Sobre el Decreto 1446/90: la mayoría de los Concesionarios Viales instalaron básculas de peso por eje y como consecuencia del incremento de controles, los transportistas además de sentirse molestos por las reiteradas paradas, detectan que existen diferencias en las operaciones, ello es verificado por las dependencias correspondientes de la D.N.V. y comienza la etapa de revisión de los sistemas de pesaje, de los instrumentos, de la horizontalidad de las superficies de las plataformas de pesaje y de la superficie de los pavimentos circundantes.

Respecto al Decreto 79/98: se siguen detectando diferencias porque el problema no son sólo los desniveles balanza-pavimento, sino que participa la ineficiencia de los sistemas mecánicos de distribución del peso de los vehículos, por eso es mucho más importante el error en el pesaje de un tándem triple cuyo mecanismo es más “imperfecto”, que en el tándem doble y por eso en los vehículos dotados de suspensión neumática, este problema prácticamente no existe, la distribución de peso es uniforme.

Se dictan normas de Metrología Legal para este tipo de instrumentos (Resolución Conjunta N° 279/2000 de la Secretaria de Defensa de la Competencia y del Consumidor y N° 86/2000 de la Secretaria de Industria, Comercio y Minería) y se introduce la Homologación y la Verificación Técnica Periódica por parte de dicho organismo.

Posteriormente, la tarea de Verificación Periódica es delegada por Metrología Legal al Instituto Nacional de Tecnología Industrial (I.N.T.I.). La DNV, luego delega la verificación en balanceros privados o equipos profesionales (por ej Distrito de San Luis), bajo su auditoría.

Finalmente los organismos encargados de la vigilancia y aplicación de las normas de metrología legal, indican las pautas que se deben cumplir para el pesaje por eje de los vehículos:

“Para obtener el peso por eje o conjunto, se debe pesar el eje o conjunto y para obtener el peso total se debe pesar el vehículo completo”, es decir que no está permitido sumar y tampoco restar en las operaciones de pesaje, lo que lleva a la conclusión de que el sistema de pesaje debe estar formado por una balanza de peso total, más otra de peso por eje o conjunto de ejes.

Los puestos de pesaje de la D.N.V. tienden a esa configuración de sistema y de los aproximadamente 107 puestos existentes un 20 % ya cuenta con ese sistema compuesto de plataformas de pesaje (instrumentos de peso total y de peso por eje).

Simultáneamente en la DNV se fue trabajando en el aspecto Informático, para evitar subjetividad y dar transparencia al sistema, logrando primero una base de datos de infractores, que luego se completó con el ingreso de la información de la balanza, hasta que actualmente también confecciona las Actas de Infracción, calcula las Tasas de Resarcimiento y se completa con las operaciones de Seguimiento de los Pagos de Tasas de resarcimiento e inclusive hasta la confección de Cartas Documento de intimación de pagos.

En Enero 2018 se publica el Decreto Reglamentario N° 32/2018 del Poder Ejecutivo Nacional (P.E.N.) a través del cual se contemplan modificaciones al Decreto Reglamentario N°779/95, 79/1998 y 574/2014 de la Ley de Tránsito N°24.449.

Entre las modificaciones reglamentarias introduce el concepto de unidad tractora con dos (2) semirremolques biarticulados, que tendrá un largo máximo de (30,25m).

2. Los pesos máximos, establecidos por la Ley, que los vehículos pueden transmitir a la calzada y las configuraciones que los complementan se presentan en la siguiente tabla:

CONFIGURACIÓN		SUSPENSIÓN MECÁNICA [toneladas]	SUSPENSIÓN NEUMÁTICA [toneladas]
EJE SIMPLE. -Ruedas Individuales, (neumáticos no superanchos)		6 SEIS	6,3 SEIS COMA TRES
EJE SIMPLE. -Ruedas superanchas		6 SEIS (8 ocho - maquinaria especial)	8 OCHO
EJE SIMPLE. -Ruedas dobles		10,5 DIEZ COMA CINCO	11 ONCE
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas Individuales		10 DIEZ (5 por eje)	10,5 DIEZ COMA CINCO (5,25 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas dobles		18 DIECIOCHO (9 por eje)	18,9 DIECIOCHO COMA NUEVE (9,45 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas superanchas y ruedas dobles		15 QUINCE (9 eje con ruedas doble y 6 eje de ruedas superanchas)	16,5 DIECISEIS COMA CINCO (9,45 eje con ruedas doble y 5,25 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas Individuales y ruedas dobles		14 CATORCE (9 eje con ruedas doble y 5 eje de ruedas individuales)	14,7 CATORCE COMA SIETE (9,45 eje con ruedas doble y 5,25 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas superanchas.		12 DOCE (6 por eje)	14 CATORCE (7 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - Ruedas dobles.		25 VEINTICINCO COMA CINCO (8,5 por eje)	26,8 VEINTISÉIS COMA OCHO (8,93 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - 2 ejes con ruedas dobles. - 1 eje con ruedas individuales		21 VEINTIUNO (8,5 ejes con ruedas doble y 4 eje de ruedas individuales)	22 VEINTIDÓS (8,93 ejes con ruedas doble y 4,2 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - Ruedas superanchas.		18 DIECIOCHO (6 por eje)	19,5 DIECINUEVE COMA CINCO

Tabla 2.1. Pesos máximos establecidos por configuración de ejes

Para el caso de vehículos destinados al transporte de pasajeros y de carga, dotados de suspensión neumática o equivalente, los pesos máximos por eje o conjunto, se incrementan un CINCO % (5%) sobre los fijados en la Ley, siempre y cuando no sobrepasen el peso máximo establecido para el vehículo o combinación. Esto es válido para aquellos vehículos que hayan sido diseñados originalmente con suspensión neumática. Este CINCO % (5%) ya está incluido en el caso de las cubiertas superanchas.

Se entiende por cubiertas superanchas a las descritas en la siguiente tabla o medidas intermedias:

DESIGNACION MILIMETRICA
385/65 R 22,5
425/65 R 22,5
445/65 R 22,5

Tabla 2.2. Denominación cubiertas superanchas

Esta VERSION 2018 está formulada para ser utilizada en operativos de control de pesos y dimensiones con balanza de plataforma para pesar ejes ó conjunto de ejes, con o sin balanza para peso total, con procesamiento manual o por sistema informático, de los valores obtenidos.

Dichos Instrumentos deben cumplir los requisitos de Metrología Legal Ley 19511 y Resolución 119/2001 de la S.C.D. Y D.C. y Decreto 788/03.-

CAPÍTULO 3

CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES

3.1. INFLUENCIA DEL TRÁNSITO EN LA APLICACIÓN DE LA CARGAS EN EL PAVIMENTO

Desde el punto de vista vial, el tránsito puede considerarse y caracterizarse como la aplicación de una determinada carga de referencia (que depende de la formulación adoptada para definirla) a la que se reduce o traduce en efecto destructivo un conjunto de cargas circulantes discriminadas en entornos que producen el mismo efecto sobre la estructura vial. Si se considera un punto de vista mecánico, la carga aplicada a los pavimentos está directamente relacionada con el peso y las dimensiones de los vehículos que transitan sobre éstos. Mayores niveles de carga conducen a una mayor probabilidad de daños en carreteras y puentes, con la consecuente disminución de la capacidad de carga estructural y por ende reducción de la vida útil (Hernández y Fabela, 2004).

La importancia de establecer y controlar el peso de los vehículos pesados deriva, entre otros aspectos, del efecto que éste tiene sobre el deterioro de los pavimentos. Cabe indicar que el daño ocasionado a los pavimentos por efecto del peso de los ejes de los vehículos crece en forma exponencial respecto al incremento en el peso, por ejemplo, para el caso típico de una carretera en la zona centro del país, si se transporta un 10% más de carga respecto a la máxima reglamentaria para un vehículo pesado común en la zona (configuración 1.1.1.2- camión cerealero típico), la vida útil de la carretera disminuye un 29%. Para el caso de presentar una sobrecarga por eje del orden del 20%, la vida útil desciende drásticamente un 48%.

3.2. CONCEPTO DE ESPECTRO DE CARGAS

Dentro del gran número de factores que se consideran actualmente para el análisis estructural y diseño de pavimentos, el tránsito vehicular es uno de los más importantes. Su caracterización adecuada es fundamental para poder concebir estructuras de pavimento que sean capaces de ofrecer altos desempeños en términos de durabilidad (Paul Garnica Anguas, 2017).

Surge en este análisis de mayor profundidad el término “**espectro de cargas**”, que indica la frecuencia con que se presentan las diferentes magnitudes de las cargas (agrupadas en rangos), para cada tipo de eje considerado (habitualmente distinguiendo eje simple, tándem y trídem), en un determinado período de tiempo. Es conveniente, además, por diversos motivos, que el espectro de cargas se establezca de manera independiente para cada categoría de vehículo pesado, distinguiendo al menos entre los siguientes:

- Vehículos rígidos de dos ejes.
- Vehículos rígidos de tres ejes.
- Vehículos rígidos o articulados de cuatro ejes.
- Vehículos articulados de cinco ejes.
- Vehículos articulados o trenes de carretera de más de cinco ejes.

Entre los múltiples aspectos que se pueden mencionar en relación a los espectros de carga conviene destacar los siguientes:

1. Cada punto del espectro de carga representa el porcentaje de ejes de un cierto tipo que circula con cierto nivel de carga.
2. El área bajo la curva de cada espectro de carga debe ser unitaria.
3. 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.
4. Con frecuencia 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.
5. Permite identificar los tramos carreteros en donde los niveles de carga exceden el reglamento y en qué porcentaje.
6. Se pueden asociar comportamientos del tránsito de vehículos de carga similares y establecer espectros regionales.
7. Permiten diseñar y revisar la capacidad estructural de un pavimento con datos realmente representativos de una red carretera.
8. 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.

Por lo tanto, los espectros de carga son una herramienta de análisis para utilizar un esquema agregado de la clasificación vehicular, los cuales identifican cuantos ejes (simples, duales, tridem) se presentan para cada tipo de vehículo, y sus cargas normalizadas se divide en intervalos de frecuencia que por lo regular se utiliza 0,453 tn (1 kip) para los ejes simples, 0,906 tn (2 kips) para los ejes tandem y 1,359 tn (3 kips) para los ejes tridem. Este análisis puede ser para cada tipo de vehículo en particular o bien para un mismo eje que incluya a todos los vehículos del análisis.

3.3. CONCEPTO DE CARGA EQUIVALENTE

El concepto de carga equivalente surge a efectos de determinar la acción destructiva de los diversos tipos de vehículos pesados sobre los pavimentos. Esta acción conjuntamente con el daño ocasionado por el factor climático derivan en una acción concurrente sobre cada elemento estructural del pavimento complejo de discriminar.

Sin embargo, despejando el componente climático como factor común, es factible comparar los efectos destructivos debido a diferentes cargas y combinaciones mediante el concepto de equivalencia de cargas. Esta definición resulta muy importante en el diseño de pavimentos porque permite unificar y simplificar el espectro total de cargas de un determinado tránsito real, expresado a través de una carga simple P (elegida en la mayor parte de las formulaciones de 80 kN, 8,16 tn o 18.000 lbs) equivalente, que repetida N veces permite obtener el mismo efecto destructivo (Lilli-Lockhart, 1995).

La fórmula usualmente utilizada para expresar que N_i cargas de peso P_i tienen el mismo efecto destructivo que N_j cargas de peso P_j , es la siguiente:

$$\frac{N_i}{N_j} = \left(\frac{P_j}{P_i} \right)^a \quad (3.1)$$

a = coeficiente que depende del tipo de estructura, flexible, rígida, semirígida, espesores de las capas, tipos de cargas y deterioro.

El aspecto más importante a destacar es que n ejes equivalentes deben causar el mismo daño en el pavimento que un conjunto múltiple de ejes, reflejado a través de un criterio de falla dado, usualmente el de las deformaciones permanentes.

Esta formulación permite comparar fallas críticas en las estructuras debidas a diferentes combinaciones de cargas en el marco de la teoría de la elasticidad, lo que supone que haya diferentes leyes de equivalencia en términos de efectos destructivos.

3.3.1. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA EQUIVALENCIA DE CARGA

Retomando el concepto de carga equivalente, es importante indicar la significancia del término en la transformación o conversión del tráfico de una determinada sección transversal de una ruta en un número adimensional denominado ESAL's (Equivalent Single Axis Load). Para alcanzar este valor característico de un tramo específico se utilizan los factores de carga equivalente (LEFs- LOAD EQUIVALENT FACTOR), por ejemplo los determinados por AASHTO en los tramos de prueba experimental, que básicamente expresan la relación entre la pérdida de serviciabilidad ocasionada por una determinada carga de un tipo de eje y la producida por un eje patrón de 8,16 tn (18 kips o 80 kN).

$$LEF = \frac{N^{\circ} \text{ de ESALS de 18 kips que producen una pérdida de serviciabilidad } \Delta PSI}{N^{\circ} \text{ de ejes de } x \text{ kips que producen la misma pérdida de serviciabilidad}} \quad (3.2)$$

Desde el punto de vista histórico el concepto de LEF apareció en la década de 1960. Previamente en los años 1940 y 1950, los métodos de diseño usaban correlaciones empíricas para calcular el espesor del pavimento por medio de tablas de diseño de acuerdo con el tráfico diario previsto de vehículos pesados (por ejemplo: ligero/medio/ pesado). Un procedimiento de diseño, de avanzada para la época, llamado Hveem-Carmany Method (1948) fue usado en California - EE.UU en 1958, el cual implicaba convertir el tráfico esperado durante la vida de diseño, en un número equivalente de carga (2,26 tn = 5000 lb), utilizando una fórmula de equivalencia logarítmica.

Para el desarrollo de las formulaciones LEF, existen tres posibles enfoques:

- Enfoque empírico
- Enfoque mecanicista o racional
- Enfoque empírico- mecanicista

El **enfoque empírico** se basa generalmente en el análisis estadístico de los datos experimentales y no es necesario establecer una justificación científica que explique el mecanismo involucrado. Un ejemplo del enfoque empírico es el modelo más ampliamente difundido de desempeño del pavimento de AASHTO, establecido por el análisis estadístico de los datos de prueba AASHO Road Test, que ha sido mencionado en el punto anterior, sin embargo tiene aparejado una serie de desventajas a saber:

- El concepto AASHTO LEFs se basa en los datos de pruebas de carretera de AASHO que tiene ahora más de 50 años de antigüedad.
- Los resultados de AASHO LEF fueron empíricos, debe entenderse que los modelos empíricos son válidos sólo dentro del rango de los datos utilizados para calibrarlos. En la prueba de carretera AASHO, las presiones de inflado de los neumáticos oscilaron entre 520 y 550 kPa (75 a 80 psi). Los camiones de hoy en día se operan normalmente a presiones de inflado de neumáticos en el rango de 600 a 800 kPa (85 a 115 psi). En algunos casos, las presiones de los neumáticos pueden ir tan alto como 900 a 1000 kPa (130 a 145 psi).

- La carga por eje aplicada de hoy (80 kN en AASHO), los sistemas de suspensión (muelles de acero en AASHO) y la construcción de neumáticos (polarización en AASHO) difieren de los de la prueba de carretera AASHO. En general, estas diferencias ponen en tela de juicio el uso continuado de las relaciones obtenidas a partir de la prueba en carretera de la AASHO.

- No se consideraron para la prueba configuraciones de ejes tridem.

Las **metodologías mecanicistas** pretenden tener un enfoque puramente científico, con un marco teórico suficiente que permita el análisis completo de la mecánica del comportamiento de un pavimento ante las acciones del clima y del tránsito vehicular. Esto es, un marco teórico en donde las propiedades fundamentales de los materiales se conocen, y se pueden determinar en laboratorio o en campo. Esta metodología facilita la predicción correcta de la evolución en el tiempo de los diferentes deterioros que se pudieran presentar y, por ende, aumentar en gran medida la confiabilidad de los diseños.

En general, estos enfoques racionales permiten estimar los LEF para diferentes cargas de ejes como la relación de la respuesta del pavimento calculada o medida con alguna carga o grupo de ejes y la respuesta calculada o medida bajo la carga estándar del eje. La vida útil del pavimento, N , puede estar relacionada con un parámetro de respuesta del pavimento, tal como β , como sigue:

$$N = k_1 \times \left(\frac{1}{\beta} \right)^{k_2} \quad (3.3)$$

Donde k_1 , y k_2 son constantes de materiales determinadas mediante una regresión matemática del ensayo de fatiga.

El parámetro de respuesta de pavimento β puede elegirse como uno de los siguientes parámetros:

- Esfuerzo máximo de compresión en la parte superior de la subrasante
- Esfuerzo máximo de tracción en la parte inferior de la capa de concreto asfáltico.
- Deflexión vertical máxima superficial
- Máxima tensión de tracción en la fibra inferior de una losa.

Estos parámetros pueden ser calculados analíticamente o medidos experimentalmente utilizando secciones instrumentadas en la calzada.

Sustituyendo la Ecuación 3.3 por la Ecuación 3.2 se obtiene:

$$LEF_{L1} = \left(\frac{\beta_{L1}}{\beta_{18}} \right)^{k_2} \quad (3.4)$$

Los métodos para el cálculo de LEF mecanicistas más utilizados se basan en la deflexión o cuenco de deflexiones, utilizando como condición de borde la deflexión vertical máxima en la superficie como parámetro fundamental de respuesta del pavimento, mientras que los métodos basados en la deformación pueden utilizar la deformación específica vertical máxima en la parte superior de la subrasante o la deformación máxima de tracción en el fondo de la capa de pavimento como parámetro de respuesta del pavimento.

Por lo tanto, dependiendo de la condición de borde a adoptar, dependerán de cómo definamos la carga equivalente en término de LEF.

El enfoque **empírico- mecanicista** (Guía AASHTO 2002 por ejemplo) es un procedimiento de diseño estructural de capas de pavimento que se basa en el análisis mecanístico para escoger una combinación de espesores y materiales con el fin de suministrar el nivel de servicio deseado de acuerdo con el tránsito esperado. Los elementos del procedimiento abarcan además los efectos climáticos, el modelo estructural, la respuesta del pavimento, la caracterización de los materiales, las funciones de transferencia y el análisis del comportamiento para concluir con el proceso de selección del sistema de pavimento a construir. El modelo aplicado se basa en la teoría de multicapa elástica o elemento finito y determina las respuestas del pavimento a la carga de las ruedas en términos de deformaciones unitarias, tensiones y deflexiones (ϵ , σ , Δ). La parte empírica del diseño utiliza las respuestas del pavimento para predecir la vida del mismo basada en observaciones hechas en campo. Así, el término “empírico” se debe a la definición de las funciones de transferencia a partir de datos reales.

Las ventajas que ofrece este procedimiento respecto a los predecesores son las siguientes:

- Se genera una relación directa entre la información obtenida por medio de ensayos de laboratorio, la toma de datos reales de las condiciones de tráfico y climatológicas, la experiencia adquirida en las pistas de prueba y el conocimiento y experticia del especialista diseñador.
- Hace una evaluación consecuente con la realidad del tránsito de diseño al trabajar por el método de espectros de carga se está estableciendo que hay diferencias en el daño provocado por dos vehículos que tienen una misma carga pero que la transmiten de forma diferente a la estructura de pavimento.
- No hay limitaciones en cuanto a materiales, tipos de pavimentos o especificaciones, el método permite hacer el análisis de cualquier tipo de estructura, siempre que se conozcan las variables de operación de la misma.
- Generan curvas de deterioro que permiten realizar de forma programada mantenimientos preventivos y correctivos que optimizan la vida del pavimento haciéndolo más rentable.
- Pronostican el desempeño del pavimento acorde con las diferentes temporadas climáticas y variaciones regulares del tránsito, que éste soportará durante su tiempo de operación.
- Se evalúa con datos reales variables que con otros métodos solo se estimaban.
- Permite hacer la evaluación de las diferentes fallas que se presentan en el pavimento, individualmente, lo que facilita lograr rehabilitaciones puntuales según cada tipo de deterioro.

Por ejemplo, la Guía de diseño de pavimentos "2002" utiliza el diseño empírico-mecánico, que requiere la entrada de distribuciones de carga por eje, en lugar de ESALs. Dado que las distribuciones de carga por eje no están disponibles para cada ubicación de diseño, los análisis reales de estaciones fijas de pesaje constituyen verdaderos soportes técnicos a partir de los cuales es factible desarrollar modelos de distribución de carga por eje. Cabe señalar que la Guía Empírico-Mecanicista del Manual AASHTO 2002 establece tres niveles de precisión de información, que se resumen en la tabla.

Tipo de dato		Nivel		
		1	2	3
Datos de carga y volumen	WIM – En el lugar	X		
	WIM – Estadísticas regionales		X	
	WIM – Estadísticas nacionales			X
	AVC- En el lugar	X		

Tipo de dato	Nivel		
	1	2	3
AVC - Estadísticas regionales		X	
AVC- Estadísticas nacionales			X
Conteo vehicular- En el lugar ¹		X	X
Modelos de pronóstico de tráfico y generación de viajes ²	X	X	X

Tabla 3.1. Guía para el diseño empírico-mecanicista, parte 2. Entradas de diseño- Datos de carga y volumen- Capítulo 4. Tráfico

¹ El nivel depende de si los valores predeterminados regionales o nacionales se utilizan para la información WIM (Weighing in Motion, pesaje en movimiento) o AVC (Automatic vehicle classifier, clasificación automática de vehículos).

² El nivel depende de los datos de entrada y la precisión / confiabilidad del modelo.

Datos/ Variables		Niveles de ingreso de datos		
		1	2	3
Tráfico de camiones y factores de neumáticos	Factor de distribución direccional del camión	Sitio específico WIM o AVC	Nivel regional WIM o AVC	Nivel nacional WIM o AVC
	Factor de distribución del carril del camión	Sitio específico WIM o AVC	Nivel regional WIM o AVC	Nivel nacional WIM o AVC
	Número de ejes por tipo de eje y por clase de Camiones	Sitio específico WIM o AVC	Nivel regional WIM o AVC	Nivel nacional WIM o AVC
	Espaciado entre ejes y neumáticos	Niveles jerárquicos no aplicables para esta entrada		
	Presión de los neumáticos o presión de inflado.	Niveles jerárquicos no aplicables para esta entrada		
	Función de crecimiento del tráfico de Camiones	Niveles jerárquicos no aplicables para esta entrada		
	Velocidad operacional del vehículo	Niveles jerárquicos no aplicables para esta entrada		
	Factor de distribución lateral del camión	Niveles jerárquicos no aplicables para esta entrada		
	Factor de distribución mensual del camión	Sitio específico WIM o AVC	Nivel regional WIM o AVC	Nivel nacional WIM o AVC
	Factores de distribución horaria del camión	Sitio específico WIM o AVC	Nivel regional WIM o AVC	Nivel nacional WIM o AVC
Distribución del tráfico de camiones y variabilidad de volumen	Factores de distribución horaria del camión	Niveles jerárquicos no aplicables para esta entrada		
	Distribución / espectros de carga por clase de camión para el año base	Sitio específico WIM o AVC	Nivel regional WIM o AVC	Nivel nacional WIM o AVC
	Distribución de carga por eje / espectros por clase de camión y tipo de eje	Sitio específico WIM o AVC	Nivel regional WIM o AVC	Nivel nacional WIM o AVC
	Grupo de clasificación de tráfico de Camiones para diseño de pavimento	Niveles jerárquicos no aplicables para esta entrada		
	Porcentaje de camiones	Niveles jerárquicos no aplicables para esta entrada		

Tabla 3.2. Guía para el diseño empírico-mecanicista- Parte 2. Entradas de diseño - Capítulo 4

3.4. FACTORES QUE AFECTAN EL DAÑO EN PAVIMENTOS Y LA CARGA EQUIVALENTE (Universidad de Minnesota, 1999)

3.4.1. CARGAS

El tránsito en la carretera contiene un número creciente de vehículos con diferentes pesos y configuraciones de ejes. Los procedimientos de diseño actuales convierten estas cargas aleatorias en un número equivalente de aplicaciones de un eje estándar de 8,2 tn (18 kip). Los análisis de tráfico se realizan para obtener la información específica sobre tipos de vehículos, volúmenes y pesos presentes para ayudar en la conversión de cargas aleatorias a la cantidad de ESAL.

Como se ha mencionado, los ejes de los camiones se dividen en tres grupos: simple, tándem y tridem. Los ejes individuales se clasifican como cualquier línea de un eje. Los ejes tándem y tridem se definen como configuraciones de dos o tres ejes, respectivamente, cuya distancia entre ejes se encuentra comprendida entre 1,00m y 2,44m.

3.4.1.1. Magnitud de la Carga

La estructura del pavimento debe poder distribuir la carga total a las capas subyacentes sin causar deformación permanente ni tensiones excesivas en las distintas capas que lo conforman. El análisis de una gran cantidad de estructuras viales ha revelado que el daño por fatiga del pavimento no es una función del peso bruto del vehículo, sino del peso del eje. Gillespie et al. (1993) determinaron que el peso del eje y la configuración son los factores más importantes que rigen la magnitud de las deflexiones superficiales, tensiones y deformaciones en los pavimentos rígidos y flexibles. Gillespie et al. (1994) y Hajek (1990) advirtieron que el incremento de peso adicional a los vehículos pesados no necesariamente redundará en un mayor nivel de daño en el pavimento y que el mismo fue influenciado principalmente por la carga, el número, el tipo y el espaciado de los ejes de un determinado vehículo pesado.

Pavimento Flexible

Las deflexiones debidas al tránsito pesado producen tensiones y deformaciones que pueden conducir a una deformación permanente en la superficie y las capas inferiores del paquete estructural. A medida que aumenta TMDA de vehículos pesados, la tensión cíclica en la parte inferior de la capa asfáltica conduce al agrietamiento por fatiga.

Gillespie et al. (1993) informaron que el peso bruto influyó en la formación de deformaciones permanentes en la carpeta de rodamiento y se observó una relación lineal entre el peso bruto y el ahuellamiento.

Pavimento Rígido

No existe una asociación entre el peso bruto del vehículo y el daño para los sistemas de pavimentos rígido. Un vehículo con un peso bruto muy alto puede causar mucho menos daño por fatiga que un vehículo más ligero si el primero se distribuye en una mayor cantidad de ejes (Gillespie et al., 1993).

3.4.1.2. Configuración de la Carga

El número y el espaciado de los ejes son factores importantes para transmitir eficazmente la carga sobre la superficie del pavimento. Un aumento en el número de ejes proporciona puntos de contacto adicionales y, por lo tanto, reduce la carga puntual en cada centro de aplicación. El espaciado entre ejes afecta las respuestas del pavimento, como las deflexiones, los esfuerzos y las deformaciones (Hajek, 1990).

Actualmente, AASHTO transforma el daño por fatiga asociado con un eje dado a un eje único estándar de 8,16 tn (18 kip) con neumáticos dobles. Los factores de daño asociados con otras configuraciones, como los ejes en tándem y tridem, están relacionados con el camión de eje único en términos de factores de equivalencia de carga. Los factores de equivalencia de carga de AASHTO se desarrollaron empíricamente utilizando índices de servicio de la carretera. Como la Prueba de carretera AASHTO no consideró varios espaciamientos entre ejes, se cree que los factores de equivalencia de carga obtenidos para los ejes en tándem y tridem se han subestimado gravemente con respecto a los ejes individuales.

Las cargas de un solo eje exhiben el efecto más dañino tanto para pavimentos rígidos como para flexibles. Cuando los camiones muy cargados pasan sobre la superficie, se desarrollan altas tensiones de tracción por debajo de la rueda cargada. El Departamento de Transporte de Kentucky analizó los factores de daño asociados con varias configuraciones de ejes (Deen et al., 1980). Se estudiaron tres vehículos y se determinó su relación con la cantidad de daño en el pavimento y se puede ver en la Figura 3.1. La Figura 3.1 muestra que la carga adicional añadida a ejes individuales crea significativamente más daño en el pavimento que las configuraciones en tándem o tridem del eje.

Del mismo modo, Gillespie et al. (1993) descubrieron que los camiones de un solo eje producen la mayor cantidad de daño en el pavimento. Las Figuras 3.2 y 3.3 muestran la diferencia en el daño de fatiga relativo para las diferentes configuraciones de ejes en pavimentos rígidos y flexibles, respectivamente. Estudios similares también han concluido que los ejes individuales con neumáticos duales producen factores de equivalencia de carga mayores que los ejes tándem con neumáticos duales (Kim, 1989) y los ejes tridem producen menos daño que los ejes en tándem (Addis, 1992). Por ejemplo, de la Fig. 3.2 se obtiene que el daño 1 coincidente con el eje de referencia en un pavimento flexible, da como resultado un eje simple (neumático doble) de 8,16 tn, el eje tandem de 14,97 tn y el tridem de 23,62 tn. Similar razonamiento en pavimentos flexibles da como resultado similar carga para el eje simple, pero 13,60 tn para el tándem y 19,05 tn para el tridem

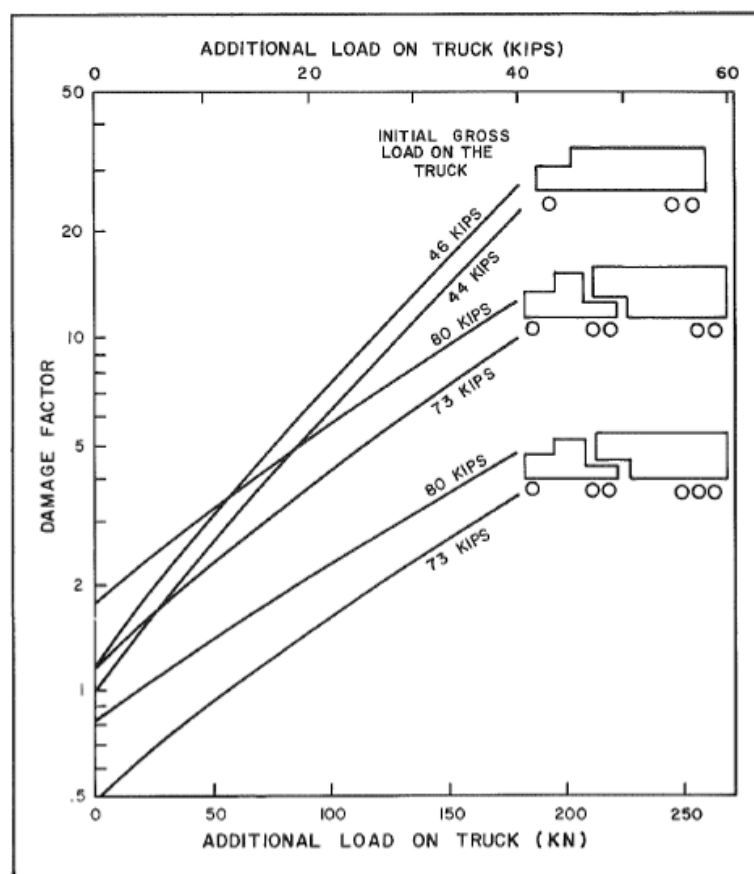


Figura 3.1. Aumento del factor de daño para determinadas configuraciones de vehículos pesados asociados a incrementos de carga (Deen et al., 1980)

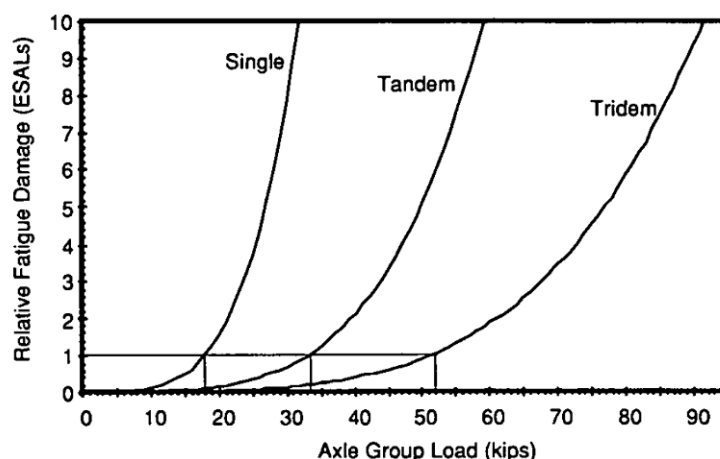


Figura 3.2. Fatiga relativa de un pavimento rígido vs carga por eje (Gillespie et al., 1993)

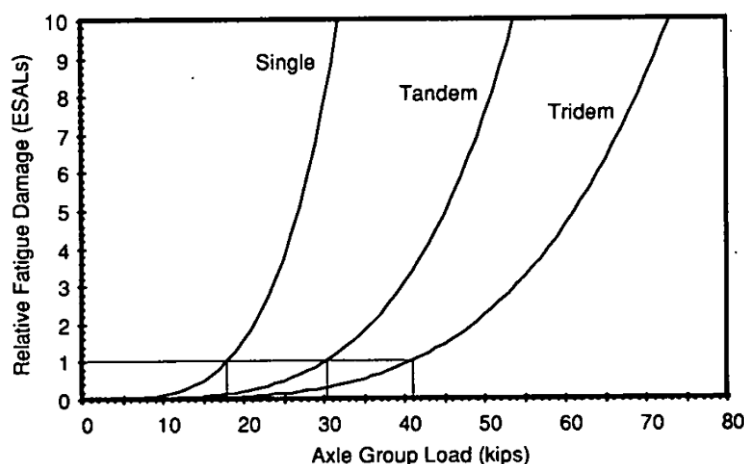


Figura 3.3. Fatiga relativa de un pavimento flexible vs carga por eje (Gillespie et al., 1993)

Pavimento Flexible

Huhtala (1984) comparó las mediciones de deformación horizontal que correspondían a diferentes cargas y distintas configuraciones de ejes. Concluyó que el eje delantero es el más perjudicial para la respuesta al pavimento y que un eje en tandem con neumáticos de base ancha es claramente más perjudicial que un eje tandem con neumáticos dobles estándar. Sumado a ello, los ejes tandem generan tensiones verticales superiores a los ejes simples tanto en la subbase como en la subrasante.

Pavimento Rígido

La Figura 3.2, presentada anteriormente, muestra la diferencia en el daño de fatiga relativo para diferentes configuraciones de ejes aplicadas a un pavimento rígido de 25 cm (10 in). Aunque se puede ver que la ley de fatiga tiene una profunda influencia, no existe un acuerdo general con la ley de cuarta potencia que introdujo AASHTO. Gillespie et al. (1993) explicaron que el conocimiento actual de la fatiga del pavimento rígido es demasiado limitado como para permitir una predicción tan generalizada. Treybig (1983) informó que las cargas en los ejes en tandem podrían causar más daños que las cargas de un solo eje debido a los efectos del bombeo, la pérdida de soporte, las cargas dinámicas y el alabeo de la losa.

3.4.1.3. Espaciado entre ejes

El espaciado entre ejes se define como la distancia entre cada eje individual en una configuración en tándem y entre el primero y el tercero en una configuración tridem. La guía de diseño AASHTO proporciona los efectos de daño de las combinaciones de ejes en tándem y tridem basados únicamente en su carga y configuración. Sin embargo, AASHTO supone que estas combinaciones tienen los mismos efectos dañinos independientemente del espaciado de los ejes dentro de la combinación (Hajek y Agarwal, 1990). La ecuación de daño AASHTO considera que los ejes cercanos entre sí causan menos daño que los mismos ejes separados. Por ejemplo, el daño producido por una carga en tándem del eje de 16,31 tn (36 kip) es aproximadamente 30 % menor que el daño causado por dos cargas de eje único de 8,16 tn (18 kip). Se ha determinado que el efecto del espaciado entre ejes es más predominante en pavimentos rígidos que en sistemas flexibles.

Pavimento Flexible

Como las estructuras de pavimento flexibles no son tan rígidas como el hormigón por lo que la transferencia de cargas a las capas subyacentes no es tan eficiente. Esto provoca que las tensiones máximas se produzcan cerca de la superficie de la capa de rodamiento. Las carpetas asfáltica de bajo espesor, son especialmente pobres para transmitir la carga y, por lo tanto, las cargas axiales múltiples actúan como una serie de cargas separadas e independientes (Gillespie et al., 1993).

Huhtala (1984) y Karamihas y Gillespie (1994) informaron que el espacio entre ejes tiene poco efecto sobre la fatiga del pavimento flexible. El daño por fatiga no se ve afectado porque la tensión de compresión de una carga adicional de neumáticos solo se extiende alrededor de un metro del mismo, y el espaciado mínimo de ejes para la mayoría de los camiones es de 1,2 m (4 pies). Por lo tanto, el efecto de los múltiples ejes en pavimentos flexibles se traduce en un conjunto de cargas que actúan en forma separada. Sin embargo, estos hallazgos solo se aplican a pavimentos con un espesor asfáltico comprendido entre 5 y 17 cm (2 y 7 pulgadas). Karamihas y Gillespie (1994) también agregaron que la formación de ahuellamientos no se ve afectada por el espaciado de los ejes.

Con base en los datos de deformación medidos, Addis (1992) descubrió que bajo las mismas condiciones de carga, los ejes agrupados causaban significativamente menos daño al pavimento que los ejes simples. Los ejes Tridem también mostraron un menor daño por fatiga que los ejes tándem, pero la diferencia no fue tan significativa. Seebaly (1992) informó que, independientemente del espesor de las capas bituminosas, las configuraciones de eje en tándem causaron tensiones de tracción menores que las configuraciones de eje único para la carga, el tipo de neumático y la presión idénticos. Sin embargo, cuando se consideró un criterio de deformación, los ejes en tándem estrechamente espaciados eran más dañinos para los pavimentos flexibles que las cargas de un solo neumático. De la misma forma se supone que los ejes Tridem poco espaciados son aún más perjudiciales.

Hajek y Agarwal (1990) indicaron que el espaciamiento de los ejes tuvo una influencia significativa en los LEF, y en particular en los obtenidos a partir de las deflexiones superficiales. Un aumento en el espacio entre ejes pareció reducir el daño al pavimento. Los LEF calculados para ejes en tándem se acercaron a 2.0 y 3.0 para ejes tridem bajo una carga de 8,16 tn (18 kips). También se informó que la influencia del espaciado entre ejes es directamente proporcional a la capacidad estructural.

Pavimento Rígido

Las investigaciones indican que el espaciado entre ejes tiene un efecto moderado en el daño de un determinado pavimento rígido al influir en la magnitud de las tensiones de tracción

longitudinales que se desarrollan a partir de la carga del eje. En estructuras de pavimento rígidas, la rigidez del hormigón distribuye la carga concentrada sobre un área de aplicación grande. Cada carga de rueda causa un cuenco de deflexión que varía directamente con la magnitud de la misma, lo que implica que si bien las variaciones del cuenco son generalmente pequeñas, los cambios tensionales pueden ser significativos.

Estos tamaños de cuencos generalmente están en el mismo orden de magnitud que los espaciamientos típicos de ejes de camiones. Las distancias entre ejes actuales suelen ser superiores a 1,2 m (4 pies) debido a la geometría del camión y del neumático. La Figura 3.4 muestra que se forma una cuenca de compresión en cada lado del pico de tensión que se produce debajo de la carga de la rueda. Cuando dos ejes están muy cerca, la depresión de compresión producida por el segundo eje compensa parcialmente el esfuerzo de tracción longitudinal máximo de la primera rueda (Gillespie et al., 1993). Este fenómeno solo ocurre cuando el espaciado de los ejes está entre 1,0 y 4,6 m (3,25 y 15 pies).

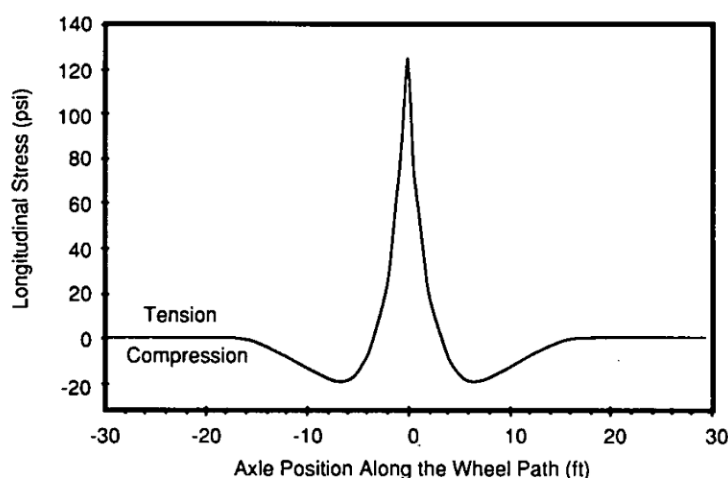


Figura 3.4. Tensiones en la parte inferior de una losa de pavimento rígido ocasionadas por un eje pasante (Gillespie et al., 1993)

3.4.1.4. Distribución de la carga

La distribución de las cargas axiales es un factor muy crítico que contribuye a la falla por fatiga de las estructuras del pavimento. Los métodos de diseño dividen el volumen del tránsito en dos variables distintas: la carga de diseño por rueda o eje y el número de repeticiones de carga. La mayoría de los procedimientos de diseño convierten todas las configuraciones y repeticiones de carga de ruedas o ejes en varias aplicaciones estándar de carga de ruedas o ejes. La conversión se realiza utilizando factores de equivalencia de carga, que relacionan la cantidad de daño causado por los diversos ejes con el eje estándar (Uzan y Wiseman, 1983).

El efecto de diferentes cargas sobre el deterioro del pavimento se estudió por completo en la prueba de carretera AASHO. El concepto muy común del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) fue desarrollado para cuantificar la cantidad de daño en el pavimento. El PSI incluyó grietas, ahuellamientos, baches y desprendimientos como parámetros de deterioro del camino. Los datos de la prueba de carretera AASHO fueron analizados y los efectos de las cargas axiales se expresaron mediante ecuaciones. Estas ecuaciones se simplificaron más tarde a la llamada ley de la cuarta potencia.

Esto establece que si un eje es dos veces más pesado que otro, su efecto relativo sobre el rendimiento del pavimento está en la proporción de 16 a 1. Por lo tanto, el pavimento sometido a la

carga más pesada tiene solo un dieciseisavo de la vida esperada del otro. La ley de la cuarta potencia se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{Px}{Py}\right)^4 = \frac{Ny}{Nx} \quad (3.5)$$

donde:

Px : Carga del eje x

Py : Carga de eje y

Nx : repeticiones de carga de un eje de carga de 8,16 tn

Ny : repeticiones de carga de un eje de carga Py

El análisis de los datos de AASHO indicó que la ley de la cuarta potencia no era constante, pero variaba entre 3,6 y 4,6. Aunque la mayoría de los investigadores están de acuerdo en que un aumento en la carga causa daños adicionales, no se ha llegado a un consenso en cuanto a la magnitud del mismo.

La OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) desarrolló una instalación de prueba acelerada en Nantes, Francia para investigar el exponente en la ley de poder y compararla con la ley de cuarta potencia de AASHTO. Se realizó una comparación entre cargas de eje de 10 tn (22 kip) y 11,55 tn (26 kip) simultáneamente. La OCDE (1991) concluyó que la ley de la cuarta potencia constituye solo una descripción general y es una aproximación de la potencia dañina de las cargas por eje. También se informó que se produjo una amplia variación en el exponente de potencia (es decir, entre 2 y 9) dependiendo del grado de deterioro del pavimento, el criterio utilizado para la comparación.

Huhtala et al (1989) informaron que el valor de potencia varió entre 1,80 y 6,68 basado en el porcentaje de grietas y 2,40 y 8,74 en función de la longitud de la grieta. El valor de potencia cayó entre 1,47 y 5,74 cuando se consideraron los criterios de ahuellamiento (OCDE, 1991).

Deen et al. (1980) estudiaron el efecto de la distribución de carga entre ejes sobre el factor de daño. Los factores de daño aumentan cuando aumenta la distribución de carga entre los ejes del mismo grupo. También informaron que solo el diez % de los ejes en tándem tenían cargas distribuidas uniformemente entre los dos ejes y que esta distribución no uniforme correspondiente puede representar hasta un 40 % de incremento en el daño.

Pavimento Flexible

El daño por fatiga es un efecto acumulativo de las cargas repetidas de las ruedas que causan tensiones de tracción longitudinales directamente debajo del centro del área de contacto del neumático. Un ciclo de tensión similar al que se muestra en la Figura 3.4 para un pavimento rígido ocurre también en pavimentos flexibles. Los esfuerzos compresivos se desarrollan a medida que el vehículo se acerca y deja un punto determinado dentro de la estructura del pavimento. Estas tensiones de compresión son muy pequeñas en comparación con las tensiones de tracción debajo del neumático. En la Figura 3.3, se observa claramente que el daño relativo a la fatiga de los pavimentos flexibles aumenta con la carga, pero esta relación se basa en la suposición de que la ley de la cuarta potencia entre carga y daño es verdadera (Gillespie et al., 1993).

El ahuellamiento es una falla relacionada con la carga en pavimentos flexibles y es causada por la deformación permanente de la superficie y / o las capas subyacentes. Gillespie et al. (1993) informaron que el aumento en la profundidad del ahuellamiento observado en los pavimentos flexibles es proporcional a la carga del eje y es causada por la deformación plástica lineal de las capas del pavimento.

Pavimento Rígido

El peso y la configuración de los ejes del vehículo influyen significativamente en la cantidad de daños por fatiga causados en los pavimentos de hormigón, que constituye el modo principal de falla relacionada con la carga en pavimentos rígidos. De forma similar a los pavimentos flexibles, los esfuerzos de compresión se crean a medida que la carga se acerca y sale de un punto específico, pero son insignificantes en comparación con los esfuerzos de tracción. El daño por fatiga ocurre cuando la losa no puede absorber la carga máxima de tracción (Gillespie et al, 1993).

En la Figura 3.4 se presenta un ciclo de tensiones causado por un eje de 8,16 tn (18 kip) en un pavimento rígido de 25 cm (10 in) de espesor y la Figura 3.2 mostró el daño relativo a la fatiga de los pavimentos rígidos. La Figura 3.2 sugiere que una mayor carga causa un aumento en la cantidad de daño, pero esto también supone que la relación de cuarta potencia entre la carga y el daño es verdadera (Gillespie et al., 1993).

3.4.1.5. Disposición lateral

Comúnmente se supone en el diseño del pavimento que la disposición lateral de las cargas de la rueda del camión se distribuye aproximadamente de forma normal sobre la ubicación media de la trayectoria de la rueda. Sin embargo, investigaciones previas de Benekohal et al. (1990) mostraron que los vehículos no siguen el mismo camino en la calzada y que, de hecho, las trayectorias de los neumáticos, frecuentemente, no se distribuyen normalmente y son significativamente asimétricas.

Pavimento Flexible

La posición lateral del tránsito de camiones tiene mucha influencia en la fatiga del pavimento flexible.

Pavimento rígido

La ubicación transversal de los ejes de camiones en el ancho de la calzada juega un papel importante en el daño acumulativo por fatiga de las estructuras rígidas del pavimento. Las tensiones críticas pueden ocurrir en varios lugares a través de una losa debido a discontinuidades tales como las juntas transversales y las condiciones de restricción de los bordes. En 1926, Westergaard formuló ecuaciones que evaluaban las tensiones máximas en losas con juntas transversales utilizando condiciones de carga circular, semicircular y elíptica en el borde, la esquina y las porciones interiores de la losa. Según la teoría de Westergaard, se determinó que las tensiones de borde libre eran mayores que las esquinas libres y las tensiones internas en la capa superficial. Esto suponía que la losa soportaba toda la carga del camión. Sus condiciones de carga simulaban un camión que operaba directamente en el borde longitudinal del pavimento y suponía que el hombro no llevaba parte de la carga. Esta condición produjo tensiones de tracción máximas en la parte inferior de la losa directamente debajo de la carga de la rueda.

Las teorías de Westergaard funcionan bien con las losas que apoyan completamente en la subbase, pero no pueden predecir con precisión la respuesta del pavimento considerando los efectos

combinados de la carga con el curvado (gradiente positivo) y el alabeo (gradiente negativo). Las condiciones en las que la losa se curva hacia abajo producen las máximas tensiones de tracción cuando la losa se carga a medio camino entre las juntas transversales y a lo largo del borde. La carga en la esquina produce condiciones de tensión de tracción críticas cuando la estructura del pavimento se curva hacia arriba. El efecto combinado de los esfuerzos de carga, rizado y deformación debe analizarse al determinar el daño por fatiga de las estructuras de pavimento de hormigón.

Los estudios realizados para el Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras (NCHRP) y (Gillespie et al., 1993) evaluaron el efecto del soporte del borde lateral sobre el daño acumulativo por fatiga de los pavimentos de hormigón. Los resultados de estos estudios han determinado que el tipo de borde del pavimento, la restricción por sobreancho y el ancho son factores críticos que influyen en el daño acumulado máximo por fatiga. Para las losas completamente apoyadas sin sobreancho, la tensión máxima ocurre en la mitad de las juntas transversales y a lo largo del borde del pavimento. El movimiento de la carga hacia el interior de la losa en esta ubicación provoca una gran reducción de la tensión inducida. La Figura 3.5 indica que las tensiones disminuyen significativamente a medida que la carga se mueve hacia adentro una distancia de 61 cm (24 pulgadas) desde el borde del pavimento y puede considerarse como un caso de carga interior.

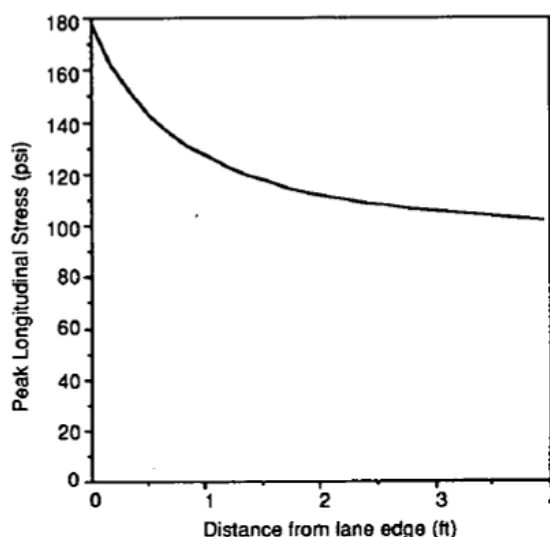


Figura 3.5. Esfuerzo longitudinal máximo frente a la distancia del conjunto de rueda doble desde el borde del carril (Gillespie et al., 1993)

Como se supone que el tránsito de camiones se distribuye normalmente para el diseño, el centro de la carga de la rueda generalmente se coloca a 61 cm del borde del pavimento. Muchas agencias realizan un sobre-espesor desde el borde externo libre hacia el interior de la losa para reducir el daño por fatiga causado por la carga de bordes y esquinas. Para otros casos extremos, el daño máximo acumulado por fatiga puede o no ocurrir en el borde del pavimento, y requerirá diferentes proporciones de daños equivalentes.

3.4.1.6. Efectos dinámicos

La rugosidad se compone de movimientos ínfimos verticales que son generados por variaciones aleatorias en el perfil longitudinal de la superficie de la calzada, y el balanceo es causado por las diferencias de elevación entre las trayectorias de las ruedas derecha e izquierda

(Trapani y Scheffey 1989). Cuando una rueda encuentra prominencias, todo el vehículo vibra verticalmente y el sistema de conducción comienza a vibrar torsionalmente. Además, la velocidad del vehículo cambia y hace que el sistema de conducción se tense dinámicamente. Estos esfuerzos dinámicos aumentan las cargas instantáneas del eje a valores muy por encima de las cargas estáticas.

Los valores de rugosidad típicos fueron reportados por Karamihas y Gillespie (1994) como 1,25 a 3,75 m/km en la escala del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Un camino plano de 1,25 m/km IRI representa un nivel de índice de servicio de pavimento (PSI) de aproximadamente 4,25 y un camino irregular de 3,75 m/km representa un nivel de PSI de aproximadamente 2,5. Los autores señalaron que las carreteras muy deterioradas aumentaron el daño de 200 a 400 %, mientras que incluso los niveles más bajos de rugosidad produjeron un aumento de hasta el 50 % en el daño estático. Debido a que el daño por fatiga dinámica varía a lo largo de la sección del pavimento, se evalúa al percentil 95.

Un informe especial sobre la prueba de carretera AASHO (AASHTO, 1962) indicó que un aumento en la rugosidad del pavimento y/o la velocidad del vehículo aumentaba la variación de la carga dinámica.

Sweatman (1983) y Woodrooffe et al. (1986) examinaron los efectos de los parámetros del vehículo (es decir, la configuración del eje, el tipo de suspensión, la presión del neumático y la velocidad) en las cargas axiales dinámicas teniendo en cuenta la rugosidad del pavimento. Ambos estudios concluyeron que la rugosidad creó variaciones sustanciales en la carga total del eje.

Muchos investigadores han indagado el tipo de suspensión y su influencia en el daño del pavimento. Dichos estudios han incluido los efectos de las características de la suspensión y las interacciones entre el vehículo, el sistema de suspensión y la estructura vial propiamente dicha. La Figura 3.6 ilustra algunos ejemplos de sistemas de suspensión típicos.

Gillespie et al. (1983) evaluaron el daño relativo causado por tres diferentes sistemas de suspensión de ejes en tándem: barra de torsión, tipo ballesta y viga tipo balancín (walking beam). Los daños individuales se midieron para cada uno de los tres sistemas bajo carga constante y estructura de pavimento idéntica. La mayor cantidad de daño fue producida por la suspensión "balancín" y cantidades relativamente menores fueron causadas por las dos suspensiones restantes. En un estudio diferente realizado en 1993, Gillespie et al. descubrieron que la suspensión en tándem con resorte de aire producía la menor cantidad de daño mientras que la viga tipo "balancín" producía hasta cuatro veces la cantidad de daño causado por la carga estática.

Investigaciones exhaustivas han demostrado que las suspensiones de eje en tándem centralmente pivoteadas (por ejemplo, "balancín" y suspensión de un solo punto (single-point) generan las mayores cargas dinámicas (Mitchell y Gyenes, 1989 y Ervin et al., 1983). Sin embargo, Hahn (NCHRP 76) informó que estas suspensiones pueden mejorarse mediante el uso de amortiguadores hidráulicos adecuados. Además, varios estudios han verificado que los sistemas de suspensión de aire generan la menor carga dinámica y que la barra de torsión y los sistemas de suspensión de elásticos se encuentran entre los dos extremos (Sweatman, 1983; Mitchell y Gyenes 1989; y Whittemore et al., 1970). Se pueden encontrar discusiones más detalladas sobre el tipo de suspensión y sus respectivas dinámicas en Sweatman (1983) y Gillespie et al. (1993).

Sousa et al. (1988) desarrollaron una metodología que determinó el efecto de las cargas dinámicas en pavimentos utilizando el programa informático SAPSI. Los efectos de daño relativo de tres tipos de suspensión se determinaron usando las siguientes hipótesis:

- Historial de tiempo de la tensión extrema de tracción de fibra basada en propiedades dinámicas del material.

- Número de aplicaciones de carga a falla calculadas por criterios de falla por fatiga generalmente aceptados

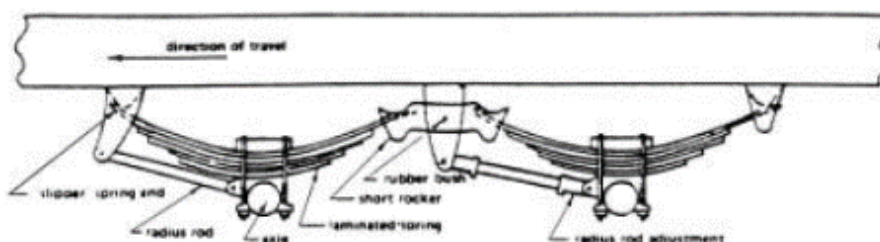
- La reducción del índice de vida del pavimento (RPL) que representa el porcentaje de vida del pavimento consumido por los efectos dinámicos. El índice RPL se da de la siguiente manera:

$$RPL = 1 - NF (suspensión) / NF (estática)$$

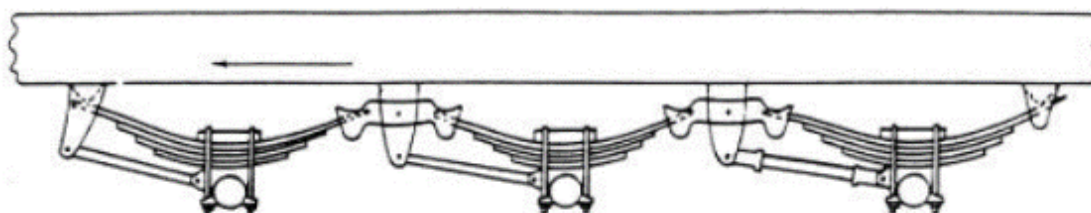
Donde:

NF (estático): número de aplicaciones de carga al fallo

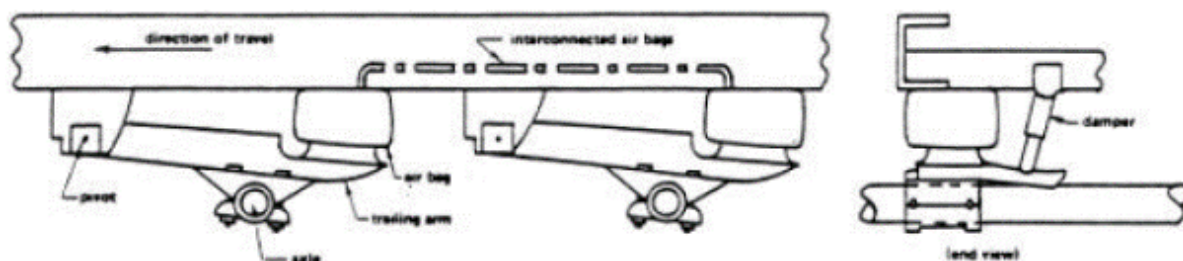
NF (suspensión): Número de aplicaciones de carga a fallas teniendo en cuenta los efectos dinámicos.



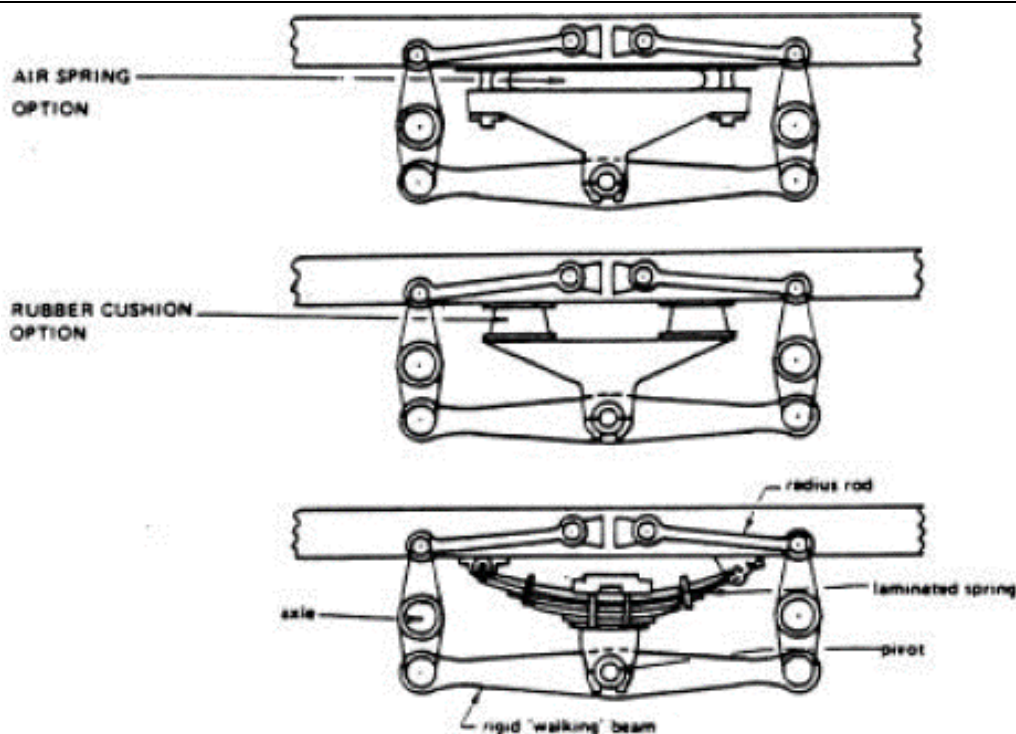
Suspensión en tándem actual de cuatro resortes (balancines cortos)



Suspensión en tridem actual de seis resortes (balancines cortos)



Suspensión neumática en tándem del brazo trasero



Suspensión del eje de transmisión en tándem (viga rígida)

Figura 3.6. Suspensiones típicas de camiones (Sousa, 1988)

Concluyeron que las cargas dinámicas afectan la vida del pavimento y que la magnitud depende del tipo de suspensión en tándem. A partir de este estudio, se determinó que las suspensiones de viga tipo "balancín" indujeron la mayor cantidad de daño y solo se observaron pequeñas reducciones en la vida del pavimento para la barra de torsión y las suspensiones tipo ballesta.

Papagiannakis y col. (1990) estudiaron el impacto del tipo de suspensión en el rendimiento del pavimento en condiciones normales de tránsito. Las distribuciones de frecuencia de carga para suspensiones de aire y caucho se ingresaron en el programa informático VESYS-III-A, para calcular el daño relativo. Llegaron a la conclusión de que la variación de la carga de suspensión de aire era menos sensible a la velocidad del vehículo que la de la suspensión de caucho. Además, se encontró que la suspensión de caucho causaba un mayor daño.

La carga total impuesta en el pavimento por un vehículo en movimiento se representa como una carga axial asimétrica. Cuando un vehículo se acerca a una ubicación determinada en el pavimento, el punto experimenta un aumento en la tensión vertical hasta que se alcanza un pico cuando la rueda está directamente sobre él y luego disminuye a medida que el vehículo se aleja. Esto causa un impulso de tensión en forma de campana que tiene una duración de aproximadamente 120 mseg para un vehículo que viaja a 80 km / h (50 mph) (Akram et al., 1992).

Gillespie et al. (1993) informaron que la velocidad es uno de los factores más importantes que influye en el daño por carga dinámica. Informaron que la velocidad puede afectar el daño del pavimento por un factor de dos o más en las ubicaciones con mayor carga. Sin embargo, se determinó que la velocidad y la rugosidad están estrechamente relacionadas porque la velocidad del vehículo determina cómo el vehículo "ve" el perfil. Derivaron una relación entre la velocidad y la rugosidad, que se aproxima por el factor de carga dinámica (DLC).

$$DLC = \sigma / F$$

Dónde:

F : Valor medio de la distribución de probabilidad de carga dinámica por eje

σ : Desviación estándar de la distribución de probabilidad dinámica de la carga por eje

Harr (1962) utilizó respuestas estructurales de la prueba de carretera de AASHO e indicó que las respuestas eran realmente sensibles a la velocidad del vehículo. La Figura 3.7 ilustra la influencia de la velocidad en los valores de deflexión superficial. Whittemore et al. (1970) también usó los resultados de la prueba de carretera AASHO y observó que los niveles más altos de rugosidad del pavimento y / o la velocidad del vehículo aumentan la carga dinámica inducida.

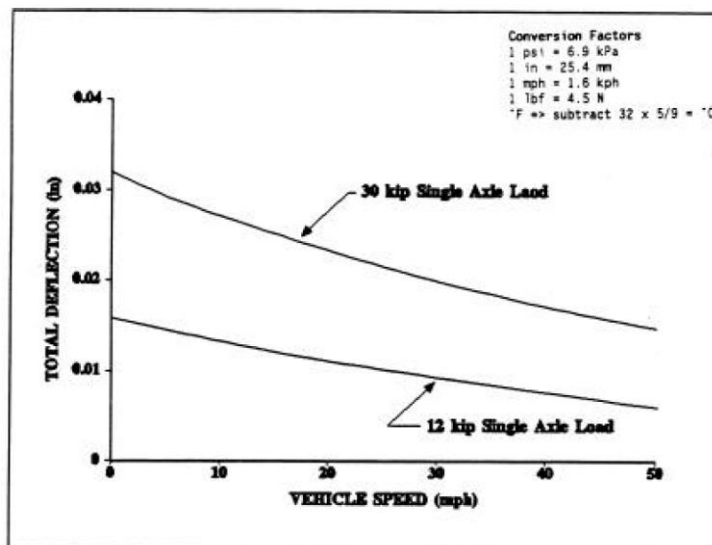


Figura 3.7. El efecto de la velocidad del vehículo en las deflexiones de la superficie del pavimento máximo, según se midió en la prueba de carretera AASHO (Harr, 1962)

Sweatman (1983) examinó el efecto del tipo de suspensión en las cargas axiales dinámicas teniendo en cuenta la rugosidad superficial y la velocidad del vehículo. Probó y comparó nueve sistemas de suspensión, tres velocidades de desplazamiento, dos presiones de neumáticos y dos cargas de 14,7 y 17,7 tn (33 y 40 kips) para ejes tándem y tridem, respectivamente. Cada vehículo recorrió más de seis niveles de rugosidad de la carretera, que iban desde la capacidad de servicio nueva hasta casi la terminal. Llegó a la conclusión de que la rugosidad de la carretera, el tipo de suspensión y la velocidad de desplazamiento tienen, de hecho, efectos significativos en las fuerzas dinámicas de las ruedas.

Sweatman (1983) clasificó las suspensiones en dos grupos: aquellas que se ven significativamente afectadas por los cambios en la velocidad y la rugosidad (viga tipo "balancín", tándem y tándem de un solo punto) y aquellas que son insensibles a los mismos cambios (barra de torsión, cuatro - tándem con resorte y bolsa de aire, tridem con seis resortes y airbag). Estas generalizaciones se extrajeron de las conversiones de las fuerzas dinámicas de la rueda en DLC. Los resultados informados por Sweatman (1983) indicaron que:

- Diferentes suspensiones exhibieron diferentes niveles de respuesta dinámica
- Las mayores cargas dinámicas fueron producidas por suspensiones "caminando"
- Las suspensiones de barra de torsión con amortiguadores hidráulicos funcionaron mejor para reducir las cargas dinámicas

Pavimento Flexible

Gillespie et al. (1993) informaron que la rugosidad de la superficie afecta directamente a la fatiga de los pavimentos flexibles. La Figura 3.8 muestra el rango de daño por fatiga causado por varias suspensiones de eje único y la Figura 3.9 ilustra el daño inducido por varias suspensiones de eje en tándem, ambas en un rango típico de valores de rugosidad. Se concluyó que los camiones son dinámicamente más activos y, por lo tanto, causan más daños en carreteras accidentadas. Por otro lado, informaron que la rugosidad tenía un efecto mínimo en el incremento del ahuellamiento y que la profundidad del mismo a lo largo de la trayectoria del neumático prácticamente no se vio afectada.

Karamihas y Gillespie (1994) informaron que la fatiga asfáltica inducida por el eje tándem variaba de 25 a 50 % en caminos con rugosidad moderada y casi 100 % en caminos muy deteriorados. Sin embargo, las suspensiones de eje único tienen solo un efecto moderado sobre el daño del pavimento flexible porque las variaciones de la propiedad de rigidez para las suspensiones típicas de un solo eje son lo suficientemente pequeñas como para que el tipo de suspensión contribuya con un orden secundario de influencia. Por el contrario, se determinó que el tipo de suspensión solo agregaba una pequeña fracción de ahuellamiento de pavimento flexible, independientemente de la configuración del eje o del tipo de suspensión.

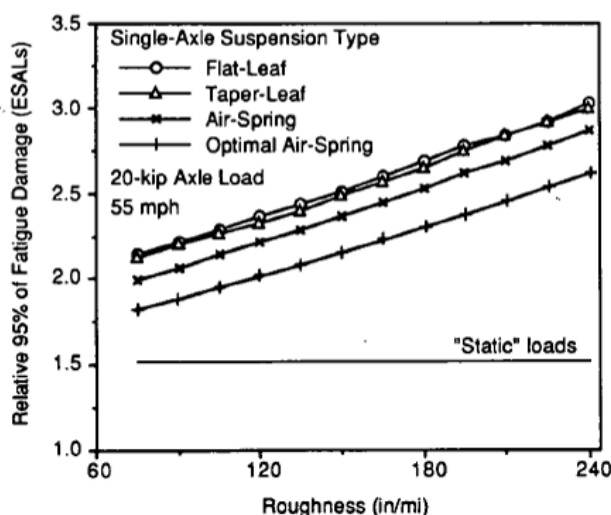


Figura 3.8. Influencia del tipo de suspensión de eje simple en el daño por fatiga de un pavimento flexible

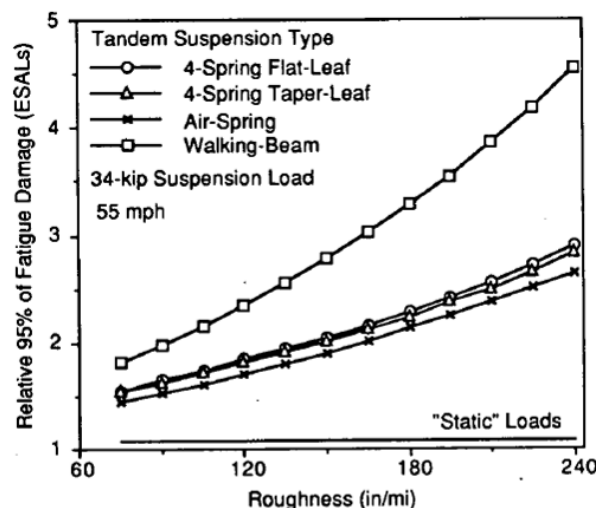


Figura 3.9. Influencia del tipo de suspensión de eje tándem en el daño por fatiga de un pavimento flexible

Heath y Good (1985) desarrollaron un modelo teórico que analizaba los efectos de los tipos de suspensión en el factor de carga dinámico (DLC) de pavimento flexible. Su modelo indicó que la configuración del vehículo de un tipo de suspensión particular no tiene un efecto significativo en el DLC.

La velocidad del vehículo afecta la respuesta primaria de los pavimentos flexibles por la duración de la carga dinámica. Aunque las cargas dinámicas generalmente aumentan con la velocidad, la duración de la carga en realidad disminuye. Por lo tanto, la cantidad de deformaciones disminuye con los períodos de carga más cortos. Addis (1992) informó que las capas bituminosas son menos capaces de distribuir carga a velocidades más bajas y que la rigidez de un material bituminoso es proporcional a la frecuencia de carga o la duración de la carga. Por lo tanto, el asfalto actúa más rígido bajo carga rápida, lo que disminuye las deformaciones.

Gillespie et al. (1993) informaron que a altas velocidades las cargas de las ruedas pasan por ubicaciones específicas más rápidamente, lo que impide que se produzca la deformación plástica. Por lo tanto, la formación de surcos o ahuellamientos se reduce debido a los tiempos de aplicación de carga más cortos, pero el daño por fatiga localizado puede ocurrir en las carreteras más accidentadas. Llegaron a la conclusión de que el daño de rodera (profundidad) varía inversamente con la velocidad, como se muestra en la Figura 3.10. De manera similar, Christison (1978) informó que las deformaciones superficiales y las deformaciones en la parte inferior de la capa de asfalto disminuyen sustancialmente con un aumento en la velocidad. Romero et al. (1994) informaron que las deflexiones disminuyen a medida que aumenta la velocidad y que las reducciones de desviación son siempre mayores en las secciones rígidas.

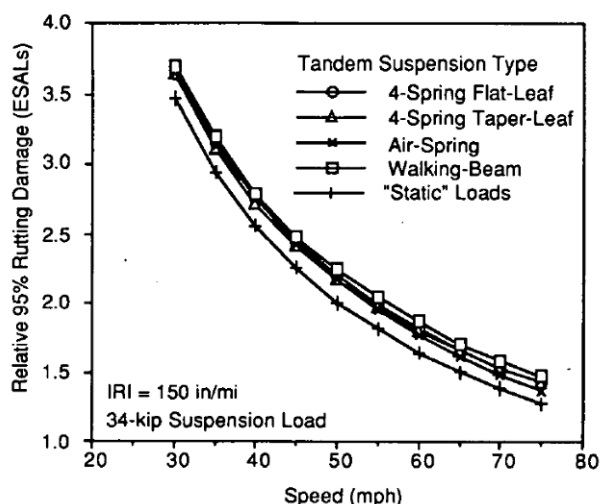


Figura 3.10. Ahuellamiento relativo causada por varios tipos de suspensión en tandem para un valor de IRI 150 in./mi. (Gillespie et al., 1993)

Goktan y Mitschke (95) informaron que la velocidad del tráfico en las carreteras afecta el daño vial en términos de tensiones, deformación y deflexión. A medida que aumenta la velocidad, tanto la amplitud de la carga dinámica producida como la deformación disminuyen. Explicaron que las reducciones en la desviación ocurren debido a que las capas de asfalto se endurecen bajo cargas de mayor frecuencia. Además, se produce un mayor asentamiento en caminos con pendiente o áreas congestionadas debido a que el tráfico disminuye en estos puntos y aumenta la duración de la carga. Lo cual, a su vez, disminuye el módulo y permite la ocurrencia de mayores deformaciones.

Gillespie et al. (1993) informaron que no se producen deformaciones plásticas cuando el vehículo circula a grandes velocidades, lo que reduce de forma considerable el daño por ahuellamiento. Sin embargo, si se da el caso de altas velocidades en pavimentos de mala rugosidad, esto se traduce en daños por fatiga. Concluyeron que los daños por ahuellamiento son inversamente proporcionales a la velocidad, según se aprecia en la Figura 3.11.

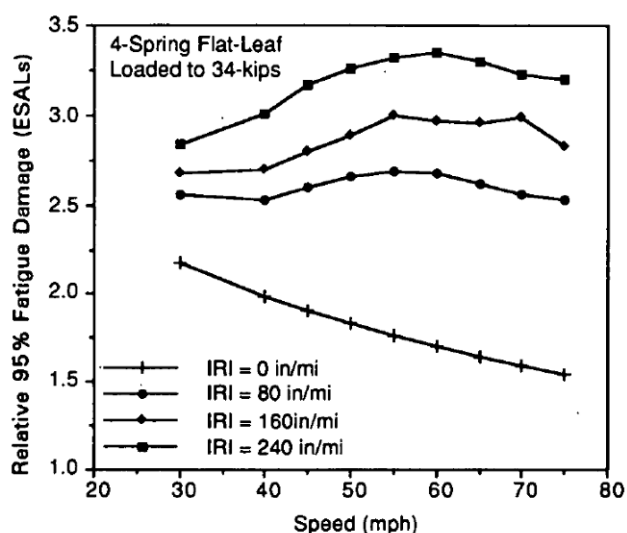


Figura 3.11. Daño relativo por fatiga del pavimento flexible (55 mph ESAL) vs. velocidad en tres niveles de rugosidad del camino (Gillespie et al., 1993)

Sebaaly y Tabatabaee (1993) realizaron un extenso programa de pruebas de campo para determinar la respuesta en el pavimento en servicio causada por el movimiento de cargas de camiones. Llegaron a la conclusión de que la velocidad tiene un gran efecto en la respuesta de deformación y, lo que es más importante, los aumentos en la velocidad del vehículo de 32 a 80 km / h reducen a la mitad las tensiones extremas de fibra de la capa de CA. Los resultados se muestran en la Figura 3.12 y se explican mejor por el comportamiento viscoelástico del concreto asfáltico.

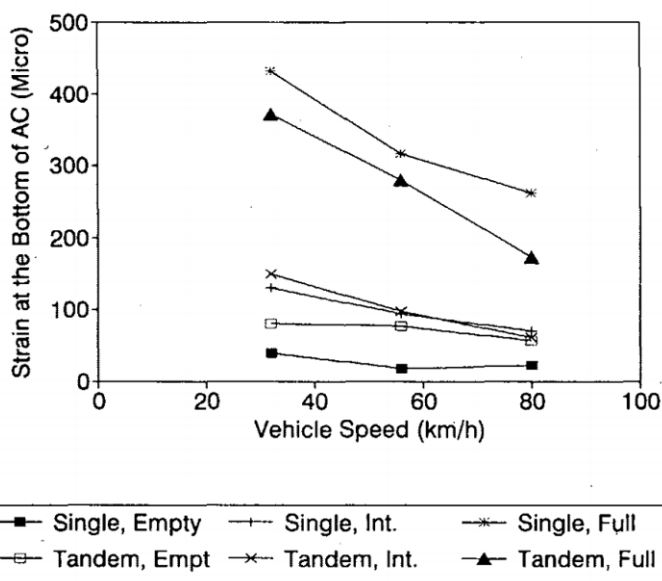


Figura 3.12. Efecto de la velocidad del vehículo sobre la tensión de tracción en la parte inferior de la capa de CA (Sebaaly y Tabatabaee, 1993)

Pavimento rígido

Gillespie et al. (1993) informaron que la rugosidad tiene una influencia moderada sobre la fatiga del pavimento rígido y puede contener un componente periódico que surge de la forma característica de la losa. Este componente puede sintonizar los modos de vibración de ciertos

camiones y remolques, lo que puede causar un efecto de daño desproporcionado a ciertas velocidades. El rizado y el alabeo de las losas de concreto pueden brindar la mejor oportunidad para sintonizar las vibraciones de los camiones. La sintonización del vehículo depende de muchos factores, como la distancia entre ejes, el tipo de eje, las propiedades de suspensión, la distribución de la carga, la longitud de la losa, la velocidad y la angustia del pavimento. Llegaron a la conclusión de que el daño incremental derivado del ajuste es relativamente pequeño en comparación con otros factores y recomendaron que no se realice ningún gran esfuerzo para caracterizar por completo la población de camiones y las condiciones de operación.

Además, determinaron que la rugosidad es un factor mucho más dominante en los sistemas de pavimento rígido que el tipo de suspensión. Las Figuras 3.13 y 3.14 ilustran el daño relativo causado por varios tipos de suspensiones de eje simple y en tándem en una amplia gama de valores de rugosidad de camino. También se informó que la amortiguación optimizada de las suspensiones de aire proporcionó una reducción del 15 % en el daño, y recomendaron que se usen suspensiones de aire y primavera bien diseñadas en lugar de suspensiones de muelles laminares para obtener un 20 % de reducción de daños. Una vez completada la investigación, Gillespie et al. (1993) determinaron que los efectos dinámicos de la rugosidad del camino dominan a los que contribuyen únicamente a partir de tipos de suspensión de eje simple o en tándem.

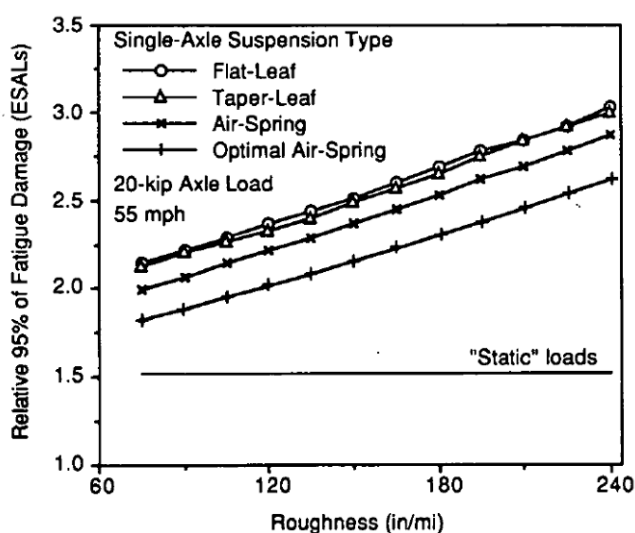


Figura 3.13. Influencia del tipo de suspensión de eje simple sobre la fatiga del pavimento rígido (Gillespie et al., 1993)

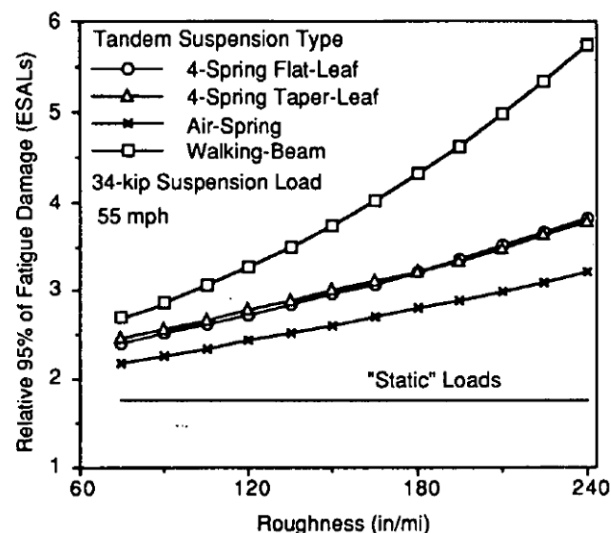


Figura 3.14. Influencia del tipo de suspensión de eje tándem sobre la fatiga del pavimento rígido (Gillespie et al., 1993)

La velocidad afecta la fatiga del pavimento rígido al aumentar las cargas de las ruedas, lo que a su vez aumenta la tensión máxima y el daño. Las Figuras 3.15 y 3.16 ilustran el efecto de la velocidad sobre el DLC y el daño relativo a la fatiga, respectivamente. Gillespie et al. (1993) informaron que el aumento sistemático de la fatiga con la velocidad refleja que un aumento en el DLC con la velocidad se ve agravado por una relación de ley de poder. Llegaron a la conclusión de que el aumento de la velocidad de operación del camión tiene un ligero aumento en la cantidad de daño al pavimento. Se sugirió que se podría evitar un mayor deterioro si se utilizaran velocidades límite en carreteras con un deterioro sustancial.

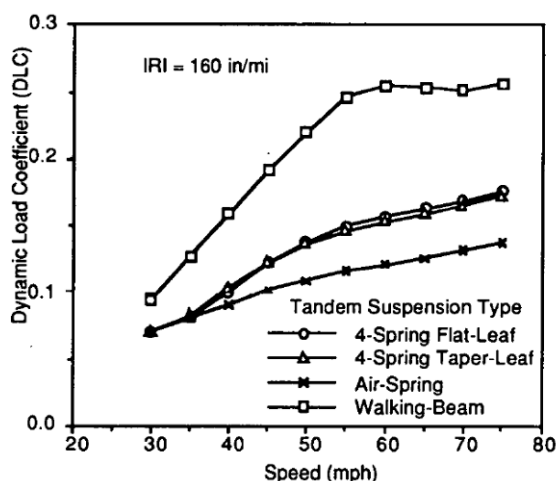


Figura 3.15. Influencia de la velocidad y del tipo de suspensión de eje tándem en el factor de carga dinámica (DLC) para pavimento rígido (Gillespie et al., 1993)

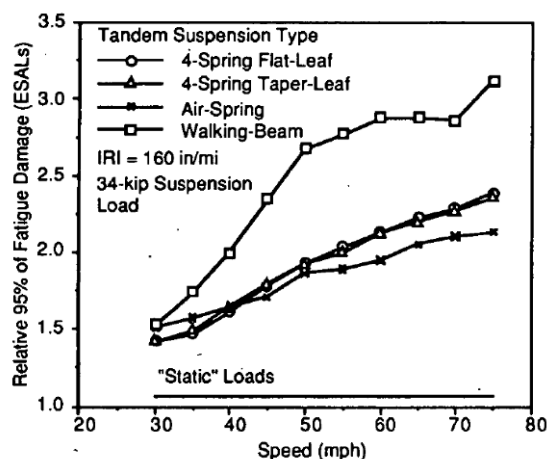


Figura 3.16. Influencia de la velocidad y el tipo de suspensión en tándem en la fatiga del pavimento rígido (Gillespie et al., 1993)

3.4.1.6. Características de los neumáticos

Un neumático soporta un eje estableciendo un área de contacto relativamente pequeña (huella) entre la banda de rodadura del neumático y el pavimento. La presión interfacial entre el neumático y el pavimento se distribuye de manera bidimensional no uniforme sobre el área de contacto. La carga y la presión de los neumáticos afectan significativamente esta distribución. La mayor parte de la falta de uniformidad de la presión de contacto se debe a la rigidez a la flexión dentro de la estructura del neumático, pero la velocidad del vehículo y la fricción del pavimento también contribuyen con efectos menores (Tielking y Roberts, 1987).

3.4.1.6.1. Modelos de distribución de presión uniforme

En el análisis de las estructuras del pavimento, se supone que la carga se transmite en la interfaz entre neumático y pavimento a través de una sección transversal circular. La carga aplicada en la superficie a menudo se supone que se distribuye hacia abajo a través del pavimento sobre un área triangular como se muestra en la Figura 3.17. Los modelos originales desarrollados por Boussinesq (1885) y Burmister (1943) distribuyeron la carga uniformemente a través de un área de contacto circular y se los conocía comúnmente como modelos de presión uniforme. Estos modelos describen la distribución de presión como áreas circulares con presión vertical uniforme. Los efectos de la construcción del neumático y las fuerzas de cizallamiento lateral se ignoraron en los análisis estructurales. Por lo tanto, solo la presión de inflado y la carga de neumáticos se consideraron variables en el diseño.

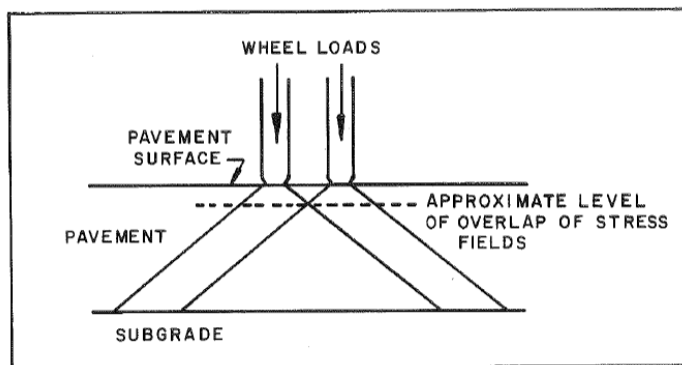


Figura 3.17. Distribución de las cargas de neumáticos (Deen et al., 1980)

Yoder y Witczak (1975) calcularon la presión uniforme de la siguiente manera:

$$a = \left[\frac{P}{p \cdot \pi} \right]^{0.5} \quad (3.6)$$

a : radio de una superficie de contacto circular

P : peso total que transmite el neumático

p : presión de inflado

Los estudios de Tielking y Scharpery (1980) y Tielking y Roberts (1987) han demostrado que la estructura del neumático afecta significativamente la presión transmitida a la superficie de contacto y que las distribuciones son realmente no uniformes. Roberts (1987) estuvo de acuerdo con esto y afirmó que la presunción de presión uniforme solo es válida si el neumático no tiene integridad estructural, como un tubo interno. Akram et al. (1992) informaron que esta suposición simplifica enormemente el análisis y no tiene un efecto significativo sobre los niveles de tensión observados en el concreto asfáltico cuando el espesor supera los 51 mm (2 pulg). Tampoco hay cambios en las deformaciones por compresión de la subrasante cuando el espesor de la capa de asfalto es superior a 51 mm (2 in).

3.4.1.6.2. Modelos de distribución de presión no uniformes

Muchos estudios han demostrado que las presiones de contacto de los neumáticos no son uniformes, sino que tienen formas y distribuciones únicas que dependen de su tipo y estructura. El uso extensivo de modelos de elementos finitos ha proporcionado a los ingenieros una mejor comprensión de las diferentes formas de distribución de presión.

Varios estudios han utilizado análisis de elementos finitos para calcular las distribuciones de presión de contacto en función de la forma desviada del neumático. La distribución del esfuerzo varió a lo largo del ancho del parche del neumático y dependió del tamaño y tipo del neumático (Roberts, 1987). Tielking y Scharpery (1980) eligen un programa de elementos finitos que incorpora transformadas de Fourier para desarrollar un modelo de neumático. A partir de este modelo, se calcularon las distribuciones de límites de contacto y de presión de interfaz para una desviación de neumático especificada. El modelo de neumático Teilking permitió investigaciones analíticas de los efectos de las variables de diseño de los neumáticos en la distribución de la presión de contacto (Roberts, 1987).

Roberts (1987) utilizó el software de análisis estructural ILLIPAVE para realizar comparaciones entre la distribución uniforme y los modelos de neumáticos Tielking. Ambos modelos indicaron tensiones de tensión significativas en la parte inferior de una delgada capa de concreto asfáltico (menos de 51 mm), pero el modelo de Tielking arrojó resultados superiores en un 100 % a los del modelo de presión uniforme.

Basado en investigaciones previas de Chen et al. (1986), Southgate y Mohboub (1992) modificaron el programa Chevron N-layer para permitir la aplicación de 144 áreas discretas cargadas y presiones de contacto por neumático a una estructura de pavimento flexible. Cada área discreta se convirtió en un área circular equivalente y se aplicaron las correspondientes presiones de contacto medidas. Las presiones variaron de 0 a 950 kPa (138 psi), donde las presiones más altas ocurrieron a lo largo de los bordes exteriores del neumático debajo de las paredes laterales.

La carga total de los neumáticos permaneció constante en sus análisis y permitió que la distribución de la presión fuera la única variable. Solo se analizó un paquete estructural consistente en 150 mm (6 pulgadas) de concreto asfáltico, base granular de piedra triturada densamente graduada de 305 mm (12 pulgadas) sobre una subrasante relativamente débil. Las soluciones elásticas de la capa se calcularon en el centro y el borde del neumático y en el punto medio entre el centro y el borde. Las deformaciones se calcularon a intervalos de profundidad de 25 mm (1 pulgada) desde la parte superior de la capa de asfalto hasta el fondo de la capa base (Southgate y Mohboub, 1992).

Southgate y Mohboub definieron el trabajo como la acción de una fuerza externa sobre un cuerpo y la energía de deformación como la fuerza dentro del cuerpo que resiste una fuerza igual aplicada al exterior del mismo. Sokolnikoff (1956) definió la densidad de la energía de deformación como el trabajo interno por unidad de volumen en un punto dado dentro del cuerpo. La forma matemática viene dada por la siguiente ecuación:

$$W = \left(\frac{1}{2}\right) \lambda v^2 + \mu (\epsilon_{11}^2 + \epsilon_{22}^2 + \epsilon_{33}^2 + 2\epsilon_{12}^2 + 2\epsilon_{13}^2 + 2\epsilon_{23}^2) \quad (3.7)$$

Donde:

W = Densidad de energía de deformación, o energía de deformación por volumen de unidad, o la densidad de volumen de la energía de deformación, psi

ϵ_{IJ} = i, jth componente del tensor de tensiones

μ : coeficiente de Poisson

$E[(2(1+\sigma))]$; Módulo de rigidez o el módulo de corte, psi

E : módulo de Young, psi

λ : $E\sigma / [(1+\sigma) * (1-2\sigma)]$

v : $\epsilon_{11} + \epsilon_{22} + \epsilon_{33}$

Los análisis de Southgate y Mohboub (1992) indicaron que el trabajo máximo se produjo debajo del borde del neumático para las diferentes combinaciones de cargas y presiones de contacto del neumático. Las presiones de contacto del neumático medidas indicaron que variaban mucho dentro de la impresión del neumático y que las presiones más altas estaban ubicadas cerca de las costillas externas. Llegaron a la conclusión de que la interacción neumático / pavimento es demasiado importante para ser descuidado en los análisis de respuesta al pavimento y que el uso de

los programas de elementos finitos podría proporcionar valores objetivo para ayudar en el desarrollo de mezclas superficiales resistentes a surcos.

Estudios recientes (Tielking, 1989; Roberts et al., 1986; Marshak, 1985 y Yap, 1988) han proporcionado información más realista sobre la distribución del área de contacto e indican que un aumento en la presión de inflado mientras se mantiene una carga constante, traslada la presión máxima al centro del área de contacto. Sin embargo, un aumento en la carga a presión constante de la llanta resultó en un desplazamiento de la presión máxima de contacto hacia la pared lateral. Huhtala et al. (1989) observó la misma tendencia para los automóviles de pasajeros pero vio un efecto opuesto para los neumáticos de camión. La presión de contacto máxima de un neumático de camión cargado en exceso ocurre a lo largo de la línea central del neumático.

Efecto de los neumáticos en la respuesta al pavimento

Las relaciones de diseño más comúnmente utilizadas entre el tráfico de camiones y el rendimiento del pavimento se desarrollaron durante la Prueba de carretera AASHO de 1962. Las nuevas configuraciones de ejes, suspensiones, características de los neumáticos y mayores presiones de inflado han cambiado la forma en que se aplica la carga a la superficie del pavimento. Los neumáticos Bias- ply con presiones en frío de 552 kPa (80 psi) se usaron en todos los vehículos de prueba en el AASHO Road Test (Akram et al, 1992). Las presiones superiores a 690 kPa (100 psi) son comúnmente utilizadas por la industria del transporte por carretera junto con un mayor peso por eje (FHWA 1984). Además, los nuevos diseños de neumáticos, como los simples de banda amplia y los neumáticos de perfil bajo, se utilizan con frecuencia en la actualidad (Morris, 1987; Akram et al., 1992).

Los efectos del tipo de neumático y la presión han generado preocupación con respecto a su mayor efecto dañino. Las siguientes dos secciones resumen los hallazgos de estudios previos con respecto a la influencia del tipo de neumático y la presión de inflado.

3.4.1.6.3. Efecto del tipo de neumático

Las cargas de los vehículos se transmiten desde el cuerpo del camión a través del sistema de suspensión y los neumáticos a la superficie del pavimento. Las características importantes de los neumáticos son el ancho, la longitud y el área del parche de contacto. El tamaño, la clasificación de las capas y la presión de inflado son características importantes de los neumáticos para llevar la carga. Dos números separados por un carácter, ya sea "R" para radial o "-" para bias-ply, especifican los tamaños. El primer número da el ancho de la sección nominal y el segundo indica el diámetro nominal de la llanta sobre la que está montado el neumático, tanto en milímetros como en pulgadas. La relación de aspecto es la relación entre la altura de la sección y el ancho y se multiplica por 100 para las llantas de perfil bajo.

Los neumáticos de banda ancha, denominados "súper simple", se usan comúnmente en los ejes que no giran para reemplazar la configuración tradicional de doble neumático. También se usan en ejes de dirección de alta carga para una mejor distribución de la misma. Varios estados han comenzado a prohibir el reemplazo de duales con súper simples porque se cree que causan más daño. Huhtala et al. (1992) indicaron que la respuesta del pavimento puede verse afectada por el tipo de neumático, ya que los neumáticos simples de base ancha generalmente producen respuestas mayores que los neumáticos duales porque la carga se extiende más en el último caso.

Los neumáticos simples de base ancha suelen oscilar entre 400 y 460 mm de ancho (16 a 18 pulg.), en comparación con el ancho de 250 a 305 mm (10 a 12 pulg.) de los neumáticos radiales típicos para camión (Akram et al., 1992). Los neumáticos radiales de base ancha están disponibles en los tamaños 15R22.5, 16R22.5 y 18R22.5 (385 / 65R22.5, 425 / 65R22.5 y 445 / 65R22.5, respectivamente). Las llantas de perfil bajo muestran un deseo creciente dentro de la industria del

neumático porque reducen la altura total del vehículo y permiten un aumento en la capacidad del remolque.

Pavimento flexible

La investigación ha demostrado que los neumáticos individuales de base ancha causan entre 1,2 y 4 veces más daño a los pavimentos flexibles que los neumáticos duales. También se determinó que los ejes en tandem y tridem con llantas individuales son menos dañinos que los ejes simples y en tandem con neumáticos duales.

En el Laboratorio de Tráfico y Carreteras del Centro de Investigación Técnica de Finlandia, Huhtala et al. (1989) midieron las tensiones y deformaciones y evaluaron el factor de equivalencia de carga para diferentes cargas axiales, tipos de neumáticos y presiones. Se utilizaron cinco tipos de neumáticos diferentes con tres presiones de neumático separadas para cada neumático. Las tensiones y deformaciones se midieron para cada neumático en tres cargas axiales diferentes.

Huhtala et al. Concluyó que se observó una diferencia clara en las respuestas medidas del pavimento sobre el rango de diferentes tipos de neumáticos. Informaron que los neumáticos de base ancha eran más agresivos que los neumáticos duales en un factor de 2,3 a 4. Se observó un aumento de 20 a 90 % en el factor de daño cuando se usaron neumáticos de base ancha en lugar de los neumáticos más comunes.

Christison et al. (1980) midieron tensiones de tracción y deflexiones superficiales para varios neumáticos en condiciones de prueba similares. Llegaron a la conclusión de que los neumáticos individuales de base ancha causan de 1.2 a 1.8 veces el daño a los pavimentos flexibles que los neumáticos duales. También se ha verificado que las llantas individuales de base amplia causan deflexiones más altas que las llantas duales (Sharp et al., 1986).

Se realizaron estudios comparativos relacionados con la velocidad y el daño del vehículo. Akram et al. (1992) utilizaron deflectómetros de profundidad múltiple para evaluar el daño relativo de neumáticos individuales de base ancha asociados a distintas velocidades. Informaron que a una velocidad de 90 km / h (55 mph), la vida prevista de los pavimentos de concreto asfáltico se redujo en un factor de 2,5 a 2,8 cuando se utilizaron neumáticos individuales de base ancha. Zube et al. (1965) realizó un experimento similar donde se usaron deflexiones en lugar de daños. Informaron que, en promedio, una carga de 2,4 tn (5.4 kip) en un neumático de base ancha es equivalente a una carga de 8,16 tn (18 kip) en neumáticos duales.

El estriado es el resultado de la deformación plástica y depende de la duración y la magnitud de la carga. La OCDE (1982) informó que se debería considerar que las llantas individuales de base ancha causan el doble de daño que las llantas duales y que las llantas individuales convencionales imparten 2.9 veces más daño que las llantas duales. De manera similar, Moore (1992) concluyó que las llantas de base ancha son entre 30 y 100 % más dañinas que las dobles cuando se considera la formación de ahuellamiento. Cuando se investigó la fatiga, los súper simples causan entre 10 y 100 % más de daño.

Gillespie et al. (1993) evaluaron los factores de equivalencia relacionados con la profundidad del ahuellamiento para neumáticos simples convencionales y de base ancha en un amplio rango de espesor de la capa superficial. Los factores de equivalencia en función de la profundidad del ahuellamiento también se determinaron a 25 °C (77 °F) y 49 °C (120 °F) porque el mismo es muy sensible a la temperatura del concreto asfáltico. La tabla 3.3 muestra los factores de equivalencia mencionados para los diversos neumáticos investigados. Los factores estaban relacionados con un eje de 8,16 tn (18 kip) con neumáticos dobles. Llegaron a la conclusión de que los ejes simples de amplia base eran más dañinos que los duales. En pavimentos de espesores considerables (superiores a 7cm), donde el ahuellamiento es el principal modo de falla, es probable

que las llantas de base ancha causen de 1.5 a 2.0 veces más daño que las llantas duales con la misma carga.

Equivalency Factors for Single Tires ¹						
Wear Course Thickness (inches)	77°F Surface Temperature			120°F Surface Temperature		
	11R22.5 ²	15R22.5 ³	18R22.5 ⁴	11R22.5 ²	15R22.5 ³	18R22.5 ⁴
2.0	1.05	1.21	1.39	1.50	1.40	1.38
3.0	1.11	1.24	1.38	1.57	1.53	1.55
4.0	1.20	1.32	1.45	1.51	1.41	1.40
5.0	1.28	1.38	1.50	1.50	1.43	1.44
6.5	1.38	1.47	1.60	1.59	1.50	1.53

1. EFs equal the ratio of the rut depth caused by an axle with single tires at rated load to that of two (dual) tires on an 18-kip axle.

2. Based on rated load of 12,000 lb per axle.

3. Based on rated load of 16,000 lb per axle.

4. Based on rated load of 20,000 lb per axle.

Tabla 3.3. Los factores de equivalencia en función del ahuellamiento para neumáticos convencionales y de base ancha (Gillespie et al., 1993)

Basado en el trabajo realizado por Gillespie et al. (1993), el efecto de diferentes neumáticos sobre la fatiga del pavimento bituminoso se muestra en la Figura 3.18. Concluyeron que los neumáticos individuales con una carga de 5,3 tn (12 kip) en los ejes de la dirección eran más dañinos para la fatiga del pavimento que los neumáticos duales con una carga de 8,9 kN (20 kip). Se descubrió que los neumáticos individuales de base ancha son más dañinos que los neumáticos duales cuando ambas configuraciones de neumáticos llevaban una carga de 8,9 tn (20 kip). Para regular la capacidad de carga de las llantas de base ancha, se determinó que se debe adoptar un criterio de carga por pulgada. Se sugirió un valor límite de 114 N / mm (650 lb / in) de ancho de banda de rodamiento o menos.

Basado en el trabajo realizado por Gillespie et al. (1993), el efecto de diferentes neumáticos sobre la fatiga del pavimento bituminoso se muestra en la Figura 3.18. Concluyeron que los neumáticos individuales con una carga de 5,3 tn (12 kip) en los ejes de la dirección eran más dañinos para la fatiga del pavimento que los neumáticos duales con una carga de 8,9 tn (20 kip). Se descubrió que los neumáticos individuales de base ancha son más dañinos que los neumáticos duales cuando ambas configuraciones de neumáticos llevaban una carga de 8,9 tn (20 kip). Para regular la capacidad de carga de las llantas de base ancha, se determinó que se debe adoptar un criterio de carga por pulgada. Se sugirió un valor límite de 114 N / mm (650 lb / in) de ancho de banda de rodamiento o menos.

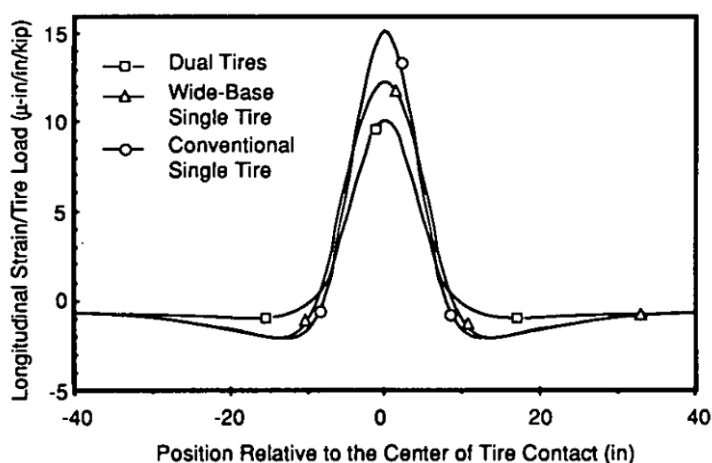


Figura 3.18. Influencia de la deformación del pavimento flexible en función del tipo de neumáticos individuales, dobles y de base ancha (Gillespie et al., 1993)

Usando el enfoque de Deacon (1969) y los modelos de equivalencia de carga de la computadora, Bell et al. (1996) descubrieron que las llantas individuales creaban más daño que las llantas duales para cualquier tipo de eje. También informaron que "individualizar" una configuración de doble neumático de 28 cm (11 pulgadas) causa mucho más daño que la misma carga aplicada por un neumático de base ancha. "Singling-out" se refiere a la eliminación de la rueda interior en una configuración doble y que el vehículo funciona con el neumático de 28cm restante. Su análisis demostró que los ejes en tándem con llantas individuales eran menos dañinos que los ejes sencillos cargados de manera comparable con neumáticos duales. Además, los ejes tridem con llantas individuales eran menos dañinos que los ejes tándem idénticamente cargados con neumáticos duales.

Pavimento rígido

El efecto de la configuración del neumático en la fatiga del pavimento rígido derivó de su influencia sobre el pico de tensión en el fondo de la losa de hormigón. La Figura 3.19 ilustra el efecto de diferentes tipos de neumáticos sobre las tensiones longitudinales resultantes. La Tabla 3.4 presenta el efecto de los neumáticos y el espesor del pavimento en el factor de equivalencia de carga. Gillespie et al. (1993) concluyeron que los neumáticos individuales aumentan las tensiones en un 15 a 21 % en la parte inferior de la capa de hormigón en comparación con los neumáticos duales. También informaron que las llantas individuales de base ancha aumentan las tensiones en un 2 a 9 % en la parte inferior de la capa de concreto cuando se relacionan con llantas duales. Por lo tanto, los neumáticos simples convencionales y los neumáticos de base ancha son más perjudiciales para los pavimentos de hormigón que los neumáticos duales.

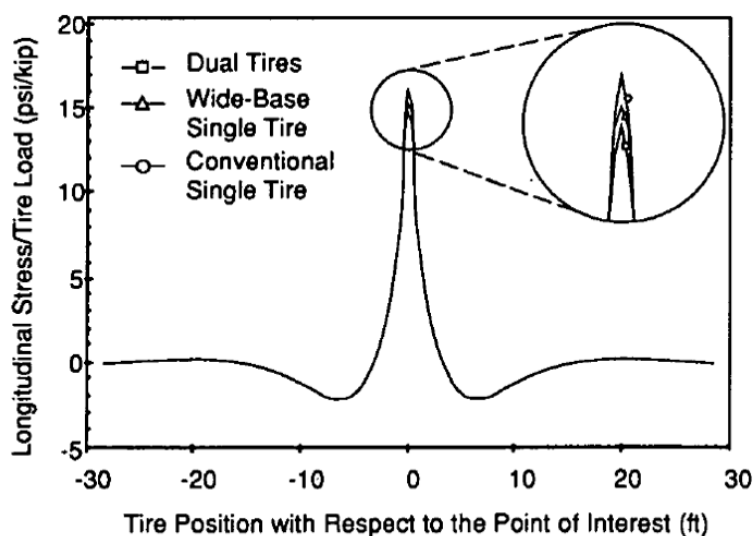


Figura 3.19. Influencia de la tensión del pavimento rígido en función del tipo de neumáticos simple, doble y de base ancha (Gillespie et al., 1993)

TABLE 7. Rigid fatigue load equivalence factors for single tires of various sizes

PC Concrete Pavement Thickness (in)	Peak Stress of Single Tire Peak Stress of 11R22.5 Duals (Per pound of load)			Equivalence Factors ¹ for Single Tires at Rated Load (ESAL)		
	11R22.5	15R22.5	18R22.5	11R22.5 ²	15R22.5 ³	18R22.5 ⁴
7.0 ⁵	1.21	1.09	1.02	0.42	0.88	1.67
8.0 ⁵	1.19	1.08	1.02	0.40	0.86	1.66
9.0 ⁵	1.18	1.07	1.02	0.39	0.84	1.65
10.0 ⁵	1.17	1.07	1.02	0.37	0.83	1.64
12.0 ⁵	1.15	1.07	1.02	0.35	0.81	1.62
7.0 ⁶	1.17	1.07	1.02	0.37	0.83	1.64
8.0 ⁶	1.16	1.07	1.02	0.36	0.82	1.63
9.0 ⁶	1.15	1.07	1.02	0.35	0.80	1.62
10.0 ⁶	1.15	1.06	1.02	0.34	0.80	1.62

1. EFs are defined in these columns as the number of passes of an 11R22.5 dual-tire axle loaded to 18,000 lbs required to consume the same amount of pavement fatigue life as an axle with single tires at rated load.

2. Based on rated load of 12,000 lb per axle.

3. Based on rated load of 16,000 lb per axle.

4. Based on rated load of 20,000 lb per axle.

5. Pavement has an 8-inch thick granular subbase.

6. Pavement has a 4-inch thick cement treated subbase.

Tabla 3.4. Los factores de equivalencia de carga neumáticos individuales de diferentes dimensiones
 (Gillespie et al., 1993)

3.4.1.6.4. Presión de inflado de los neumáticos

La presión de los neumáticos siempre ha preocupado a los ingenieros en términos de distribuir las cargas de las ruedas sobre un área de contacto adecuada para minimizar las tensiones impartidas en el pavimento. Actualmente, existe una creciente preocupación por el aumento en las presiones de los neumáticos que se cree que contribuyen al aumento del daño en el pavimento. Desde la prueba de carretera AASHO, la presión de inflado promedio ha aumentado de 550 kPa (80 psi) a 760 kPa (110 psi) para adaptarse a los mayores límites de carga.

Los neumáticos radiales tienden a requerir mayores presiones de los neumáticos que los de capas diagonales debido a la estructura del cinturón y las huellas más grandes. Sin embargo, las correas ayudan a distribuir las tensiones de contacto más uniformemente en neumáticos radiales. El efecto neto de cambiar de capas diagonales a neumáticos radiales es una reducción en las presiones de contacto de la superficie (Akram et al., 1992). Haas y Papagiannakis (1986) informaron que los neumáticos radiales recomiendan una presión de inflado de 35 kPa (5 psi) más alta que los neumáticos de capa diagonal. Además, las presiones de inflado deben aumentar para reemplazar los neumáticos duales con neumáticos de base ancha bajo la misma carga.

Pavimento flexible

Un aumento en la presión de los neumáticos tiene un efecto pronunciado en las secciones delgadas de asfalto y un pequeño efecto en los pavimentos más gruesos. Para los espesores de concreto asfáltico de mayor espesor, los daños en el pavimento están claramente controlados por aumentos en la carga y no por la presión de inflado de los neumáticos (Monismith et al., 1988).

Utilizando el programa informático BISAR, Sebaaly y Tabatabaee (1989) analizaron los efectos de diversos tipos de neumáticos y presiones de inflado. Los neumáticos radiales, de capa sesgada y de base amplia se probaron en tres condiciones de carga diferentes y en cuatro espesores de pavimento diferentes. Informaron que los tres tipos de neumáticos causaron un aumento de hasta un 5 % en la tensión de tracción en superficies de asfalto de más de 102 mm (4 in). Seebaly y Tabatabaee (1989) concluyeron que la presión de inflado afectaba la magnitud de las tensiones de tracción y compresión de los pavimentos de 51 mm (2 pulgadas) de espesor. Además, los mayores efectos de la presión de los neumáticos se encontraron en los neumáticos simples de base amplia,

que causaron un aumento del 40 % en la tensión de tracción cuando la presión cambió de 896 a 1000 kPa (130 a 145 psi). Seebaly (1992) concluyó que la presión de inflado no es un factor si el espesor del concreto asfáltico excede los 152 mm (6 pulg).

A partir de análisis elásticos lineales, Haas y Papagiannakis (1986) descubrieron que una presión de neumáticos aumentada de 414 a 827 kPa (60 a 120 psi) bajo carga constante, aumentaba la tensión de compresión vertical cerca de la parte superior de una capa de concreto asfáltico (AC) de 203 mm (8 in) hasta en un 8,0 %. Sin embargo, el cambio en la tensión de tracción en la parte inferior fue casi cero.

Roberts et al. (1986) utilizaron un modelo de elementos finitos y un modelo de distribución de presión no uniforme para predecir los efectos de la presión de inflado de los neumáticos. Llegaron a la conclusión de que la tasa de crecimiento del ahuellamiento para todos los espesores de concreto asfáltico aumentaba a medida que la presión de los neumáticos cambiaba de 517 a 862 kPa (75 a 125 psi). También observaron que la presión elevada de los neumáticos aumentaba la cantidad de grietas por fatiga en capas delgadas de hormigón asfáltico (por ejemplo, 25 y 51 mm; 1 y 2 pulgadas).

A partir de mediciones de campo de secciones de pavimento instrumentado, Bonaquist et al. (1989) informaron que las respuestas del pavimento no se vieron afectadas significativamente por las mayores presiones de los neumáticos.

Las respuestas medidas del pavimento aumentaron en un diez % o menos para un aumento correspondiente de presiones de neumáticos de 524 a 966 kPa (76 a 140 psi). También informaron que las deflexiones predichas a partir de la teoría elástica en capas con una distribución de presión uniforme coinciden estrechamente con las deflexiones medidas.

Pavimento rígido

Gillespie et al. (1993) informaron que un aumento en la presión de inflado de 517 a 827 kPa (75 a 120 psi) dio como resultado un aumento del 53 % en el daño de los neumáticos de base ancha. No se observó un aumento significativo para los neumáticos convencionales. Esto se debió a la mayor sensibilidad de longitud de contacto de los neumáticos de base ancha.

3.4.2. CONDICIONES AMBIENTALES

Generalmente, hay dos fuentes principales de variaciones climáticas que son perjudiciales para la estructura del pavimento: la temperatura ambiente y del pavimento y la humedad del suelo. La humedad del suelo causa una reducción en la resistencia de la subrasante, mientras que la temperatura ambiente da como resultado una disminución en la rigidez de la capa de asfalto y la resistencia asociada. Los gradientes de temperatura y humedad causan el curvado y deformación de las losas de pavimento rígido y pueden aumentar en gran medida las tensiones dentro del pavimento.

3.4.2.1. Temperatura

La distribución de calor a través del espesor de la losa depende del material y el color del pavimento. La distribución de la temperatura puede ser más fría en el concreto porque el coeficiente de absorción de calor entre el blanco y negro es aproximadamente de 2 a 1 (Harik, 1994). Por ejemplo, una temperatura superficial de 60 ° C (140 ° F) para el asfalto es equivalente a aproximadamente 49 ° C (120 ° F) en concreto. Sin embargo, el coeficiente de transferencia de calor para los dos materiales es casi idéntico (aproximadamente 0,98 para el asfalto frente a 0,96

para el concreto). En consecuencia, las distribuciones de temperatura son bastante similares debajo de la superficie.

Pavimento flexible

Las investigaciones indican que la temperatura juega un papel importante en el rendimiento de los pavimentos flexibles. Esto se debe principalmente a una disminución de la viscosidad del asfalto a medida que aumenta la temperatura causando una reducción del módulo resiliente de concreto asfáltico. Por lo tanto, es habitual que los diseños de pavimento especifiquen grados de asfalto más blandos en climas más fríos para reducir el agrietamiento térmico y los grados de asfalto más duros en climas cálidos para reducir la formación de ahuellamiento.

El agrietamiento térmico es causado por la contracción de la capa de concreto asfáltico que comienza en la superficie y se propaga con el tiempo. El asfalto tiene un gran coeficiente de expansión térmica y, por lo tanto, se expande o contrae rápidamente. Las grietas se forman a partir de un enfriamiento rápido que induce tensiones de tracción, que exceden la resistencia a la fractura del asfalto. Estas tensiones térmicas son muy comunes en las áreas del norte y oeste de los Estados Unidos debido a los grandes rangos de amplitud térmica.

Además, la temperatura influye en la cantidad de grietas y fisuras en la fatiga. Ambas formas de daño se producen bajo una gran carga, pero se ven aumentadas por los aumentos de temperatura. A medida que la temperatura cambia, las deformaciones inducidas térmicamente contribuyen a la formación de grietas por fatiga cuando se aplican cargas pesadas al concreto asfáltico ablandado. Esto último es especialmente cierto para los pavimentos de concreto asfáltico de profundidad total debido a que las altas temperaturas permiten que el asfalto se densifique y cause deformación permanente o surcos. Las Figuras 3.20 y 3.21 ilustran la influencia de la temperatura de la superficie sobre la fatiga relativa y el daño de rodadura causado por diferentes pesos y configuraciones de camiones. La variación en el daño se debe a la carga más crítica de llantas individuales y la reducción del módulo elástico a temperaturas elevadas (Gillespie et al., 1993).

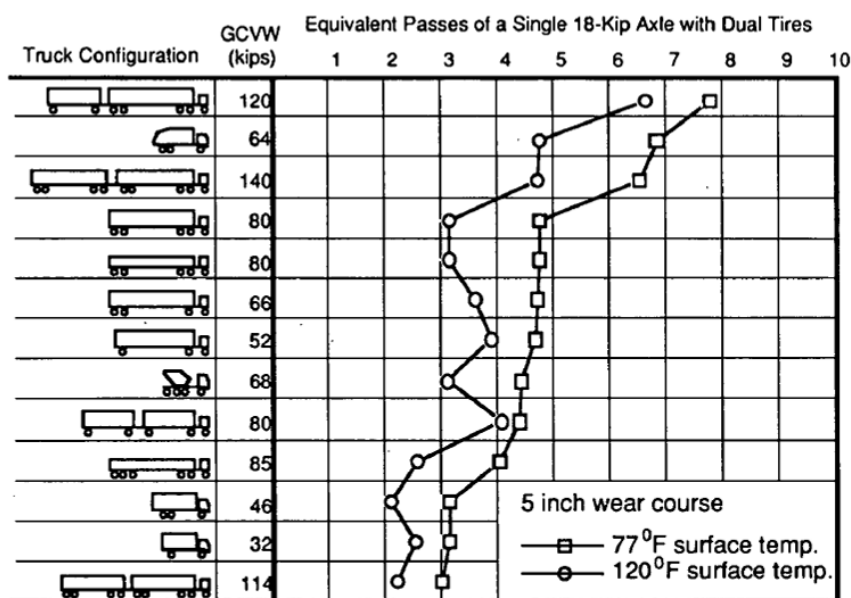


Figura 3.20. Influencia de la temperatura de la superficie en el daño relativo por fatiga del pavimento flexible (Gillespie et al., 1993)

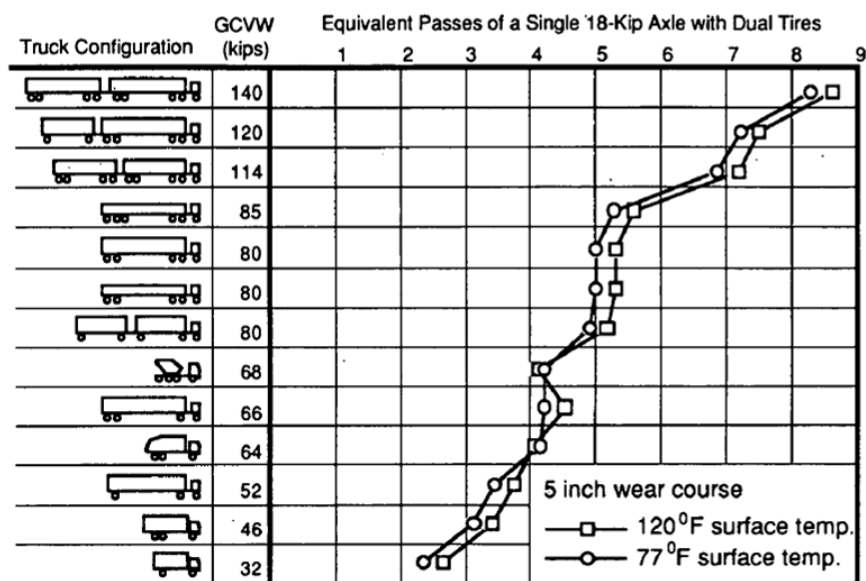


Figura 3.21. Influencia de la temperatura de la superficie en el daño relativo por ahuellamiento (Gillespie et al., 1993)

Pavimento rígido

El rendimiento de un pavimento rígido está fuertemente influenciado por los efectos de la temperatura. Las variaciones térmicas diarias causan temperaturas desiguales en la parte superior e inferior de la losa. Cuando la temperatura en la parte superior es mayor que la inferior, la parte superior tiende a expandirse con respecto al eje neutro mientras que la parte inferior tiende a contraerse. Sin embargo, el peso de la losa resiste la expansión y la contracción y, por lo tanto, forma tensiones de compresión en la parte superior de la losa y tensiones de tracción en la parte inferior. El fenómeno exactamente opuesto ocurre si la parte superior de la losa es más fría que la inferior. Estos estados cíclicos de estrés contribuyen al daño por fatiga de los pavimentos rígidos y se denominan efectos de rizado.

Teller y Sutherland (1935) estudiaron los efectos de las variaciones de temperatura y humedad en los pavimentos PCC. Sus resultados indicaron que las tensiones inducidas por la temperatura son de igual importancia que las inducidas por las mayores cargas legales de ruedas. También se determinó que la distribución de temperatura típicamente no es lineal.

Aunque se ha determinado que la distribución de temperatura en todo el espesor de la losa es no lineal, la mayoría de los métodos de análisis actuales, incluidos los modelos de elementos finitos bidimensionales, están limitados a las distribuciones de temperatura lineales. Teller y Sutherland (1935) concluyeron que el gradiente de temperatura uniforme causaría la condición de tensión más crítica, a pesar de que el gradiente curvo era más típico. Si se supone un gradiente lineal, las tensiones máximas de tracción calculadas tienden a ser más altas durante las condiciones diurnas y menores para las condiciones nocturnas en comparación con su distribución no lineal respectiva (Choubane y Tia, 1995). Gillespie et al. (1993) concluyeron que los gradientes de temperatura y las deformaciones de losas resultantes tienen un efecto significativo sobre la cantidad de daño inducido por las cargas axiales. La Figura 3.22 ilustra el efecto de los gradientes positivos en la vida de fatiga del pavimento.

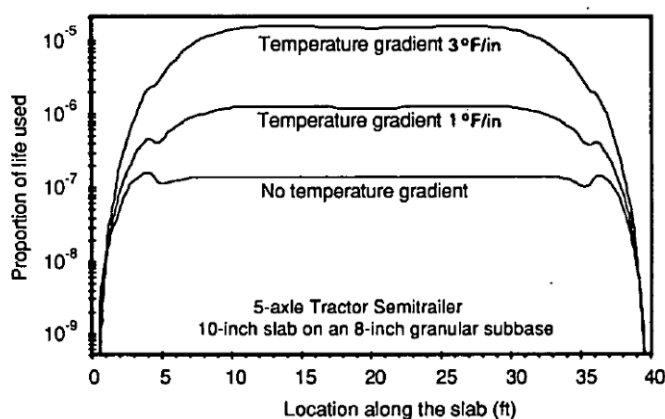


Figura 3.22. Efecto del gradiente térmico sobre la vida a fatiga a lo largo de una losa (Gillespie et al., 1993).

3.4.2.2. Humedad

Pavimento flexible

La prueba de carretera AASHO consideró las variaciones climáticas utilizando el tráfico ponderado para tener en cuenta la resistencia estacional de la subrasante y un factor regional relativo. El sitio de prueba de carretera recibió un valor de uno para el factor regional y a otros sitios se les dieron factores de acuerdo con las condiciones climáticas locales.

Cumberledge et al. (1974) realizaron una investigación y encontraron que el cambio porcentual en las deflexiones dependía significativamente de la variación de humedad en la subrasante. La variación de humedad se atribuyó al movimiento de infiltración por banquina, la fluctuación en el nivel freático y la zona capilar, y la infiltración a través de grietas y fisuras en la superficie. Basado en la regresión lineal múltiple, Cumberledge et al. (1974) propuso la siguiente ecuación para estimar el cambio en la desviación causada por las variaciones en el contenido de humedad de la subrasante:

$$\Delta\delta_{60F} = 2.8496(\Delta MC) + 0.70(\%200) + 2.4484(T_p) - 0.8342(LL) - 0.3979(\gamma_d)$$

Donde:

$\Delta\delta_{60F}$: Cambio porcentual de la deflexión

ΔMC : Cambio porcentual en el contenido de humedad

%200: Porcentaje en peso que pasa #200

T_p : Espesor total del paquete estructural, in

LL: Límite líquido del suelo de la subrasante

γ_d : Densidad seca del suelo de la subrasante, pcf

Wiman y Jansson (1990) también realizaron una investigación que consideró el efecto de las variaciones estacionales en las mediciones de deflexión. La prueba tuvo lugar en Noruega y Suecia durante un período de tres años. Llegaron a la conclusión de que las variaciones estacionales tenían poco efecto en las medidas de deflexión (o deformación vertical) si la base y la subbase eran de buena calidad, pero eran significativas si se utilizaban materiales pobres.

La presencia de humedad en la estructura del pavimento también conduce a problemas con la acumulación de escarcha. Las lentes de hielo típicamente se forman en los espacios vacíos más grandes de los suelos susceptibles a las heladas. El grado de susceptibilidad a las heladas es predominantemente una función del porcentaje de partículas finas, pero también de la forma de las partículas, la distribución del tamaño de los granos y la composición mineral. Marek y Dempsey (1972) realizaron un estudio que analizó las tensiones y las deflexiones en sistemas de pavimento flexibles. Llegaron a la conclusión de que la ubicación de la línea de congelación en el sistema de pavimento afecta en gran medida la tensión vertical en la interfaz subrasante-sub-base y la deflexión de la superficie.

Pavimento Rígido

A diferencia de los pavimentos flexibles, el contenido de humedad de la subrasante no tiene un efecto significativo sobre la resistencia y el daño por fatiga de los pavimentos rígidos. Sin embargo, las variaciones en el contenido de humedad intrínseco de la losa tienen efectos considerables en el comportamiento del pavimento rígido. El hormigón se contrae cuando se seca y se expande a medida que aumenta el contenido de humedad. Los gradientes de humedad en la losa causan efectos similares a los gradientes de temperatura y se denominan tensiones inducidas por curvatura.

CAPÍTULO 4

FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGAS (LEF)

4.1. ENFOQUE EMPÍRICO

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHO) y la Oficina de Caminos Públicos introdujeron el concepto de equivalencia de 8,16 tn (18 kips) poco después de que la prueba de carretera AASHO se completó en 1961. Fue una prueba muy importante a escala real en Ottawa, Illinois, en donde se utilizaron seis pistas de prueba con distintas configuraciones de paquete estructural. Se utilizó sólo un conjunto de materiales y un solo tipo de subrasante para cada tipo de pavimento.

La carga de un solo eje de 8,16 tn fue elegida principalmente como carga equivalente, porque era la máxima carga legal en la mayoría de los estados en el momento de la prueba de carretera AASHO. Como resultado, los LEF se basaron en datos empíricos obtenidos durante la prueba de AASHO Road Test, por lo que se desarrollaron ecuaciones experimentales donde se determinó que los factores de equivalencia de carga por eje son función: del tipo de pavimento, de la capacidad estructural del mismo, del sistema de eje (simple, doble, triple), de la magnitud de la carga por eje y del índice de servicio. En 1972 se presentaron los factores de equivalencia solo para ejes simple y tandem. Luego en 1986 se anexaron finalmente factores de equivalencia para ejes tridem.

En síntesis, AASHTO utiliza LEFs para convertir flujos de tránsito mixto en un sistema de cargas de un solo eje equivalentes de 8,16 tn (18 kips), estando su valor influenciado por cuatro variables independientes, a saber:

- (1) L1 - carga sobre un eje simple, tandem o tridem.
- (2) Código del tipo de eje L2 (1 para el eje simple, 2 para el eje tandem, 3 para el eje tridem).
- (3) Pt – nivel de serviciabilidad al final del tiempo t, igual a 2, 2,5, 3.
- (4) El número estructural (SN) para pavimentos flexibles de 1 a 6, o en el caso de pavimentos rígidos puede variar de 15 a 36cm de espesor de losa.

Por lo tanto el valor de AASHTO 18-kip LEFs representa la relación entre el número de repeticiones de cualquier carga y configuración del eje (single, tandem, tridem) necesarias para causar la misma reducción en el índice de serviciabilidad presente (PSI) que una aplicación de 8,16 tn (18 kip) correspondiente al eje simple de referencia. La ecuación 4.1 se utiliza para determinar AASHTO 18-kip LEFs.

$$LEF_{L1} = \frac{N_{18}}{NL1} \quad (4.1)$$

Donde:

N_{18} = número de aplicaciones de carga al final de la vida útil t, para L1=18kips

$NL1$ = número de aplicaciones de carga al final de la vida útil para cualquier tipo de carga L1

Derivaciones de AASHTO LEF

Las siguientes ecuaciones (AASHTO 72) se utilizaron para calcular LEFs para pavimentos flexibles y rígidos, respectivamente.

Pavimentos Flexibles N_{L1} está dada por la ecuación 4.2:

$$\log(N_{L1}) = 5.93 + 9.39 * \log_{10}(SN + 1) - 4.79 * \log_{10}(L1 + L2) + 4.331 * \log_{10}(L2) + \frac{G_t}{\beta} \quad (4.2)$$

Donde:

G_t = una función (el logaritmo) de la relación de pérdida serviciabilidad en el tiempo t y la pérdida potencial tomada hasta un punto donde $p_t = 1,5$.

$$G_t = \log_{10} \left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right) \quad (4.3)$$

β = es función del diseño y la variable de cargas que influyen la forma de la curva de serviciabilidad p-W

$$\beta = 0.40 + \frac{0.081 * (L1 + L2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} * L2^{3.23}} \quad (4.4)$$

Para $L1=18$ kips y eje simple, la ecuación 4.2 puede simplificarse:

$$\log(N_{18}) = 5.93 + 9.39 * \log_{10}(SN + 1) - 4.79 * \log_{10}(18 + 1) + \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad (4.5)$$

Reemplazando en la ecuación 4.1 los términos de 4.2 y 4.5, se obtiene:

$$LEF_{L1} = \left[\frac{(L1 + L2)^{4.79}}{(18 + 1)^{4.79}} \right] * \left[\frac{10^{G_t/\beta_{18}}}{(10^{G_t/\beta_{L1}}) * L2^{4.331}} \right] \quad (4.6)$$

Pavimento Rígido. N_{L1} está dado por la ecuación 4.7:

$$\log N_t = 5.85 + 7.35 * \log(D + 1) - 4.62 * \log(L_1 + L_2) + 3.28 + \log L_2 + \frac{G_t}{\beta} \quad (4.7)$$

Donde:

G_t = una función (el logaritmo) de la relación de pérdida serviciabilidad en el tiempo t y la pérdida potencial tomada hasta un punto donde $p_t = 1,5$.

$$G_t = \log_{10} \left(\frac{4.5 - p_t}{4.5 - 1.5} \right) \quad (4.8)$$

β = es función del diseño y la variable de cargas que influyen la forma de la curva de serviciabilidad p-W

$$\beta = 1.00 + \frac{3.63*(L_1+L_2)^{5.2}}{(D+1)^{8.46}*L_2^{3.52}} \quad (4.9)$$

Para $L_1=18$ kips y eje simple, la ecuación 4.2 puede simplificarse:

$$\log N_{t18} = 5.85 + 7.35 * \log(D + 1) - 4.62 * \log(18 + 1) + \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad (4.10)$$

Sustituyendo las Ecuaciones 4.7 y 4.10 en la Ecuación 4.1, se puede obtener la siguiente ecuación para pavimentos rígidos:

$$LEF_{L1} = \left[\frac{(L_1+L_2)^{4.62}}{(18+1)^{4.62}} \right] * \left[\frac{10^{G_t/\beta_{18}}}{(10^{G_t/\beta_{18}})*L_2^{3.82}} \right] \quad (4.11)$$

AASHO model. El modelo AASHO (AASHTO 72) puede ser expresado así:

$$\left(\frac{N}{\rho} \right)^{\beta} = \frac{P_o - P}{P_o - P_t} \quad (4.12)$$

where:

N = número de repeticiones de 18kips que provoca la reducción del índice de serviciabilidad,
 para $P_o - P$,

ρ = número de repeticiones de carga hasta el final de la serviciabilidad (P_t)

β = factor de forma.

Realizando reemplazos de la ecuación 4.12, se obtiene la siguiente relación:

$$\log_{10}(N) = \log_{10}(\rho) + \frac{\log_{10}\left(\frac{P_o - P}{P_o - P_t}\right)}{\beta} = \log_{10}(\rho) + \frac{G}{\beta} \quad (4.13)$$

En cada sección de prueba de la calzada evaluada por AASHO, se determinó el nivel de servicio (P) y los ejes (N) a intervalos de dos semanas a lo largo de la vida de la sección. Los parámetros desconocidos (β y ρ) se obtuvieron mediante análisis de regresión. Para la misma se utilizaron logaritmos de tráfico para la capacidad de serviciabilidad de 3,5, 3,0, 2,5, 2,0 y 1,5 para obtener estimaciones de β y ρ . Habiendo obtenido los dos parámetros (β y ρ) para cada sección, se asumió que estos parámetros eran funciones del diseño de la sección estructural (en todo el espesor) y el tipo de tránsito. Sobre esta base, se determinaron los coeficientes β y ρ para pavimentos flexibles:

$$\rho = A0 * (D + 1)^{A1} * (L1 + L2)^{A2} * L2^{A3} \quad (4.14)$$

$$\beta = B0 * (D + 1)^{B1} * (L1 + L2)^{B2} * L2^{B3} \quad (4.15)$$

En estas ecuaciones $L1$, $L2$ y D son conocidas para cada sección. Las ocho constantes desconocidas $A0-3$ y $B0-3$ fueron obtenidas mediante regresión analítica. (Corre 90).

Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	003	002	002	002	002
6	009	.012	011	010	009	009
8	030	035	036	033	031	029
10	075	085	090	085	079	076
12	165	177	189	183	174	168
14	325	338	354	350	338	331
16	589	598	613	612	603	596
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 61	1 59	1 56	1 55	1 57	1 59
22	2 49	2 44	2 35	2 31	2 35	2 41
24	3 71	3 62	3 43	3 33	3 40	3 51
26	5.36	5 21	4 88	4 68	4 77	4 96
28	7 54	7 31	6 78	6 42	6 52	6 83
30	10 4	10 0	9 2	8 6	8 7	9 2
32	14 0	13 5	12 4	11 5	11 5	12 1
34	18 5	17 9	16 3	15 0	14 9	15 6
36	24 2	23 3	21 2	19 3	19 0	19 9
38	31 1	29 9	27 1	24 6	24 0	25 1
40	39 6	38 0	34 3	30 9	30 0	31 2
42	49 7	47 7	43 0	38 6	37 2	38 5
44	61 8	59 3	53 4	47 6	45 7	47 1
46	76 1	73 0	65 6	58 3	55 7	57 0
48	92 9	89 1	80 0	70 9	67 3	68 6
50	113	108	97	86	81	82

Tabla 4.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2,0$

Limitaciones del cálculo de LEF mediante Método AASHTO 18kips

Los LEF actuales se desarrollan considerando sólo cuatro variables:

1. Carga del tipo de eje
2. Configuración del eje (simple, tándem, tridem)
3. Número estructural para pavimentos flexibles y grosor de losas para pavimento rígido
4. Nivel de servicio terminal

- **Federal Highway Administration Study (Hudson 1992)**

La Federal Highway Administration (FHWA) llevó a cabo un estudio de campo en la planta de pruebas de pavimentos del Centro de Investigación de Turner-Fairbank para investigar los efectos del tipo de eje, carga asociada, presión de los neumáticos y velocidad en la respuesta de dos secciones de pavimento asfáltico.

El tipo de pavimento de la primera sección fue descripto como "débil" (baja capacidad portante); mientras que la estructura de pavimento de la segunda sección se describió como "fuerte" (alta capacidad portante). El pavimento débil consistía en 8,89 cm (3,5 pulgadas) de concreto asfáltico en caliente sobre una base de agregado triturado 30,48 cm (12 pulgadas), la subrasante consistía en suelo seleccionado.

El pavimento de mayor capacidad portante (fuerte) tenía 17,78 cm (7 pulgadas) de concreto asfáltico de mezcla caliente. La misma base agregada triturada de 30,48 cm (12 pulgadas) sobre una subrasante de suelo seleccionado. El largo de cada sección de pavimento era de aproximadamente 30,48 m (100 pies).

En el estudio FHWA, se utilizaron tres tipos de ejes, a saber, neumáticos duales de un solo eje, ejes tándem y ejes tridem. Se utilizaron tres niveles de carga por eje para cada configuración de carga, variando con dos presiones de inflado de neumáticos. También se consideraron dos velocidades: 8 km/h y 72,4 km/h (5 Mph y 45 mph).

El objetivo general de los experimentos de campo fue obtener datos de respuesta de pavimento para validar y comparar los métodos de equivalencia de carga seleccionados. Los experimentos tuvieron como finalidad recopilar datos de ensayos de campo que pudieran verificar el uso de modelaciones y predicción de tensiones y deformaciones para inferir de esta manera los LEFs asociados a diversas configuraciones de eje y pesos.

Se concluyó que la carga por eje era, por mucho, el factor más significativo en comparación con otras variables como la presión de neumáticos (poca influencia en las deformaciones) y la velocidad de circulación. El hecho de que la carga por eje sea tan trascendente, enfatiza el concepto de la “carga por eje”.

Cabe señalar que el tipo de pavimento no parecía ser muy significativo en este estudio, lo que indica que el número estructural (SN) o el espesor del pavimento puede no ser un factor necesario en un método de factor de equivalencia basado en la respuesta para estructuras flexibles. Este hallazgo coincide con el AASHTO LEFs, dado que su variación con SN es en realidad muy pequeña y no necesariamente puede considerarse estadísticamente significativa a un alto nivel de confianza.

- ***Estadística (Análisis de Supervivencia)***

Se han utilizado procedimientos estadísticos para calibrar modelos a partir de datos empíricos. Small y Winston revisaron los datos originales de AASHO utilizando técnicas de análisis de supervivencia (también denominadas análisis de Tobit) con una distribución normal subyacente (Small 89). En su libro “Road Work”, Small y Winston propusieron que el análisis original de AASHO sobreestima la vida de pavimentos rígidos y que un análisis de regresión sería más correcto. Para tal conclusión utilizaron datos de nivel de serviciabilidad medidos durante los dos años de la prueba. Cabe señalar que la mayor parte de las secciones de prueba del pavimento rígido del AASHO ROAD TEST se incorporaron a la Interstate 80 y recibieron doce años adicionales de tráfico pesado. En un informe publicado por el Departamento de Transporte de Illinois (Little 77), Little y McKenzie reanalizaron los datos de AASHO, incluyendo el tráfico adicional, usando el método de mínimos cuadrados de análisis de regresión.

Hudson et al. (Hudson 91) revisaron tres análisis informáticos diferentes de la prueba de carretera AASHTO para pavimentos rígidos, presentando además su propio análisis de la prueba de AASHTO para pavimentos rígidos. Su estudio concluyó que:

1. La ecuación de desempeño de AASHTO sobreestima la predicción de tráfico que un pavimento rígido puede transportar para espesores mayores de 24.13 cm (9.5 in.).

2. El análisis de Small / Winston de los datos de la prueba de carretera de AASHO proporciona una predicción pobre de la serviciabilidad de pavimentos rígidos gruesos y subestima la vida útil de los pavimentos rígidos de más de 20,32 cm de espesor.

3. El factor de potencia de carga es de aproximadamente 4,3 para el modelo AASHTO, 3,01 para el modelo Small / Winston y 4,05 para el modelo Small / Winston revisado.

Estos resultados se pueden interpretar de la siguiente manera. En el análisis de Small y Winston, el coeficiente de ley de potencia es menor que el de Hudson et al.. Esto indica que, para el modelo Small / Winston, el efecto de daño de cargas mayores de 8,16 tn (18 kip) es menor. Por otra parte, el modelo de Small / Winston estima que la vida de diseño de un pavimento rígido es más corta que la verificada en el modelo Hudson et al.

4.2. ENFOQUE RACIONAL

Se presentan a continuación una revisión histórica de métodos racionales utilizados para calcular factores de equivalencia.

- **Scala (Scala 70)**

Scala utilizó la deflexión elástica vertical total en la superficie de un pavimento para establecer LEFs. Estos LEFs se utilizaron para comparar el efecto de la carga repetida. A partir de los resultados de la prueba AASHO, encontró que los LEFs son aproximadamente iguales a la cuarta potencia de la relación de las cargas reales. Además, si las deformaciones causadas por una carga son proporcionales a tales cargas, las LEF correspondientes son proporcionales a la cuarta potencia de la relación de las deflexiones provocadas por las cargas.

Basadas en deflexiones, se sugirieron las siguientes ecuaciones tomando como referencia el eje simple de rueda doble de 13 tn, para eje simple rueda simple, grupos de ejes tandem con rueda doble y ejes tridem:

$$\text{Para rueda simple, eje simple:} \quad F_i = (W_s / 12.0)^4 \quad (4.16)$$

$$\text{Para rueda doble, eje simple:} \quad F_i = (W_s / 13.0)^4 \quad (4.17)$$

$$\text{Para rueda doble, eje tandem:} \quad F_i = (W_T / 30.0)^4 \quad (4.18)$$

$$\text{Para rueda doble, eje tridem:} \quad F_i = (W_{TR} / 40.7)^4 \quad (4.19)$$

Donde:

F_i = el valor de LEF,

W = carga rueda simple, eje simple, toneladas

W_T = carga rueda doble, eje tandem, toneladas

W_{TR} = carga en el eje tridem. toneladas

Un hallazgo importante en este estudio fue que las deflexiones de superficie son significativamente sensibles a la velocidad del vehículo. Por lo tanto, una regla de potencia puede aplicarse a las relaciones de velocidad. Por ejemplo, un vehículo que viaja a 10 mph es aproximadamente 8 veces tan dañino como uno, con la misma carga, viajando a 45 mph.

- **Jung y Phang (Jung 74)**

Jung y Phang presentaron los LEF basados en el cálculo de la Deflexión a nivel de subrasante. Este criterio resultó ser el mejor indicador de rendimiento de un pavimento. Los exitosos diseños de espesor de Ontario fueron examinados para encontrar un método más racional de diseño del pavimento. "Chevron", un programa de computadora que emplea el análisis de la capa elástica, fue utilizado para obtener tensiones, deformaciones y deflexiones para diferentes conjuntos de módulos asignados a los pavimentos y subrasantes. La deflexión en la parte superior de la subrasante dio los resultados más consistentes.

En consecuencia, se seleccionó la deflexión de la subrasante como criterio de diseño, aunque también se debe considerar el esfuerzo de tracción o la deformación en la carpeta de rodamiento de concreto asfáltica. Sin embargo, mientras que la deformación por tracción, bajo cargas repetidas y temperatura variable, podría ser usada para determinar el espesor de la capa asfáltica, la deflexión de la subrasante determina el espesor total.

$$F_i = \left(\frac{W_i}{W} \right)^6 * 10^{-0.09(P_i - P)} \quad (4.20)$$

Donde:

W_i = Deflexión en la subrasante debido a un eje cualquiera

W = Deflexión en la subrasante debido a un eje estándar.

P_i = Peso de un eje cualquiera

P = Peso de un eje estándar, 18000lb.

F_i = factor de equivalencia de carga para una carga i

- **Shell (1978)**

En el manual de diseño presentado por Shell Oil en 1978 se presentan dos metodologías para el cálculo del factor de conversión N_e (LEF) tanto para ejes convencionales como para ejes especiales. Se presentan a continuación la formulación para ejes convencionales:

$$LEF = \frac{1}{80^4} \times L^4 = 2,40 \cdot 10^{-8} \times L^4 \quad (4.21)$$

Donde:

L : Carga en el eje (kN)

- **Battiato, Camomilla, Malgarini and Scapaticci (1984)**

Con base en las mediciones de la tensión de un sitio experimental en Italia, Battiato et al. (1984) desarrollaron los factores de equivalencia de carga, respecto a un eje simple dual de 107kN (10,91tn). La relación que obtuvo fue la siguiente:

$$F_i = c * W^a \quad (4.22)$$

F_i : Factor de equivalencia de carga para una carga i

W : Carga del eje (tn)

c, a : Coeficientes de regresión

Battiato et al. (1984) informaron que el exponente a , no sigue la ley de la cuarta potencia. El exponente depende del tipo de eje y a tiene un valor máximo de 3,0.

- **El método Christison (Christison 86)**

Christison desarrolló la equivalencia de carga utilizando datos de campo recogidos en catorce sitios en Canadá durante el verano de 1985. Cabe señalar que simultáneamente desarrolló un modelo que se conoce como RTCA basado en deformaciones.

Los factores de equivalencia para diferentes cargas de ejes para el método de Christison se evalúan utilizando las siguientes expresiones para pavimentos flexibles:

Eje simple:

$$LEF = \left(\frac{D}{Db} \right)^{3.8} \quad (4.23)$$

Ejes Tandem y Tridem

$$LEF = \left(\frac{D_1}{Db} \right)^{3.8} + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\Delta_i}{Db} \right)^{3.8} \quad (4.24)$$

Donde D/Db = La relación entre las deflexiones de la superficie del pavimento causadas por carga de un solo eje determinado y las relativas a la causada por un eje simple estándar de 8,16 tn medidas con regla Benkelman

Δ/Db = La relación de la diferencia de magnitud entre la desviación máxima registrada en cada eje sucesivo y la deflexión residual que precede al eje causada por un eje de carga equivalente.

n = el número de ejes en el grupo de ejes considerados

3.8 = la pendiente de las deflexiones versus la curva de carga de tránsito prevista.

El método de Christison también utiliza la tensión como el parámetro de respuesta primaria para evaluar los LEFs. En este método, los factores de equivalencia se evalúan usando la expresión:

$$LEF = \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{S_b} \right)^{3.8} \quad (4.25)$$

S_i/S_b = la relación entre las tensiones de tracción en la interface de capas asfálticas, por debajo de cada eje y un eje estandar.

- **Hutchinson, Haas, Meyer, Hadipour y Papagiannakis (Hutchinson 87)**

Hutchinson et al. analizaron y presentaron LEFs para diferentes grupos de ejes, usando un enfoque mecanístico y datos de campo de catorce sitios en Canadá. Se revisaron los tres enfoques utilizados en el desarrollo de los LEF (empírico, teórico y mecanicista). Los pasos involucrados en el desarrollo mecanicista de los factores de equivalencia fueron esbozados como sigue:

- Selección de un parámetro de respuesta de pavimento.
- Medición de la variación en el parámetro de respuesta bajo el paso de diferentes grupos de ejes.

- Aislamiento y recuento de los ciclos de respuesta relacionados con el daño a partir de la respuesta al pavimento observada bajo un grupo de ejes.
- Evaluación del daño acumulado creado por la carga cíclica, expresada como LEF.

Siguiendo el procedimiento descrito, los LEF para cargas individuales, en tándem y tridem se obtuvieron de la siguiente manera:

Parámetros de respuesta relacionados con daños en el pavimento. En la Tabla 4.2 se muestran dos mecanismos principales de daño asociados a la carga y los parámetros de respuesta relacionados con ellos.

Para este estudio, se midieron las deformaciones superficiales y las tensiones en la interfase carpeta de rodamiento-base. Los cálculos de LEF se basaron en deflexiones de superficie, aunque la deflexión máxima medida nunca estuvo bien correlacionada con el deterioro del pavimento.

Mecanismo de deterioro	Parámetro de respuesta
Deterioro inducido por la fatiga de la carpeta de rodamiento (fisuración)	Tensión de tracción en la parte inferior de la capa
Deformación permanente en subrasante y pavimento	Deformaciones verticales en subrasante

Tabla 4.2. Mecanismos de falla y parámetros de respuesta

•**Variación en el parámetro de respuesta.** Hay variación de la deflexión de la superficie del pavimento bajo el paso de una carga tridem. Está claro que la deflexión máxima se induce bajo el tercer eje, aunque, en algunos casos, la deflexión máxima se induce bajo el eje central del tridem.

•**Aislar y contar los ciclos de respuesta relacionados con el daño.** Se consideraron dos técnicas de conteo de ciclos:

1. La técnica estándar ASTM construye el mayor ciclo posible utilizando el pico más alto y el valle más bajo (distancia D1), seguido del segundo ciclo más grande (distancia D2), hasta que se cuentan todos los picos.

2. El método de Christison utiliza la diferencia del pico-valle de cada eje que pasa. Acumulación de daños y cálculo de LEF. El daño acumulado de los diferentes grupos de ejes suele expresarse como:

$$LEF(x) = \left[\frac{D_1(x)}{D(s)} \right]^C + \left[\frac{D_2(x)}{D(s)} \right]^C + \left[\frac{D_3(x)}{D(s)} \right]^C \quad (4.26)$$

Donde:

$LEF(x)$ = LEF para el grupo de ejes x,

$D_1(x), D_2(x), D_3(x)$ = deflexiones observadas bajo el grupo de ejes x,

$D(s)$ = deflexión observada bajo las cargas de eje estándar, y

C = el exponente de daño para un tipo de pavimento en particular.

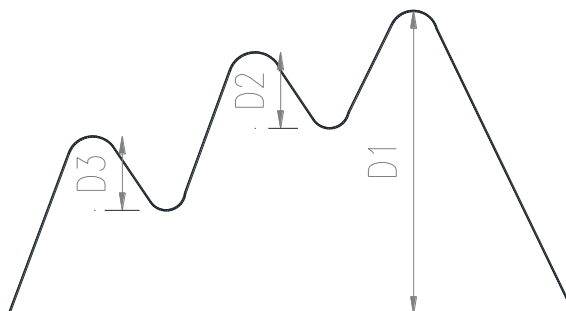


Figura 4.1. Croquis representando las deflexiones observadas

Resultados. Hutchinson et al. utilizaron el método de conteo del ciclo de carga-deformación ASTM y adoptaron un valor de 3,8 para el exponente c que le permitió calcular los LEF para los diferentes grupos de ejes y los espaciados entre los mismos. En comparación con los LEFs calculados por Christison a partir de los mismos datos, los resultados de Hutchinson son más altos en el orden de 12% para los ejes tandem y 24% para tridems.

- **Carpenter Model (1992)**

El modelo de Carpenter comenzó analizando la relación existente entre las propiedades de las mezclas de concreto asfáltico utilizadas en el AASHTO ROAD TEST y el progreso del ahuellamiento en el tiempo, asociado este aspecto con la repetición de ejes de carga variada.

Por lo tanto analizó cada tramo del ensayo real y la progresión del ahuellamiento, teniendo como base el tipo de carga por eje y la cantidad de pasadas acumuladas.

Carpenter basó su modelo en función de la ecuación general que caracteriza la deformación permanente:

$$\varepsilon_p = A \cdot N^B \quad (4.27)$$

Donde:

ε_p = deformación permanente.

N = número de repeticiones de carga.

A, B = Coeficientes que dependen de las propiedades del material.

Las ecuaciones a las que arribó Carpenter se resumen según se trata de un eje simple:

$$LEF = 1,83 \times 10^{-5} (RD)^{0,3854} (SWeight)^{3,89} \quad (4.28)$$

Donde:

LEF = Factor de equivalencia de carga

RD = deformación final adoptada como criterio.

$SWeight$ = peso por eje (kips)

Para el caso de ejes tandem o eje doble, la ecuación que caracteriza los LEF está dada por:

$$LEF = 1,113 \times 10^{-4} (RD)^{0,0279} (TWeight)^{2,778} \quad (4.29)$$

TWeight= peso de un eje Tandem (kips)

- **Dirección General de Obras Públicas de la Comunidad Valenciana (España- 2009)**

Elaboró la norma técnica de dimensionamiento de firmes (pavimentos) bajo el nombre de Norma de Secciones de Firmes de la Comunitat Valenciana (2009) que está en vigencia desde el día 13 de enero del 2009. En el Capítulo 3. Parámetros de Dimensionamiento, propone que para cada vehículo pesado considerado individualmente se calculará su coeficiente de agresividad (CA) como la suma de los ejes equivalentes de 128kN que ejercen el mismo daño sobre el firme que cada uno de los ejes reales correspondientes a esa configuración.

A estos efectos, se considera que un eje simple que soporta un peso total de P_i (kN) ejerce sobre un firme un daño igual al que produciría un número de ejes equivalentes de 128kN dado por la siguiente expresión:

$$LEF = \left(\frac{P_i}{128} \right)^\alpha \quad (4.30)$$

Análogamente, se considera que un eje doble (tándem) que soporta un peso total P_j (kN) ejerce sobre el firme un daño igual al que produciría un número de ejes equivalentes de 128kN, dado por la expresión:

$$LEF = 1,4 \left(\frac{P_j/2}{128} \right)^\alpha \quad (4.31)$$

Del mismo modo, un eje triple (tridem) que soporta un peso total de P_k (kN) ejerce sobre un firme un daño igual al que produciría un número de ejes equivalentes de 128kN, dado por la siguiente expresión:

$$LEF = 2,3 \left(\frac{P_k/3}{128} \right)^\alpha \quad (4.32)$$

Donde:

Firmes flexibles = $\alpha = 4$

Firmes semirígidos y rígidos = $\alpha = 8$

Analizando la formulación propuesta por la Dirección General de Obras Públicas, se observa que para un eje simple de 8,16 tn (80 KN), el valor de LEF es de 0,152. Adoptando este valor pero despejando la P_j y P_k , obtenemos que la carga de referencia es la siguiente:

- Eje tándem: LEF 0,152, $P_j = 147$ KN = 15,0 tn

- Eje tridem: LEF 0,152, $P_k = 195$ KN = 19,9 tn

- **Austroads (Sydney 2017)**

La formulación para el cálculo de LEF está dada por la siguiente expresión:

$$ESA_{ij} = \left[\frac{L_{ij}}{SL_i} \right]^4 \quad (4.33)$$

ESA_{ij} = número de repeticiones de un eje estándar que causa la misma cantidad de daño que el paso de un grupo de ejes del tipo i con una carga L_{ij} ,

SL_i = carga estándar para un grupo de ejes tipo i (obtenidos de las tablas inferiores),

$L_{ij} = j$ magnitud de carga en el tipo de grupo de ejes i ,

Tipo de Grupo de ejes	Carga (tn)
Eje simple, rueda doble	8,16
Eje tandem, rueda doble	13,77
Eje tridem, rueda doble	18,56

Tabla 4.3. Cargas en grupos de ejes con ruedas duales que causan el mismo daño que un eje estándar

4.3. CONCLUSIONES

Este capítulo presentó una revisión exhaustiva de la literatura sobre la mecánica y métodos estadísticos para determinar los LEF. De la revisión uno de los aspectos más importantes a destacar es que el cálculo de LEF puede basarse en respuestas primarias como deflexiones, tensiones o esfuerzos en la estructura del pavimento. Se resumen a continuación las formulaciones recopiladas.

Scala (1970) adoptó la deflexión vertical máxima a nivel superficial para establecer los LEF, verificando que los mismos son directamente proporcionales a la cuarta potencia. Lo importante de este estudio es que se comprobó también que las deflexiones son sensibles a la velocidad del vehículo, lo que repercute en el valor final de factor de equivalencia. Las cargas de referencia asociadas a los tres tipos de ejes analizados, eje simple (rueda doble), tándem y tridem, son de 12,0 tn, 30,0 tn y 40,7 tn.

Jung y Phang (1974) fundamentaron el cálculo de LEF en las deflexiones a nivel de subrasante, logrando a través del programa racional Chevron (medio elástico) los mejores ajustes numéricos, variando principalmente las rigideces asignadas a cada capa componente. Como resultado proponen una ecuación que incorpora en la relación carga de referencia- carga de trabajo tanto la correlación de pesos como de deflexiones, en este último caso elevado a la sexta potencia. La carga de referencia aplicada fue de 8,16 tn.

El método Shell presenta una carga de referencia de 8,16 tn y el coeficiente de regresión de 4to orden.

A diferencia de los dos autores iniciales, en su investigación Battiato et al (1984) desarrollaron los factores de carga equivalente en base a un eje simple dual de 10,9 tn (107kN), ajustando el factor de equivalencia con dos coeficientes de regresión, uno de los cuales es de tercera potencia.

En el caso de Hudson et al (1984) utilizaron un análisis teórico (ELSYM5), desarrollando los factores de equivalencia de carga adoptando como datos de entrada mayor cantidad de variables como ser: diferentes cargas, presiones de neumáticos, el módulo de la subrasante, el espesor de la base/sub-base, el espesor de concreto asfáltico, y el tipo de eje. Se presentaron modelos de daño por separado de acuerdo al tipo de falla utilizando las respuestas del pavimento. Las condiciones de

borde estaban dadas por las tensiones de corte y tracción en la capa bituminosa y la deformación vertical a nivel de subrasante. Por lo tanto, el factor de equivalencia de carga incorpora en la formulación las variables mencionadas. La carga de referencia aplicada para la modelación fue de 8,16 tn.

El método de Christison (1986) establece como criterio de comparación la relación entre deflexiones a nivel de rasante, medidas mediante regla Benkelman. A través del mismo compara los efectos de la carga de referencia y otra carga cualquiera, brindando como resultado el coeficiente de mayoración o exponencial de 3,80.

Para calcular LEF el modelo Carpenter (1992) se basó en la ecuación general que caracteriza a la deformación permanente, incorporando en la formulación de cálculo un término relacionado con el peso del eje y otro con la deformación final adoptada como condición de borde.

La Dirección General de Obras Públicas de la Comunidad Valenciana (2009) ajustó sus ecuaciones de cálculo de Lef en función del tipo de pavimento, rígido o flexible, correspondiendo el exponente 8 al primer tipo y el 4 al resto.

En la Tabla 4.4 se muestra un resumen de las formulaciones utilizadas por los distintos autores para el cálculo de LEF, los exponentes y las cargas de referencia.

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

Autores	Formulación	Exponente	Carga de Referencia (tn)
AASHTO (1986)	$LEF_{L1} = \left[\frac{(L1+L2)^{4.79}}{(18+1)^{4.79}} \right] * \left[\frac{10^{Gt/\beta_{18}}}{(10^{Gt/\beta_{L1}})^{L2^{4.331}}} \right]$	4	Eje Simple 8,16 Eje Tandem 14,96 Eje Tridem 21,77
SCALA (1970)	$F_i = (Ws/12.0)^4$ $F_i = (Ws/13.0)^4$ $F_i = (W_T/30)^4$ $F_i = (W_{TR}/40.7)^4$	4	Eje Simple- Rueda simple 7,50 Eje Simple- Rueda doble 8,16 Eje tandem 18,80 Eje Tridem 25,50
JUNG y PHANG (1974)	$F_i = (Wi/W) * 10^{-0.09(Pi-P)}$	6	Eje simple: 8,16
SHELL (1978)	$LEF = \frac{1}{80^4} \times L^4 = 2,40 \cdot 10^{-8} \times L^4$	4	Eje simple: 8,16
BATTIATO, ET AL (1984)	$Fi = c * W^a$	3	
HUDSON, ET AL (1986)	$e_{x/c/p} = \left(\frac{(Nf)_{18/1/75}}{(Nf)_{x/c/p}} \right)$		Eje simple: 8,16
CHRISTISON (1986)	$LEF = \left(\frac{D}{Db} \right)^{3.8}$ $LEF = \left(\frac{D_i}{Db} \right)^{3.8} + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\Delta_i}{Db} \right)^{3.8}$	3,8	Eje Simple 8,16 Eje Tandem 13,06 Eje Tridem 19,05
CARPENTER (1992)	$LEF = 1,83 \times 10^{-5} (RD)^{0.3854} (SWeight)^{3.89}$ $LEF = 1,113 \times 10^{-4} (RD)^{0.0279} (TWeight)^{2.778}$	3,89 2,78	
DIRECCION DE OBRAS PUBLICAS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA (2009)	$LEF = \left(\frac{Pi}{128} \right)^\alpha$ $LEF = 1,4 \left(\frac{Pj/2}{128} \right)^\alpha$ $LEF = 2,3 \left(\frac{Pk/3}{128} \right)^\alpha$	4	Eje Simple 8,16 Eje Tandem 14,98 Eje Tridem 19,83
AUSTROADS (SIDNEY 2017)	$ESA_{ij} = \left[\frac{L_{ij}}{SL_i} \right]^4$	4	Eje Simple 8,16 Eje Tandem 13,77 Eje Tridem 18,56
MONTERO VAZQUES (2010)	$LEF = 1.11 \left(\frac{Wi}{8.2} \right)^4$ $LEF = 1.30 \left(\frac{Wi/2}{8.2} \right)^4$ $LEF = 1.49 \left(\frac{Wi/3}{8.2} \right)^4$	4	Eje Simple 8,16 Eje Tandem 14,50 Eje Tridem 19,50

Tabla 4.4. Resumen formulaciones LEF

CAPÍTULO 5

ANTECEDENTES EN ARGENTINA

En Argentina se han realizado algunos trabajos respecto al cálculo de los LEF y los coeficientes de camión, liderados por la Dirección Nacional de Vialidad. A continuación, se presentan los más aplicados.

- **Dr. Celestino Ruiz (1972)**

Presentó algunos coeficientes de daño para obtener los ejes equivalentes, relacionando el tráfico medio diario anual con el porcentaje de camiones que transitan en la vía.

% de Camiones	Número clave factor que multiplica al TMDA total
< 15	0,366
15-20	0,440
20-25	0,488
25-30	0,578
30-32	0,609
32-34	0,647
34-36	0,686
36-38	0,733
38-40	0,814
40-42	0,880
42-44	0,967
44-46	1,047
46-48	1,157
48-50	1,375
50-55	2,000
> 55	2,200

Tabla 5.1. Coeficientes de daño, Manual de mejoramiento y refuerzos de pavimentos (1972)

- **Dirección Nacional de Vialidad (1978)**

La Dirección Nacional de Vialidad mediante Resolución N° 1550 de fecha 29/09/1976, constituyó un grupo de trabajo a los efectos de estudiar el Reglamento General de Tránsito en lo referente al Artículo 9 del mismo, con el propósito de otorgar un fundamento teórico a la influencia de las cargas máximas admitidas en relación a la distancia entre ejes extremos como así también unificar el efecto sobre los pavimentos que tienen las distintas combinaciones de carga aceptadas por dicho reglamento. A los efectos de verificar la equivalencia de valores máximos de cargas indicadas en el reglamento de tránsito se adoptaron los coeficientes de equivalencia de carga establecidos en los métodos de diseño de pavimentos flexibles del instituto del asfalto y del AASHO.

Para analizar las equivalencias se adoptaron los valores precedentes del estudio experimental realizado hasta esa fecha “The AASHO ROAD TEST”, calculando en base a las ecuaciones de equivalencia de cargas los factores de equivalencia, adoptando como carga equivalente un eje simple de 18.000 libras u 8,16 tn. Se calcularon los LEF para las siguientes condiciones de borde:

Pt= 2,0 y 2,5

SN = 3

Eje de referencia, eje simple = 18.000 libras = 8,16tn

Eje simple, rueda doble= 23.300 libras = 10,6tn

Los resultados se resumen en la tabla inferior:

Pavimento	Indice de serviciabilidad P	Número Estructural SN	Carga eje simple	Factor de Equivalencia	Carga por eje tandem	
					(lb)	(tn)
Flexible	2,0	3,0	23300	3,05	43400	19,7
Flexible	2,5	3,0	23300	2,77	43150	19,6

Tabla 5.2. Factor de equivalencia DNV 1978

- **Estudio de necesidades viales (1980)**

En el año 1980, la Dirección Nacional de Vialidad llevó a cabo un importante trabajo, que se denominó Estudio de Necesidades Viales, tendiente a conocer el estado de su red y planificar las acciones de mantenimiento, rehabilitación y refuerzo de los pavimentos. Para la cuantificación de la sollicitación del tránsito en términos de ejes de 8.16 T, adoptó los siguientes coeficientes de equivalencia por tipo de vehículo:

Camiones livianos (sin acoplado): 1.35

Camiones pesados (con acoplado y semiremolques): 3.60

- **Dirección Nacional de Vialidad (Década de 1990)**

La DNV adoptó a partir de la década del 90 la utilización de los siguientes factores de equivalencia:

Tipo de Vehículo	Distribución de ejes	Nº de Ejes (1)	Factor "C" (3)	Factor de carga D.N.V. 8,16tn	Factor de carga D.N.V. 10,0tn
Omnibus	1-1	2	0,07	0,31	0,14
Camiones sin acoplado	1-1	2	0,60	2,64	1,20
	1-2	3	0,38	2,51	1,14
Camiones con acoplado	11-11	4	0,60	5,28	2,40
	11-12	5	0,39	4,29	1,95
	12-11	5	0,47	5,17	2,35
	12-12	6	0,32	4,22	1,92
Semi-remolques	1.1.1	3	0,54	3,56	1,62
	1.1.2	4	0,45	3,96	1,80
	1.1.3	5	0,41	4,51	2,05
	1.2.2	5	0,35	3,85	1,75
	1.2.3	6	0,31	4,09	1,86

Tabla 5.3. Factor de equivalencia DNV (Década de 1990)

Referencias:

(1) Cantidad de ejes según tipo de vehículo

(3) Factor C: factor de camión respecto a un eje de referencia de 10 tn, posteriormente se multiplica por 2,2 para transformarlo a un eje de 8,16 tn.

Estos coeficientes surgen a partir de los antecedentes de carga registrados por la repartición durante la década del 90. Inicialmente estos coeficientes se desarrollaron para ser aplicados solo a los vehículos cargados, motivo por el cual, en los 80, se estimaba el porcentaje del total de camiones que circulaba cargado. Posteriormente ya en los 90, ante la falta de documentación relativa al origen de los coeficientes (planillas de pesajes, vehículos pesados, rutas donde se pesó) y de precisión respecto de la magnitud de las sobrecargas y su distribución en las diferentes rutas que se presenta, ya sea por el tipo de carga transportada o la topografía, se decidió aplicar los coeficientes originales a todos los camiones, sin estimar el porcentaje de cargados. La carga de referencia adoptada es de 10,5 tn para el eje simple.

- **Lilli y Lockhart (1995)**

Presentaron un trabajo de investigación en donde emplearon procedimientos mecanicistas mediante la teoría elástica para verificar y comparar los coeficientes de equivalencia de los distintos ejes, calculando a tal fin las deformaciones unitarias sobre la subrasante y fatiga sobre las carpetas de concreto asfáltico, tanto para la carga standard como para ruedas duales. También profundizaron sobre la influencia que ejercen sobre los coeficientes de equivalencia la separación de los ejes de un tándem, presiones de inflado, cambio de velocidad de los vehículos, la utilización de neumáticos de banca ancha y los efectos de ruedas duales en comparación con las simples.

Analizaron balanzas dinámicas y estáticas de las Rutas Nacionales Nº 7, 8 y 14 arribando al factor de daño equivalente (DF) en función del SN estructural y niveles de falla final (Pt), los cuales se integraron por eje logrando obtener los factores de carga (“truck factor- Factor C”) por cada configuración de camión presente en los tramos. Se adoptó como eje de referencia (ER) 8,16 tn, los valores se resumen en la tabla inferior:

Tipo de vehículo	Factor C (ER= 8,16 tn)
1-1	0,725
1-2	0,494
1-3	1,532
1-1-1	2,622
1-1-2	1,541
1-1-3	2,36
1-2-1	1,752
1-2-2	1,693
1-2-3	1,189
1-1-1-1	2,949
1-1-1-2	4,552
1-1-1-3	0,578
1-1-2-1	1,72
1-1-2-2	2,278
1-1-3-1	3,502
1-1-3-2	0,906
1-2-1-1	3,967
1-2-1-2	2,519
1-1-1-1-1	3,045
1-1-1-1-2	1,533
1-1-1-1-3	0,802
1-1-1-2-1	2,152
1-1-1-2-2	2,056
1-1-2-1-1	0,142
1-2-1-1-1	2,596
1-2-2-1-2	1,788

Tabla 5.4. Resumen de coeficientes LEF para las Rutas Nacionales N° 7, N° 8 y N° 14

Los autores también llegaron a conclusiones asociadas al control de cargas permanentes, como la gran importancia que reviste el control en la ponderación de la direccionalidad, estacionalidad y porcentaje de vehículos descargados, que derivan en coeficientes más realistas de diseño. Estos ajustes repercuten directamente en la viabilidad en el diseño de refuerzos estructurales.

- **Lilli y Lockhart (1997)**

Los autores presentaron en el 9° Congreso Iberoamericano del Asfalto, Asunción, Paraguay 1997, un análisis estructural por medios elásticos de la influencia de diferentes parámetros de carga en los factores de equivalencia destructivos. Este trabajo complementó y amplió los factores de carga (T.F.) presentados oportunamente en el año 1995.

En su trabajo analizaron el efecto de las variables como tipo de cubierta, presión de inflado, área de contacto, nivel de falla y tipo de estructura en los factores de carga.

A tal fin se analizaron tres estructuras caracterizadas como débil, media y fuerte asociadas a los siguientes números estructurales (SN) de 2,71, 3,88, 5,67 comprendiendo de alguna manera la generalidad de las estructuras argentinas.

La comprobación de los coeficientes AASHTO se hizo mediante la aplicación del diseño analítico- mecánico utilizándose la teoría elástica y criterios que limitan el asentamiento en la subrasante (control de deformaciones permanentes) e indirectamente la deformación por tracción para controlar la fisuración por fatiga. La comprobación se realizó mediante la aplicación de los programas Dama Chevron y Elsym.

También se analizaron coeficientes para ejes dobles y triples con ruedas duales y la influencia que tiene el distanciamiento entre ruedas de un mismo eje. En el caso de los ejes tridem se abordó la comprobación atendiendo a que no existen coeficientes asociados a dicho eje porque al momento de la prueba AASHTO de campo no se utilizó dicha configuración.

Los autores definieron el factor de equivalencia como el número de aplicaciones de un cierto eje relacionado destructivamente con la aplicación de un eje estándar de 8,16tn (18kips), factor proveniente del desarrollo AASHTO.

Las cargas para el análisis variaron en un rango característico de las rutas argentinas entre 6 y 90 kips, los espesores de concreto asfáltico variaron entre 5cm, 12cm y 24cm. También se adoptó una distribución de cargas pareja por eje de una misma configuración, ya sea tandem o tridem.

Los criterios de falla utilizados son los propios del método Shell:

1- Fatiga en la carpeta asfáltica:

$$\varepsilon_T = 3,89.10^{-3}$$

Que transformada puede escribirse

$$N_{aje} = \left(\frac{3,89.10^{-3}}{\varepsilon_{Teje}} \right)^{1/0,1626} \quad (5.1)$$

$$N_{18} = \left(\frac{3,89.10^{-3}}{\varepsilon_{T18}} \right)^{1/0,1626} \quad (5.2)$$

$$F_{E1} = \frac{N_{18}}{N_{aje}} = \left(\frac{\varepsilon_{Teje}}{\varepsilon_{T18}} \right)^{6,15} \quad \text{Factor de equivalencia en base a fatiga de la carpeta por tracción} \quad (5.3)$$

2- Compresión de la subrasante:

$$N_{aje} = \left(\frac{2,80.10^{-2}}{\varepsilon_{ZZaje}} \right)^4 \quad (5.4)$$

$$N_{18} = \left(\frac{2,80.10^{-2}}{\varepsilon_{ZZ18}} \right)^4 \quad (5.5)$$

$$F_{E2} = \frac{N_{18}}{N_{aje}} = \left(\frac{\varepsilon_{ZZaje}}{\varepsilon_{ZZ18}} \right)^4 \quad \text{Factor de equivalencia en base a compresión de la subrasante} \quad (5.6)$$

Como conclusiones de su trabajo se puede mencionar:

- Que los valores encontrados para las relaciones esfuerzo- deformación que permiten el cálculo de los factores de equivalencia FE coinciden razonablemente con los factores de AASHTO para niveles de carga moderados, pero muy divergentes en caso de cargas elevadas.

- Los factores de equivalencia (FE) calculados considerando la falla en subrasante dan valores mucho más próximos a los coeficientes AASHO obtenidos en función de la pérdida de serviciabilidad.
- El FE tiene una relación directamente proporcional al espesor de la carpeta asfáltica, a mayor espesor mayor FE.
- La presión de inflado tiene un importante efecto sobre los FE, a mayor presión de inflado mayor FE, más aún si el espesor de la carpeta de concreto asfáltico es reducida.
- Los FE encontrados no son comparables con los de AASHO cuando la falla crítica es la de tracción de la carpeta asfáltica.

Tipo de camión	COEFICIENTES "C" (TF)					
	R14	R7	R8	R9	Conjunto 1995	Total 1997
1.1	1.073	0.693	0.413	1.008	0.726	1.337
1.2	0.647	0.598	0.237	0.729	0.494	0.653
1.1.1	1.817	3.188	2.861	1.976	2.622	2.499
1.1.2	1.814	1.642	1.166	2.175	1.541	1.598
1.1.3	2.595	2.613	1.899	3.051	2.369	2.447
1.2.1	0.695	3.301	1.259	-	1.752	2.224
1.2.2	2.323	1.959	0.797	2.443	1.693	1.745
1.2.3	1.591	1.377	0.6	2.063	1.189	1.222
1.1.1.1	3.332	2.719	2.796	2.507	2.949	2.734
1.1.1.2	4.606	4.595	4.455	5.007	4.552	4.418
1.2.1.1	3.543	3.734	4.324	4.516	3.867	4.111
1.2.1.2	2.472	3.848	1.236	2.924	2.519	2.437
1.1.1.1.1	3.744	1.533	3.862	6.625	3.046	4.004
1.2.1.1.1	0.142	-	-	-	0.142	0.142

Tabla 5.5. Planilla resumen de resultados obtenidos respecto a los Factores de Camión (TF)

• **Montero Vazques Carlos (2016)**

El Ing. Montero desarrolló una tesis de Maestría Vial teniendo como objetivo principal la determinación de los factores equivalentes de daño para pavimentos flexibles en base a teorías racionales referidas a condiciones de Argentina. Para tal fin analizó y determinó los Factores Equivalentes de Carga/Daño (LEF - Load Equivalency Factor) para pavimentos flexibles en base a teorías racionales referidas a condiciones de Argentina, mediante modelaciones numéricas que adoptaron las condiciones reales de borde en cuanto a: tráfico, cargas, paquetes estructurales, módulos, espesores, subrasantes y clima de Argentina. En base a una recopilación bibliográfica internacional, comparó los distintos modelos LEF de diferentes países con los valores de salida (outputs) obtenidos de la modelación, lo que permitió ajustar los resultados en la medida que permite el estado del arte local- un modelo LEF para condiciones locales.

Para armar los modelos LEF en primer lugar realizó un estudio y análisis de las condiciones nacionales de tráfico, cargas, presiones neumáticos, paquetes estructurales, módulos, espesores, subrasantes y clima de Argentina. Luego se ingresaron todos los inputs en el software elástico multicapa Kenlayer. Con el software se simuló el paso de diferentes tipos de ejes (simple, tándem y trídem) con diferentes tipos de pesos y de pavimentos característicos locales. De la simulación se

obtuvo la respuesta del pavimento con lo cual se calcularon y analizaron los factores de equivalencia de daño para cada uno de las tipologías de ejes características. Paralelamente se analizaron los distintos modelos LEF que ya han sido estudiados en diferentes países del mundo, y los propios obtenidos para en base a esto proponer un modelo para las condiciones locales.

Para obtener la ecuación de LEF aplicaron dos criterios:

- Calcular el valor de ajuste k de cada uno de los LEF obtenidos.
- Análisis de regresión y correlación lineal.

En el primer caso, la ecuación que más se adaptó fue la siguiente:

$$LEF = k \left(\frac{A}{B} \right)^C \quad (5.7)$$

A: Peso cualquiera de un eje simple/ tándem/ tridem

B: Peso estándar de 8,2 tn

C: Exponente, valor de 4.

k: Valor de ajuste

Del análisis estadístico presenta tres tipos de modelos de cada LEF (Simple, Tándem y Tridem) en base a tres valores de K, percentil 85, 75 y 50.

$$LEF = 1.23 \left(\frac{W_i}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. - P85) \quad (5.8)$$

(4.40)

$$LEF = 1.15 \left(\frac{W_i}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. - P75) \quad (5.9)$$

$$LEF = 1.11 \left(\frac{W_i}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. - P50) \quad (5.10)$$

Ejes tándem:

$$LEF = 1.66 \left(\frac{W_i/2}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. - P85) \quad (5.11)$$

$$LEF = 0.104 \left(\frac{W_i}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. - P85) \quad (5.12)$$

$$LEF = 1.53 \left(\frac{W_i/2}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. - P75) \quad (5.13)$$

$$LEF = 0.096 \left(\frac{W_i}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. - P75) \quad (5.14)$$

$$LEF = 1.30 \left(\frac{Wi/2}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. -P50) \quad (5.15)$$

$$LEF = 0.082 \left(\frac{Wi}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. -P50) \quad (5.16)$$

Ejes tridem:

$$LEF = 2.72 \left(\frac{Wi/3}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. -P85) \quad (5.17)$$

$$LEF = 0.034 \left(\frac{Wi}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. -P85) \quad (5.18)$$

$$LEF = 2.03 \left(\frac{Wi/3}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. -P75) \quad (5.19)$$

$$LEF = 0.025 \left(\frac{Wi}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. -P75) \quad (5.20)$$

$$LEF = 1.49 \left(\frac{Wi/3}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. -P50) \quad (5.21)$$

$$LEF = 0.018 \left(\frac{Wi}{8.2} \right)^4 - Vasquez - Schvartzer (V.S. -P50) \quad (5.22)$$

W: Peso total del eje

El autor comparó las ecuaciones LEF obtenidas con tres modelos internacionales de los más utilizados y actualizados en el mundo: la Administración Vial de Suiza, el Instituto del Asfalto (A.I) y el Ministerio de Transporte de Canadá. A los fines prácticos se analizaron los ajustes alcanzados y su comparación con los valores obtenidos del método AASHTO con un pt = 2.0 y un SN = 3. Las ecuaciones que se más se ajustaron al modelo AASHTO propuesto fueron las correspondientes al Percentil P50. Adoptando dicha ecuación la carga equivalente para un eje tandem resulta de 14,50 tn y para el tridem de 19,15 tn.

Comparación de valores de modelos LEF AASHTO											
Pesos (Ton)	Vasquez- Schvartzer (P 50)	Vasquez- Schvartzer (P 75)	Vasquez- Schvartzer (P 85)	LEF AASHTO- S SN(3) - pt (2)	LEF AASHT O-S SN(5) - pt (2.5)	VS-P85 vs. SN(3) pt(2)	VS-P85 vs. SN(5) pt(2.5)	VS-P75 vs. SN(3) pt(2)	VS-P75 vs. SN(5) pt(2.5)	VS-P50 vs. SN(3) pt(2)	VS-P50 vs. SN(5) pt(2.5)
4.08	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	22%	26%	17%	20%	14%	18%
4.54	0.10	0.11	0.12	0.09	0.09	22%	24%	16%	19%	13%	16%
4.99	0.15	0.16	0.17	0.13	0.13	21%	22%	16%	17%	13%	14%
5.44	0.22	0.22	0.24	0.19	0.19	21%	21%	15%	15%	12%	12%
5.90	0.30	0.31	0.33	0.26	0.26	20%	20%	15%	14%	12%	11%
6.35	0.40	0.41	0.44	0.35	0.36	20%	19%	14%	13%	11%	10%
6.80	0.53	0.55	0.58	0.47	0.48	19%	18%	14%	12%	11%	9%
7.26	0.68	0.71	0.75	0.61	0.62	19%	17%	13%	12%	10%	9%
7.71	0.87	0.90	0.96	0.79	0.80	18%	17%	12%	12%	9%	8%
8.20	1.11	1.15	1.23	1.00	1.00	19%	19%	13%	13%	10%	10%
8.62	1.35	1.40	1.50	1.26	1.24	16%	18%	11%	12%	7%	9%
9.07	1.66	1.72	1.84	1.56	1.51	15%	18%	9%	12%	6%	9%
9.53	2.02	2.09	2.24	1.92	1.83	14%	18%	8%	13%	5%	10%
9.98	2.43	2.52	2.70	2.35	2.18	13%	19%	7%	13%	4%	10%
10.43	2.91	3.01	3.22	2.85	2.58	12%	20%	5%	14%	2%	11%
10.89	3.45	3.57	3.82	3.43	3.03	10%	21%	4%	15%	1%	12%
11.34	4.06	4.21	4.50	4.10	3.53	9%	21%	2%	16%	-1%	13%
11.79	4.75	4.92	5.26	4.88	4.09	7%	22%	1%	17%	-3%	14%
12.25	5.52	5.72	6.12	5.77	4.71	6%	23%	-1%	18%	-4%	15%
12.70	6.39	6.62	7.08	6.78	5.39	4%	24%	-2%	19%	-6%	16%
13.15	7.35	7.62	8.15	7.94	6.14	3%	25%	-4%	19%	-8%	16%
Promedio						15%	21%	9%	15%	6%	12%

Tabla 5.6. Comparación de valores LEF para ejes simples

Comparación de valores de modelos LEF AASHTO											
Pesos (Ton)	Vasquez-Schvartzter (P 50)	Vasquez-Schvartzter (P 75)	Vasquez-Schvartzter (P 85)	LEF AASHTO-S SN(3) - pt (2)	LEF AASHTO-S SN(4) - pt (2.5)	VS-P85 vs. SN(3) pt(2)	VS-P85 vs. SN(4) pt(2.5)	VS-P75 vs. SN(3) pt(2)	VS-P75 vs. SN(4) pt(2.5)	VS-P50 vs. SN(3) pt(2)	VS-P50 vs. SN(4) pt(2.5)
8.20	0.08	0.10	0.10	0.08	0.09	22%	12%	16%	4%	1%	-12%
8.62	0.10	0.12	0.13	0.10	0.11	21%	10%	14%	2%	-1%	-14%
9.07	0.12	0.14	0.16	0.12	0.14	20%	9%	13%	2%	-1%	-15%
9.53	0.15	0.17	0.19	0.15	0.17	20%	9%	13%	2%	-1%	-15%
9.98	0.18	0.21	0.23	0.18	0.21	20%	9%	13%	1%	-2%	-15%
10.43	0.21	0.25	0.27	0.22	0.25	20%	9%	13%	1%	-2%	-15%
10.89	0.25	0.30	0.32	0.26	0.29	19%	9%	12%	2%	-2%	-15%
11.34	0.30	0.35	0.38	0.31	0.34	19%	9%	12%	2%	-2%	-15%
11.79	0.35	0.41	0.44	0.36	0.40	19%	10%	12%	2%	-3%	-14%
12.25	0.41	0.48	0.52	0.42	0.46	19%	10%	12%	2%	-3%	-14%
12.70	0.47	0.55	0.60	0.49	0.53	18%	11%	12%	3%	-3%	-13%
13.15	0.54	0.63	0.69	0.56	0.61	18%	11%	11%	4%	-4%	-13%
13.61	0.62	0.73	0.79	0.65	0.70	18%	12%	11%	4%	-4%	-12%
14.06	0.71	0.83	0.90	0.74	0.79	18%	12%	11%	5%	-4%	-11%
14.51	0.80	0.94	1.02	0.84	0.89	17%	13%	10%	5%	-5%	-10%
14.97	0.91	1.06	1.15	0.96	1.00	17%	14%	10%	6%	-5%	-10%
15.42	1.02	1.20	1.30	1.08	1.11	17%	14%	9%	7%	-6%	-9%
15.88	1.15	1.34	1.46	1.22	1.24	16%	15%	9%	8%	-6%	-8%
16.33	1.29	1.50	1.63	1.38	1.38	16%	16%	9%	9%	-7%	-7%
16.78	1.44	1.68	1.82	1.54	1.52	15%	16%	8%	9%	-7%	-6%
17.24	1.60	1.87	2.03	1.73	1.68	15%	17%	7%	10%	-8%	-5%
17.69	1.77	2.07	2.25	1.93	1.85	14%	18%	7%	11%	-9%	-4%
18.14	1.96	2.29	2.49	2.15	2.03	14%	18%	6%	12%	-9%	-3%
18.60	2.17	2.53	2.74	2.39	2.22	13%	19%	6%	12%	-10%	-2%
19.05	2.39	2.79	3.02	2.64	2.43	13%	20%	5%	13%	-11%	-2%
19.50	2.62	3.06	3.32	2.93	2.65	12%	20%	4%	14%	-12%	-1%
19.96	2.87	3.36	3.64	3.23	2.88	11%	21%	4%	14%	-12%	0%
20.41	3.14	3.67	3.98	3.56	3.13	11%	21%	3%	15%	-13%	0%
20.87	3.43	4.01	4.35	3.92	3.40	10%	22%	2%	15%	-14%	1%
21.32	3.74	4.37	4.74	4.30	3.68	9%	22%	2%	16%	-15%	2%
21.77	4.07	4.75	5.16	4.72	3.98	9%	23%	1%	16%	-16%	2%
22.23	4.42	5.16	5.60	5.16	4.30	8%	23%	0%	17%	-17%	3%
22.68	4.79	5.60	6.07	5.64	4.64	7%	24%	-1%	17%	-18%	3%
Promedio						16%	15%	8%	8%	-7%	-8%

Tabla 5.7. Comparación de valores LEF para ejes tándem

Comparación de valores de modelos LEF AASHTO											
Pesos (Ton)	Vasquez-Schwartz (P 50)	Vasquez-Schwartz (P 75)	Vasquez-Schwartz (P 85)	LEF AASHTO-S SN(3) - pt (2)	LEF AASHTO-S SN(4) - pt (2.5)	VS-P85 vs. SN(3) pt(2)	VS-P85 vs. SN(5) pt(2.5)	VS-P75 vs. SN(3) pt(2)	VS-P75 vs. SN(5) pt(2.5)	VS-P50 vs. SN(3) pt(2)	VS-P50 vs. SN(5) pt(2.5)
20.87	0.77	1.05	1.41	0.85	0.91	39%	35%	19%	13%	-10%	-18%
21.32	0.84	1.15	1.53	0.93	0.99	39%	36%	19%	14%	-11%	-18%
21.77	0.91	1.25	1.67	1.02	1.07	39%	36%	18%	14%	-11%	-17%
22.23	0.99	1.35	1.81	1.11	1.16	39%	36%	18%	15%	-11%	-16%
22.68	1.08	1.47	1.97	1.20	1.25	39%	37%	18%	15%	-12%	-16%
23.13	1.17	1.59	2.13	1.31	1.34	39%	37%	18%	16%	-12%	-15%
23.59	1.26	1.72	2.30	1.42	1.44	38%	37%	17%	16%	-12%	-14%
24.04	1.36	1.85	2.48	1.53	1.55	38%	38%	17%	16%	-13%	-14%
24.49	1.46	2.00	2.67	1.66	1.66	38%	38%	17%	17%	-13%	-13%
24.95	1.58	2.15	2.88	1.79	1.77	38%	38%	17%	17%	-14%	-13%
25.40	1.69	2.31	3.09	1.93	1.90	38%	39%	16%	18%	-14%	-12%
25.85	1.82	2.48	3.32	2.08	2.02	37%	39%	16%	18%	-14%	-11%
26.31	1.95	2.66	3.56	2.24	2.16	37%	39%	16%	19%	-15%	-11%
26.76	2.09	2.84	3.81	2.41	2.30	37%	40%	15%	19%	-15%	-10%
27.22	2.23	3.04	4.07	2.59	2.44	37%	40%	15%	20%	-16%	-9%
27.67	2.38	3.25	4.35	2.78	2.60	36%	40%	15%	20%	-16%	-9%
28.12	2.54	3.47	4.65	2.98	2.76	36%	41%	14%	21%	-17%	-8%
28.58	2.71	3.70	4.95	3.19	2.92	36%	41%	14%	21%	-17%	-8%
29.03	2.89	3.94	5.27	3.41	3.10	35%	41%	13%	21%	-18%	-7%
29.48	3.07	4.19	5.61	3.65	3.28	35%	42%	13%	22%	-19%	-7%
29.94	3.27	4.45	5.97	3.89	3.47	35%	42%	13%	22%	-19%	-6%
30.39	3.47	4.73	6.34	4.16	3.67	34%	42%	12%	22%	-20%	-6%
30.84	3.68	5.02	6.72	4.43	3.88	34%	42%	12%	23%	-20%	-5%
31.30	3.90	5.32	7.13	4.72	4.09	34%	43%	11%	23%	-21%	-5%
31.75	4.14	5.63	7.55	5.03	4.32	33%	43%	11%	23%	-22%	-4%
32.21	4.38	5.96	7.99	5.35	4.55	33%	43%	10%	24%	-22%	-4%
32.66	4.63	6.31	8.45	5.68	4.80	33%	43%	10%	24%	-23%	-4%
33.11	4.89	6.66	8.93	6.04	5.05	32%	43%	9%	24%	-23%	-3%
Promedio						36%	40%	15%	19%	-16%	-10%

Tabla 5.8. Comparación de valores LEF para ejes tridem

El autor arribó, entre otras, a las siguientes conclusiones:

- En su estudio no fue posible encontrar una correlación estadísticamente significativa entre los valores de LEF calculados y el número estructural, esta afirmación se corroboró con lo que describen algunos autores entre uno de ellos Huang (2004) que detalla que los LEF-AASHTO son prácticamente independientes del SN.

- Un factor importante que incide en los valores LEF calculados son los modelos de daño, en esta investigación se utilizaron modelos de daño recopilados en bibliografía, que no son locales, en un futuro – cuando existan - se deberán calcular los LEF con modelos de daño para condiciones del medio.

- Los modelos LEF encontrados por regresión lineal tienen un ajuste de normal a bueno, pero no cumplen con el supuesto de independencia de los residuos, por este motivo decide descartar estos modelos. Además de la parte estadística se debe tomar en cuenta que estos modelos no presentan similar estructura a los modelos recopilados en bibliografía.

- **Bavdaz, Germán Pedro (2010)**

Le tesis de Maestría Vial desarrollada durante el año 2010 tenía los siguientes objetivos:

- Analizar los espectros de carga por ejes típicos en la Argentina, tomando como ejemplo testigo las mediciones realizadas en la Autopista Oeste de la Provincia de Buenos Aires.
- Comparar los espectros calculados con otras metodologías, como la nueva guía AASHTO 2002 las vigentes de la Dirección Nacional de Vialidad.

A los fines comparativos realizó el cálculo de los ejes equivalentes por cuatro metodologías diferentes, tres de las más utilizadas en el país y una adicional que resultó de aplicar los coeficientes de equivalencia de AASHTO a los espectros de carga obtenidos de los censos. Los cuatro procedimientos resultan similares donde lo único que varía es el conjunto de factores de carga por eje o por camión utilizados para convertir ejes o vehículos cualesquiera en ejes estándar equivalentes.

Se describen a continuación los cuatro métodos que aplicó el autor:

Método A

Utiliza los espectros de carga relevados de la experiencia y los coeficientes corresponden a AASHTO para Números Estructurales (SN) del orden de 4 a 5 de y PSI final de 2,5. Por lo tanto se aplicaron las correlaciones AASHTO para cada tipo de eje, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$F = \left(\frac{P}{R}\right)^z \quad (5.23)$$

F : factor de equivalencia entre el eje de peso P y el eje estándar (simple de ruedas duales, de 18000 libras de peso)

P : peso del eje

R, z : constantes

Método B

Utilizado por la Dirección Nacional de Vialidad (D.N.V.), aplica factores de camión específico por tipo de vehículo pesado, obtenidos de experiencias realizadas mediante pesajes estáticos.

Método C

Aplicado a partir del Estudio de Necesidades Viales, elaborado por la D.N.V. en la década del '80, basados en pesajes estáticos de la misma repartición. En este caso se aplican dos factores de camión clasificados según sean ómnibus- camiones livianos, y camiones pesados.

Método D

Corresponde a la aplicación de los factores de camión similar al Método A, pero adoptados los propios del Estudio de Lilli Lockhart 1995 en la RN N°7.

Los resultados obtenidos por el autor de los factores de equivalencia, y la comparación con los antecedentes disponibles según Método A, B y C se resumen a continuación:

	DNV	Espectros	Lilli-Lock	Máximos
<i>Omnibus 11</i>	0,308	3,473	0,693	1,935
<i>Omnibus 12</i>	0,462	1,958	0,598	3,016
<i>C s/ acopl 11</i>	2,64	1,076	0,693	1,935
<i>C s/ acopl 12</i>	2,508	2,164	0,598	3,016
<i>C c/ acopl 1112</i>	4,29	9,384	4,595	5,016
<i>Semi 111</i>	3,564	5,176	3,188	2,935
<i>Semi 112</i>	3,960	4,856	1,642	4,016
<i>Semi 113</i>	4,51	5,093	2,613	3,495

Tabla 5.9. Comparación factores de camión de diversas metodologías aplicadas en el país

Referencia:

DNV: Factor de equivalencia utilizado por la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina para cada configuración de camión, adoptando una carga equivalente de 8,16tn- Método B.

Espectros: Factor de equivalencia calculado en base a la información de los espectros de carga registrados en la Autopista Oeste, Ciudad de Buenos Aires- Método A.

Lilli- Lock: Factores de equivalencia calculados por los autores Lilli- Lockart (1995)- Método D

Máximos: Factor de equivalencia aplicando el Método A pero adoptando para cada configuración de ejes la máxima carga reglamentaria.

A continuación se citan algunas de las conclusiones más trascendentes:

- Existen diferencias importantes en la utilización de metodologías tradicionales basadas en el concepto de ejes equivalentes con el cálculo de los ESALS asumiendo pesos reales por eje. Los ejemplos brindaron resultados para el Tramo I (próximo a la Av. Gral. Paz), las diferencias de aplicación de los métodos de cálculo para los ESALS de diseño pueden implicar variaciones en las necesidades estructurales - expresadas en espesor de concreto asfáltico del orden de 1 a 4 cm, tal como se desprende del análisis efectuado sobre el Número Estructural Necesario utilizado por el Método AASHTO 1993. Aplicando el mismo análisis para el Tramo III (ubicación de la balanza) resulta en diferencias del orden de 1 a 3cm, lo mismo que para el tramo IV. Del análisis realizado se refleja un evidente subdimensionamiento de la estructura del pavimento, que representado como espesores de pavimento asfáltico, varían desde 1 a 5 cm de espesor.

- Un porcentaje de los camiones que circulan por la Autopista del Oeste lo hacen con cargas por eje mayores a los límites máximos legales. En grandes números y tendencias, puede decirse que alrededor del 25% de los ejes circulan sobrecargados, con valores que rondan un 22% por encima de las cargas máximas legalmente admitidas.

En la Tabla 5.10 se muestra un resumen de las formulaciones utilizadas en Argentina por los distintos autores para el cálculo de los factores de vehículo:

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

Tipo de vehículo	Configuración de ejes	Nº de ejes	DNV Factor "C" (Eje de 10 tn)	DNV Factor "C" (Eje de 8,16 tn)	DNV- 1980 Estudio de necesidades viales	1995- Completo Factor de vehículo (8,16 tn) Lilli- Lockhard	1995- RN N° 7 Factor de vehículo (8,16 tn) Lilli- Lockhard	1997 Factor de vehículo (8,16 tn) Lilli- Lockhard
Autos Camionetas	1-1	2	0.02	0.04	1.35			
	1-1	2	0.02	0.04				
Omnibus	1-1	2	0.14	0.31				
	1-2	3	0.21	0.46				
Camiones s/ acoplados	1-1	2	1.20	2.64		0.726	0.693	1.337
	1-2	3	1.14	2.51		0.494	0.598	0.653
Camiones c/ acoplados	1-1-1-1	4	2.40	5.28	3.6	2.949	2.719	2.734
	1-1-1-2	5	1.95	4.29		4.552	4.595	4.418
	1-2-1-1	5	2.35	5.17		3.967	3.734	4.111
	1-2-1-2	6	1.92	4.22		2.519	3.848	2.437
Camiones semi remolques	1-1-1	3	1.62	3.56		2.622	3.188	2.499
	1-1-2	4	1.80	3.96		1.541	1.642	1.598
	1-1-3	5	2.05	4.51		2.369	2.613	2.447
	1-2-2	5	1.75	3.85		1.693	1.959	1.745
	1-2-3	6	2.10	4.62		1.181	1.377	1.222

Tabla 5.10. Resumen de las diversas metodologías aplicadas en el país

CAPÍTULO 6

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

6.1. EQUIPOS PARA CONTROL DE PESOS Y DIMENSIONES

Como Organismo rector la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina cuenta con un total de 107 puestos de control permanentes en las Rutas Troncales del país, las cuales se resumen según la provincia.

6.2. JUSTIFICACIÓN DE LA ADOPCIÓN DE LAS BALANZAS

Las balanzas seleccionadas para el presente estudio se encuentran ubicadas en la región centro del país, dominada principalmente por el transporte agrícola- ganadero con destino a puertos locales e internacionales. La producción agropecuaria de esta región es una de las más importantes del país, la mayor parte de las exportaciones salen de allí. La llanura es ideal para el crecimiento y producción cerealera como el maíz, trigo, avena, cebada, sorgo, etc. y de oleaginosas, como el lino, girasol y la soja. En cuanto a la ganadería, la principal producción es la de los vacunos; aunque también se cría ganado equino, porcino, bovino y ovino. Dentro de esta región también se encuentra la zona industrial más importante de todo el país, que se extiende por las costas del río Paraná.

Cabe señalar que, según el Ministerio de Transporte, la red vial interurbana Argentina se divide en tres grandes grupos de acuerdo con su jurisdicción:

- a) Nacional, a cargo de la Dirección Nacional de Vialidad – DNV.
- b) Provincial, a cargo de las Direcciones Provinciales de Vialidad.
- c) Municipal o Comunal. En su totalidad alcanza alrededor de 500.000 km, de los cuales 40.045 son nacionales, 198.289 provinciales y 260.000 forman la red terciaria dependiente de las provincias en su mayoría y también de los municipios. Alrededor de 81.000 km de las redes primaria y secundaria están pavimentados, 42.000 tiene algún tipo de mejora (suelos de grava, ripio o con algún tipo de estabilización), y los restantes 115.000 km están compuestos por caminos de tierra, como la gran mayoría de la red terciaria.

6.2.1. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

La Dirección Nacional de Vialidad se encarga del Control de Pesos y Dimensiones en las Rutas o arterias troncales del país, para cuyo efecto consta de balanzas de control de ejes y cargas totales, ubicadas tanto en tramos no concesionados como concesionados. En la actualidad tiene un total de 107 puestos de control, divididos 71 en rutas no concesionados y los restantes en zona concesionadas. Las estaciones se distribuyen de la siguiente manera:

BALANZAS ARGENTINAS

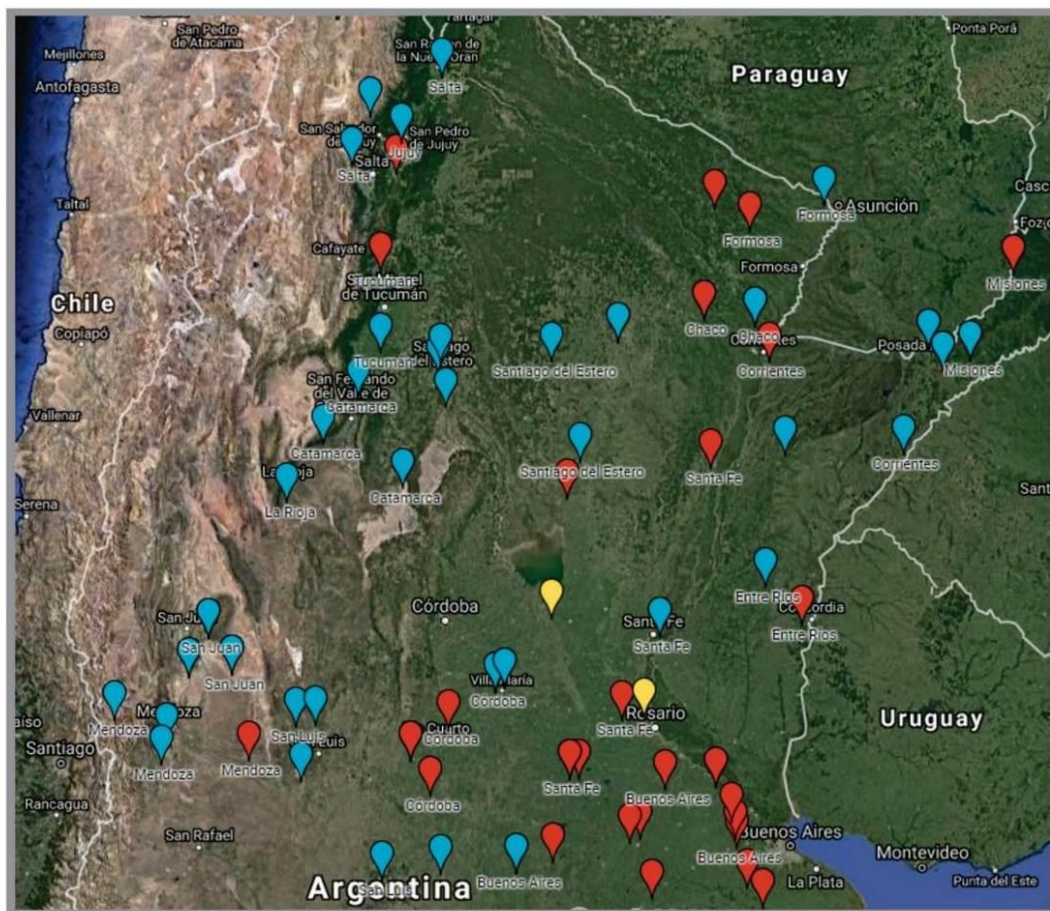


Figura 6.1. Ubicación Estaciones de Control de Pesos Vialidad Nacional



Figura 6.2. Distribución por Provincias Estaciones de Control de Pesos Vialidad Nacional

6.2.2. ESTACIONES DE CONTROL DE PESO

Para la selección de las balanzas a considerar en el trabajo, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Representatividad de las mismas en la zona de control de la región central del país.

- Los datos cargados sean consistentes y resultantes de una carga sistemática de valores durante un período superior a 2 años.

Por lo tanto, del análisis de una gran variedad de balanzas en la zona, surgieron

Nombre del Puesto: “Colastiné”

- Provincia: Santa Fe.
- Ubicación: Ruta Nacional N° 168, Km 10,44.
- 31°39'55,51" S
- 60°35'14,39" W
- Sentido de control: ascendente y descendente.
- Tipo de Balanzas: fijas de peso total y por ejes.
- TMDA: 1845 camiones (datos del 2016).
- TMDA Total: 12217 v/d
- Principal actividad de la región: La vía es ruta Mercosur, estratégica para el intercambio de mercadería desde Brasil a Chile, como así también el arribo a las principales ciudades del país. Principalmente las cargas son generales, el área es bien definida como agrícola cerealera y de la industria automotriz.

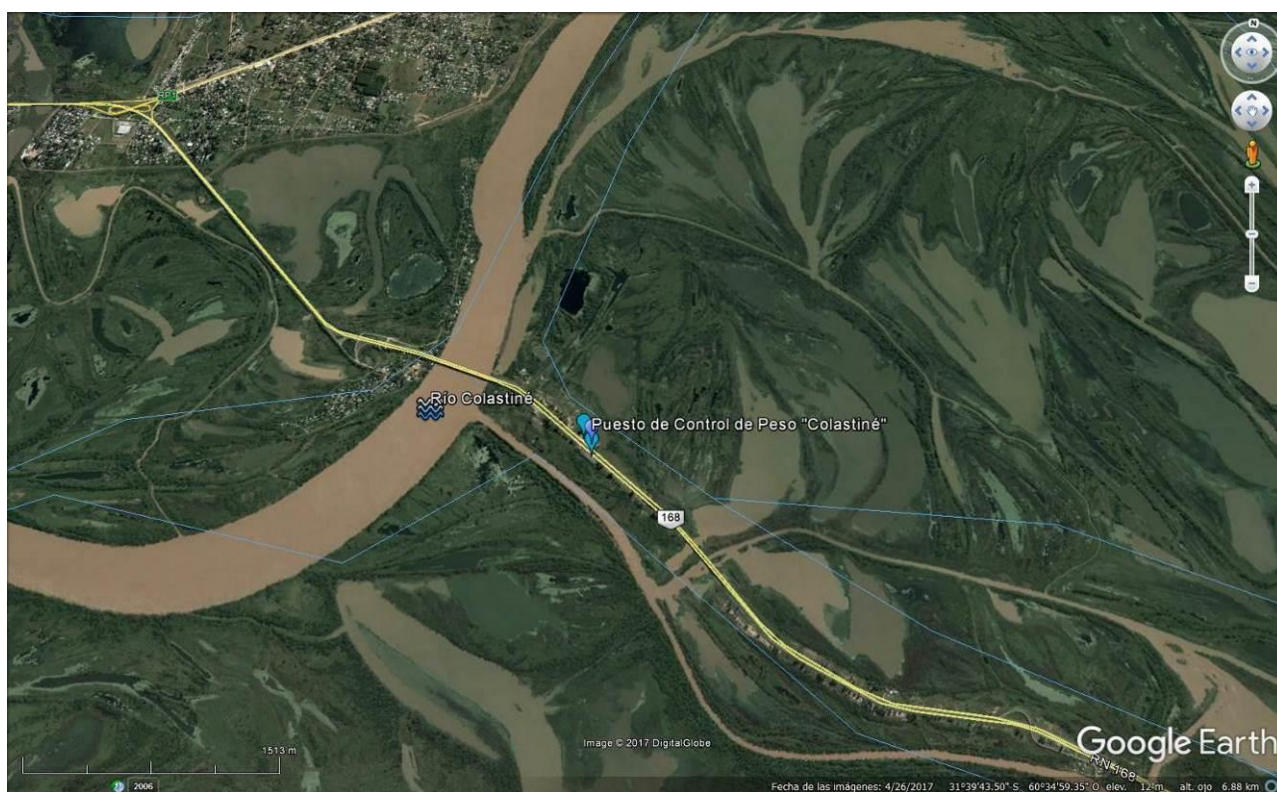


Figura 6.3. Imagen satelital Estación de Control RN N° 168 “Colastiné- Prov. Santa Fe”

Nombre del Puesto de Pesaje “Rio Tala”

- Provincia: Buenos Aires.
- Ubicación: Ruta Nacional N° 9, Km 152,5.

- 33°47'26,4'' S
- 59°38'1'' W
- Sentido de control: ascendente y descendente.
- Tipo de Balanzas: fijas de peso por ejes.
- TMDA: 6360 camiones (datos del 2016).
- TMDA Total: 20000 v/d
- Principal actividad de la región: agrícola y extracción de piedras de canteras.



Figura 6.4. Imagen satelital Estación de Control RN N° 9 “Río Tala- Prov. de Bs As”

Nombre del Puesto: “Margarita Belén”

- Provincia: Chaco
- Ubicación: Ruta Nacional N° 11, Km 1041.
- 27° 07'12,00'' S
- 58° 58' 17'' W
- Sentido de control: ascendente y descendente.
- Tipo de Balanzas: fijas, peso por ejes.
- TMDA: 1601 camiones (datos del 2016).
- TMDA Total: 6902 v/d
- Principal actividad de la región: También es ruta Mercosur, estratégica para el intercambio de mercadería desde Brasil a Chile, cargas en general, el área es bien definida como agrícola, además un fuerte movimiento de la industria automotriz.

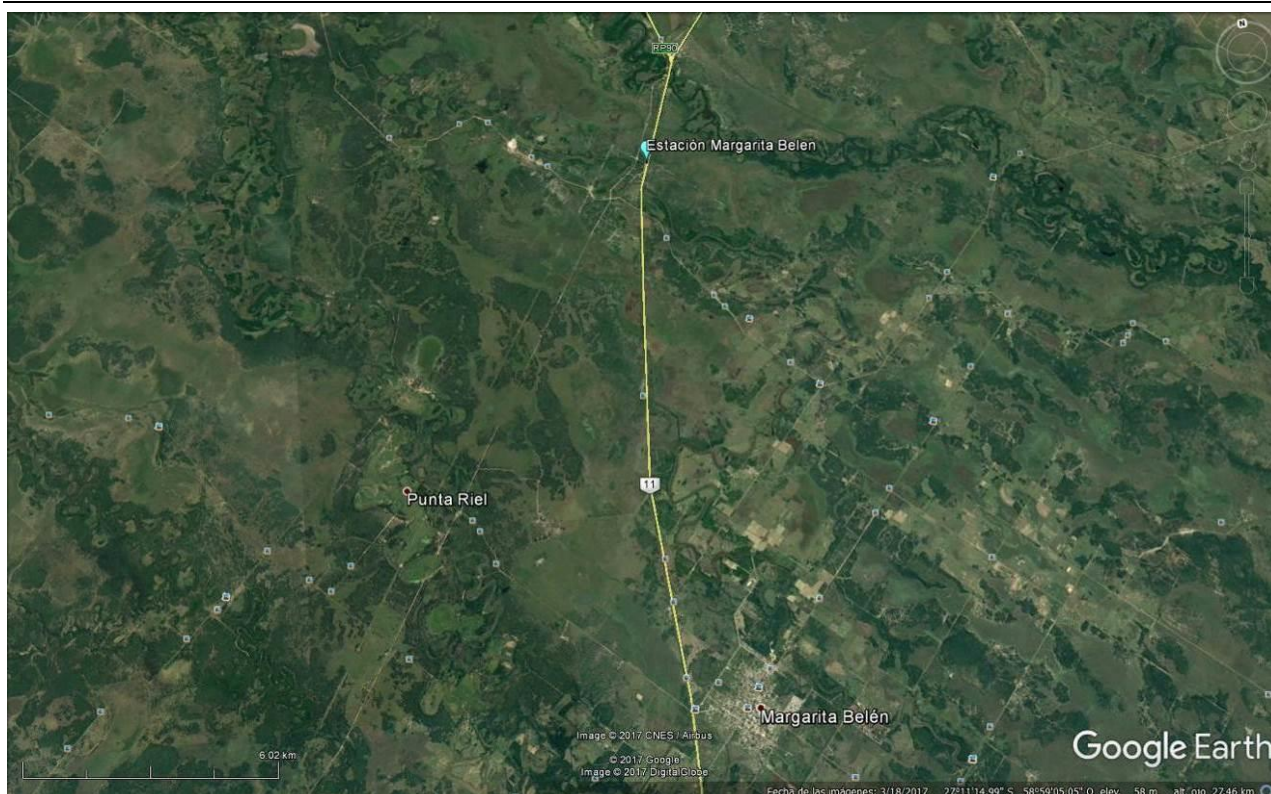


Figura 6.5. Imagen satelital Estación de Control RN N° 11 “Margarita Belén- Prov. Chaco”

6.3. PROCEDIMIENTO DE CONTROL

6.3.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

La recopilación de datos es independiente en cada balanza, si bien se pesan absolutamente todos los camiones la cantidad de horas y días de pesado depende de cada Distrito:

- Estación Colastiné: se controlan durante 3 turnos de 8h c/u, incluyendo sábados a la mañana.
- Estación Margarita Belén: controla durante todo el día, todo el año.
- Estación Rio Tala: controla durante todo el día, todo el año.

Los camiones que ingresan al sistema de pesaje se clasifican para luego controlar la carga tanto por eje.

Para la elaboración de las estadísticas se adoptaron los registros existentes en el período 2013 a 2016, en algunas balanzas en forma discontinua, procesando cada uno de los tickets confeccionados.

Los espectros de carga se organizaron mensualmente para cada tipo de eje: eje simple rueda simple, eje simple rueda doble, eje doble rueda doble y eje triple rueda doble. También se analizarán los espectros por tipo de camión.

Los rangos de carga (que definen los intervalos de clase), utilizados en el presente informe corresponden a los valores utilizados en los Estados Unidos en la futura guía mecanicista para diseño de pavimentos de AASHTO, que posibilitan la organización de los datos.

RANGOS DE CARGA PARA CADA TIPO DE EJE (en Toneladas)								
Sencillo	Promedio	Tándem	Promedio	Tridem	Promedio			
0	1.35	0.68	0	2.7	1.35	0	5.4	2.70
1.35	1.8	1.58	2.7	3.6	3.15	5.4	6.75	6.08
1.8	2.25	2.03	3.6	4.5	4.05	6.75	8.1	7.43
2.25	2.7	2.48	4.5	5.4	4.95	8.1	9.45	8.78
2.7	3.15	2.93	5.4	6.3	5.85	9.45	10.8	10.13
3.15	3.6	3.38	6.3	7.2	6.75	10.8	12.15	11.48
3.6	4.05	3.83	7.2	8.1	7.65	12.15	13.5	12.83
4.05	4.5	4.28	8.1	9	8.55	13.5	14.85	14.18
4.5	4.95	4.73	9	9.9	9.45	14.85	16.2	15.53
4.95	5.4	5.18	9.9	10.8	10.35	16.2	17.55	16.88
5.4	5.85	5.63	10.8	11.7	11.25	17.55	18.9	18.23
5.85	6.3	6.08	11.7	12.6	12.15	18.9	20.25	19.58
6.3	6.75	6.53	12.6	13.5	13.05	20.25	21.6	20.93
6.75	7.2	6.98	13.5	14.4	13.95	21.6	22.95	22.28
7.2	7.65	7.43	14.4	15.3	14.85	22.95	24.3	23.63
7.65	8.1	7.88	15.3	16.2	15.75	24.3	25.65	24.98
8.1	8.55	8.33	16.2	17.1	16.65	25.65	27	26.33
8.55	9	8.78	17.1	18	17.55	27	28.35	27.68
9	9.45	9.23	18	18.9	18.45	28.35	29.7	29.03
9.45	9.9	9.68	18.9	19.8	19.35	29.7	31.05	30.38
9.9	10.35	10.13	19.8	20.7	20.25	31.05	32.4	31.73
10.35	10.8	10.58	20.7	21.6	21.15	32.4	33.75	33.08
10.8	11.25	11.03	21.6	22.5	22.05	33.75	35.1	34.43
11.25	11.7	11.48	22.5	23.4	22.95	35.1	36.45	35.78
11.7	12.15	11.93	23.4	24.3	23.85	36.45	37.8	37.13
12.15	12.6	12.38	24.3	25.2	24.75	37.8	39.15	38.48
12.6	13.05	12.83	25.2	26.1	25.65	39.15	40.5	39.83
13.05	13.5	13.28	26.1	27	26.55	40.5	41.85	41.18
13.5	13.95	13.73	27	27.9	27.45	41.85	43.2	42.53
13.95	14.4	14.18	27.9	28.8	28.35	43.2	44.55	43.88
14.4	14.85	14.63	28.8	29.7	29.25	44.55	45.9	45.23
14.85	15.3	15.08	29.7	30.6	30.15	45.9	47.25	46.58
15.3	15.75	15.53	30.6	31.5	31.05	47.25	48.6	47.93
15.75	16.2	15.98	31.5	32.4	31.95	48.6	49.95	49.28
16.2	16.65	16.43	32.4	34.2	33.30	49.95	51.3	50.63

Tabla 6.1. Rangos utilizados para la determinación de los espectros de carga

Para cada una de las balanzas seleccionadas, se organizaron los datos confeccionando gráficos de frecuencia de pesos por configuración de ejes, por tipo de vehículos, variación mensual y anual de pesos, gráfico de diferencias acumuladas anual, etc.

CAPÍTULO 7

CARACTERIZACIÓN REGIONAL DEL TRANSITO

7.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA CALIBRACIÓN DE LAS BALANZAS DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD

La Dirección Nacional de Vialidad realiza controles de peso en las rutas inherentes a su jurisdicción con la finalidad de salvaguardar la vida útil de las estructuras viales. A tal fin, se materializan mediante balanzas fijas a lo largo de la Red Vial Nacional. Dichos controles responden a un protocolo pormenorizado de exigencias convenidas con el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), organismo descentralizado del Ministerio de Producción y Trabajo de la Rep. Argentina, que anualmente repite para convalidar las mediciones punitivas generadas de su funcionamiento.

A continuación se describirá el procedimiento aplicado para la calibración de básculas electrónicas de plataforma, abarcando su alcance a todo instrumento de pesaje de alta capacidad que puedan recibir cargas rodantes de más de 10.000 Kg, de precisión media u ordinaria (clases III o IV), de funcionamiento no automático, con equilibrio automático, semiautomático o no automático en todo su campo de medida.

En virtud de la complejidad del proceso, se definen los siguientes conceptos:

- *Verificación primitiva*: Es el procedimiento a través del cual la autoridad competente verifica y certifica que los instrumentos producidos por el fabricante cumplen con los requisitos reglamentarios aplicables.

- *Instrumento de pesar de funcionamiento no automático*: instrumento de pesar que requiere la intervención de un operador durante el proceso de pesaje, por ejemplo para colocar o retirar el objeto a pesar del receptor de carga.

- *Instrumento de pesar con equilibrio automático*: instrumento de pesar que no requiere la intervención de un operador para lograr el equilibrio durante el proceso de pesaje, por ejemplo en el caso de balanzas electrónicas.

- *Capacidad Máxima (Máx.)*: Capacidad máxima del instrumento sin tener en cuenta el efecto aditivo de la tara.

- *Capacidad Mínima (Mín.)*: Valor por debajo del cual las pesadas están afectadas de un error relativo importante.

- *Rango de Pesada*: Es el intervalo comprendido entre la capacidad mínima y la capacidad máxima del instrumento.

- *División de Verificación (e)*: Valor de la división utilizada para la verificación de los instrumentos expresada en unidades de masa.

7.1.1. RESOLUCIONES Y REGLAMENTOS VIGENTES

La calibración de las balanzas de la DNV responde a las siguientes resoluciones y reglamentaciones vigentes:

- Resolución Nacional de la Secretaria de Estado de Comercio y Negociaciones Económicas Internacionales N° 2307 del 11 de Noviembre de 1980.

- Disposición del Instituto Nacional de Tecnología Industrial N° 409 del 11 de Noviembre de 2003.
- Recomendación internacional del OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) R76-1 “Non-automatic weighing instruments. Part 1: Metrological and technical requirements — Tests”.
- Resolución Conjunta Secretaría de Defensa de la Competencia y del Consumidor (SDCyC) y Secretaría de Industria, Comercio y Minería (SICyM) N°279 y 086 del 09 de Junio del 2000 (Balanzas para pesar por ejes).
- Resolución 119/2001 de la Secretaría de la Competencia, la Desregulación y la Defensa del Consumidor (S.C.D. y D.C.).

7.1.2. METODOLOGÍA APLICADA

Para la aplicación del procedimiento de calibración se realiza inicialmente una inspección visual del equipo verificando que no haya vínculos mecánicos entre la plataforma y adyacencias (rozamientos), ni excesiva suciedad que puede causar retenciones en el corto o mediano plazo. También se corrobora el correcto accionamiento de pulsadores, teclas o manivelas de comando y el estado de la estructura de la plataforma, cables, celdas de carga, conectores y demás partes mecánicas y/o electrónicas involucradas en el proceso de pesaje, datos registrados en una planilla garante del procedimiento.

En el caso de alimentación con voltaje de red de 220 VCA se verifica que la misma se encuentre en el rango 187-242 VCA y se registra el valor en la planilla antes mencionada.

Con el valor de la capacidad máxima y el de división mínima (propia de cada balanza) denominado "e", se clasifica la categoría de los instrumentos de la balanza, así como también se determina la tolerancia para la aprobación. Las balanzas de la DNV son Clase III de acuerdo a la siguiente clasificación:

Clase de Exactitud	Intervalo de escala (e)	n, número de intervalos de escala de verificación $n = C.Max / e$		Capacidad Mínima C_{min}
		Mínimo	Máximo	
Clase I	$0,001 \text{ g} \leq e$	50000		100 e
Clase II	$0,001 \text{ g} \leq e \leq 0,05 \text{ g}$	100	10000	20 e
	$0,1 \text{ g} \leq e$	500	10000	50 e
Clase III	$0,1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$	100	10000	20 e
	$5 \text{ g} \leq e$	500	10000	20 e
Clase IV	$5 \text{ g} \leq e$	100	1000	10 e

C. Max: capacidad máxima

C. Min: capacidad mínima

Tabla 7.1. Resolución (SCyNE) 2307/80. Del 11/11/1980. B.O.: 28/11/1980. Reglamentación metrológica y técnica

BALANZAS CLASE III

BALANZA	MARCA	MODELO DE PLATAFORMA	CODIGO DE APROBACION PLATAFORMA	DENOMINACION CABEZAL	N° DE DIVISIONES (e)	PESO		Tolerancia p/aprobacion	
						MINIMO (kg)	MAXIMO (kg)	Peso mínimo	Peso Máximo
COLASTINE	BIANCHETTI	Truck Tromix/E 4003	BF 302187	PB 10000	50	1000	40000	0 e	2 e
MARGARITA BELEN	GAMA	HA 1021	BF 302140	GAMA 103	20	500	40000	0 e	2 e
RIO TALA	GAMA	HA 8021	BF 302140	GAMA A12	50	1000	40000	0 e	2 e

Tabla 7.2. Características de las Balanzas adoptadas

Con la clase del instrumento se determinan las tolerancias aplicables a través de la siguiente tabla, solicitada por la Secretaría de Industria y Comercio:

PRESICION	E.M.T.	CARGA DE PRUEBA
MEDIA (CLASE III)	1 e	Para cargas crecientes comprendidas entre Min y 500 e
	2 e	Comprendidas entre 500 e exclusive y 2000 e inclusive
	3 e	Superior a 2000 e
Ordinaria (CLASE III)	1 e	Para cargas crecientes comprendidas entre Min y 50 e inclusive; y decrecientes comprendidas entre 50 e y cero
	2 e	Comprendidas entre 50 e exclusive y 200 e inclusive
	3 e	Superior a 2000 e

Tabla 7.3. Cargas de prueba para la calibración de balanzas

Realizada la verificación visual, se efectúan los siguientes ensayos respetando la secuencia explicitada:

- ENSAYO DE PUESTA A CERO (A.3.2.2. RESOL 2307/80): En este se verifica que el efecto máximo del dispositivo de puesta en cero sea como máximo igual al 4% de la capacidad máxima del instrumento.
- ENSAYO DE EXCENTRICIDAD (13.4.2.1. RESOL 2307/80): Se reparte una carga de prueba cuyo valor sea el de la capacidad máxima / cantidad de apoyos repartida sucesivamente a lo largo de cada uno de los bordes del dispositivo receptor de carga y sobre una superficie que no sobrepase 1/8 o 1/10 de la superficie total del receptor dependiendo el número de apoyos que tenga la plataforma. Para que el resultado del ensayo sea satisfactorio el valor absoluto de la diferencia entre la carga colocada y la indicación del instrumento no deberá superar el E.M.T. para el valor de la carga de prueba utilizada.
- ENSAYO DE REPETIBILIDAD O FIDELIDAD (14.1.2. RESOL. 2307/80): En este se verifica que el desvío entre los resultados obtenidos en el curso de al menos cinco ciclos de pesada de una misma carga no sea mayor que el valor absoluto del EMT.



Tabla 7.4. Ciclo de pesada

- ENSAYO DE MOVILIDAD (14.2.1.1.2 RESOL. 2307/80): La colocación sin choque sobre el instrumento cargado en equilibrio de una sobrecarga equivalente como máximo a 1,4 veces el valor de la división discontinua, se provoca un cambio en la indicación o impresión, la que incrementa en una división discontinua.

- ENSAYO DE RETORNO A CERO (11.3.2, Resol. 2307/80): Se verifica que, luego de colocada y mantenida una carga de prueba (por ejemplo la utilizada en el ensayo de excentricidad) durante treinta minutos sobre la báscula, al quitarla no se observe un desvío respecto del Cero mayor 0,5 e.

- ENSAYO DE LINEALIDAD (9.1. Resol. 2307/80): Se corrobora que al ir escalando y descendiendo en peso, la diferencia entre las lecturas obtenidas y el valor de la carga de prueba utilizada, no supere el EMT correspondiente a dicha carga.

El ORIGINAL de la Planilla de Datos de Ensayo debidamente conformada por el técnico responsable de la calibración es entregada al encargado de servicio técnico de Vialidad Nacional para que a partir de los datos registrados, se confeccione el informe de Verificación correspondiente donde considera:

- Numero de Informe de verificación.
- Datos del Concesionario del instrumento (razón social, domicilio, etc.)
- Descripción del instrumento calibrado.
- Número y/o identificaciones del instrumento calibrado.
- Características metrológicas del instrumento calibrado (Máx, Mín, e, dd, clase, etc.),
- Marca, modelo y número de serie del indicador y de la plataforma
- Datos de los patrones utilizados.
- Fecha de calibración.
- Número o identificación del procedimiento efectuado.
- Valores de los ensayos realizados,
- Nombre y firma del responsable de la calibración

Todos los ensayos mencionados son de exigencia anual por parte del organismo rector, INTI dependiente de la Secretaría de Industria y Comercio.

7.1.3. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE LAS BALANZAS ADOPTADAS

Como se mencionó en puntos anteriores, para la adopción de las balanzas se analizaron tanto los aspectos inherentes a su ubicación geográfica, la continuidad de mediciones y la calidad de los datos cargados en forma sistemática por los técnicos competentes. Los equipos de pesaje que utiliza Vialidad Nacional son de clase III, que presentan gran precisión de medición en relación a la carga máxima permitida. Cada balanza en particular, tiene las siguientes tolerancias:

- Balanzas “**Colastiné**”: Tipo de balanza fija, por conjunto de ejes. Plancha de dimensiones 3m x 3m. Registra un error de 1 división (50kg) en el peso mínimo de 1000 kg, y de hasta 3 divisiones (150kg) en el máximo de 40000 kg. Marca de la Balanza: Bianchetti. Fecha de inicio de operación: Noviembre 2011.

- Balanzas “**Río Tala**”: Tipo de balanza fija, por eje. Plancha de dimensiones de 3m x 1m. Registra un error de 0,5 divisiones (25kg) en el peso mínimo de 500kg, y de 2,5 divisiones (75kg) en el máximo de 20000 kg. Fecha de inicio de operación: Marzo 2011.

- Balanzas “**Margarita Belén**”: Tipo de balanza fija, por conjunto de ejes. Plancha de dimensiones 3m x 3m. Registra un error de 1 división (50kg) en el peso mínimo de 1000kg, y de

hasta 3 divisiones (150kg) en el máximo de 40000 kg. Marca de la Balanza: Mettler Toledo. Fecha de inicio de operación: Agosto 2011.

7.2. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO REGIONAL CONSIDERANDO LAS BALANZAS EN ESTUDIO

7.2.1. CONSIDERACIONES SOBRE LA SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la sistematización de los datos obtenidos de las tres balanzas propuestas en el estudio, se realizaron procesos de clasificación de información tendientes a generar datos de mayor nivel de confiabilidad. En este sentido, se verificó la existencia de datos cargados en forma errónea en el sistema de pesaje, que provocaba en algunos ejes cargas nulas (0 toneladas), o en otros casos cargas inferiores a las mínimas que demanda el peso propio de un eje descargado.

Para delimitar y eliminar cargas improbables, se asumió que el eje direccional no alcanzara, entre el peso propio y del motor un registro inferior a 2,30tn. Estas suposiciones fueron contrastadas y convalidadas por los operadores técnicos de distintas balanzas, quienes recomendaron dicho valor a partir de las experiencias personales en el tema. Para el eje simple dual se asumieron cargas superiores a 2,50tn, eje tándem 2,80tn y eje tridem 3,00tn.

Entre otros errores constatados, también se verificó en el sistema de carga de datos la presencia de camiones semirremolques del tipo 1.2.3. incluida de la configuración indicada como 1.2.2., lo que obligó a realizar una separación pormenorizada y reasignación de vehículos al tipo 1.2.3.

7.2.2. EJES RELEVADOS POR BALANZA

En función a los datos recabados de las balanzas, se realizó un cuadro resumen caracterizando el TMDA y el % de vehículos pesados asociados a cada tramo en estudio:

BALANZA	TMDA (v/d) y % Vehículos Pesados (VP)			
	2013	2014	2015	2016
Balanza Colastiné- RN N° 168- km 10,44- Tramo: B/N RP N°1- ACC. TUNEL SUBFLUVIAL- Sección: km 5,29- km 14,79				
ASC + DESC	11813	11837	12610	12217
% DE VP	16,70	17,00	16,60	16,60
Balanza Río Tala- RN N° 9- km 152,50- Tramo: B/N R.P.41 - INT.R.N.A023 (D) (ACC.A RIO TALA)- Sección: km 141,51- km 153,55				
ASC + DESC	21600	21400	21200	20000
% DE VP	31,90	37,80	42,00	37,80
Balanza Margarita Belén- RN N° 11- km 1041,00- Tramo: Int. RN N° 16- Int. RP 90- Sección: km 1007,79- km 1044,76				
ASC + DESC	6367	6577	6760	6902
% DE VP	27,20	24,30	23,50	20,70

Tabla 7.5. Porcentaje de vehículos pesados respecto al TMDA de cada tramo en estudio

La representatividad de los vehículos pesados censados respecto al total de cada sección es la siguiente:

- Balanzas RN N° 168- “Colastiné”

Año	TMDA (v/d)	% de Camiones	Cant Camiones TMDA (v/d)	Cant censados Calzada Ascendente (v/año)	Cant censados Calzada Descendente (v/año)	Total veh censados (v/año)	Total VP s/ TMDA (v/año)	% VP Censados s/ TMDA _{vp} (%)
2013	11813	16,70	1973	5378	11421	16799	720061	2,33%
2014	11837	17,00	2012	22321	11274	33595	734486	4,57%
2015	12610	16,60	2093	39037	527	39564	764040	5,18%
2016	12217	16,60	2028	25162	7389	32551	740228	4,40%

Tabla 7.6. VP censados s/VP total (%)- “Colastiné”

- Balanzas RN N° 9- “Río Tala”

Año	TMDA (v/d)	% de Camiones	Cant Camiones TMDA (v/d)	Cant censados Calzada Ascendente (v/año)	Cant censados Calzada Descendente (v/año)	Total veh censados (v/año)	Total VP s/ TMDA (v/año)	% VP Censados s/ TMDA _{vp} (%)
2013	21600	31,90	6890	4664	16762	21426	2514996	0,85%
2014	21400	37,80	8089	3646	18304	21950	2952558	0,74%
2015	21200	42,00	8904					
2016	20000	37,80	7560					

Tabla 7.7. VP censados s/VP total (%)- “Río Tala”

- Balanzas RN N° 11- “Margarita Belén”

Año	TMDA (v/d)	% de Camiones	Cant Camiones TMDA (v/d)	Cant censados Calzada Ascendente (v/año)	Cant censados Calzada Descendente (v/año)	Total veh censados (v/año)	Total VP s/ TMDA (v/año)	% VP Censados s/ TMDA _{vp} (%)
2013	6367	27,20	1732	17182	2261	19443	632116	3,08%
2014	6577	24,30	1598	1194	852	2046	583347	0,35%
2015	6760	23,50	1589	15996	2741	18737	579839	3,23%
2016	6902	20,70	1429	23737	4448	28185	521481	5,40%

Tabla 7.8. VP censados s/VP total (%)- “Margarita Belén”

A través de los valores resumidos en la tabla, se verifica el gran impacto que significa el tráfico de vehículos pesados en rutas troncales de la región centro este del país, considerando que los mismos se encuentran por encima del 16%, alcanzando en algunos casos el valor de 42% del total.

Si bien el porcentaje de vehículos censados es bajo respecto al total, inferior al 5,50%, propio de una balanza fija no continua, se entiende que la precisión y utilidad de las mismas son asimilables a “censos de cobertura”, en donde podrían perfectamente complementarse con balanzas

continuas automáticas tipo sistema WIM (Weight in motion). La Dirección Nacional de Vialidad se encuentra en proceso de incorporar estos sistemas en las concesiones recientemente contratadas.

A los efectos de precisar la incidencia de cada configuración en los pesajes totales, se discrimina a continuación la cantidad de vehículos pesados censados por tipo:

Descripción balanzas	CANTIDAD DE VEHÍCULOS PESADOS CENSADOS POR TIPO											TOTAL
	S1D1	S1D2	S1D1D1	S1D1D1D1	S1D1D1D1D1	S1D1D2	S1D1D1D2	S1D1D3	S1D2D1D1	S1D2D2	S1D2D3	
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2013:	3051	787	41	391	106	2013	8629	814	172	381	414	16799
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2014:	6470	1500	265	723	275	4825	15848	1722	426	614	927	33595
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2015:	8402	2007	392	824	307	6272	17414	1631	649	616	1050	39564
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2016:	6586	1807	277	581	134	5284	15163	1374	520	202	623	32551
Total por configuración:	24509	6101	975	2519	822	18394	57054	5541	1767	1813	3014	122509
% de incidencia	20,01%	4,98%	0,80%	2,06%	0,67%	15,01%	46,57%	4,52%	1,44%	1,48%	2,46%	100,00%

Tabla 7.9. Cantidad de vehículos pesados por tipo de configuración- Balanza “Colastiné”

Descripción balanzas	CANTIDAD DE VEHÍCULOS PESADOS CENSADOS POR TIPO											TOTAL
	S1D1	S1D2	S1D1D1	S1D1D1D1	S1D1D1D1D1	S1D1D2	S1D1D1D2	S1D1D3	S1D2D1D1	S1D2D2	S1D2D3	
Cantidad de vp censados RIO TALA- 2013:	761	455	18	0	0	1038	17118	971	720	163	182	21426
Cantidad de vp censados RIO TALA- 2014:	530	432	0	0	0	588	18001	827	1187	193	192	21950
Total por configuración:	1291	887	18	0	0	1626	35119	1798	1907	356	374	43376
% de incidencia	2,98%	2,04%	0,04%	0,00%	0,00%	3,75%	80,96%	4,15%	4,40%	0,82%	0,86%	100,00%

Tabla 7.10. Cantidad de vehículos pesados por tipo de configuración- Balanza “Río Tala”

Descripción balanzas	CANTIDAD DE VEHÍCULOS PESADOS CENSADOS POR TIPO											TOTAL
	S1D1	S1D2	S1D1D1	S1D1D1D1	S1D1D1D1D1	S1D1D2	S1D1D1D2	S1D1D3	S1D2D1D1	S1D2D2	S1D2D3	
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2013:	1139	498	0	150	0	1628	12314	1140	1320	627	627	19443
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2014:	116	45	0	0	0	249	1347	67	100	61	61	2046
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2015:	1385	466	0	68	0	2132	11258	758	1018	826	826	18737
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2016:	3030	891	0	64	0	4018	16042	981	1701	672	786	28185
Total por configuración:	5670	1900	0	282	0	8027	40961	2946	4139	2186	2300	68411
% de incidencia	8,29%	2,78%	0,00%	0,41%	0,00%	11,73%	59,87%	4,31%	6,05%	3,20%	3,36%	100,00%

Tabla 7.11. Cantidad de vehículos pesados por tipo de configuración- Balanza “Margarita Belén”

En función de los valores obtenidos, se verifica que el tránsito pesado predominante, y por lo tanto el que mayor concentración de pesajes acumula, proviene de la configuración S1D1D1D2, camión denominado “cerealero”, muy común en la zona centro del país que responde a la gran demanda de transporte de los insumos provenientes de la agroindustria, seguido por configuraciones del tipo S1D1 y S1D1D2.

7.2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS ACTUANTES EN CADA SECCIÓN

En base a los datos procesados se realizó una caracterización detallada del nivel de cargas actuantes de cada balanza en estudio, presentado mediante gráficos de frecuencia de pesos medidos, clasificados de acuerdo a los intervalos adoptados precedentemente.

También se analizó el nivel de sobrecarga de cada configuración específica, datos que se presentan a continuación:

7.2.3.1. Porcentaje de vehículos sobrecargados s/ tipo de eje- Balanzas RN N° 168- “Colastiné”

En las tablas inferiores se presentan discretizados para cada configuración de vehículo pesado el porcentaje de ejes sobrecargados por encima de la carga legal reglamentaria, considerando solo aquellos con cargas mayores a las máximas permitidas. Por ejemplo, para analizar la carga de la configuración de camión S1D1D1D2, se verificaron el doble de ejes simples duales que simple direccional.

Para considerar estadísticamente los porcentajes de ejes sobrecargados, se tuvieron en cuenta solo aquellos pesos medidos superiores a las máximas cargas reglamentarias por eje de acuerdo a la Ley 24449, DECRETO 779/95-DECRETO 79/98-RES. S.T. 497/94., es decir, peso de eje direccional superior a 6,0tn, eje simple dual superior a 10,5tn, eje tándem superior a 18tn, eje tridem 25,5tn.

S1D1												
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL		AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	1,13%	11,09%	-	-	974		2013	0,48%	4,91%	-	-	2077
2014	0,87%	5,48%	-	-	4121		2014	0,85%	2,85%	-	-	2349
2015	0,98%	5,01%	-	-	8305		2015	0,00%	4,12%	-	-	97
2016	0,69%	3,42%	-	-	5180		2016	0,43%	3,20%	-	-	1406

S1D2											
RN N° 168- BALANZA COLASTINE ASCENDENTE						DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL	AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	8,19%	-	9,05%	-	232	2013	3,60%	-	2,88%	-	555
2014	4,39%	-	5,17%	-	1026	2014	3,38%	-	3,38%	-	474
2015	5,03%	-	5,03%	-	1968	2015	0,00%	-	0,00%	-	39
2016	3,61%	-	3,95%	-	1441	2016	3,28%	-	3,28%	-	366

S1D1D1											
RN N° 168- BALANZA COLASTINE											
ASCENDENTE						DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL	AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	0,00%	0,00%	-	-	7	2013	0,00%	1,47%	-	-	34
2014	0,00%	0,74%	-	-	204	2014	0,00%	0,82%	-	-	61
2015	0,51%	0,51%	-	-	392	2015	-	-	-	-	-
2016	0,44%	0,66%	-	-	226	2016	0,00%	0,00%	-	-	51

S1D1D1D1											
RN N° 168- BALANZA COLASTINE ASCENDENTE						DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL	AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	0,76%	1,53%	-	-	131	2013	0,77%	2,44%	-	-	260
2014	1,62%	2,22%	-	-	495	2014	1,75%	2,78%	-	-	228
2015	1,73%	1,49%	-	-	808	2015	0,00%	0,00%	-	-	16
2016	1,74%	3,70%	-	-	460	2016	0,83%	2,75%	-	-	121

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

S1D1D1D1D1					
-------------------	--	--	--	--	--

RN N° 168- BALANZA COLASTINE

ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	5.13%	7.05%	-	-	39
2014	6.64%	8.41%	-	-	211
2015	5.86%	10.26%	-	-	307
2016	7.56%	7.14%	-	-	119

DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	11.94%	12.31%			67
2014	14.06%	8.59%			64
2015	-	-			-
2016	6.67%	8.33%			15

S1D1D2					
---------------	--	--	--	--	--

RN N° 168- BALANZA COLASTINE

ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	0,81%	1,45%	1,29%	-	619
2014	0,86%	1,23%	0,52%	-	3245
2015	0,74%	1,83%	1,00%	-	6188
2016	1,28%	1,80%	0,73%	-	4225

DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	1,65%	2,80%	1,08%	-	1394
2014	0,95%	2,66%	1,08%	-	1580
2015	0,00%	2,38%	1,19%	-	84
2016	2,46%	3,78%	1,23%	-	1059

S1D1D1D2					
-----------------	--	--	--	--	--

RN N° 168- BALANZA COLASTINE

ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	7,10%	24,92%	23,90%	-	2829
2014	6,22%	26,62%	27,23%	-	10642
2015	6,87%	24,82%	26,10%	-	17193
2016	6,18%	25,84%	25,46%	-	11492

DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	7,41%	22,42%	22,93%	-	5800
2014	7,16%	20,94%	22,90%	-	5206
2015	6,79%	20,14%	19,00%	-	221
2016	8,28%	21,18%	18,58%	-	3671

S1D1D3					
---------------	--	--	--	--	--

RN N° 168- BALANZA COLASTINE

ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	5,05%	24,31%	-	11,06%	218
2014	2,78%	15,61%	-	4,41%	1044
2015	3,94%	15,55%	-	5,12%	1601
2016	3,61%	14,16%	-	4,09%	1052

DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	3,02%	24,83%	-	10,23%	596
2014	3,83%	23,75%	-	16,08%	678
2015	0,00%	30,00%	-	13,33%	30
2016	6,83%	19,88%	-	9,01%	322

S1D2D1D1					
-----------------	--	--	--	--	--

RN N° 168- BALANZA COLASTINE

ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	6,67%	28,33%	18,33%	-	60
2014	5,37%	28,95%	11,02%	-	354
2015	11,86%	28,86%	17,00%	-	641
2016	10,39%	22,17%	15,94%	-	433

DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	8,04%	3,57%	1,79%	-	112
2014	8,33%	4,17%	1,39%	-	72
2015	0,00%	6,25%	0,00%	-	8
2016	9,20%	13,79%	4,60%	-	87

S1D2D2					
RN N° 168- BALANZA COLASTINE					
ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	1,05%	-	1,05%	-	95
2014	1,68%	-	0,98%	-	358
2015	4,35%	-	1,84%	-	598
2016	9,03%	-	1,39%	-	144

DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	23,78%	-	5,42%	-	286
2014	26,17%	-	10,94%	-	256
2015	33,33%	-	2,78%	-	18
2016	5,17%	-	2,59%	-	58

S1D2D3					
RN N° 168- BALANZA COLASTINE					
ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	8,05%	-	1,05%	1,15%	174
2014	9,66%	-	0,64%	0,64%	621
2015	13,22%	-	0,77%	0,29%	1036
2016	7,84%	-	0,90%	0,77%	390

DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	6,67%	-	0,83%	1,25%	240
2014	9,80%	-	1,31%	0,65%	306
2015	7,14%	-	0,00%	0,00%	14
2016	6,44%	-	1,72%	0,43%	233

Tabla 7.12. Porcentaje de ejes sobrecargados por tipo de configuración - “Colastiné”

En general se observa que los camiones con acoplado tipo S1D1D1D2 y semiremolque, S1D1D3 y S1D2D2, son las configuraciones que registran mayores ejes sobrecargados. También se observa un mayor porcentaje de ejes sobrecargados en la calzada descendente, es decir, predomina en este aspecto el transporte de mercaderías desde la margen correspondiente a la Provincia de Entre Ríos hacia la Provincia de Santa Fe y/o limítrofes.

7.2.3.2. Porcentaje de vehículos sobrecargados s/ tipo de eje- Balanzas RN N° 9- “Río Tala”

S1D1					
RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	1,83%	12,84%	-	-	218
2014	1,37%	16,44%	-	-	146
2015	-	-	-	-	
2016	-	-	-	-	

CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	2,39%	9,39%	-	-	543
2014	1,04%	9,38%	-	-	384
2015	-	-	-	-	
2016	-	-	-	-	

S1D2					
RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	7,25%	-	9,42%	-	138
2014	12,26%	-	12,26%	-	106
2015	-	-	-	-	
2016	-	-	-	-	

CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	3,47%	-	4,42%	-	317
2014	4,29%	-	6,13%	-	326
2015	-	-	-	-	
2016	-	-	-	-	

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

S1D1D1

RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	0,00%	0,00%	-	-	18
2014	-	-	-	-	0
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

S1D1D1D1

RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	2,25%	11,24%	-	-	89
2014	0,00%	12,50%	-	-	48
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

S1D1D1D1D1

RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	0,00%	11,67%	-	-	15
2014	0,00%	3,13%	-	-	8
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

S1D1D2

RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	5,10%	17,83%	2,23%	-	314
2014	5,84%	17,52%	5,84%	-	137
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	3,04%	15,19%	3,45%	-	724
2014	2,22%	17,07%	2,66%	-	451
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

S1D1D1D2

RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	8,02%	23,55%	11,46%	-	3404
2014	9,39%	22,66%	14,58%	-	2791
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	9,16%	25,38%	7,42%	-	13714
2014	9,78%	23,47%	8,68%	-	15210
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

S1D1D3					
RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	6,46%	22,43%	-	3,80%	263
2014	5,68%	21,02%	-	6,25%	176
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-
CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	3,39%	26,27%	-	2,26%	708
2014	3,23%	25,19%	-	3,38%	651
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-
S1D2D1D1					
RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	8,98%	32,42%	20,75%	-	256
2014	9,96%	33,27%	17,53%	-	251
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-
CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	9,05%	24,57%	10,34%	-	464
2014	36,00%	27,24%	2,88%	-	936
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-
S1D2D2					
RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	0,00%	-	11,11%	-	27
2014	11,10%	-	5,56%	-	24
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-
CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	1,69%	-	12,71%	-	136
2014	3,53%	-	5,88%	-	169
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-
S1D2D3					
RUTA NACIONAL N° 9 - BALANZA RIO TALA					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	2,27%	-	6,82%	2,27%	44
2014	0,00%	-	6,67%	0,00%	15
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-
CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	4,11%	-	0,00%	1,37%	138
2014	5,68%	-	0,00%	3,41%	177
2015	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-

Tabla 7.13. Porcentaje de ejes sobrecargados por tipo de configuración - “Río Tala”

Las configuraciones que presentaron mayores ejes sobrecargados se concentraron en 1.1.1.2 y 1.1.3. En una menor medida las configuraciones con sobrecarga son 1.2.1.1 y 1.1.3.

7.2.3.3. Porcentaje de vehículos sobrecargados s/ tipo de eje- Balanzas RN N° 11- “Margarita Belén”

SID1

RUTA NACIONAL N° 11- BALANZA MARGARITA BELEN

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	1,27%	11,02%	-	-	1025
2014	3,80%	18,99%	-	-	79
2015	2,36%	13,40%	-	-	1231
2016	2,14%	8,74%	-	-	2621

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	1,75%	21,93%	-	-	114
2014	0,00%	8,11%	-	-	37
2015	2,60%	16,88%	-	-	154
2016	0,49%	4,89%	-	-	409

SID2

RUTA NACIONAL N° 11- BALANZA MARGARITA BELEN

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	7,86%	-	10,26%	-	458
2014	10,34%	-	10,34%	-	29
2015	10,57%	-	8,51%	-	435
2016	11,46%	-	7,56%	-	794

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	5,00%	-	7,50%	-	40
2014	0,00%	-	0,00%	-	16
2015	9,68%	-	3,23%	-	31
2016	6,19%	-	4,12%	-	97

SID1D1D1

RUTA NACIONAL N° 11- BALANZA MARGARITA BELEN

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	9,33%	4,00%	-	-	150
2014	0,00%	0,00%	-	-	0
2015	9,09%	2,42%	-	-	55
2016	10,53%	13,16%	-	-	40

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	0,00%	0,00%	-	-	0
2014	0,00%	0,00%	-	-	9
2015	7,69%	2,56%	-	-	13
2016	0,00%	0,00%	-	-	24

SID1D2

RUTA NACIONAL N° 11- BALANZA MARGARITA BELEN

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	6,70%	8,39%	2,80%	-	1358
2014	8,47%	9,32%	1,69%	-	118
2015	7,07%	10,64%	4,34%	-	1682
2016	4,92%	7,10%	2,04%	-	2988

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	3,33%	3,33%	0,74%	-	270
2014	1,53%	2,29%	0,76%	-	131
2015	3,65%	2,67%	1,56%	-	450
2016	2,91%	2,14%	1,36%	-	1030

SID1D1D2

RUTA NACIONAL N° 11- BALANZA MARGARITA BELEN

CALZADA: ASCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	9,73%	18,80%	15,00%	-	10840
2014	17,28%	25,46%	23,95%	-	764
2015	16,59%	23,72%	20,23%	-	9680
2016	14,23%	21,25%	17,33%	-	13886

CALZADA: DESCENDENTE

AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	14,75%	26,74%	22,88%	-	1474
2014	13,89%	29,25%	26,76%	-	583
2015	23,89%	28,30%	25,22%	-	1578
2016	23,61%	23,68%	16,79%	-	2156

S1D1D3					
RUTA NACIONAL N° 11- BALANZA MARGARITA BELEN					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	9,83%	14,50%	-	7,94%	1007
2014	12,77%	8,51%	-	10,64%	47
2015	12,44%	23,09%	-	7,20%	667
2016	11,50%	22,40%	-	5,27%	835
CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	16,14%	32,33%	-	6,77%	133
2014	15,00%	10,00%	-	0,00%	20
2015	21,98%	35,16%	-	12,09%	91
2016	10,96%	33,56%	-	13,01%	146
S1D2D1D1					
RUTA NACIONAL N° 11- BALANZA MARGARITA BELEN					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	6,78%	10,87%	18,06%	-	1224
2014	13,85%	22,31%	27,69%	-	65
2015	9,84%	15,16%	17,90%	-	894
2016	9,26%	15,66%	13,63%	-	1533
CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	12,50%	17,71%	16,67%	-	96
2014	8,57%	12,86%	25,71%	-	35
2015	18,55%	6,05%	20,16%	-	124
2016	17,86%	7,14%	14,88%	-	168
S1D2D2					
RUTA NACIONAL N° 11- BALANZA MARGARITA BELEN					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	7,72%	-	8,54%	-	560
2014	4,00%	-	22,00%	-	46
2015	5,94%	-	13,64%	-	676
2016	6,05%	-	15,01%	-	463
CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	0,00%	-	15,38%	-	67
2014	0,00%	-	25,00%	-	15
2015	15,25%	-	18,64%	-	150
2016	14,43%	-	26,80%	-	209
S1D2D3					
RUTA NACIONAL N° 11- BALANZA MARGARITA BELEN					
CALZADA: ASCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	5,82%		8,54%	6,16%	560
2014	4,76%		0,00%	14,29%	46
2015	7,51%		0,52%	6,99%	676
2016	7,80%		0,52%	6,41%	577
CALZADA: DESCENDENTE					
AÑO	> 6TN	> 10,5T	> 18TN	> 25,5TN	CANT. DE VP ANUAL
2013	2,04%		0,00%	4,08%	67
2014	7,69%		0,00%	0,00%	15
2015	10,99%		2,20%	1,10%	150
2016	13,46%		2,88%	3,85%	209

Tabla 7.14. Porcentaje de ejes sobrecargados por tipo de configuración - “Margarita Belén”

En estas balanzas, las configuraciones con mayor sobrecarga se manifiestan en 1.1.1.2. y 1.2.1.1. En menor medida 1.2.2. y 1.2.3.

Evaluando los resultados obtenidos del análisis de sobrecargas para las distintas configuraciones medidas, se desprenden lo siguiente:

- Comparando individualmente los ejes agrupados de acuerdo a las cuatro categorías estudiadas (direccional, simple dual, tandem y tridem), el que presenta mayor porcentaje de sobrecarga respecto a la reglamentaria resulta ser el eje simple dual promediando 12,25% de ejes sobrecargados, seguido del eje tandem con 8,74%, eje simple direccional 6,14% y tridem 4,79% .

- Balanza Colastiné- ascendente: se verifica que la configuración 1.1.3 resulta la de mayor porcentaje de sobrecarga para el eje direccional. Para los ejes simple y tándem lo concentra la configuración 1.1.1.2, para el eje tridem 1.1.3.
- Balanza Colastiné- descendente: la configuración 1.2.2 concentra las mayores sobrecargas para el eje direccional. Para el simple dual y tridem domina la configuración 1.1.3, 1.1.1.2 la tándem.
- Balanza Río Tala- ascendente: se verifica que la configuración 1.1.1.2 concentra las mayores cargas en los ejes direccional, simple dual y tándem, 1.1.3 para el tridem.
- Balanza Río Tala- descendente: ídem balanza ascendente, exceptuando el tándem que lo domina la configuración 1.2.2.
- Balanza Margarita Belén- ascendente: se verifica que la configuración 1.1.1.2 concentra las mayores cargas en los ejes direccional, simple dual y tándem, 1.2.3 para el tridem.
- Balanza Margarita Belén- descendente: ídem que la ascendente, varía el direccional apareciendo la configuración 1.1.3.
- No se verifica en los períodos incluidos en el estudio una marcada tendencia de disminución o aumento del porcentaje de ejes sobrecargados, sino un equilibrio con leve propensión al decremento. Tal vez esta situación responda al hecho de que las balanzas comenzaron a operar en el año 2011, razón por lo cual los primeros años de operación les permitieron a los usuarios de la ruta tomar conocimiento de los controles, para posteriormente regular la carga en los rangos más apropiados desde el punto de vista económico legal.

En la tabla inferior se resumen los porcentajes promedios de sobrecarga durante el período estudiado asociados a las configuraciones mencionadas, adoptando en color rojo remarcado el máximo de cada tipo de eje.

Configuraciones	PORCENTAJE DE EJES SOBRECARGADOS							
	BALANZA COLASTINE ASCENDENTE				BALANZA COLASTINE DESCENDENTE			
	6.0tn	10.5tn	18.0tn	25.5tn	6.0tn	10.5tn	18.0tn	25.5tn
S1D1	0.92%	6.25%			0.44%	3.77%		
S1D2	5.31%		5.80%		2.57%		2.39%	
S1D1D1	0.24%	0.48%			0.00%	0.57%		
S1D1D1D1	1.46%	2.23%			0.84%	1.99%		
S1D1D1D1D1	6.30%	8.22%			8.17%	7.31%		
S1D1D2	0.92%	1.58%	0.89%		1.27%	2.91%	1.15%	
S1D1D1D2	6.59%	25.55%	25.67%		7.41%	21.17%	20.85%	
S1D2D1D1	8.57%	27.08%	15.57%		6.39%	6.95%	1.95%	
S1D1D3	3.85%	17.41%		6.17%	3.42%	24.61%		12.16%
S1D2D2	4.03%		1.31%		22.11%		5.43%	
S1D2D3	9.69%		0.84%	0.71%	7.51%		0.97%	0.58%

Tabla 7.15. Porcentajes máximos de sobrecarga por configuración- Balanzas “Colastiné”

Configuraciones	PORCENTAJE DE EJES SOBRECARGADOS							
	BALANZA RIO TALA- ASCENDENTE				BALANZA RIO TALA- DESCENDENTE			
	6.0tn	10.5tn	18.0tn	25.5tn	6.0tn	10.5tn	18.0tn	25.5tn
S1D1	1.60%	14.64%			1.72%	9.39%		
S1D2	9.76%		10.84%		3.88%		5.28%	
S1D1D1								
S1D1D1D1					1.13%	11.87%		
S1D1D1D1D1					0.00%	7.40%		
S1D1D2	5.47%	17.68%	4.04%		2.63%	16.13%	3.06%	
S1D1D1D2	8.71%	23.11%	13.02%		9.47%	24.43%	8.05%	
S1D2D1D1	9.47%	32.85%	19.14%		22.53%	25.91%	6.61%	
S1D1D3	6.07%	21.73%		5.03%	3.31%	25.73%		2.82%
S1D2D2	5.55%		8.34%		2.61%		9.30%	
S1D2D3	1.14%		6.75%	1.14%	4.90%		0.00%	2.39%

Tabla 7.16. Porcentajes máximos de sobrecarga por configuración- Balanzas “Río Tala”

Configuraciones	PORCENTAJE DE EJES SOBRECARGADOS							
	BALANZA MARGARITA BELEN- ASCENDENTE				BALANZA MARGARITA BELEN- DESCENDENTE			
	6.0tn	10.5tn	18.0tn	25.5tn	6.0tn	10.5tn	18.0tn	25.5tn
S1D1	2.39%	13.04%			1.21%	12.95%		
S1D2	10.06%		9.17%		5.22%		3.71%	
S1D1D1								
S1D1D1D1	7.24%	4.90%			1.92%	0.64%		
S1D1D1D1D1	3.30%	4.30%						
S1D1D2	6.79%	8.86%	2.72%		2.86%	2.61%	1.11%	
S1D1D1D2	14.46%	22.31%	19.13%		19.04%	26.99%	22.91%	
S1D2D1D1	9.93%	16.00%	19.32%		14.37%	10.94%	19.36%	
S1D1D3	11.64%	17.12%		7.76%	16.02%	27.76%		7.97%
S1D2D2	5.93%		14.80%		7.42%		21.46%	
S1D2D3	6.47%		2.40%	8.46%	8.55%		1.27%	2.26%

Tabla 7.17. Porcentajes máximos de sobrecarga por configuración- Balanzas “Margarita Belén”

Analizando los resultados se observa que el eje direccional, en la mayor parte de las configuraciones supera la reglamentaria. Sin embargo, si se tiene en cuenta como eje de comparación el propuesto de 69 KN (7,0 tn), se arriban a los siguientes resultados:

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

AÑOS	PORCENTAJE DE EJES DIRECCIONALES SOBRECARGADOS $P_i > 69$ KN- BALANZAS ASCENDENTES										
	S1D1	S1D2	S1D1D1	S1D1D1D1	S1D1D1D1D1	S1D1D2	S1D1D1D2	S1D1D3	S1D2D1D1	S1D2D2	S1D2D3
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2013:	0,10%	0,86%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2014:	0,05%	0,49%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2015:	0,00%	0,61%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2016:	0,02%	0,21%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados RIO TALA- 2013:	0,00%	0,92%	-	-	-	0,00%	2,29%	0,00%	0,46%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados RIO TALA- 2014:	0,92%	1,37%	-	-	-	0,00%	4,29%	0,68%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2013:	0,00%	0,44%	-	0,00%	0,00%	0,15%	0,03%	0,00%	0,25%	0,81%	0,00%
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2014:	1,27%	0,00%	-	-	0,00%	0,00%	0,13%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2015:	0,00%	1,84%	-	0,00%	0,00%	0,12%	0,32%	0,15%	0,22%	0,35%	0,00%
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2016:	0,04%	0,61%	-	0,04%	0,00%	0,08%	0,69%	0,00%	0,27%	0,00%	0,04%

Tabla 7.18. Porcentajes de ejes simples direccionales con carga superior a 69 KN- Balanzas ascendentes

AÑOS	PORCENTAJE DE EJES DIRECCIONALES SOBRECARGADOS $P_i > 69$ KN- BALANZAS DESCENDENTES										
	S1D1	S1D2	S1D1D1	S1D1D1D1	S1D1D1D1D1	S1D1D2	S1D1D1D2	S1D1D3	S1D2D1D1	S1D2D2	S1D2D3
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2013:	0,55%	0,18%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2014:	0,00%	0,63%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2015:	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados COLASTINE- 2016:	0,00%	0,27%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados RIO TALA- 2013:	0,00%	0,63%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,12%	0,00%	0,22%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados RIO TALA- 2014:	0,26%	0,61%	-	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,00%	0,12%	0,00%	1,14%
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2013:	0,00%	0,00%	-	-	-	0,00%	0,20%	0,75%	2,08%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2014:	0,00%	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	0,34%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2015:	0,00%	0,00%	-	0,00%	-	0,22%	0,25%	0,00%	4,03%	1,69%	0,00%
Cantidad de vp censados MARGARITA BELEN- 2016:	0,00%	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	0,51%	0,68%	2,38%	2,06%	0,00%

Tabla 7.19. Porcentajes de ejes simples direccionales con carga superior a 69 KN- Balanzas descendentes

Se observa claramente que si se limita a 69 KN (7,0 tn) la carga máxima en el eje direccional, se comprueba que la mayor parte de las configuraciones no sobrepasan dicho valor. En este sentido se entiende que esta última carga es más representativa que el valor fijado en la Ley 24449, más aún si se considera el aumento de la potencia de los motores para cumplir con la relación Peso/Potencia de 4,25 reglamentada desde el año 2000. Sin lugar a dudas la demanda de una flota de camiones de mayor potencia que amerita el cumplimiento de la Ley, repercute principalmente en el peso del eje direccional, demostrado claramente en los resultados obtenidos.

7.2.4. DETERMINACIÓN DE LOS ESPECTROS DE CARGA

Para cada configuración de camión se determinaron los espectros de carga por año y configuración (Anexo I), mediante los cuales es factible comparar la tendencia del transporte de mercaderías a lo largo del período analizado así como también corroborar como repercute en los pesajes la variación estacional de comercialización.

En las balanzas “Colastiné” los Camiones de configuración S1D1 se caracterizan por presentar un pico de frecuencia de pesos, concentrando el eje simple dual 15% de las cargas en el rango de 4 tn a 5 tn.

En el caso de la configuración S1D2, las cargas del eje tándem se encuentran distribuidas uniformemente en el rango de 10 tn a 18 tn, presentando un pico de 12% en el rango de 6 tn a 8 tn.

En la configuración S1D1D1D2 se verifica que tanto el eje simple dual como el tándem presentan dos picos estacionales de cargas. Por el lado del eje simple dual, las cargas mínimas concentran aproximadamente el 5% de los ejes, siendo el rango de variación de 3 tn a 4 tn. Por el lado de las mayores cargas, las mismas se caracterizan por presentarse en el 10% de las mediciones, en el intervalo comprendido entre 9 tn a 11 tn. En el eje tándem se repite la tendencia de la estacionalidad o temporalidad de cargas, en el caso del eje descargado aproximadamente el 25% de las cargas se encuentra en el intervalo de 4 tn a 6 tn. Por el lado del eje cargado, el 20% de las mediciones se presenta en el rango de 17 tn a 19 tn.

En los camiones S1D1S3, la estacionalidad de las cargas es también manifiesta, los ejes descargados durante el período 2015- 2016 superan el 20% de las mediciones, asociados al rango de cargas de 4 tn a 6 tn. Caso contrario, los ejes cargados alcanzan un pico de 10%, pero en el rango de 24 tn a 26 tn.

La configuración S1D2D3 no presenta una marcada estacionalidad de cargas, predominando en todos los ejes un solo pico. Tanto los ejes tándem como tridem alcanzan similares rangos de porcentajes, comprendidos entre 20% y 25%. Si se asocian a cargas, para los ejes tándem el pico varía entre 13 tn y 15tn, para los tridem entre 21 tn y 23tn.

En las balanzas “**Río Tala**”, configuración S1D1, el eje simple dual se distribuye homogéneamente, no superando los picos de poca jerarquía el 10% de las mediciones.

Para la configuración S1D2, el eje tándem también se distribuye homogéneamente, estando las cargas comprendidas en el rango de 7 tn a 17 tn, promediando 6% de ejes auscultados.

Los camiones S1D1D1D2 presentan, a diferencia de las balanzas “Río Colastiné”, un solo pico definido tanto para ejes simples duales como tándem. En el primer caso entre el 5% y el 10% de ejes promedian aproximadamente 10tn. Para el tándem, el 14% de los camiones presentan cargas comprendidas entre 16 tn y 18 tn.

En la configuración S1D1D3, el eje simple presenta un pico entre 8 tn y 10 tn en un porcentaje de camiones auscultados que oscila entre 10% y 15%. En el caso del eje tridem, entre el 14% y el 15% de los ejes pesados se encuentran entre 23 tn y 25 tn.

En el caso de las balanzas “**Margarita Belén**”, en el camión S1D1 se corrobora en el eje simple dual una distribución homogénea, promediando 6% de camiones en el rango 5 tn a 11 tn.

En la configuración S1D2, también se observa una meseta promediando en el eje tándem 6% de camiones entre 8 tn a 19tn.

Los camiones S1D1D1D2 registran picos de estacionalidad tanto en el eje simple dual como en el tándem. En el primer caso entre el 5% y el 12% de camiones se encuentran en el rango de 9 tn a 11 tn. Para los ejes tándem, el 15% de ejes se encuentra entre 17 tn y 19tn.

En la configuración S1D1D3 en ambos ejes se comprueba una distribución amesentada de frecuencias de carga, promediando para el eje simple dual 7% entre 8 tn y 11 tn. El eje tándem presenta un pico de 10% asociado a 24 tn.

7.3. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE CAMIÓN

7.3.1. ANÁLISIS DE LA VARIACION MENSUAL Y ANUAL DE LOS FACTORES DE CAMIÓN

Con los datos provenientes de las balanzas, se ha realizado para cada peso relevado por tipo de camión, el cálculo de los LEF según el método AASHTO 93 y de acuerdo a la formulación propuesta, que considera un ajuste para eje simple direccional, eje simple dual, ejes tándem y

tridem. De esta forma cada rango de cargas tiene asociado el coeficiente correspondiente al factor de carga (LEF). El procedimiento seguido fue el siguiente:

- Se multiplicó el factor LEF característico por la cantidad de ejes que posee cada rango de cargas determinado.
- Posteriormente se sumó cada producto obtenido, dividiendo la sumatoria luego por el total de ejes se obtiene el factor de camión correspondiente a cada mes.

Se reiteran los términos de la formulación propuesta:

$$LEF_{EjeSimpleDireccional} = \left(\frac{P_i}{69,00kN} \right)^4 \quad (7.1)$$

$$LEF_{EjeSimpleDual} = \left(\frac{P_i}{80,00kN} \right)^4 \quad (7.2)$$

$$LEF_{EjeTandem} = \left(\frac{P_i}{147,00kN} \right)^4 \quad (7.3)$$

$$LEF_{EjeTridem} = \left(\frac{P_i}{196,00kN} \right)^4 \quad (7.4)$$

Obtenido el cálculo completo mensual de los LEF para cada frecuencia de aplicación de carga, se procedió a estimar mensualmente el factor de camión por medio del percentil 50. Para esta verificación se aplicó la siguiente formulación:

$$FC_{Marzo2014} = \frac{\sum LEF \times N^{\circ}Ejes}{Total_{ejosMarzo2014}} \quad (7.5)$$

Para la valoración anual y plurianual del factor de camión se consideró el percentil 50.

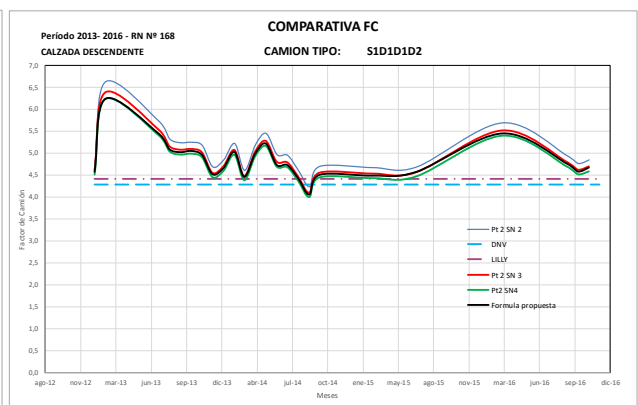
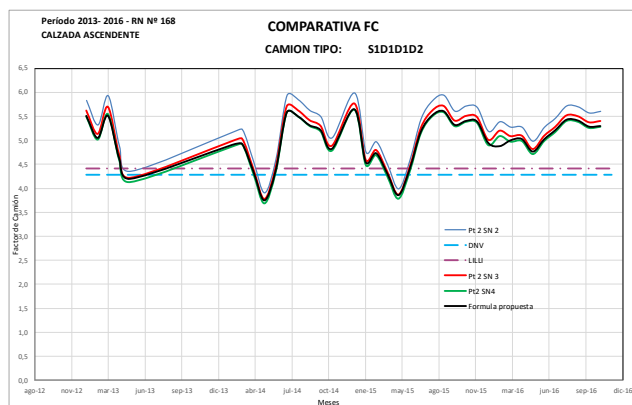
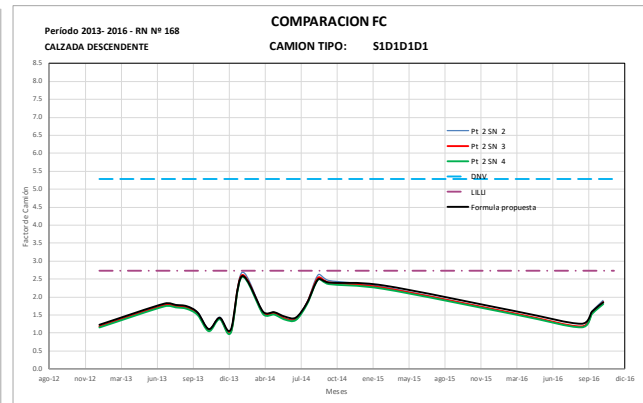
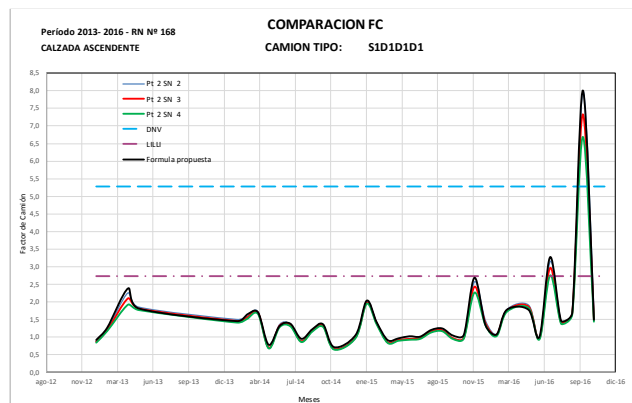
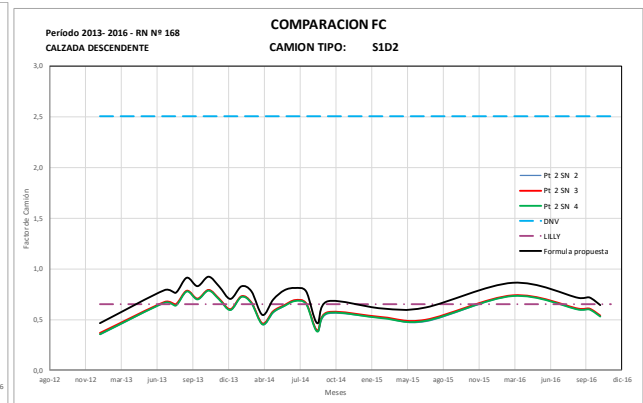
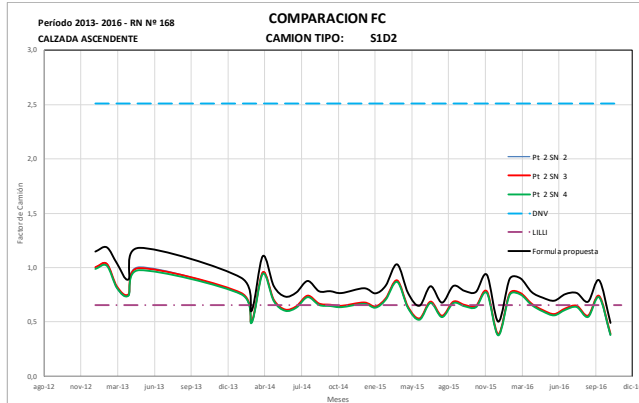
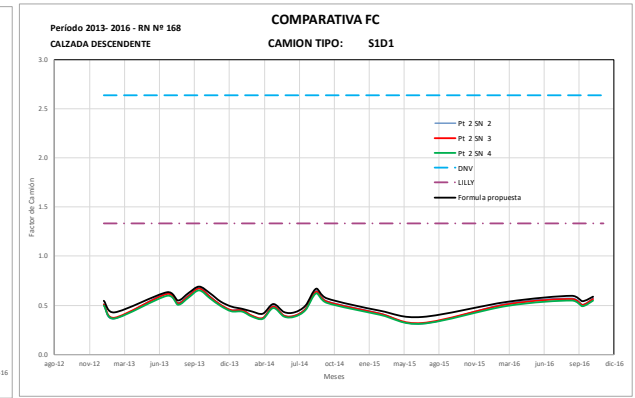
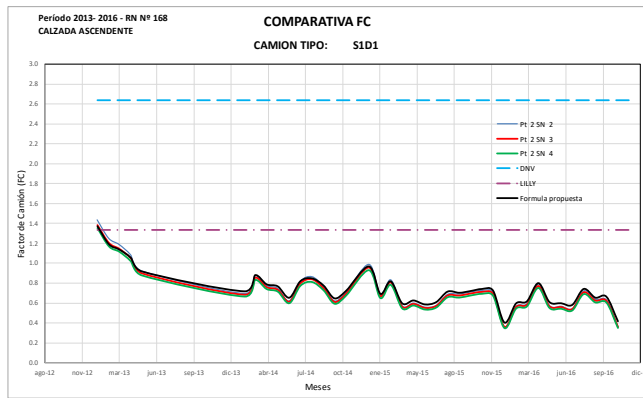
$$FC_{P50} = Percentil_{50} Período_{(2013-2016)} \quad (7.6)$$

A los efectos de visualizar la variación mensual de los factores de camión propuestos, se incorporan a la gráfica los resultados aplicando el criterio de Vialidad Nacional (DNV), Lilli-Lockhart (1997) y Método AASHTO '93. En este último caso para la selección del coeficiente LEF se han adoptado los números estructurales (SN) 2, 3 y 4, y un coeficiente de serviciabilidad final (pt) de 2,0. Para el cálculo final se amplió también la formulación a pt=2,5

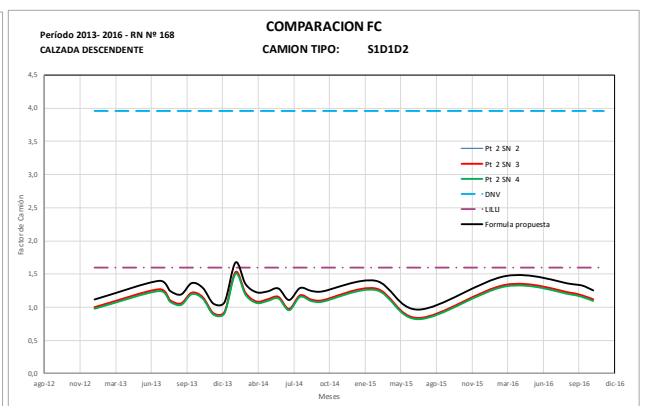
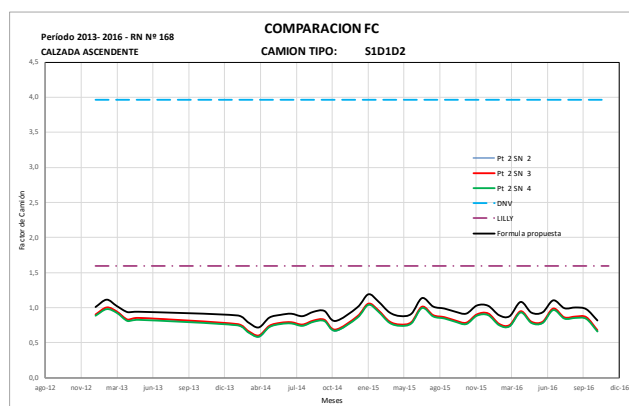
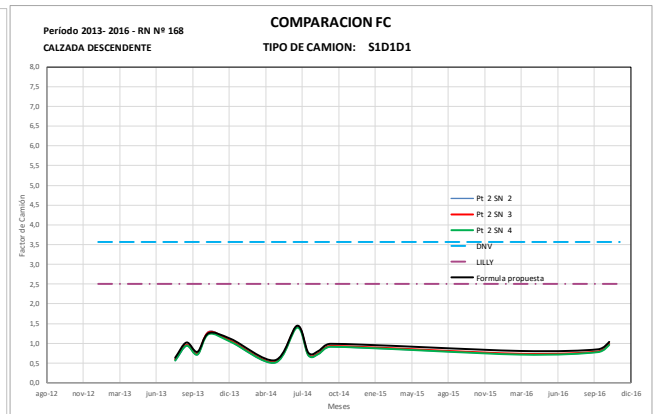
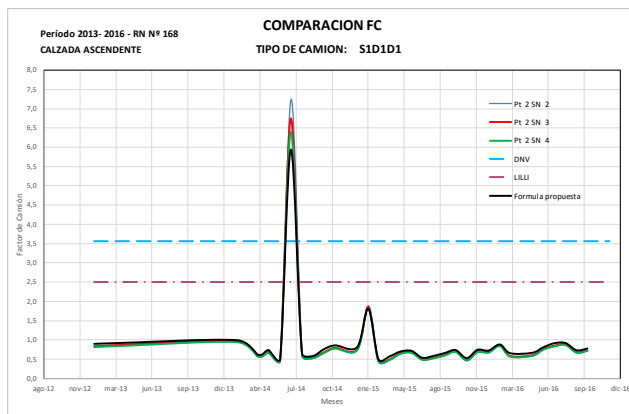
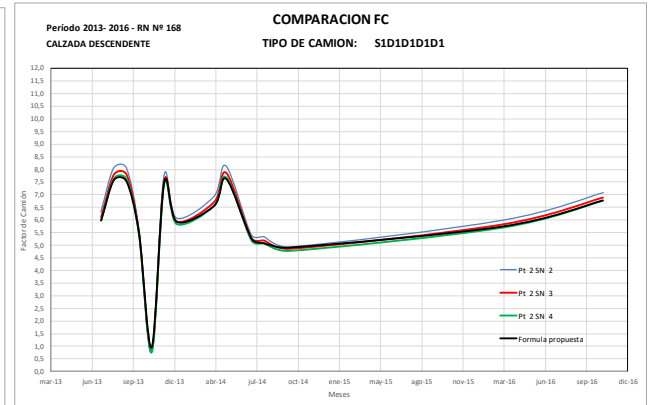
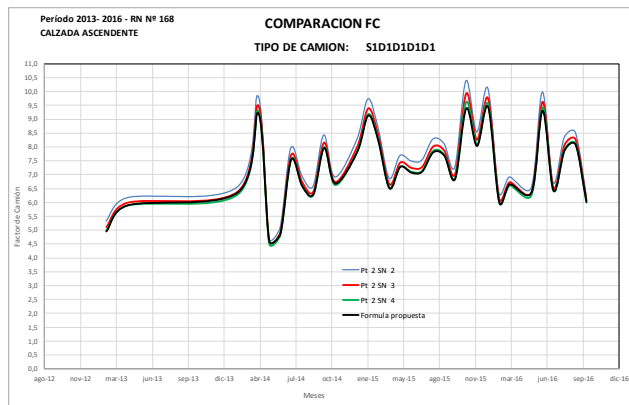
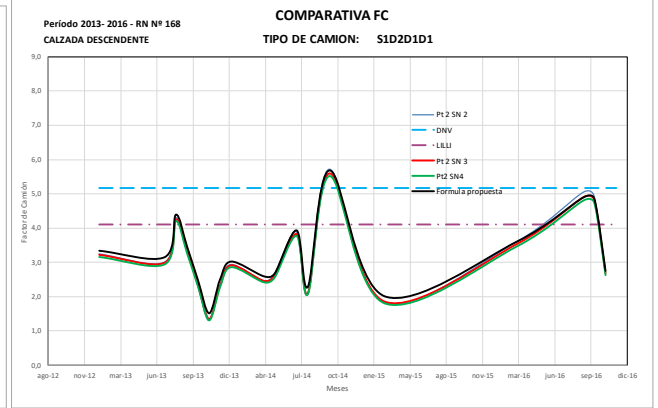
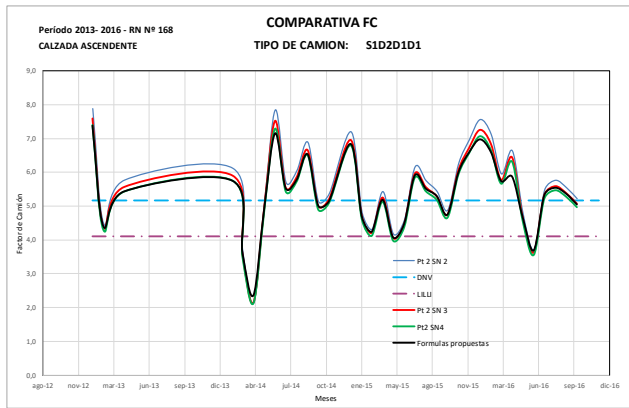
7.3.1.1. Variación Mensual y Anual Balanzas “Colastiné” RN N° 168

Calculados los factores de camión (FC) mensual, se grafican a continuación la variación mensual en el período 2013- 2016 para cada configuración relevada:

MAESTRÍA VIAL- UNR- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2018
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”





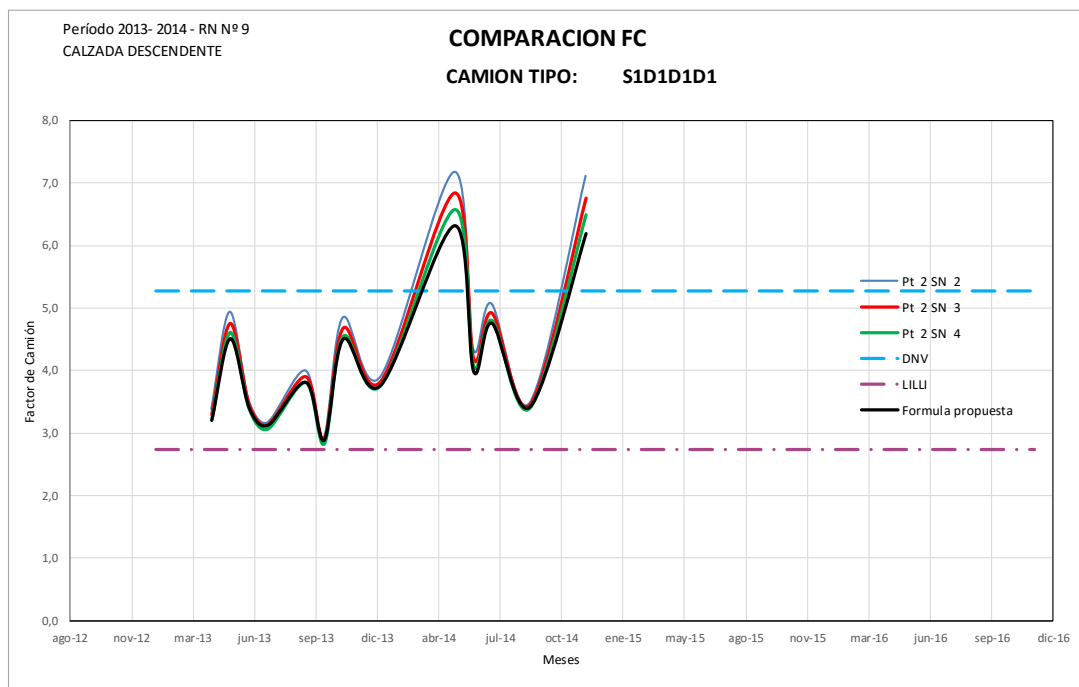
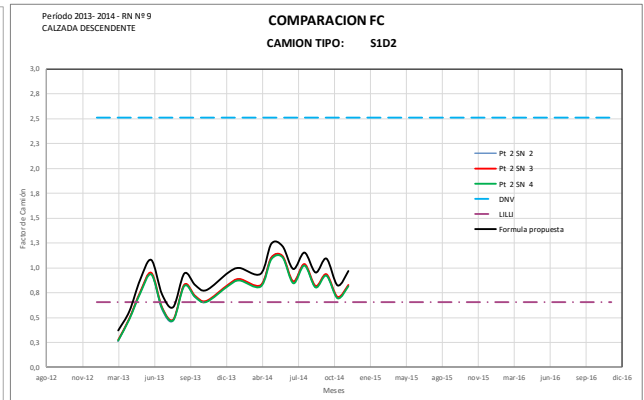
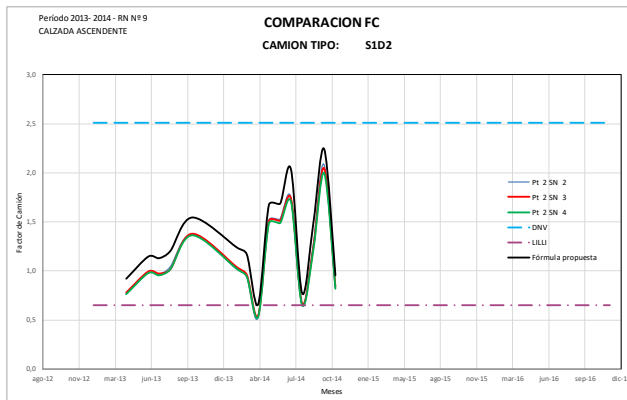
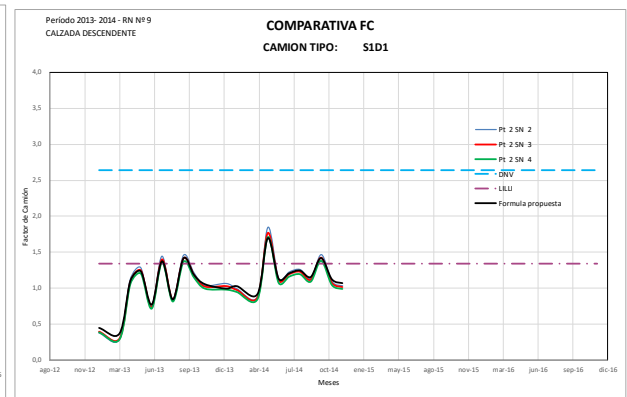
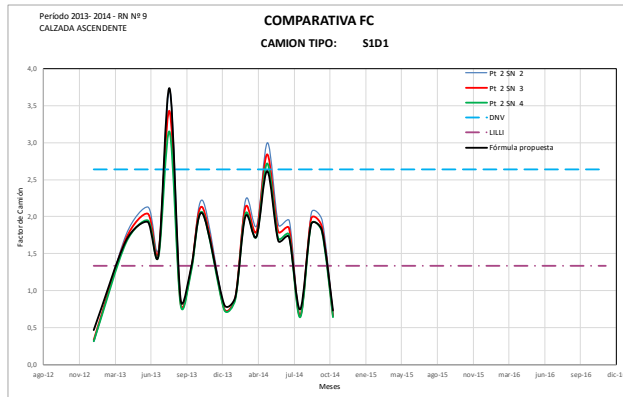
Figuras 7.1. Variación anual factores de camión por configuración, Balanzas “Colastiné”

Se verifica en los gráficos que aproximadamente el 60% de los valores se encuentran comprendidos en los límites superior e inferior delimitados por los factores de Vialidad Nacional y los propios de Lilli Lockhart (1997). En el 10% de los casos superan el uso superior y en el 30% de los casos el inferior.

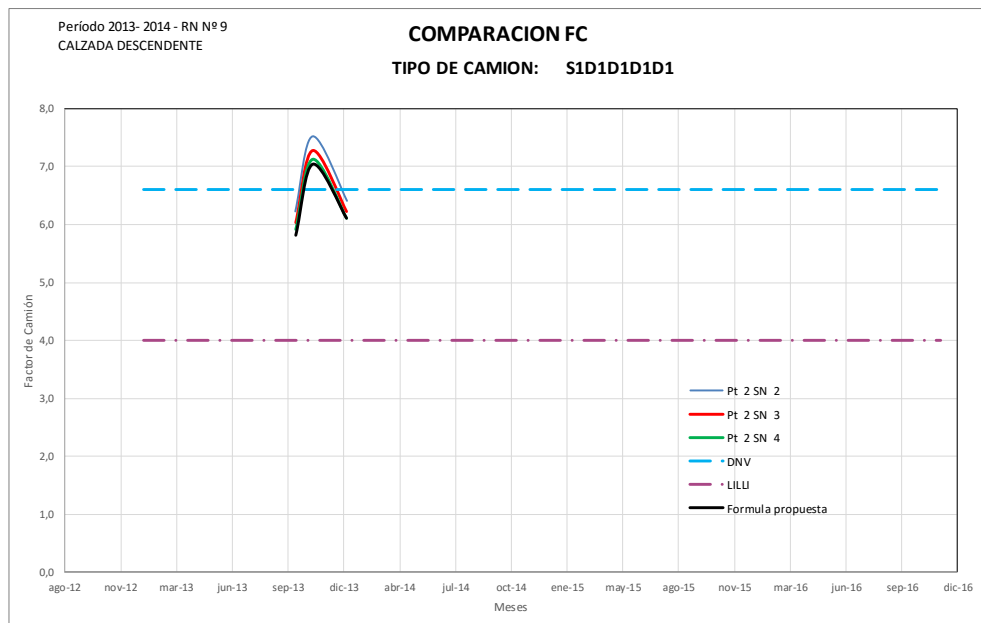
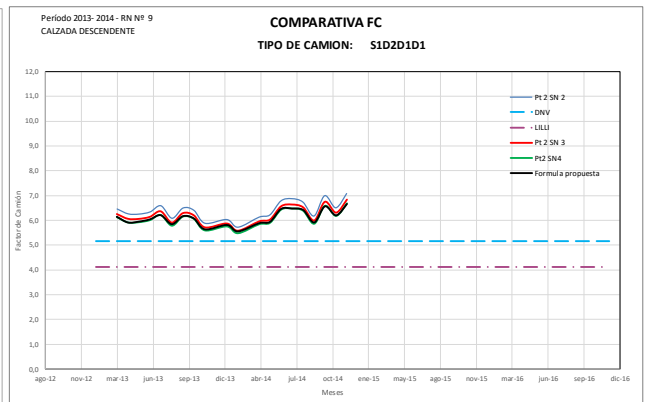
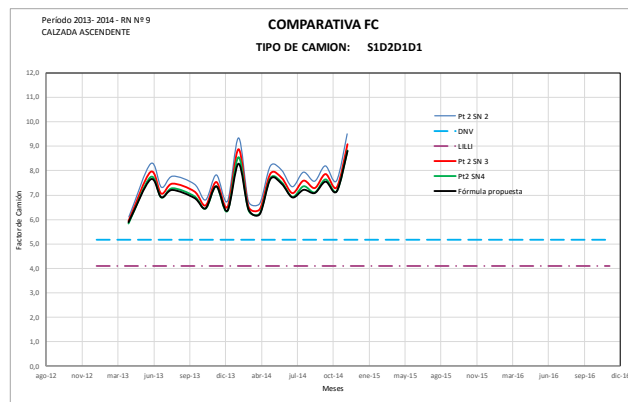
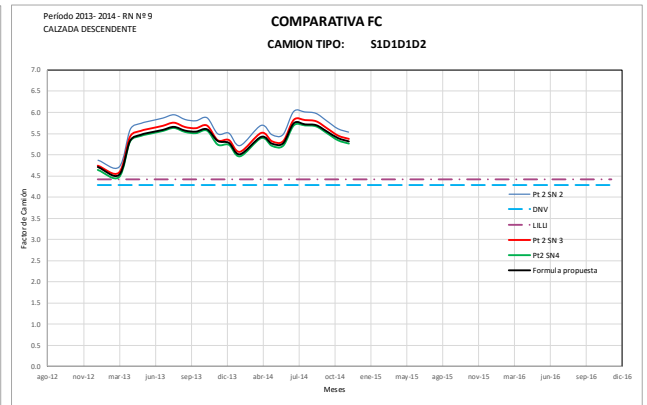
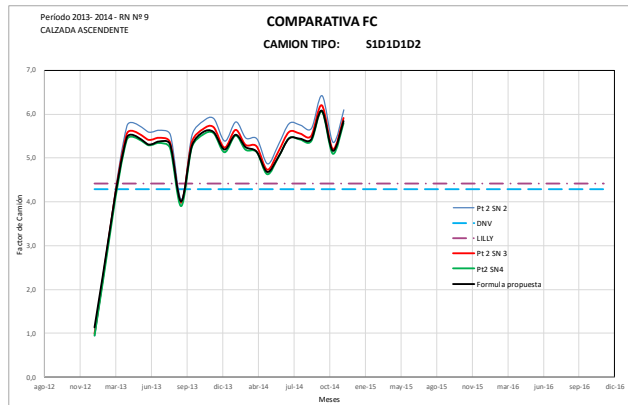
En general se identifican picos de valores durante los meses de marzo- abril de cada año, con algunos puntos bajos coincidentes con los meses de noviembre. En el período 2013- 2016 se verifica una tendencia de leve disminución de los factores de camión.

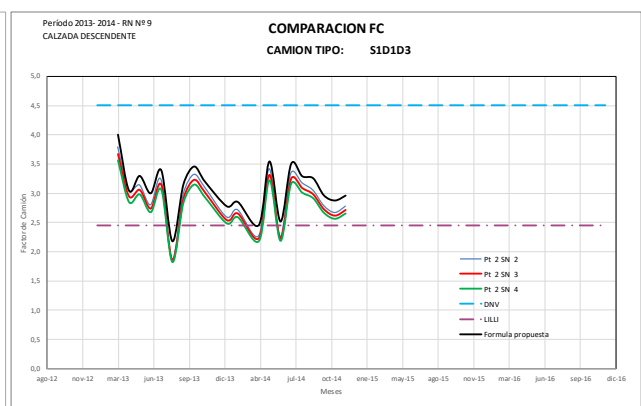
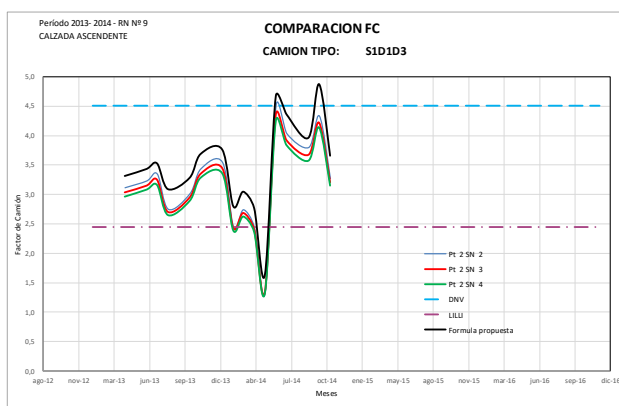
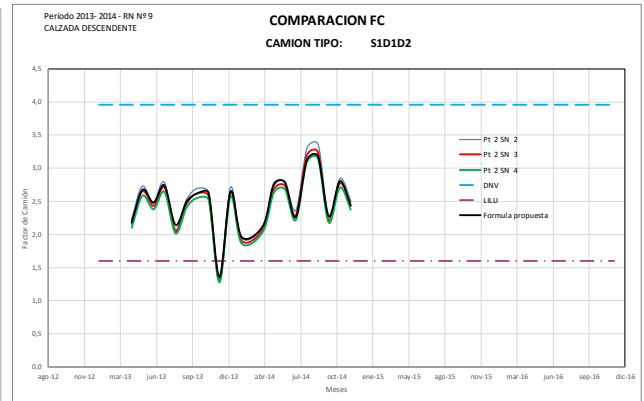
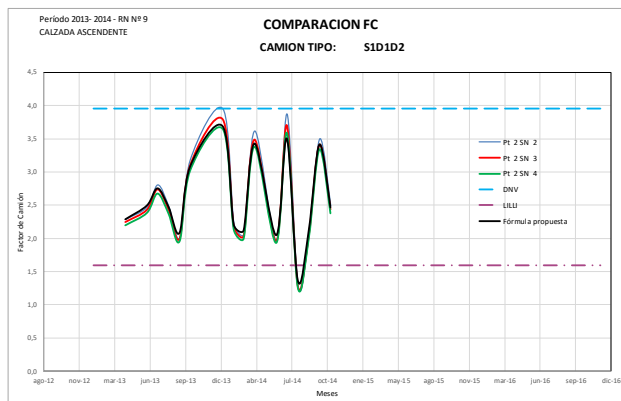
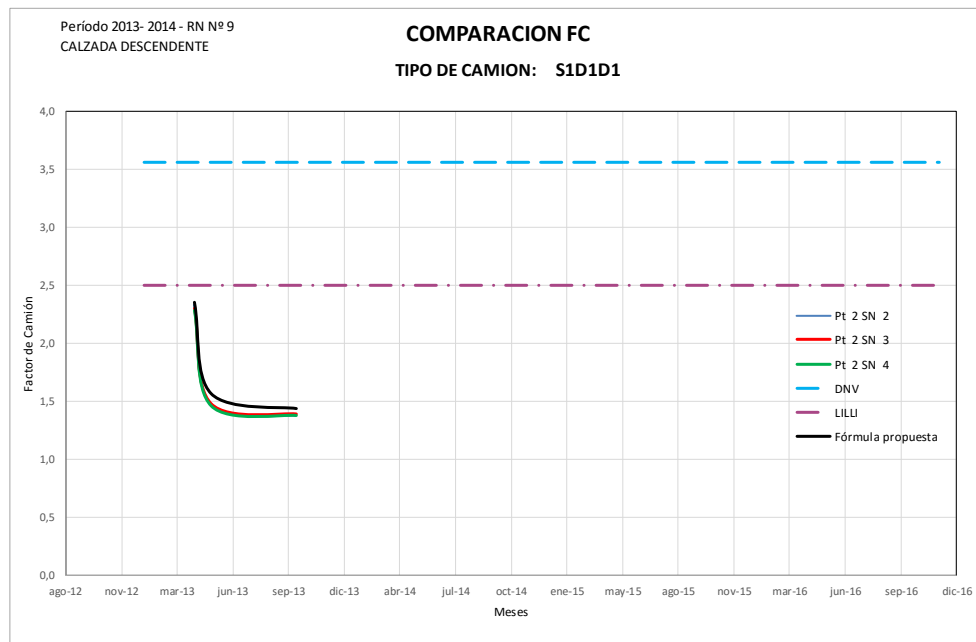
7.3.1.2. Variación Mensual y Anual Balanzas “Río Tala” RN N° 9

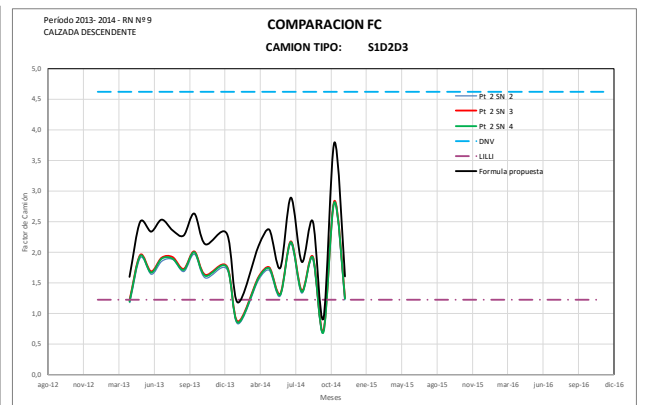
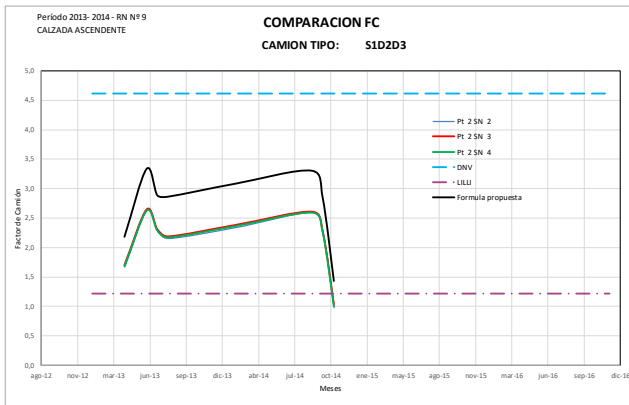
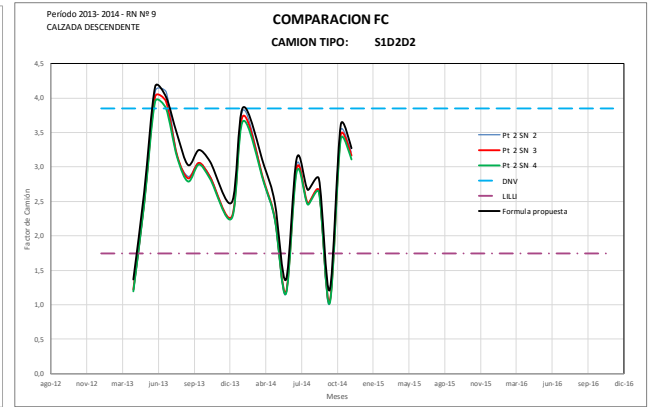
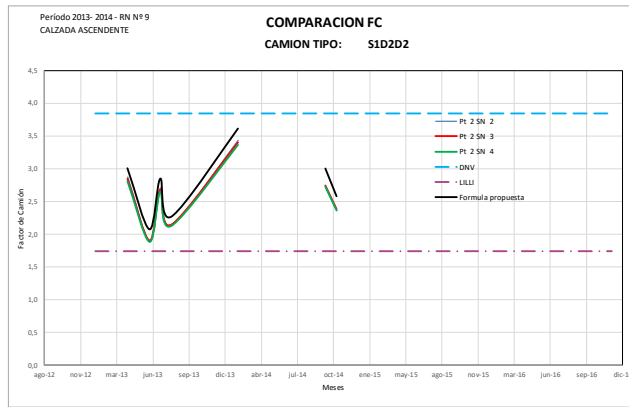
Cabe señalar que sobre esta balanza solo se han trabajado con fajas de datos correspondientes a los años 2013 y 2014, motivo por el cual las series 2015 y 2016 no aparecen en los gráficos.



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”



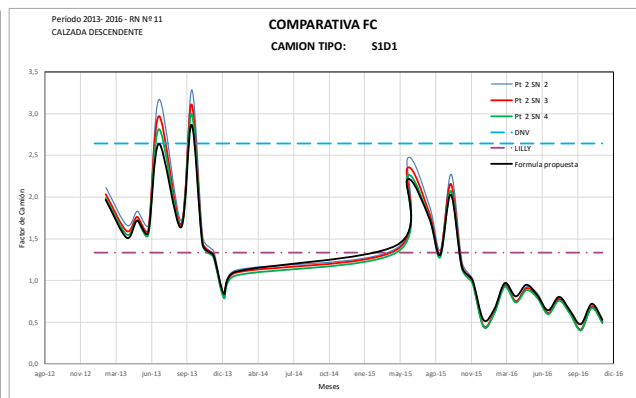
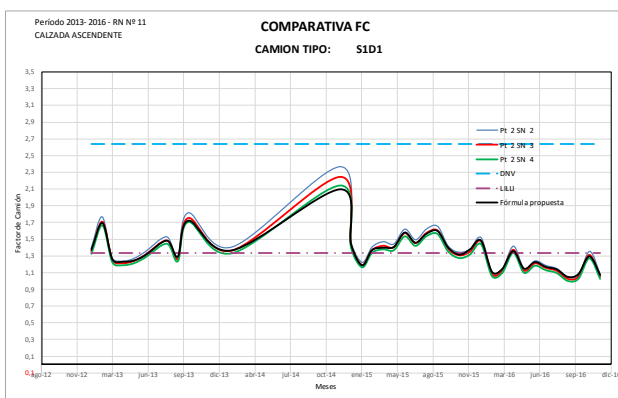




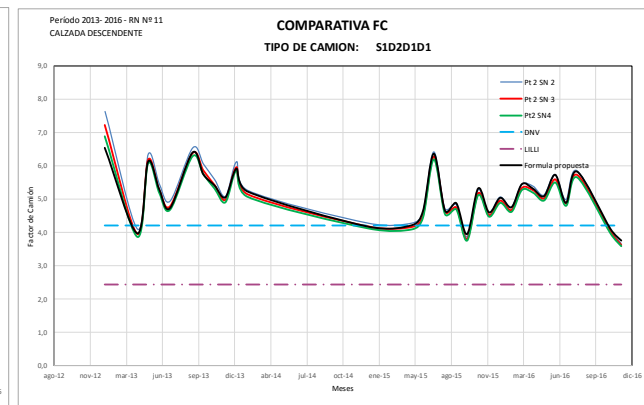
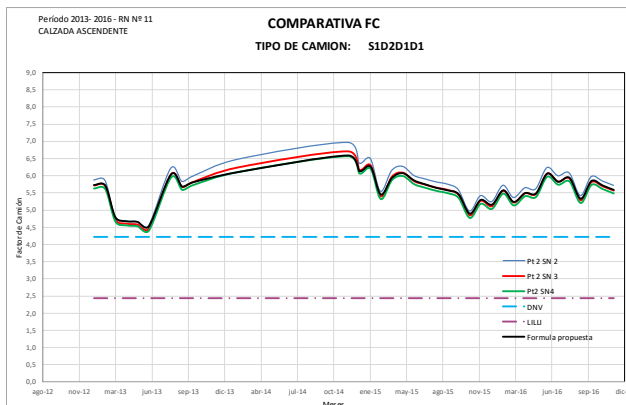
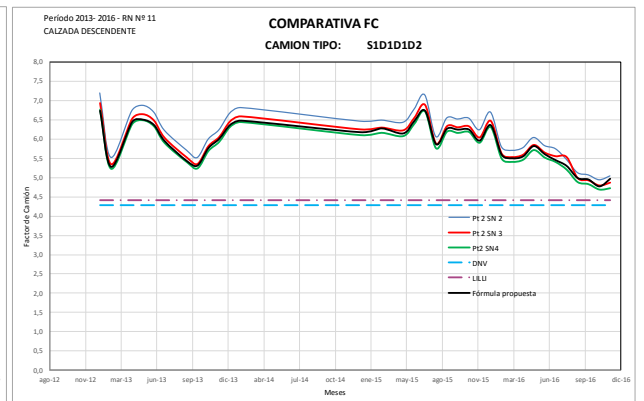
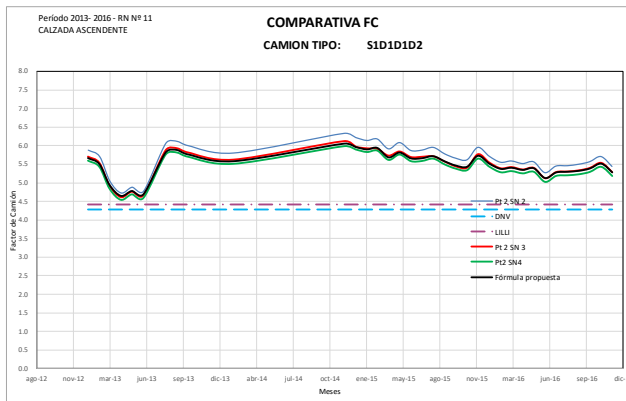
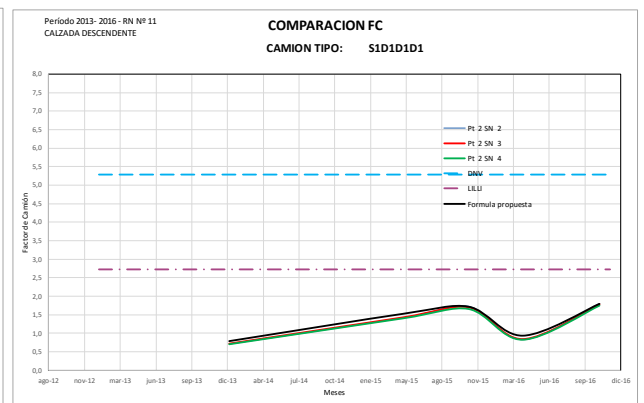
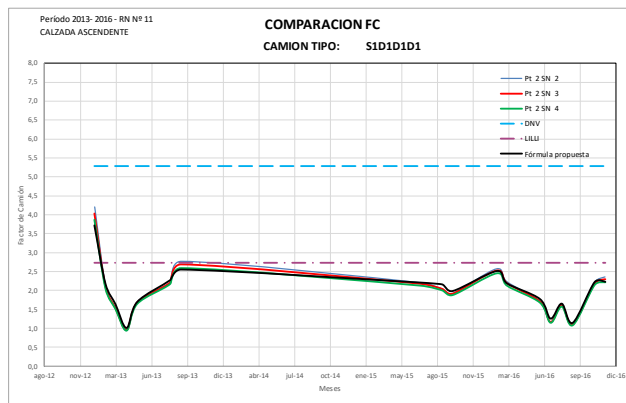
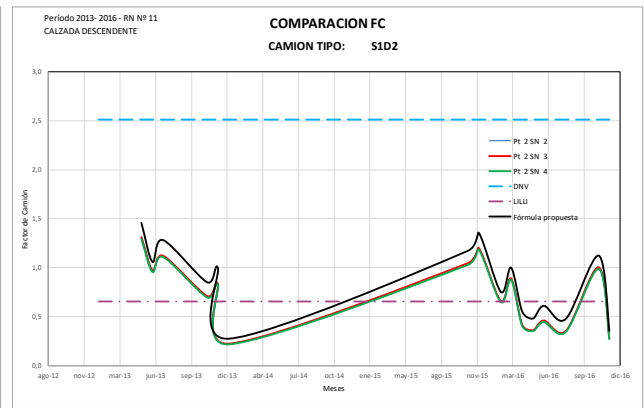
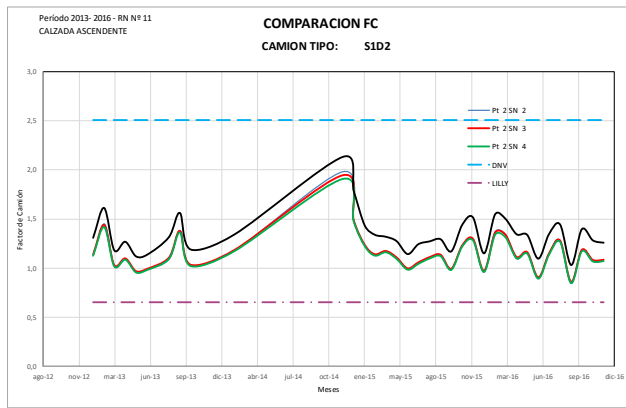
Figuras 7.2. Variación anual factores de camión por configuración, Balanzas “Río Tala”

De los gráficos de variación anual de los factores de camión en las balanzas de la RN N° 9 se verifica que la mayor parte de los factores (55%) se encuentran comprendidos en el rango limitado por los valores de Vialidad Nacional y los correspondientes a Lilli- Lockhart. Además se verifica que el 27% de los valores resultan superiores a los valores de la DNV y el 18% son coincidentes o menores con los valores propuestos por Lilli- Lockhart.

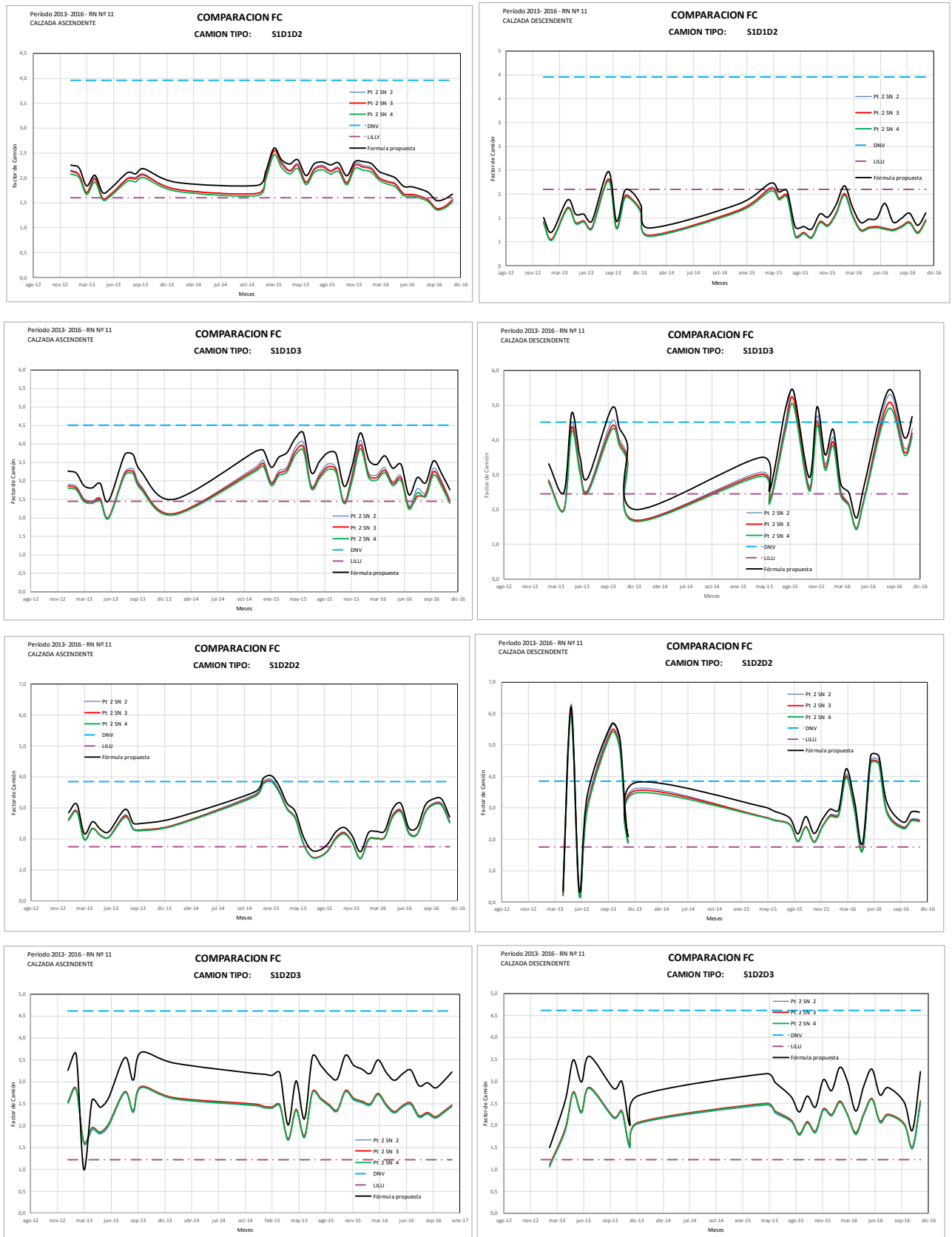
7.3.1.3. Variación Mensual y Anual Balanza “Margarita Belén” RN N° 11



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”



Figuras 7.3. Variación anual factores de camión por configuración, Balanzas “Margarita Belén”

En la balanza de la RN° 11, Margarita Belén, los valores anuales de factores de camión presentan en general una tendencia a valores medios delimitados entre los correspondientes a los de Vialidad Nacional (máximos) y los propios de Lilli- Lockhart (mínimos), totalizando el 67%, el 22% de los resultados se encuentran por encima de los máximos y el 11% por debajo del mínimo ya mencionado.

En esta balanza, al igual que en la RN N° 168, se verifica un leve decremento de los factores de camión en el período 2013- 2016.

7.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CAMIÓN

A los efectos se verificar la relación entre los factores de camión correspondientes a las balanzas ascendentes y descendentes, se compararon los factores de camión obtenidos mediante el Percentil 50, tomando como base de datos el período 2013- 2016, exceptuando en Río Tala que se adopta 2013- 2014.

Por lo tanto se resumen en los puntos procedentes los factores de camión correspondiente entre ambas balanzas y la relación de factores.

7.3.2.1. Variación de los Factores de Camión Balanza “Colastiné” RN N° 168

	FACTORES DE CAMIÓN								Relacion BD/BA (%)
	BALANZA ASCENDENTE (BA)				BALANZA DESCENDENTE (BD)				
	Percentil 50- pt = 2,0				Percentil 50- pt = 2,0				
Configuración	SN			F. Propuesta	SN			F. Propuesta	
	2	3	4		2	3	4		
Balanza Colastiné- RN N° 168- km 10,44- Tramo: B/N RP N°1- ACC. TUNEL SUBFLUVIAL- Sección: km 5,29- km 14,79									
S1D1	0.70	0.69	0.67	0.72	0.55	0.54	0.53	0.57	79.92%
S1D2	0.66	0.67	0.66	0.78	0.63	0.64	0.63	0.76	97.48%
S1D1D1D1	1.35	1.32	1.23	1.32	1.57	1.55	1.51	1.60	120.75%
S1D1D1D2	5.35	5.17	5.05	5.03	4.95	4.79	4.69	4.73	94.07%
S1D2D1D1	5.54	5.38	5.28	5.36	2.97	2.95	2.90	3.09	57.64%
S1D2D1D2									
S1D1D1D1D1	7.11	6.88	6.76	6.75	6.19	6.02	5.91	5.95	88.11%
S1D1D1	0.66	0.68	0.66	0.73	0.78	0.80	0.78	0.85	115.34%
S1D1D2	0.81	0.82	0.80	0.94	1.11	1.12	1.09	1.25	133.05%
S1D1D3	2.29	2.26	2.21	2.60	3.40	3.33	3.26	3.76	144.82%
S1D2D2	0.87	0.90	0.89	1.12	1.61	1.65	1.63	1.96	174.08%
S1D2D3	2.07	2.11	2.10	2.73	1.75	1.79	1.77	2.34	85.99%

Tabla 7.20. Comparación factores de camión balanzas “Colastiné”

En esta balanza, que agrupa ascendente y descendente) se detecta en general un valor de factor de camión (FC) superior en los camiones semirremolques de la calzada descendente, típico del transporte internacional, que suelen dirigirse hacia países limítrofes o puertos de la Provincia. Los camiones con acoplados presentan un valor superior de FC de la calzada ascendente respecto a la descendente. En el caso de los camiones asociados al transporte cerealero no se verifica una jerarquización entre ambas balanzas, por lo contrario, equilibrio en general.

7.3.2.2. Variación de los Factores de Camión Balanza “Río Tala” RN N° 9

Configuración	FACTORES DE CAMIÓN								Relacion BD/BA (%)
	BALANZA ASCENDENTE (BA)				BALANZA DESCENDENTE (BD)				
	Percentil 50- pt = 2,0				Percentil 50- pt = 2,0				
	SN			F.	SN			F.	
	2	3	4	Propuesta	2	3	4	Propuesta	
Balanza Río Tala- RN N° 9- km 152,50- Tramo: B/N R.P.41 - INT.R.N.A023 (D) (ACC.A RIO TALA)- Sección: km 141,51- km 153,55									
S1D1	1.88	1.79	1.70	1.67	1.12	1.09	1.06	1.12	67.18%
S1D2	1.02	1.01	1.02	1.20	0.82	0.83	0.81	0.95	78.97%
S1D1D1D1					4.01	3.90	3.91	3.81	
S1D1D1D2	5.59	5.41	5.29	5.31	5.72	5.54	5.42	5.45	102.52%
S1D2D1D1	7.58	7.32	7.16	7.14	6.38	6.17	6.03	6.05	84.79%
S1D2D1D2									
S1D1D1D1D1					6.42	6.23	6.11	6.11	
S1D1D1					1.47	1.48	1.46	1.57	
S1D1D2	2.48	2.43	2.37	2.47	2.58	2.52	2.47	2.56	103.44%
S1D1D3	3.25	3.18	3.12	3.48	3.02	2.93	2.84	3.10	89.22%
S1D2D2	2.71	2.70	2.64	2.85	2.86	2.83	2.79	3.03	106.31%
S1D2D3	2.27	2.30	2.28	2.87	1.68	1.73	1.71	2.30	80.19%

Tabla 7.21. Comparación factores de camión balanzas “Río Tala”

En esta balanza se manifiesta similitudes de factores de camión entre ambas calzadas, lo que estaría indicando equilibrio en el trasporte de cargas entre las Provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba.

7.3.2.3. Variación de los Factores de Camión Balanza “Margarita Belén” RN N° 11

				FACTORES DE CAMIÓN						Relacion BD/BA (%)	
				BALANZA ASCENDENTE (BA)			BALANZA DESCENDENTE (BD)				
				Percentil 50- pt = 2,0			Percentil 50- pt = 2,0				
Configuración	SN			F. Propuesta	SN			F. Propuesta			
	2	3	4		2	3	4				
Balanza Margarita Belén- RN N° 11- km 1041,00- Tramo: Int. RN N° 16- Int. RP 90- Sección: km 1007,79- km 1044,76											
S1D1	1.38	1.35	1.31	1.36	1.17	1.14	1.10	1.13	83.45%		
S1D2	1.14	1.14	1.29	1.32	0.76	0.77	0.76	0.92	70.22%		
S1D1D1D1	2.07	2.07	2.03	2.17	1.42	1.43	1.40	1.52	70.25%		
S1D1D1D2	5.71	5.54	5.43	5.51	6.24	6.04	5.91	5.96	108.17%		
S1D2D1D1	5.83	5.68	5.58	5.68	5.10	5.00	5.76	5.08	89.39%		
S1D2D1D2											
S1D1D1D1D1											
S1D1D1											
S1D1D2	2.01	1.98	1.93	2.08	0.89	0.91	0.89	1.08	51.73%		

Configuración		FACTORES DE CAMIÓN								Relacion BD/BA (%)
		BALANZA ASCENDENTE (BA)				BALANZA DESCENDENTE (BD)				
		Percentil 50- pt = 2,0				Percentil 50- pt = 2,0				
		SN			F.	SN			F.	
		2	3	4	Propuesta	2	3	4	Propuesta	
S1D1D3		3.14	3.07	3.00	3.41	3.28	3.19	3.11	3.56	104.31%
S1D2D2		2.32	2.33	2.31	2.51	2.66	2.66	2.65	2.91	115.86%
S1D2D3		2.43	2.46	2.45	3.19	2.21	2.25	2.23	2.84	89.06%

Tabla 7.22. Comparación factores de camión balanzas “Margarita Belén”

En “Margarita Belén”, se observa un mayor predominio de los camiones cargados en la calzada ascendente respecto a la descendente. El factor de camión es superior en seis (6) de las nueve (9) configuraciones auscultadas.

7.3.3. COMPARACIÓN DE LOS FACTORES DE CAMIÓN RESPECTO A LOS MÉTODOS TRADICIONALES DE CÁLCULO

Como se expresó en el marco teórico, se realizó la comparación de los factores de camión respecto a procedimientos de cálculo aplicados en el ámbito del país, fundamentalmente en la Dirección Nacional de Vialidad. Para tal fin se adoptaron los siguientes procedimientos:

- Método AASHTO 93: SN 2, 3 y 4; pt = 2,0 y 2,5
- Valores de FC adoptados por Vialidad Nacional.
- Valores de FC ajustados por los autores Lilli- Lockhart a partir de los trabajos de los años 1995 y 1997.
- Fórmula propuesta (FP).

Los resultados se expresan en la tabla y gráficos inferiores, considerando por separado la ubicación de la balanza, sea ascendente o descendente.

7.3.3.1. Comparación Factores de Camión Balanza “Colastiné” RN N° 168

BALANZA "COLASTINE ASCENDENTE" - RN N° 168							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lilli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lilli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lilli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,0	AASHTO SN=3 pt = 2,0	AASHTO SN=4 pt = 2,0	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	0,699	0,688	0,670	0,718
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	0,663	0,670	0,658	0,785
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	1,346	1,324	1,229	1,326
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	5,355	5,171	5,054	5,032
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	5,546	5,385	5,278	5,364
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1						7,113	6,883	6,763	6,755
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499	0,660	0,683	0,664	0,736
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	0,809	0,823	0,802	0,941
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	2,291	2,256	2,211	2,598
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	0,867	0,905	0,887	1,125
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	2,073	2,114	2,096	2,727

Tabla 7.23. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza ascendente “Colastiné”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

BALANZA "COLASTINE ASCENDENTE"- RN N° 168							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,5	AASHTO SN=3 pt = 2,5	AASHTO SN=4 pt = 2,5	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	0,709	0,688	0,648	0,718
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	0,690	0,711	0,682	0,785
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	1,365	1,325	1,216	1,326
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	5,249	4,851	4,622	5,032
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	5,455	5,098	4,890	5,364
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1						6,972	6,480	6,244	6,755
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499	0,704	0,755	0,709	0,736
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	0,850	0,880	0,830	0,941
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	2,287	2,214	2,125	2,598
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	0,925	0,984	0,950	1,125
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	2,121	2,214	2,185	2,727

Tabla 7.24. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza ascendente “Colastiné”

BALANZA "COLASTINE DESCENDENTE"- RN N° 168							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,0	AASHTO SN=3 pt = 2,0	AASHTO SN=4 pt = 2,0	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	0,549	0,544	0,528	0,574
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	0,634	0,643	0,632	0,766
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	1,566	1,554	1,515	1,601
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	4,950	4,792	4,692	4,734
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	2,971	2,950	2,903	3,092
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1						6,190	6,024	5,909	5,952
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499	0,778	0,796	0,781	0,848
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	1,112	1,117	1,091	1,252
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	3,403	3,328	3,265	3,763
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	1,613	1,652	1,628	1,959
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	1,749	1,794	1,775	2,345

Tabla 7.25. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza descendente “Colastiné”

BALANZA "COLASTINE DESCENDENTE"- RN N° 168							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,5	AASHTO SN=3 pt = 2,5	AASHTO SN=4 pt = 2,5	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	0,564	0,557	0,523	0,574
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	0,660	0,683	0,659	0,766
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	1,591	1,579	1,510	1,601
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	4,863	4,510	4,299	4,734
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	2,983	2,928	2,840	3,092
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1						6,096	5,713	5,493	5,952
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499	0,820	0,863	0,826	0,848
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	1,145	1,165	1,113	1,252
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	3,368	3,208	3,083	3,763
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	1,667	1,751	1,707	1,959
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	1,806	1,905	1,873	2,345

Tabla 7.26. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza descendente “Colastiné”

BALANZA "COLASTINE ASCENDENTE"- RN N° 168		Comparación entre Factores de Camión de distintos métodos				
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	AASHTO SN=2; pt=2,0/FP	AASHTO SN=3; pt=2,0/ FP	AASHTO SN=4; pt=2,0/ FP	DNV/ FP	LL ₁₉₉₇ / FP
Camiones s/ acoplado	1-1	0,974	0,959	0,934	3,678	1,863
	1-2	0,844	0,852	0,838	3,193	0,831
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	1,016	0,999	0,927	3,983	2,063
	1-1-1-2	1,064	1,028	1,004	0,852	0,878
	1-2-1-1	1,034	1,004	0,984	0,964	0,766
	1-2-1-2					
	1-1-1-1-1	1,053	1,019	1,001		
Camiones semi remolques	1-1-1	0,897	0,928	0,903	4,846	3,398
	1-1-2	0,860	0,875	0,852	4,210	1,699
	1-1-3	0,882	0,868	0,851	1,736	0,942
	1-2-2	0,770	0,804	0,789	3,422	1,551
	1-2-3	0,760	0,775	0,769	1,694	0,448

Tabla 7.27. Relación factores s/distintos métodos de cálculo - Balanza ascendente “Colastiné”

Comparando los factores de camión obtenidos en la balanza Colastiné con los calculados por el método AASHTO 1993, los factores que más se aproximan son aquellos asociados a SN=3 y pt=2,0. Contrastando con los factores de Vialidad Nacional, resultaron inferiores en todas las configuraciones de ejes, promediando en términos de porcentaje una disminución del 60%.

Los factores de Lilli- Lockhart brindaron en la mitad de las configuraciones valores inferiores, razón por lo cual es la metodología que más se aproxima a los resultados obtenidos.

Respecto a las balanzas de “Río Tala” y “Margarita Belén”, los factores de “Colastiné” son inferiores en la mayor parte de las configuraciones.

7.3.3.2. Comparación Factores de Camión Balanza “Río Tala” RN N° 9

BALANZA "RIO TALA ASCENDENTE"- RN N° 9							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lilli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lilli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lilli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,0	AASHTO SN=3 pt = 2,0	AASHTO SN=4 pt = 2,0	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	1,878	1,794	1,705	1,672
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	1,019	1,014	1,017	1,202
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734				
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	5,586	5,411	5,290	5,316
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	7,582	7,319	7,163	7,142
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1									
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499				
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	2,475	2,430	2,374	2,471
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	3,251	3,182	3,120	3,476
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	2,710	2,680	2,646	2,851
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	2,269	2,297	2,280	2,874

Tabla 7.28. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza ascendente “Río Tala”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

BALANZA "RIO TALA ASCENDENTE"- RN N° 9							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,5	AASHTO SN=3 pt = 2,5	AASHTO SN=4 pt = 2,5	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	1,840	1,665	1,503	1,672
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	1,050	1,044	1,020	1,202
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734				
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	5,489	5,111	4,874	5,316
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	7,411	6,840	6,538	7,142
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1									
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499				
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	2,469	2,356	2,245	2,471
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	3,223	3,077	2,920	3,476
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	2,712	2,646	2,590	2,851
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	2,309	2,374	2,344	2,874

Tabla 7.29. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza ascendente “Río Tala”

BALANZA "RIO TALA DESCENDENTE"- RN N° 9							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,0	AASHTO SN=3 pt = 2,0	AASHTO SN=4 pt = 2,0	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	1,118	1,091	1,061	1,123
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	0,820	0,827	0,814	0,949
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	4,010	3,899	3,911	3,808
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	5,720	5,543	5,420	5,450
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	6,376	6,170	6,035	6,056
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1						6,416	6,228	6,113	6,112
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499	1,475	1,483	1,461	1,569
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	2,579	2,525	2,469	2,556
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	3,017	2,928	2,843	3,102
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	2,864	2,832	2,788	3,031
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	1,684	1,728	1,711	2,304

Tabla 7.30. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza descendente “Río Tala”

BALANZA "RIO TALA DESCENDENTE"- RN N° 9							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,5	AASHTO SN=3 pt = 2,5	AASHTO SN=4 pt = 2,5	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	1,117	1,060	1,002	1,123
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	0,845	0,861	0,835	0,949
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	3,958	3,709	3,558	3,808
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	5,620	5,238	4,999	5,450
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	6,252	5,803	5,542	6,056
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1						5,312	5,879	5,651	6,112
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499	1,503	1,518	1,472	1,569
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	2,567	2,453	2,338	2,556
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	2,983	2,802	2,634	3,102
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	2,864	2,832	2,788	3,031
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	1,741	1,845	1,810	2,304

Tabla 7.31. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza descendente “Río Tala”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

BALANZA "RIO TALA ASCENDENTE"- RN N° 9		Comparación entre Factores de Camión de distintos métodos						
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	AASHTO SN=2; pt=2,0/FP	AASHTO SN=3; pt=2,0/ FP	AASHTO SN=4; pt=2,0/ FP	DNV/ FP	LL ₁₉₉₇ / FP	RI/ Colastine	RI/ MB
Camiones s/ acoplado	1-1	1.123	1.073	1.020	1.579	0.799	2.330	1.230
	1-2	0.848	0.844	0.847	2.087	0.543	1.530	0.911
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1							
	1-1-1-2	1.051	1.018	0.995	0.807	0.831	1.056	0.965
	1-2-1-1	1.062	1.025	1.003	0.724	0.576	1.331	1.257
	1-2-1-2							
	1-1-1-1-1							
Camiones semi remolques	1-1-1							
	1-1-2	1.002	0.983	0.960	1.602	0.647	2.627	1.188
	1-1-3	0.935	0.915	0.897	1.297	0.704	1.338	1.020
	1-2-2	0.951	0.940	0.928	1.350	0.612	2.534	1.134
	1-2-3	0.790	0.799	0.794	1.608	0.425	1.054	0.902

Tabla 7.32. Relación factores s/distintos métodos de cálculo - Balanza ascendente “Río Tala”

Comparando los factores de camión obtenidos en la balanza “Río Tala” con los calculados por el método AASHTO, los factores que más se aproximan son aquellos asociados a SN=2 y pt=2,0. Contrastando con los factores de Vialidad Nacional, resultaron inferiores en todas las configuraciones de ejes, promediando en términos de factores una disminución del 20%. Correlacionado los resultados con “Margarita Belén”, el 40% de las configuraciones resulta menor, por lo que se deduce que las cargas entre ambas son bastante similares.

7.3.3.3. Comparación Factores de Camión Balanza “Margarita Belén” RN N° 11

BALANZA "MARGARITA BELEN ASCENDENTE"- RN N° 11							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lilli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lilli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lilli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,0	AASHTO SN=3 pt = 2,0	AASHTO SN=4 pt = 2,0	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	1,380	1,348	1,314	1,359
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	1,136	1,141	1,289	1,318
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	2,067	2,068	2,027	2,169
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	5,707	5,541	5,429	5,511
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	5,832	5,678	5,584	5,683
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1									
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499				
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	2,012	1,981	1,927	2,081
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	3,137	3,072	3,002	3,409
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	2,325	2,329	2,308	2,515
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	2,427	2,464	2,447	3,185

Tabla 7.33. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza ascendente “Margarita Belén”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

BALANZA "MARGARITA BELEN ASCENDENTE"- RN N° 11							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,5	AASHTO SN=3 pt = 2,5	AASHTO SN=4 pt = 2,5	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	1,157	1,171	1,142	1,318
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	0,690	0,711	0,682	0,785
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	2,095	2,089	2,003	2,169
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	5,611	5,246	5,025	5,511
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	5,741	5,399	5,214	5,683
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1									
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499				
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	2,021	1,960	1,851	2,081
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	3,111	2,972	2,793	3,409
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	2,353	2,371	2,322	2,515
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	2,467	2,549	2,519	3,185

Tabla 7.34. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza ascendente “Margarita Belén”

BALANZA "MARGARITA BELEN DESCENDENTE"- RN N° 11							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,0	AASHTO SN=3 pt = 2,0	AASHTO SN=4 pt = 2,0	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	1,172	1,136	1,101	1,134
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	0,758	0,773	0,761	0,926
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	1,421	1,426	1,398	1,523
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	6,241	6,038	5,907	5,961
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	5,105	5,005	5,757	5,080
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1									
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499				
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	0,886	0,910	0,891	1,076
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	3,278	3,191	3,107	3,556
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	2,664	2,663	2,650	2,914
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	2,214	2,246	2,227	2,837

Tabla 7.35. Comparación factores de camión pt=2,0- Balanza descendente “Margarita Belén”

BALANZA "COLASTINE DESCENDENTE"- RN N° 168							PERCENTIL 50			
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	DNV n° de ejes	DNV Factor veh (8,16tn)	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1995- RN N°7	FC (8,16tn) Lillli y Lockhart 1997	AASHTO SN=2 pt = 2,5	AASHTO SN=3 pt = 2,5	AASHTO SN=4 pt = 2,5	Fórmula propuesta
Camiones s/ acoplado	1-1	2	2,64	0,726	0,693	1,337	1,164	1,088	1,047	1,134
	1-2	3	2,51	0,494	0,598	0,653	0,788	0,822	0,796	0,926
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	4	5,28	2,949	2,719	2,734	1,460	1,465	1,406	1,523
	1-1-1-2	5	4,29	4,552	4,595	4,418	6,119	5,675	5,422	5,961
	1-2-1-1	5	5,17	3,967	3,734	4,111	5,051	4,821	4,686	5,080
	1-2-1-2	6	4,22	2,519	3,848	2,437				
	1-1-1-1-1									
Camiones semi remolques	1-1-1	3	3,56	2,622	3,188	2,499				
	1-1-2	4	3,96	1,541	1,642	1,598	0,932	0,978	0,922	1,076
	1-1-3	5	4,51	2,369	2,613	2,447	3,239	3,057	2,895	3,556
	1-2-2	5	3,85	1,693	1,959	1,745	2,675	2,705	2,660	2,914
	1-2-3	6	4,62	1,189	1,377	1,222	2,254	2,305	2,277	2,837

Tabla 7.36. Comparación factores de camión pt=2,5- Balanza descendente “Margarita Belén”

BALANZA "MARGARITA BELEN ASCENDENTE" - RN N° 11		Comparación entre Factores de Camión de distintos métodos					
Tipo de vehículo	Conf. De ejes	AASHTO SN=2; pt=2,0/FP	AASHTO SN=3; pt=2,0/ FP	AASHTO SN=4; pt=2,0/ FP	DNV/ FP	LL ₁₉₉₇ / FP	MB/ Colastine
Camiones s/ acoplado	1-1	0.878	0.888	0.866	2.002	1.014	1.837
	1-2	0.879	0.906	0.868	3.193	0.831	1.000
Camiones c/ acoplado	1-1-1-1	0.966	0.963	0.924	2.435	1.261	1.636
	1-1-1-2	1.018	0.952	0.912	0.778	0.802	1.095
	1-2-1-1	1.010	0.950	0.918	0.910	0.723	1.059
	1-2-1-2						
	1-1-1-1-1						
Camiones semi remolques	1-1-1						
	1-1-2	0.972	0.942	0.889	1.903	0.768	2.212
	1-1-3	0.913	0.872	0.819	1.323	0.718	1.312
	1-2-2	0.936	0.943	0.924	1.531	0.694	2.235
	1-2-3	0.775	0.800	0.791	1.451	0.384	1.168

Tabla 7.37. Relación factores s/distintos métodos de cálculo - Balanza ascendente “Margarita Belén”

En general se observa que la relación entre factores de camión de Vialidad Nacional y los del presente informe tienen concordancia con las otras dos balanzas, siendo en la mayor parte de las configuraciones inferior. En comparación con los de Lilli- Lockhart, el 75% de los percentiles obtenidos de la formulación propuesta lo supera.

Comparando con la balanza de Colastiné, los valores resultan muy superiores en todas las configuraciones, promediando 14%.

En definitiva, se observa que la formulación propuesta, cuyos resultados son bastante congruentes, en términos medios, con los de AASHTO 93, difiere en decremento respecto a un número de ejes equivalentes al legal solo en el eje direccional, como se presenta inferiormente:

Tipo de eje	Cargas en Toneladas		Número de ejes equivalentes al Legal
	Eje legal	Eje de referencia	
Simple rueda Simple (Direccional)	6,0	7,0	0,5
Simple rueda dual	10,5	8,2	2,7
Tanden dual	18,0	15,0	2,1
Tridem dual	25,5	20,0	2,6

Tabla 7.38. Relación cargas legales vs ejes de referencia propuestos

7.3.3.4. Gráficos Comparación Factores de Camión Balanza “Margarita Belén” RN N° 11

En los gráficos inferiores se comparan los factores de camión calculados con las metodologías adoptadas:

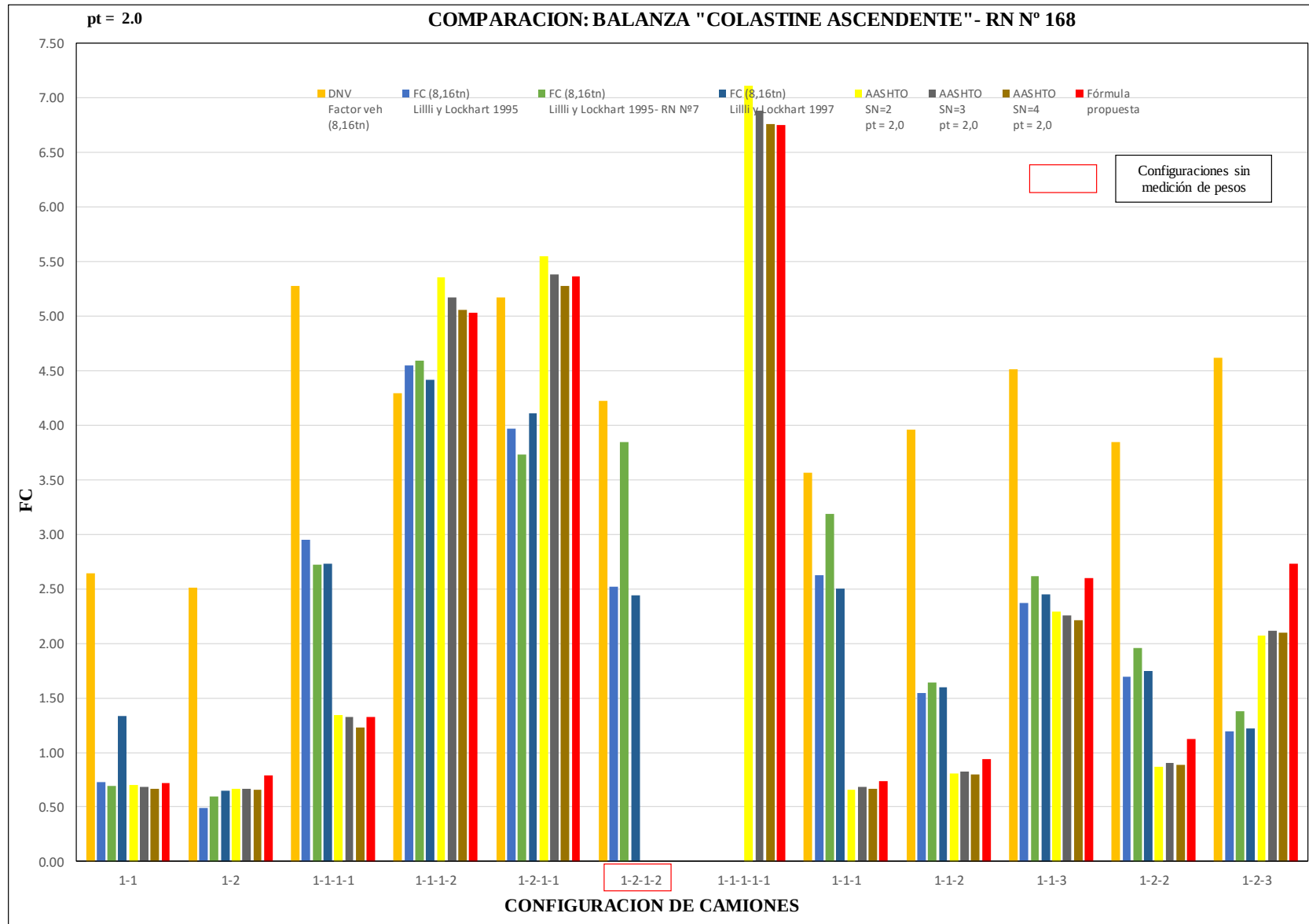


Figura 7.4. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza ascendente “Colastiné”

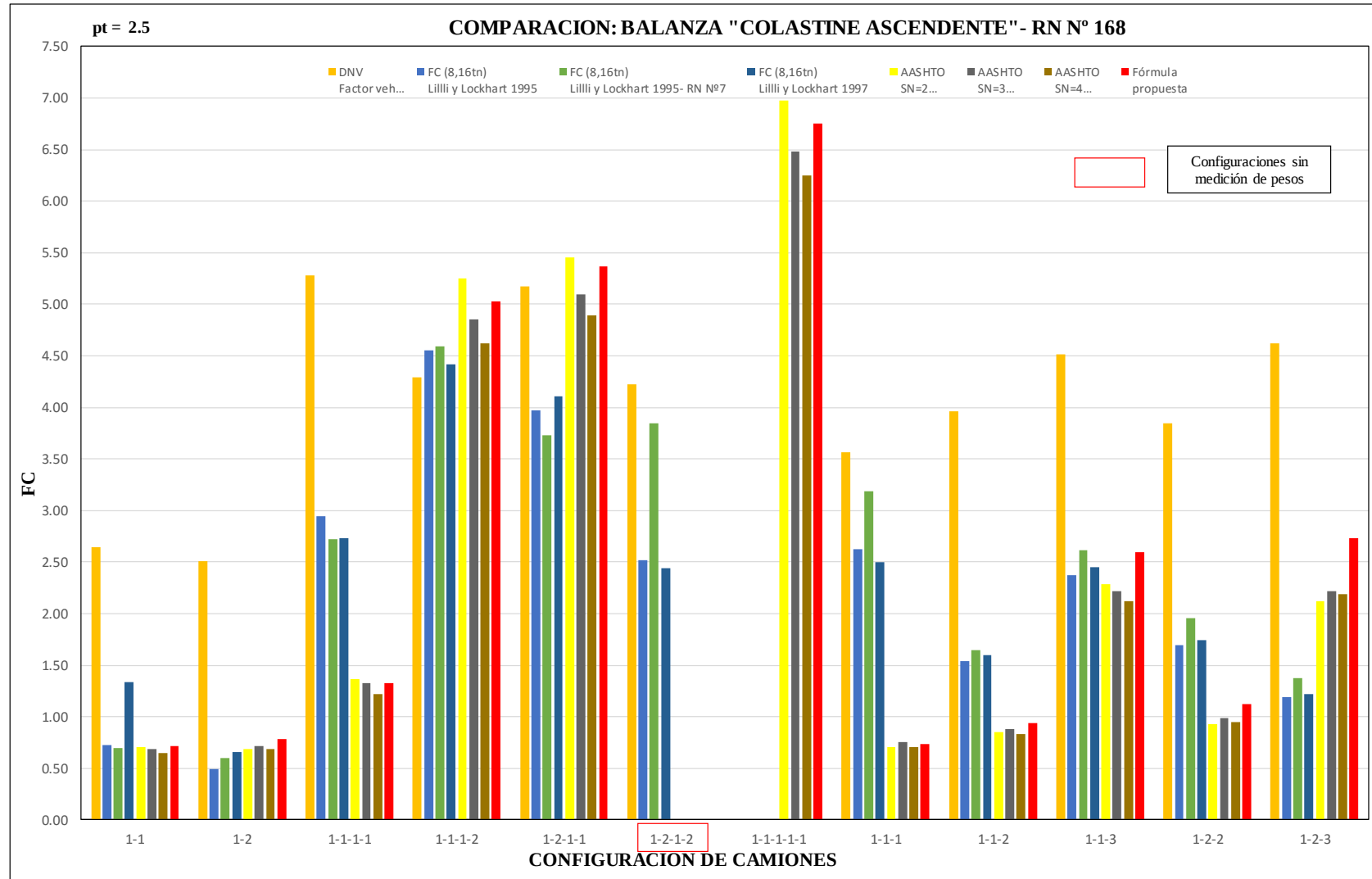


Figura 7.5. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza ascendente “Colastiné”

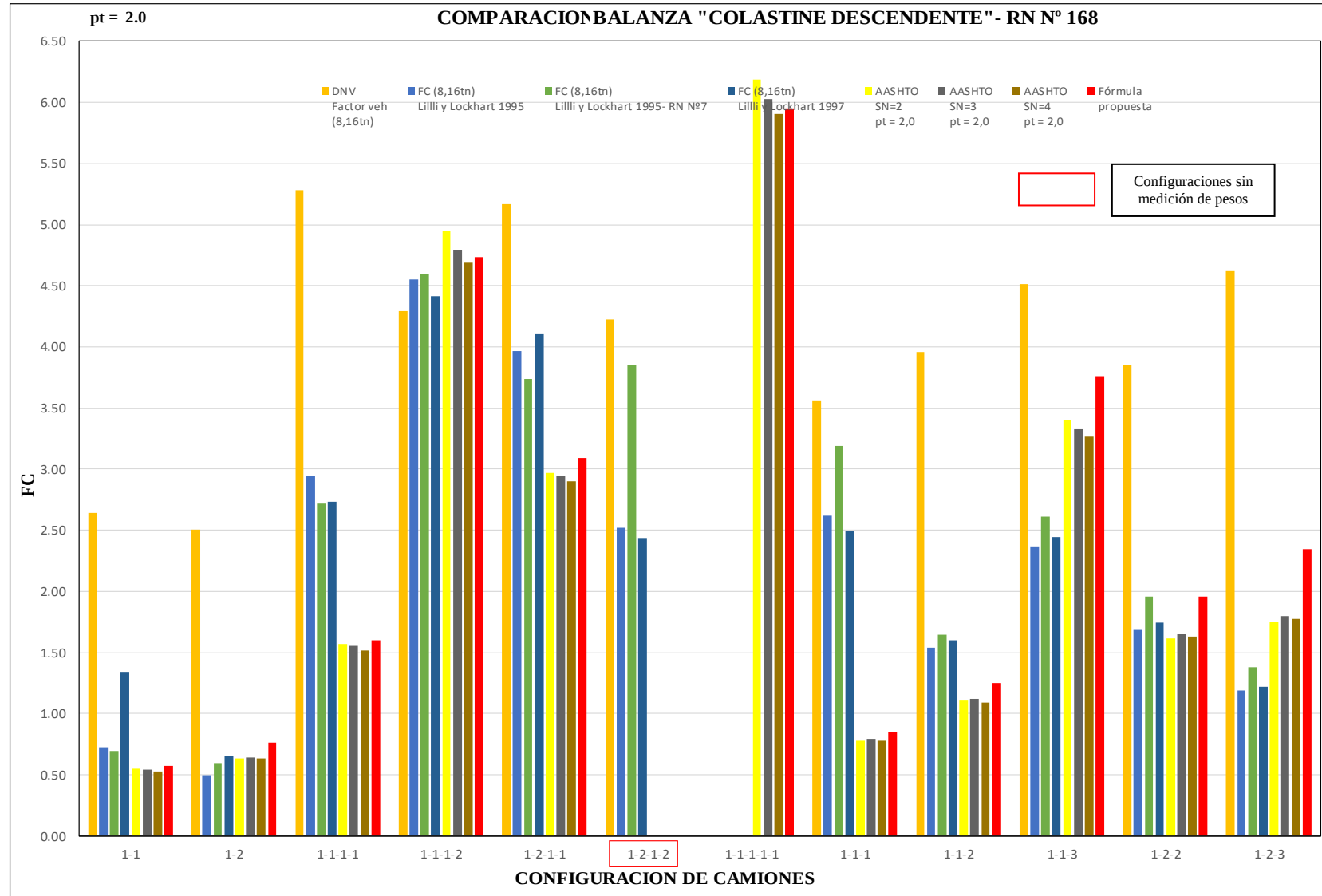


Figura 7.6. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza descendente “Colastiné”

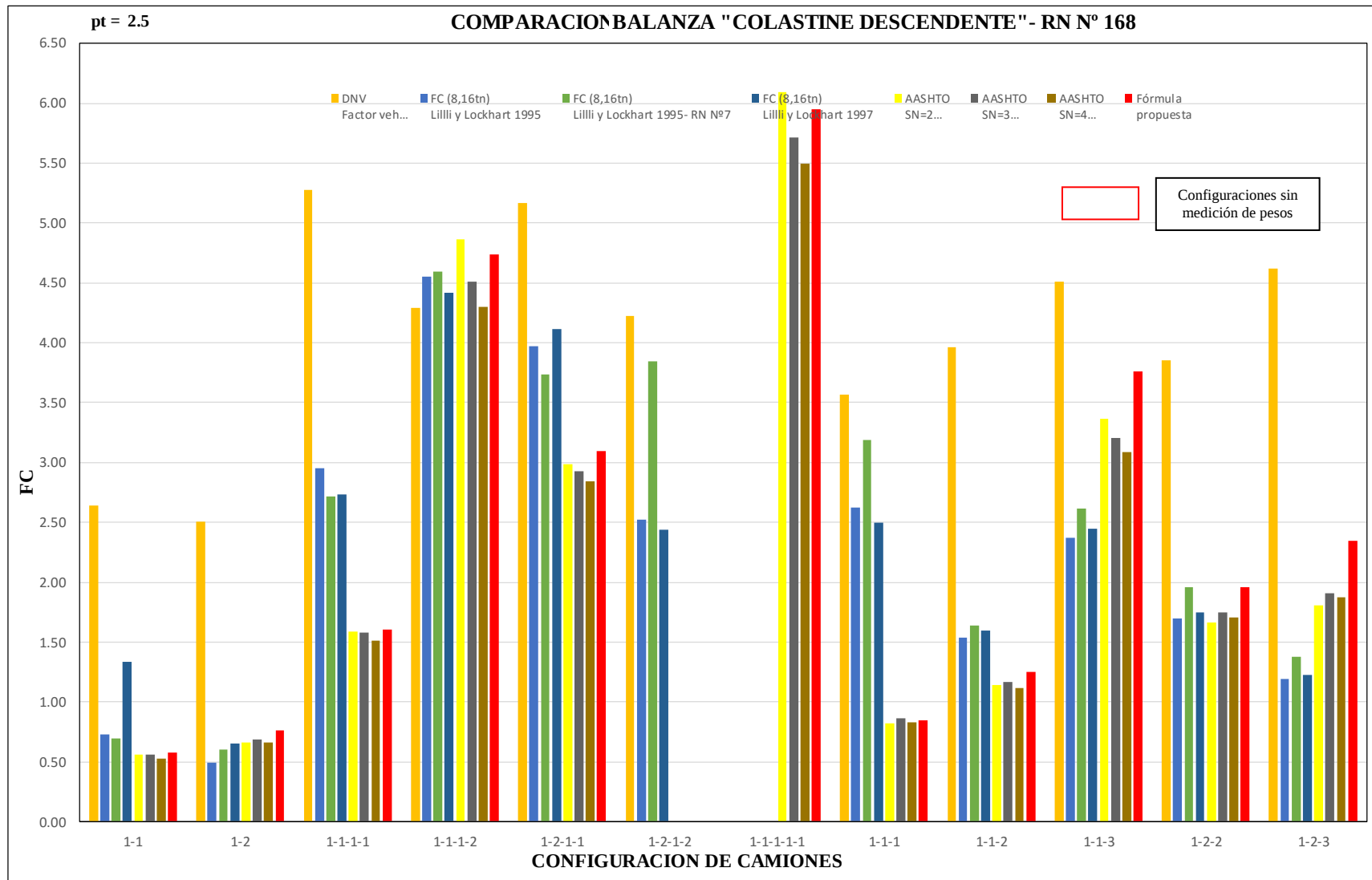


Figura 7.7. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, $pt=2,5$, balanza descendente “Colastiné”

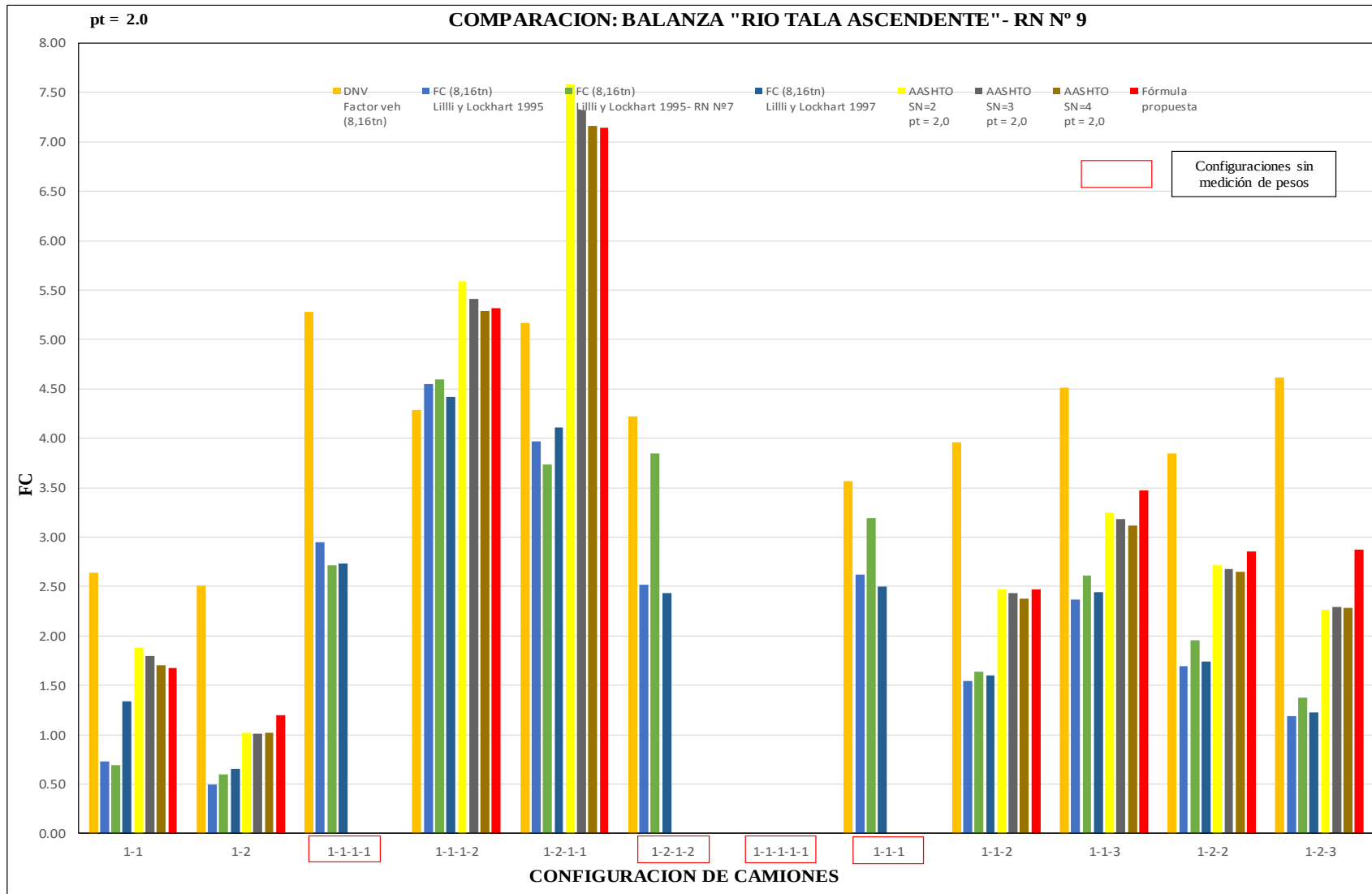


Figura 7.8. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza ascendente “Río Tala”

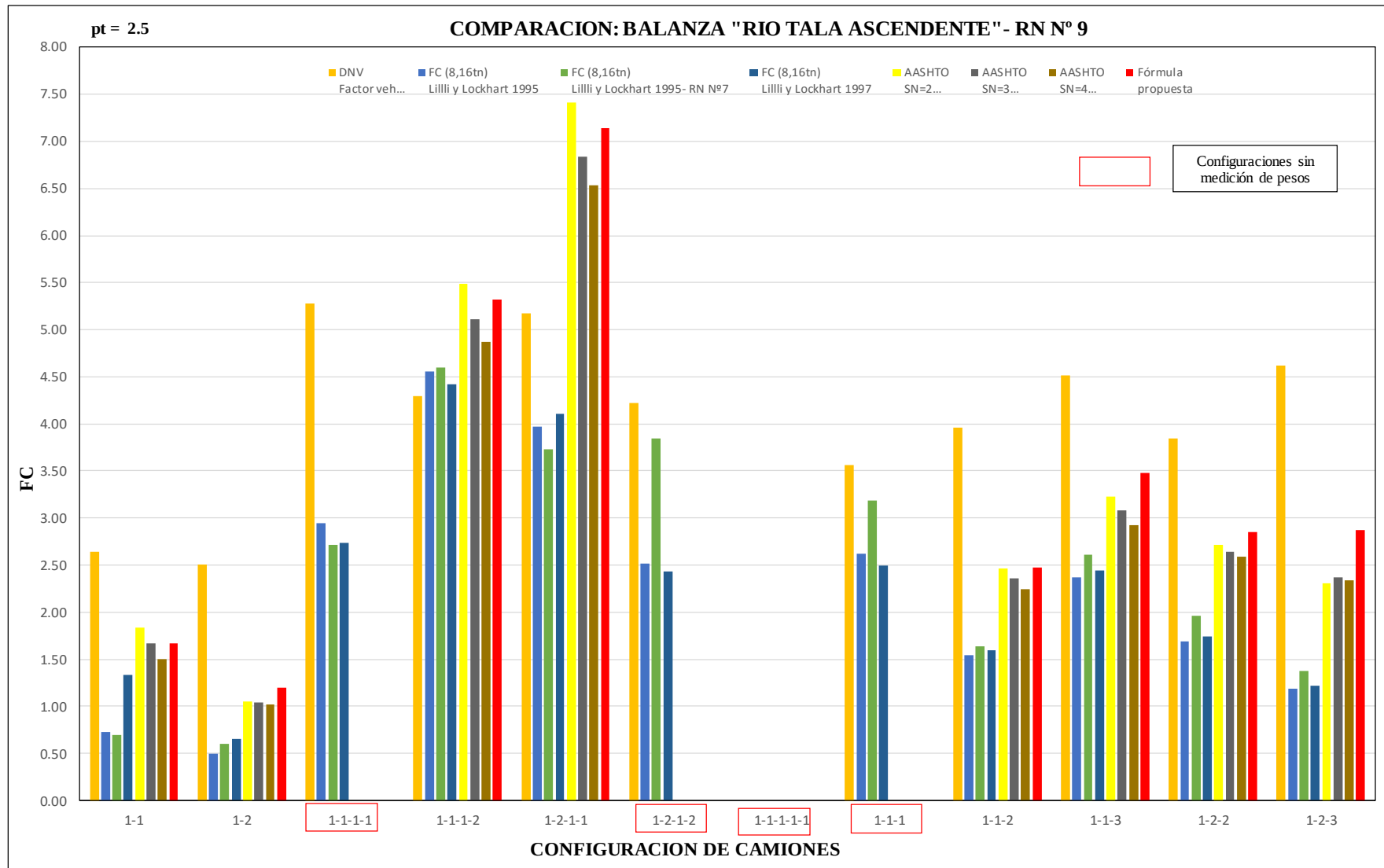


Figura 7.9. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza ascendente “Río Tala”

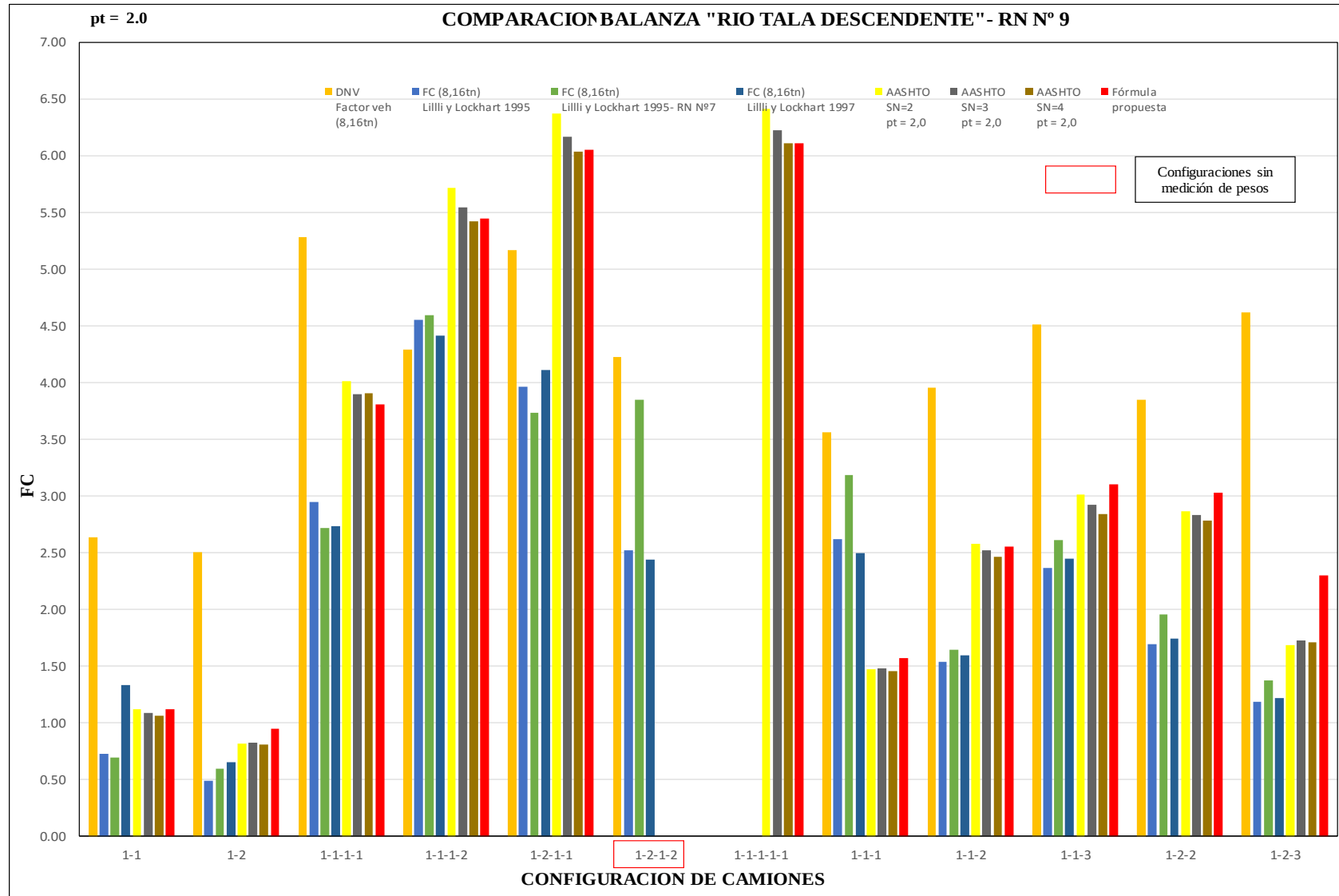


Figura 7.10. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza ascendente “Río Tala”

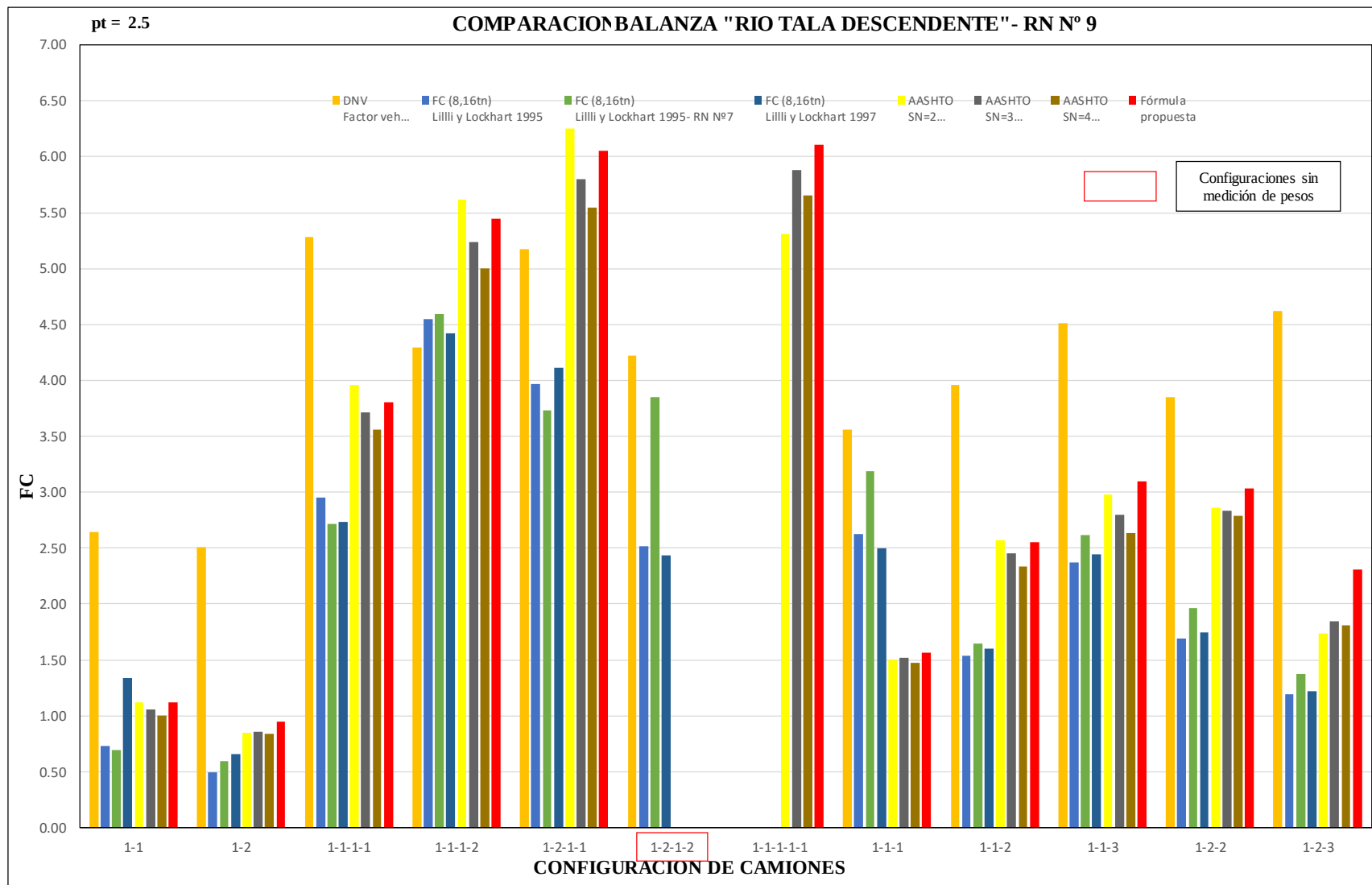


Figura 7.11. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza descendente “Río Tala”

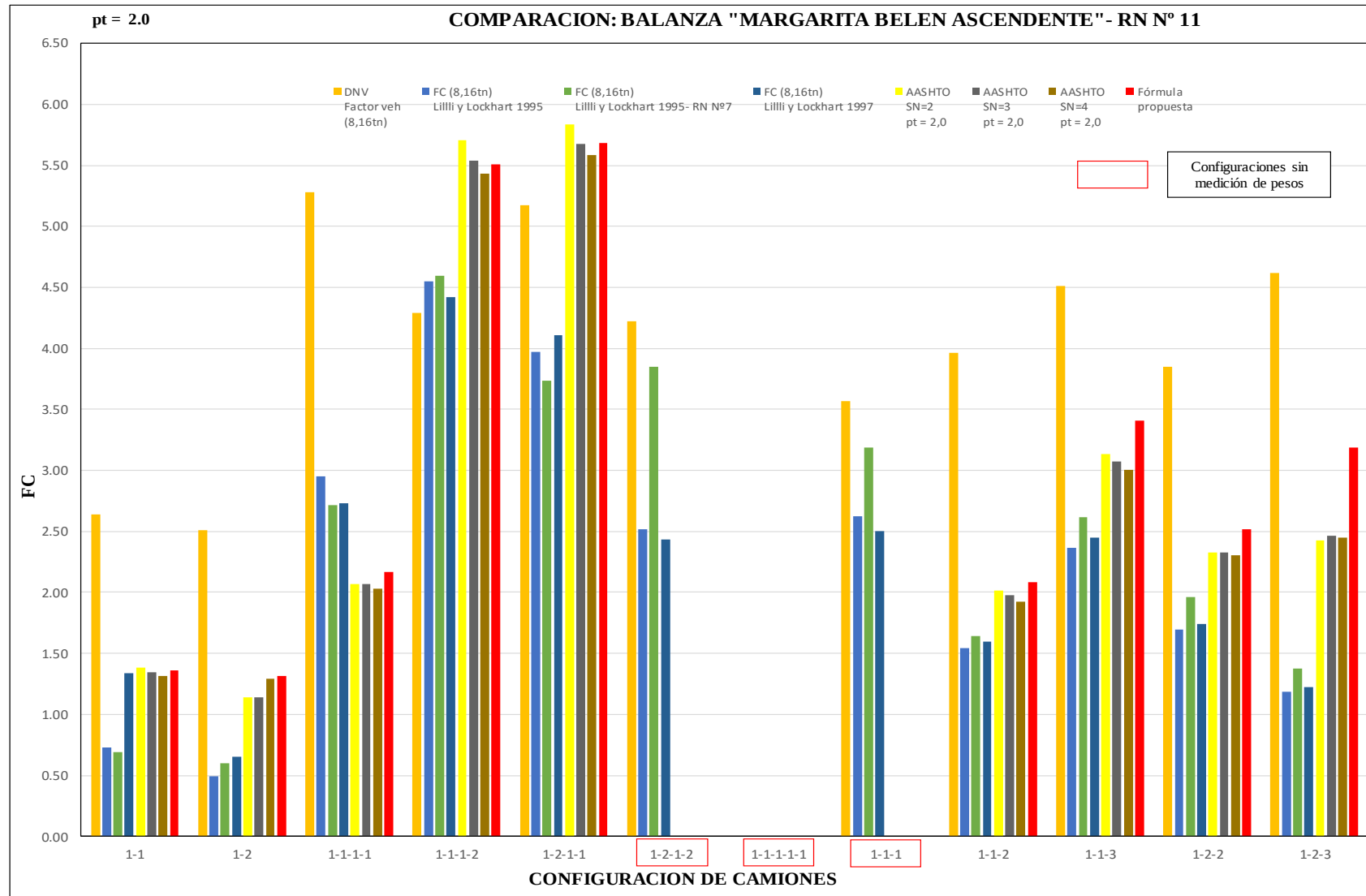


Figura 7.12. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza ascendente “Margarita Belén”

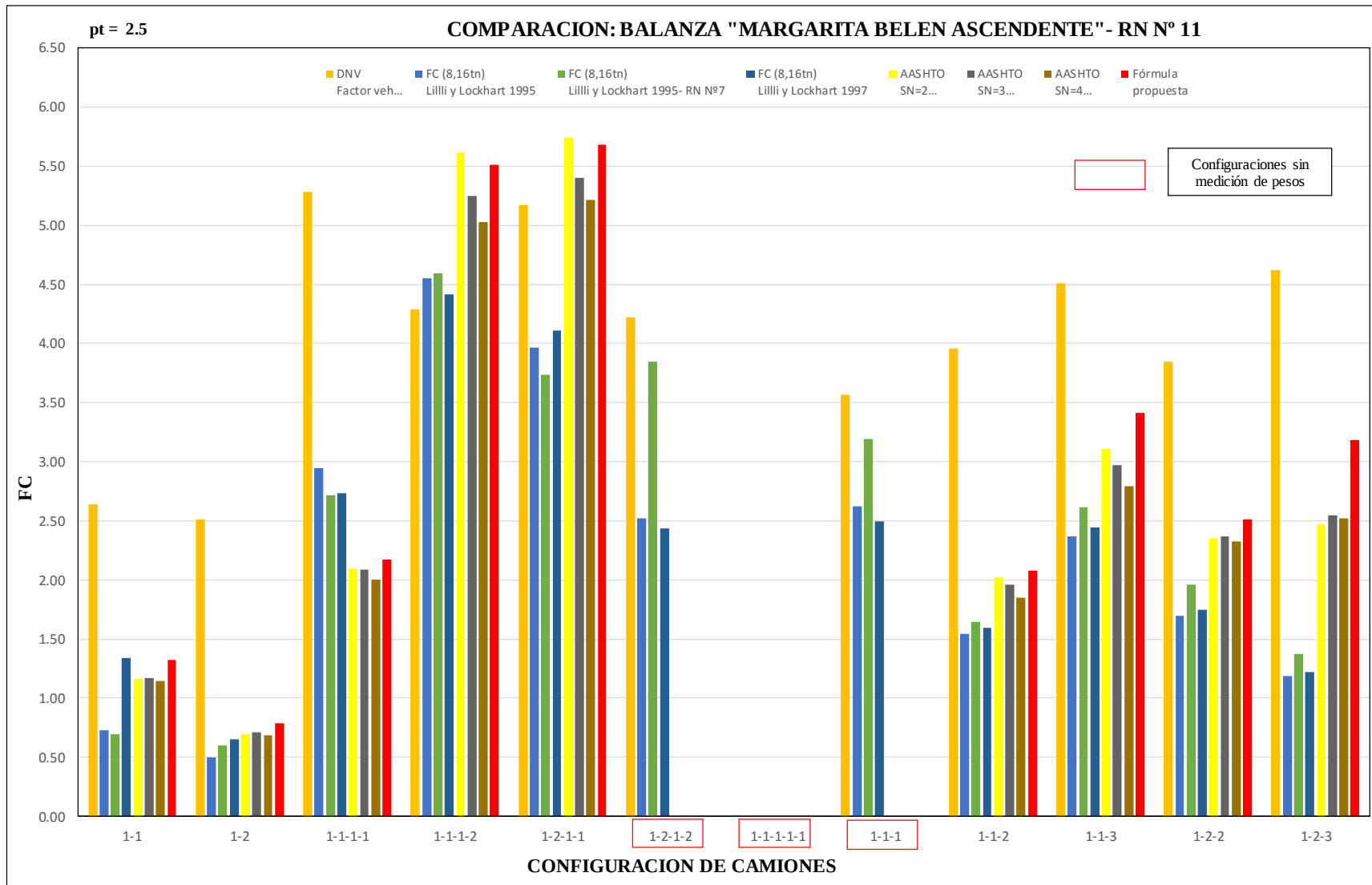


Figura 7.13. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza ascendente “Margarita Belén”

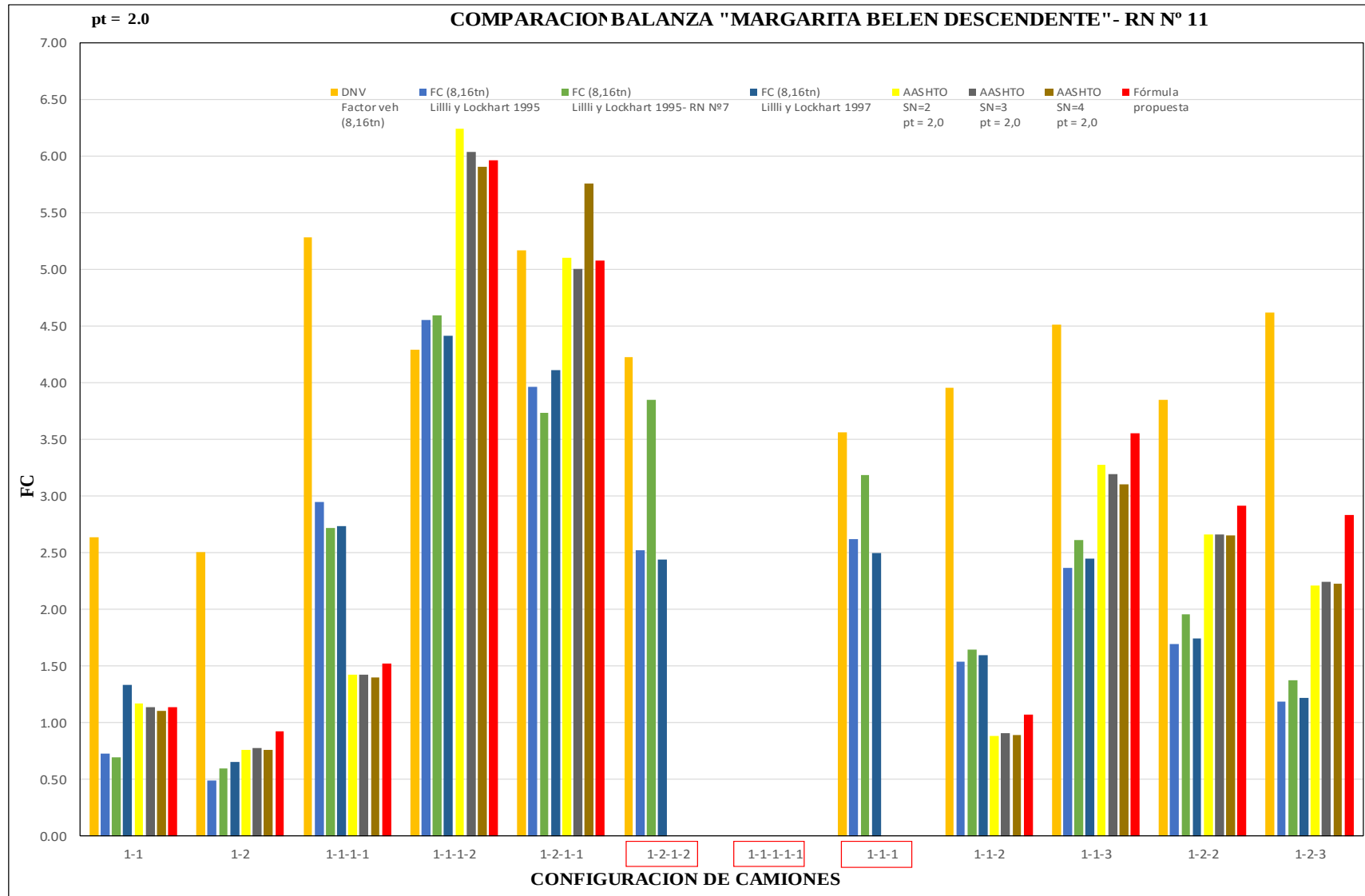


Figura 7.14. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,0, balanza descendente “Margarita Belén”

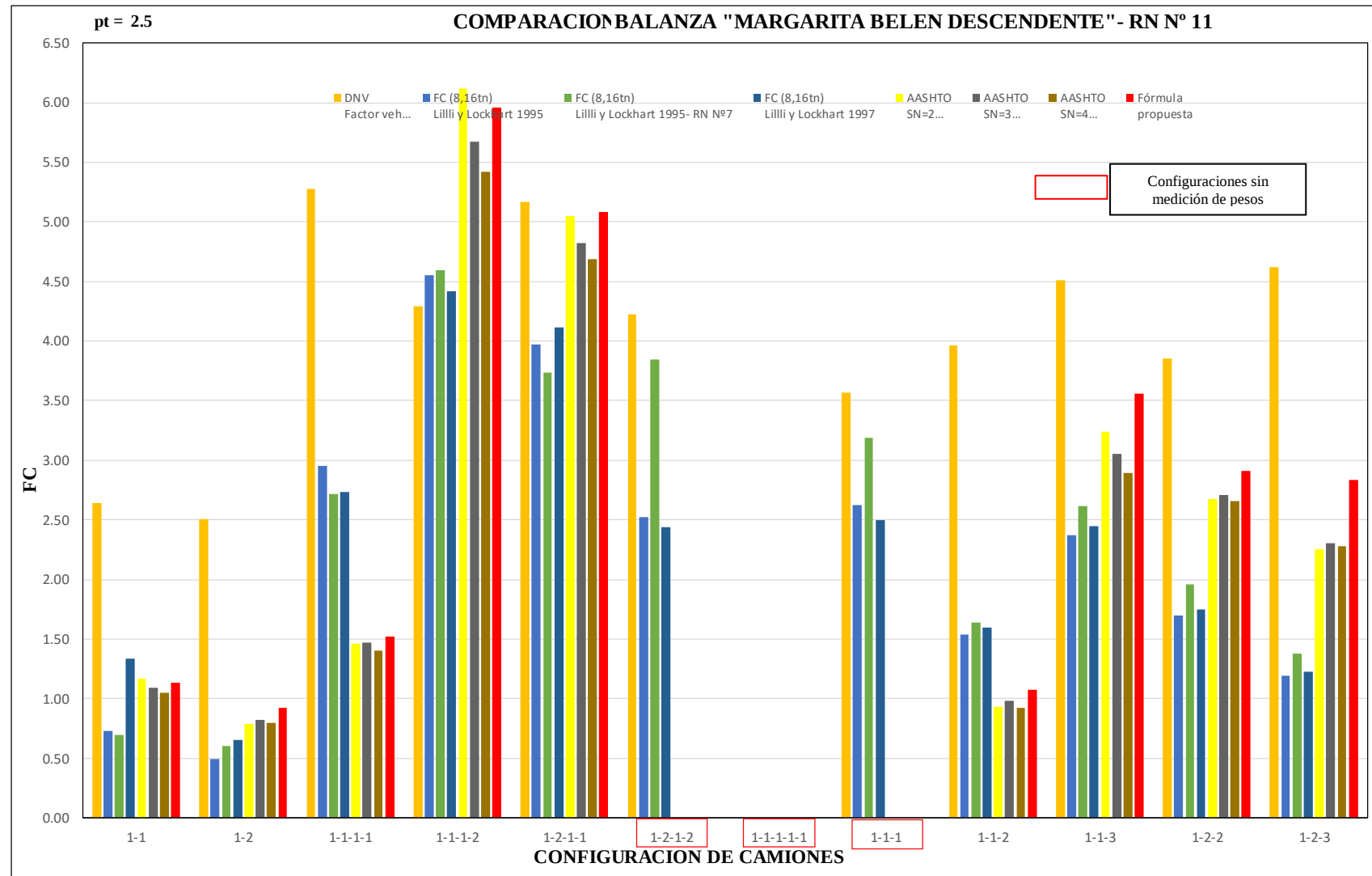


Figura 7.15. Gráfico comparativo factor de camión s/distintos autores, pt=2,5, balanza descendente “Margarita Belén”

7.3.3.5. Comparación Factores de Camión según Tipo de Eje

En función de los factores de camión calculados en cada una de las balanzas se realizó un análisis de cada uno de los términos o ejes que integran el cálculo, de modo de comparar los resultados aplicando el método AASHTO 93 con los propuestos en el presente trabajo. En la tabla inferior se exhiben los resultados:

Tipo de eje	Porcentaje de variación Factores de Camión por eje	
	Mínimo Valor LEF_{SN}/LEF_{FP}	Max. Valor LEF_{SN}/LEF_{FP}
Eje Simple Direccional	51.55%	54.10%
Eje Simple Dual	98.98%	111.01%
Eje Tandem	88.01%	97.08%
Eje Tridem	70.50%	75.30%

Tabla 7.39. Comparación rango de variación factores de camión método AASHTO 93 vs fórmula propuesta

En la tabla se verifica claramente que el eje simple direccional es el que registra mayor divergencia entre la aplicación del método AASHTO 93 y la formulación propuesta, por el contrario, los ejes simple dual y tándem los más próximos.

7.4. TABLA RESUMEN DE ESPECTROS DE CARGA S/TIPO DE EJE

En función de los valores calculados, es factible presentar un resumen de tablas identificando los espectros de carga según el tipo de eje, haciendo especial mención a la separación del eje direccional del conjunto de ejes simples para lograr un mayor nivel de detalle.

RN N° 168-COLASTINÉ. ASCENDENTE AÑO 2016				
EJE DIRECCIONAL	VEH.CENSADOS		27243	
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL
TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	6,75	1,517	33,00	0,12%
	15,75	3,541	179,00	0,66%
	20,25	4,552	373,00	1,37%
	24,75	5,564	616,00	2,26%
	29,25	6,576	827,00	3,04%
	33,75	7,587	1363,00	5,00%
	38,25	8,599	2620,00	9,62%
	42,75	9,611	2969,00	10,90%
	47,25	10,622	3646,00	13,38%
	51,75	11,634	4174,00	15,32%
	56,25	12,646	5088,00	18,68%
	60,75	13,657	4258,00	15,63%
	65,25	14,669	1055,00	3,87%
	69,75	15,680	35,00	0,13%
	74,25	16,692	3,00	0,01%
	78,75	17,704	2,00	0,01%
	83,25	18,715	1,00	0,00%
	87,75	19,727	1,00	0,00%
	92,25	20,739	0,00	0,00%
	96,75	21,750	0,00	0,00%
	101,25	22,762	0,00	0,00%
	105,75	23,774	0,00	0,00%
	110,25	24,785	0,00	0,00%
	114,75	25,797	0,00	0,00%
	118,5	26,640	0,00	0,00%
TOTAL MENSUAL		27243	100,00%	

Tabla 7.40. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza ascendente RN N° 168 “Colastiné”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11-M.B.ASCENDENTE AÑO 2016					TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11 -M.B. ASCENDENTE AÑO 2016					TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11 -M.B. ASCENDENTE AÑO 2016							
	EJE SIMPLE		VEH. CENSADOS		23914		EJE TANDEM		VEH. CENSADOS		23914		EJE TRIDEM		VEH. CENSADOS		23914			
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL			EJES/1000	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES			% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000	PESO KN	PESO KIPS		TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
6,75	1,517	9	0%	0,38	13,5	3,035	19,00	0,08%	0,79	27	6,070	6,00	0,03%	0,25						
15,75	3,541	7	0%	0,29	31,50	7,081	104,00	0,43%	4,35	60,75	13,657	33,00	0,14%	1,38						
20,25	4,552	54	0%	2,26	40,5	9,105	352,00	1,47%	14,72	74,25	16,692	44,00	0,18%	1,84						
24,75	5,564	246	1%	10,29	49,5	11,128	474,00	1,98%	19,82	87,75	19,727	47,00	0,20%	1,97						
29,25	6,576	343	1%	14,34	58,5	13,151	634,00	2,65%	26,51	101,25	22,762	41,00	0,17%	1,71						
33,75	7,587	441	2%	18,44	67,5	15,175	782,00	3,27%	32,70	114,75	25,797	61,00	0,26%	2,55						
38,25	8,599	677	3%	28,31	76,5	17,198	719,00	3,01%	30,07	128,25	28,832	64,00	0,27%	2,68						
42,75	9,611	868	4%	36,30	85,5	19,221	755,00	3,16%	31,57	141,75	31,867	72,00	0,30%	3,01						
47,25	10,622	1018	4%	42,57	94,5	21,244	781,00	3,27%	32,66	155,25	34,902	87,00	0,36%	3,64						
51,75	11,634	1059	4%	44,28	103,5	23,268	853,00	3,57%	35,67	168,75	37,937	70,00	0,29%	2,93						
56,25	12,646	1260	5%	52,69	112,5	25,291	772,00	3,23%	32,28	182,25	40,971	60,00	0,25%	2,51						
60,75	13,657	1417	6%	59,25	121,5	27,314	852,00	3,56%	35,63	195,75	44,006	55,00	0,23%	2,30						
65,25	14,669	1591	7%	66,53	130,5	29,338	964,00	4,03%	40,31	209,25	47,041	109,00	0,46%	4,56						
69,75	15,680	1713	7%	71,63	139,5	31,361	1071,00	4,48%	44,79	222,75	50,076	255,00	1,07%	10,66						
74,25	16,692	2014	8%	84,22	148,5	33,384	1386,00	5,80%	57,96	236,25	53,111	193,00	0,81%	8,07						
78,75	17,704	2305	10%	96,39	157,5	35,407	2055,00	8,59%	85,93	249,75	56,146	134,00	0,56%	5,60						
83,25	18,715	2463	10%	102,99	166,5	37,431	2565,00	10,73%	107,26	263,25	59,181	66,00	0,28%	2,76						
87,75	19,727	2733	11%	114,28	175,5	39,454	2687,00	11,24%	112,36	276,75	62,216	9,00	0,04%	0,38						
92,25	20,739	3166	13%	132,39	184,5	41,477	1931,00	8,07%	80,75	290,25	65,251	4,00	0,02%	0,17						
96,75	21,750	3610	15%	150,96	193,5	43,501	629,00	2,63%	26,30	303,75	68,286	1,00	0,00%	0,04						
101,25	22,762	3901	16%	163,13	202,5	45,524	168,00	0,70%	7,03	317,25	71,321	0,00	0,00%	0,00						
105,75	23,774	3359	14%	140,46	211,5	47,547	70,00	0,29%	2,93	330,75	74,356	1,00	0,00%	0,04						
110,25	24,785	2111	9%	88,27	220,5	49,570	45,00	0,19%	1,88	344,25	77,390	0,00	0,00%	0,00						
114,75	25,797	969	4%	40,52	229,5	51,594	14,00	0,06%	0,59	357,75	80,425	0,00	0,00%	0,00						
119,25	26,808	271	1%	11,33	238,5	53,617	12,00	0,05%	0,50	371,25	83,460	0,00	0,00%	0,00						
123,75	27,820	160	1%	6,69	247,50	55,640	3,00	0,01%	0,13	384,75	86,495	0,00	0,00%	0,00						
128,25	28,832	81	0%	3,39	256,50	57,664	3,00	0,01%	0,13	398,25	89,530	0,00	0,00%	0,00						
132,75	29,843	34	0%	1,42	265,50	59,687	2,00	0,01%	0,08	411,75	92,565	0,00	0,00%	0,00						
137,25	30,855	16	0%	0,67	274,50	61,710	1,00	0,00%	0,04	425,25	95,600	0,00	0,00%	0,00						
141,75	31,867	9	0%	0,38	283,50	63,733	0,00	0,00%	0,00	438,75	98,635	0,00	0,00%	0,00						
146,25	32,878	5	0%	0,21	292,50	65,757	1,00	0,00%	0,04	452,25	101,670	0,00	0,00%	0,00						
150,75	33,890	3	0%	0,13	301,50	67,780	0,00	0,00%	0,00	465,75	104,705	0,00	0,00%	0,00						
155,25	34,902	3	0%	0,13	310,50	69,803	0,00	0,00%	0,00	479,25	107,740	0,00	0,00%	0,00						
159,75	35,913	3	0%	0,13	319,50	71,826	0,00	0,00%	0,00	492,75	110,775	0,00	0,00%	0,00						
164,25	36,925	0	0%	0,00	328,50	73,850	0,00	0,00%	0,00	506,25	113,810	0,00	0,00%	0,00						
168,75	37,937	0	0%	0,00	337,50	75,873	0,00	0,00%	0,00	519,75	116,844	0,00	0,00%	0,00						
260,50	58,563	0	0%	0,00	361,00	81,156	0,00	0,00%	0,00	533,25	119,879	0,00	0,00%	0,00						

TOTAL MENSUAL 37919 158,56%

TOTAL MENSUAL 20704 86,58%

TOTAL MENSUAL 1412 5,90%

Tabla 7.41. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tándem y tridem – Balanza ascendente RN N° 168 “Colastiné”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 168- COLASTINE. DESCENDENTE AÑO 2016				
	EJE DIRECCIONAL		VEH.CENSADOS		8379
			TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	PESO KN	PESO KIPS			
	6,75	1,517	11,00	0,13%	1,31
	15,75	3,541	60,00	0,72%	7,16
	20,25	4,552	81,00	0,97%	9,67
	24,75	5,564	168,00	2,01%	20,05
	29,25	6,576	241,00	2,88%	28,76
	33,75	7,587	494,00	5,90%	58,96
	38,25	8,599	918,00	10,96%	109,56
	42,75	9,611	866,00	10,34%	103,35
	47,25	10,622	1002,00	11,96%	119,58
	51,75	11,634	1203,00	14,36%	143,57
	56,25	12,646	1507,00	17,99%	179,85
	60,75	13,657	1412,00	16,85%	168,52
	65,25	14,669	400,00	4,77%	47,74
	69,75	15,680	14,00	0,17%	1,67
	74,25	16,692	2,00	0,02%	0,24
	78,75	17,704	0,00	0,00%	0,00
	83,25	18,715	0,00	0,00%	0,00
	87,75	19,727	0,00	0,00%	0,00
	92,25	20,739	0,00	0,00%	0,00
	96,75	21,750	0,00	0,00%	0,00
	101,25	22,762	0,00	0,00%	0,00
	105,75	23,774	0,00	0,00%	0,00
	110,25	24,785	0,00	0,00%	0,00
	114,75	25,797	0,00	0,00%	0,00
	118,5	26,640	0,00	0,00%	0,00

TOTAL MENSUAL 8379 100,00%

Tabla 7.42. Espectros de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza descendente RN N° 168 “Colastiné”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11-M.B. DESCENDENTE AÑO 2016					TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11 -M.B. DESCENDENTE AÑO 2016					TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11 -M.B. DESCENDENTE AÑO 2016							
	EJE SIMPLE		VEH.CENSADOS		4233		EJE TANDEM		VEH.CENSADOS		4233		EJE TRIDEM		VEH.CENSADOS		4233			
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RES PECTO AL TOTAL			EJES/1000	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES			% RES PECTO AL TOTAL	EJES/1000	PESO KN	PESO KIPS		TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
6,75	1,517	4		0,94	13,5	3,035	2,00	0,05%	0,47	27	6,070	0,00	0,00%	0,00						
15,75	3,541	4	0%	0,94	31,50	7,081	39,00	0,92%	9,21	60,75	13,657	26,00	0,61%	6,14						
20,25	4,552	11	0%	2,60	40,5	9,105	186,00	4,39%	43,94	74,25	16,692	17,00	0,40%	4,02						
24,75	5,564	118	3%	27,88	49,5	11,128	156,00	3,69%	36,85	87,75	19,727	8,00	0,19%	1,89						
29,25	6,576	133	3%	31,42	58,5	13,151	293,00	6,92%	69,22	101,25	22,762	3,00	0,07%	0,71						
33,75	7,587	150	4%	35,44	67,5	15,175	315,00	7,44%	74,42	114,75	25,797	5,00	0,12%	1,18						
38,25	8,599	230	5%	54,33	76,5	17,198	164,00	3,87%	38,74	128,25	28,832	2,00	0,05%	0,47						
42,75	9,611	327	8%	77,25	85,5	19,221	144,00	3,40%	34,02	141,75	31,867	8,00	0,19%	1,89						
47,25	10,622	342	8%	80,79	94,5	21,244	139,00	3,28%	32,84	155,25	34,902	10,00	0,24%	2,36						
51,75	11,634	257	6%	60,71	103,5	23,268	149,00	3,52%	35,20	168,75	37,937	8,00	0,19%	1,89						
56,25	12,646	210	5%	49,61	112,5	25,291	124,00	2,93%	29,29	182,25	40,971	13,00	0,31%	3,07						
60,75	13,657	233	6%	55,04	121,5	27,314	118,00	2,79%	27,88	195,75	44,006	14,00	0,33%	3,31						
65,25	14,669	230	5%	54,33	130,5	29,338	115,00	2,72%	27,17	209,25	47,041	24,00	0,57%	5,67						
69,75	15,680	248	6%	58,59	139,5	31,361	142,00	3,35%	33,55	222,75	50,076	19,00	0,45%	4,49						
74,25	16,692	256	6%	60,48	148,5	33,384	168,00	3,97%	39,69	236,25	53,111	27,00	0,64%	6,38						
78,75	17,704	287	7%	67,80	157,5	35,407	265,00	6,26%	62,60	249,75	56,146	43,00	1,02%	10,16						
83,25	18,715	312	7%	73,71	166,5	37,431	366,00	8,65%	86,46	263,25	59,181	20,00	0,47%	4,72						
87,75	19,727	396	9%	93,55	175,5	39,454	404,00	9,54%	95,44	276,75	62,216	2,00	0,05%	0,47						
92,25	20,739	436	10%	103,00	184,5	41,477	285,00	6,73%	67,33	290,25	65,251	0,00	0,00%	0,00						
96,75	21,750	502	12%	118,59	193,5	43,501	119,00	2,81%	28,11	303,75	68,286	1,00	0,02%	0,24						
101,25	22,762	489	12%	115,52	202,5	45,524	35,00	0,83%	8,27	317,25	71,321	0,00	0,00%	0,00						
105,75	23,774	520	12%	122,84	211,5	47,547	13,00	0,31%	3,07	330,75	74,356	0,00	0,00%	0,00						
110,25	24,785	293	7%	69,22	220,5	49,570	4,00	0,09%	0,94	344,25	77,390	0,00	0,00%	0,00						
114,75	25,797	170	4%	40,16	229,5	51,594	3,00	0,07%	0,71	357,75	80,425	0,00	0,00%	0,00						
119,25	26,808	63	1%	14,88	238,5	53,617	1,00	0,02%	0,24	371,25	83,460	0,00	0,00%	0,00						
123,75	27,820	50	1%	11,81	247,5	55,640	0,00	0,00%	0,00	384,75	86,495	0,00	0,00%	0,00						
128,25	28,832	14	0%	3,31	256,50	57,664	0,00	0,00%	0,00	398,25	89,530	0,00	0,00%	0,00						
132,75	29,843	9	0%	2,13	265,50	59,687	0,00	0,00%	0,00	411,75	92,565	0,00	0,00%	0,00						
137,25	30,855	9	0%	2,13	274,50	61,710	0,00	0,00%	0,00	425,25	95,600	0,00	0,00%	0,00						
141,75	31,867	6	0%	1,42	283,50	63,733	0,00	0,00%	0,00	438,75	98,635	0,00	0,00%	0,00						
146,25	32,878	0	0%	0,00	292,50	65,757	0,00	0,00%	0,00	452,25	101,670	0,00	0,00%	0,00						
150,75	33,890	1	0%	0,24	301,50	67,780	0,00	0,00%	0,00	465,75	104,705	0,00	0,00%	0,00						
155,25	34,902	0	0%	0,00	310,50	69,803	0,00	0,00%	0,00	479,25	107,740	0,00	0,00%	0,00						
159,75	35,913	0	0%	0,00	319,50	71,826	0,00	0,00%	0,00	492,75	110,775	0,00	0,00%	0,00						
164,25	36,925	0	0%	0,00	328,50	73,850	0,00	0,00%	0,00	506,25	113,810	0,00	0,00%	0,00						
168,75	37,937	0	0%	0,00	337,50	75,873	0,00	0,00%	0,00	519,75	116,844	0,00	0,00%	0,00						
260,50	58,563	1	0%	0,24	361,00	81,156	0,00	0,00%	0,00	533,25	119,879	0,00	0,00%	0,00						

TOTAL MENSUAL6311149,09%

TOTAL MENSUAL374988,57%

TOTAL MENSUAL2505,91%

Tabla 7.43. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tandem y tridem – Balanza descendente RN N° 168 “Colastiné”

RN N° 9-RIO TALA . ASCENDENTE AÑO 2014				
EJE DIRECCIONAL	VEH.CENSADOS		3643	
	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000	
PESO KN	PESO KIPS			
6,75	1,517	8,00	0,22%	2,20
15,75	3,541	1,00	0,03%	0,27
20,25	4,552	6,00	0,16%	1,65
24,75	5,564	15,00	0,41%	4,12
29,25	6,576	33,00	0,91%	9,06
33,75	7,587	80,00	2,20%	21,96
38,25	8,599	195,00	5,35%	53,53
42,75	9,611	301,00	8,26%	82,62
47,25	10,622	490,00	13,45%	134,50
51,75	11,634	683,00	18,75%	187,48
56,25	12,646	795,00	21,82%	218,23
60,75	13,657	715,00	19,63%	196,27
65,25	14,669	301,00	8,26%	82,62
69,75	15,680	8,00	0,22%	2,20
74,25	16,692	9,00	0,25%	2,47
78,75	17,704	1,00	0,03%	0,27
83,25	18,715	1,00	0,03%	0,27
87,75	19,727	1,00	0,03%	0,27
92,25	20,739	0,00	0,00%	0,00
96,75	21,750	0,00	0,00%	0,00
101,25	22,762	0,00	0,00%	0,00
105,75	23,774	0,00	0,00%	0,00
110,25	24,785	0,00	0,00%	0,00
114,75	25,797	0,00	0,00%	0,00
118,5	26,640	0,00	0,00%	0,00
TOTAL MENSUAL		3643	100,00%	

Tabla 7.44. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza ascendente RN N° 9 “Rio Tala”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 9-RIO TALA . ASCENDENTE AÑO 2014				
	EJE SIMPLE		VEH.CENSADOS		3643
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RES PECTO AL TOTAL	EJES/1000
	6,75	1,517	11	0%	3,02
	15,75	3,541	1	0%	0,27
	20,25	4,552	1	0%	0,27
	24,75	5,564	6	0%	1,65
	29,25	6,576	18	0%	4,94
	33,75	7,587	56	2%	15,37
	38,25	8,599	85	2%	23,33
	42,75	9,611	89	2%	24,43
	47,25	10,622	114	3%	31,29
	51,75	11,634	130	4%	35,68
	56,25	12,646	164	5%	45,02
	60,75	13,657	184	5%	50,51
	65,25	14,669	260	7%	71,37
	69,75	15,680	264	7%	72,47
	74,25	16,692	341	9%	93,60
	78,75	17,704	372	10%	102,11
	83,25	18,715	469	13%	128,74
	87,75	19,727	475	13%	130,39
	92,25	20,739	631	17%	173,21
	96,75	21,750	636	17%	174,58
	101,25	22,762	731	20%	200,66
	105,75	23,774	675	19%	185,29
	110,25	24,785	461	13%	126,54
	114,75	25,797	237	7%	65,06
	119,25	26,808	33	1%	9,06
	123,75	27,820	41	1%	11,25
	128,25	28,832	16	0%	4,39
	132,75	29,843	15	0%	4,12
	137,25	30,855	15	0%	4,12
	141,75	31,867	8	0%	2,20
	146,25	32,878	5	0%	1,37
	150,75	33,890	4	0%	1,10
	155,25	34,902	2	0%	0,55
	159,75	35,913	1	0%	0,27
	164,25	36,925	4	0%	1,10
	168,75	37,937	0	0%	0,00
	260,50	58,563	0	0%	0,00
TOTAL MENSUAL					6555
					179,93%

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 9-RIO TALA . ASCENDENTE AÑO 2014				
	EJE TANDEM		VEH.CENSADOS		3643
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	13,5	3,035	0,00	0,00%	0,00
	31,50	7,081	13,00	0,36%	3,57
	40,5	9,105	30,00	0,82%	8,23
	49,5	11,128	35,00	0,96%	9,61
	58,5	13,151	62,00	1,70%	17,02
	67,5	15,175	72,00	1,98%	19,76
	76,5	17,198	94,00	2,58%	25,80
	85,5	19,221	125,00	3,43%	34,31
	94,5	21,244	152,00	4,17%	41,72
	103,5	23,268	158,00	4,34%	43,37
	112,5	25,291	161,00	4,42%	44,19
	121,5	27,314	166,00	4,56%	45,57
	130,5	29,338	169,00	4,64%	46,39
	139,5	31,361	180,00	4,94%	49,41
	148,5	33,384	232,00	6,37%	63,68
	157,5	35,407	318,00	8,73%	87,29
	166,5	37,431	423,00	11,61%	116,11
	175,5	39,454	454,00	12,46%	124,62
	184,5	41,477	312,00	8,56%	85,64
	193,5	43,501	105,00	2,88%	28,82
	202,5	45,524	24,00	0,66%	6,59
	211,5	47,547	17,00	0,47%	4,67
	220,5	49,570	7,00	0,19%	1,92
	229,5	51,594	3,00	0,08%	0,82
	238,5	53,617	3,00	0,08%	0,82
	247,50	55,640	1,00	0,03%	0,27
	256,50	57,664	0,00	0,00%	0,00
	265,50	59,687	1,00	0,03%	0,27
	274,50	61,710	0,00	0,00%	0,00
	283,50	63,733	0,00	0,00%	0,00
	292,50	65,757	0,00	0,00%	0,00
	301,50	67,780	0,00	0,00%	0,00
	310,50	69,803	0,00	0,00%	0,00
	319,50	71,826	0,00	0,00%	0,00
	328,50	73,850	0,00	0,00%	0,00
	337,50	75,873	0,00	0,00%	0,00
	361,00	81,156	1,00	0,03%	0,27
TOTAL MENSUAL					3318
					91,08%

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 9-RIO TALA . ASCENDENTE AÑO 2014				
	EJE TRIDEM		VEH.CENSADOS		3643
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	27	6,070	0,00	0,00%	0,00
	60,75	13,657	1,00	0,03%	0,27
	74,25	16,692	3,00	0,08%	0,82
	87,75	19,727	5,00	0,14%	1,37
	101,25	22,762	8,00	0,22%	2,20
	114,75	25,797	9,00	0,25%	2,47
	128,25	28,832	11,00	0,30%	3,02
	141,75	31,867	13,00	0,36%	3,57
	155,25	34,902	12,00	0,33%	3,29
	168,75	37,937	10,00	0,27%	2,74
	182,25	40,971	12,00	0,33%	3,29
	195,75	44,006	20,00	0,55%	5,49
	209,25	47,041	12,00	0,33%	3,29
	222,75	50,076	12,00	0,33%	3,29
	236,25	53,111	29,00	0,80%	7,96
	249,75	56,146	23,00	0,63%	6,31
	263,25	59,181	7,00	0,19%	1,92
	276,75	62,216	3,00	0,08%	0,82
	290,25	65,251	0,00	0,00%	0,00
	303,75	68,286	0,00	0,00%	0,00
	317,25	71,321	1,00	0,03%	0,27
	330,75	74,356	0,00	0,00%	0,00
	344,25	77,390	0,00	0,00%	0,00
	357,75	80,425	0,00	0,00%	0,00
	371,25	83,460	0,00	0,00%	0,00
	384,75	86,495	0,00	0,00%	0,00
	398,25	89,530	0,00	0,00%	0,00
	411,75	92,565	0,00	0,00%	0,00
	425,25	95,600	0,00	0,00%	0,00
	438,75	98,635	0,00	0,00%	0,00
	452,25	101,670	0,00	0,00%	0,00
	465,75	104,705	0,00	0,00%	0,00
	479,25	107,740	0,00	0,00%	0,00
	492,75	110,775	0,00	0,00%	0,00
	506,25	113,810	0,00	0,00%	0,00
	519,75	116,844	0,00	0,00%	0,00
	533,25	119,879	0,00	0,00%	0,00
TOTAL MENSUAL					191
					5,24%

Tabla 7.45. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tándem y tridem – Balanza ascendente RN N° 9 “Río Tala”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 9-RIO TALA . DESCENDENTE AÑO 2014				
	EJE DIRECCIONAL		VEH.CENSADOS		18104
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RES PECTO AL TOTAL	EJES/1000
	6,75	1,5175	0,00	0,00%	0,00
	15,75	3,5407	0,00	0,00%	0,00
	20,25	4,5524	9,00	0,05%	0,50
	24,75	5,5640	62,00	0,34%	3,42
	29,25	6,5757	137,00	0,76%	7,57
	33,75	7,5873	317,00	1,75%	17,51
	38,25	8,5989	690,00	3,81%	38,11
	42,75	9,6106	1474,00	8,14%	81,42
	47,25	10,6222	2627,00	14,51%	145,11
	51,75	11,6339	3515,00	19,42%	194,16
	56,25	12,6455	3994,00	22,06%	220,61
	60,75	13,6571	3633,00	20,07%	200,67
	65,25	14,6688	1599,00	8,83%	88,32
	69,75	15,6804	27,00	0,15%	1,49
	74,25	16,6921	10,00	0,06%	0,55
	78,75	17,7037	4,00	0,02%	0,22
	83,25	18,7153	4,00	0,02%	0,22
	87,75	19,7270	0,00	0,00%	0,00
	92,25	20,7386	2,00	0,01%	0,11
	96,75	21,7503	0,00	0,00%	0,00
	101,25	22,7619	0,00	0,00%	0,00
	105,75	23,7736	0,00	0,00%	0,00
	110,25	24,7852	0,00	0,00%	0,00
	114,75	25,7968	0,00	0,00%	0,00
	118,5	26,6399	0,00	0,00%	0,00
TOTAL MENSUAL					18104
					100,00%

Tabla 7.46. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza descendente RN N° 9 “Río Tala”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 9-RIO TALA . DESCENDENTE AÑO 2014				
	EJE SIMPLE		VEH.CENSADOS		18104
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	6,75	1,517	0	0%	0,00
	15,75	3,541	3	0%	0,17
	20,25	4,552	7	0%	0,39
	24,75	5,564	54	0%	2,98
	29,25	6,576	135	1%	7,46
	33,75	7,587	192	1%	10,61
	38,25	8,599	313	2%	17,29
	42,75	9,611	399	2%	22,04
	47,25	10,622	463	3%	25,57
	51,75	11,634	498	3%	27,51
	56,25	12,646	743	4%	41,04
	60,75	13,657	878	5%	48,50
	65,25	14,669	1085	6%	59,93
	69,75	15,680	1225	7%	67,66
	74,25	16,692	1518	8%	83,85
	78,75	17,704	1841	10%	101,69
	83,25	18,715	2277	13%	125,77
	87,75	19,727	2650	15%	146,38
	92,25	20,739	3503	19%	193,49
	96,75	21,750	3807	21%	210,29
	101,25	22,762	4361	24%	240,89
	105,75	23,774	3714	21%	205,15
	110,25	24,785	2573	14%	142,12
	114,75	25,797	1112	6%	61,42
	119,25	26,808	125	1%	6,90
	123,75	27,820	124	1%	6,85
	128,25	28,832	67	0%	3,70
	132,75	29,843	40	0%	2,21
	137,25	30,855	22	0%	1,22
	141,75	31,867	21	0%	1,16
	146,25	32,878	14	0%	0,77
	150,75	33,890	7	0%	0,39
	155,25	34,902	7	0%	0,39
	159,75	35,913	4	0%	0,22
	164,25	36,925	3	0%	0,17
	168,75	37,937	2	0%	0,11
	260,50	58,563	1	0%	0,06

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 9-RIO TALA . DESCENDENTE AÑO 2014				
	EJE TANDEM		VEH.CENSADOS		18104
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	13,5	3,035	0,00	0,00%	0,00
	31,50	7,081	83,00	0,46%	4,58
	40,5	9,105	145,00	0,80%	8,01
	49,5	11,128	228,00	1,26%	12,59
	58,5	13,151	258,00	1,43%	14,25
	67,5	15,175	376,00	2,08%	20,77
	76,5	17,198	482,00	2,66%	26,62
	85,5	19,221	483,00	2,67%	26,68
	94,5	21,244	547,00	3,02%	30,21
	103,5	23,268	644,00	3,56%	35,57
	112,5	25,291	736,00	4,07%	40,65
	121,5	27,314	911,00	5,03%	50,32
	130,5	29,338	1066,00	5,89%	58,88
	139,5	31,361	1380,00	7,62%	76,23
	148,5	33,384	1811,00	10,00%	100,03
	157,5	35,407	2395,00	13,23%	132,29
	166,5	37,431	2433,00	13,44%	134,39
	175,5	39,454	1705,00	9,42%	94,18
	184,5	41,477	883,00	4,88%	48,77
	193,5	43,501	340,00	1,88%	18,78
	202,5	45,524	68,00	0,38%	3,76
	211,5	47,547	53,00	0,29%	2,93
	220,5	49,570	29,00	0,16%	1,60
	229,5	51,594	12,00	0,07%	0,66
	238,5	53,617	12,00	0,07%	0,66
	247,50	55,640	5,00	0,03%	0,28
	256,50	57,664	2,00	0,01%	0,11
	265,50	59,687	2,00	0,01%	0,11
	274,50	61,710	1,00	0,01%	0,06
	283,50	63,733	2,00	0,01%	0,11
	292,50	65,757	1,00	0,01%	0,06
	301,50	67,780	2,00	0,01%	0,11
	310,50	69,803	3,00	0,02%	0,17
	319,50	71,826	0,00	0,00%	0,00
	328,50	73,850	0,00	0,00%	0,00
	337,50	75,873	0,00	0,00%	0,00
	361,00	81,156	0,00	0,00%	0,00

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 9-RIO TALA . DESCENDENTE AÑO 2014				
	EJE TRIDEM		VEH.CENSADOS		18104
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	27	6,070	0,00	0,00%	0,00
	60,75	13,657	43,00	0,24%	2,38
	74,25	16,692	26,00	0,14%	1,44
	87,75	19,727	27,00	0,15%	1,49
	101,25	22,762	51,00	0,28%	2,82
	114,75	25,797	43,00	0,24%	2,38
	128,25	28,832	35,00	0,19%	1,93
	141,75	31,867	52,00	0,29%	2,87
	155,25	34,902	44,00	0,24%	2,43
	168,75	37,937	52,00	0,29%	2,87
	182,25	40,971	54,00	0,30%	2,98
	195,75	44,006	68,00	0,38%	3,76
	209,25	47,041	76,00	0,42%	4,20
	222,75	50,076	66,00	0,36%	3,65
	236,25	53,111	46,00	0,25%	2,54
	249,75	56,146	31,00	0,17%	1,71
	263,25	59,181	21,00	0,12%	1,16
	276,75	62,216	3,00	0,02%	0,17
	290,25	65,251	0,00	0,00%	0,00
	303,75	68,286	1,00	0,01%	0,06
	317,25	71,321	0,00	0,00%	0,00
	330,75	74,356	0,00	0,00%	0,00
	344,25	77,390	0,00	0,00%	0,00
	357,75	80,425	0,00	0,00%	0,00
	371,25	83,460	0,00	0,00%	0,00
	384,75	86,495	0,00	0,00%	0,00
	398,25	89,530	0,00	0,00%	0,00
	411,75	92,565	0,00	0,00%	0,00
	425,25	95,600	0,00	0,00%	0,00
	438,75	98,635	0,00	0,00%	0,00
	452,25	101,670	0,00	0,00%	0,00
	465,75	104,705	0,00	0,00%	0,00
	479,25	107,740	0,00	0,00%	0,00
	492,75	110,775	0,00	0,00%	0,00
	506,25	113,810	0,00	0,00%	0,00
	519,75	116,844	0,00	0,00%	0,00
	533,25	119,879	0,00	0,00%	0,00

TOTAL MENSUAL 33788 186,63%

TOTAL MENSUAL 17098 94,44%

TOTAL MENSUAL 739 4,08%

Tabla 7.47. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tandem y tridem – Balanza descendente RN N° 9 “Río Tala”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11-M.B. ASCENDENTE AÑO 2016				
	EJE DIRECCIONAL		VEH. CENSADOS		23914
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	6,75	1,517	6,00	0,03%	0,25
	15,75	3,541	9,00	0,04%	0,38
	20,25	4,552	92,00	0,38%	3,85
	24,75	5,564	257,00	1,07%	10,75
	29,25	6,576	313,00	1,31%	13,09
	33,75	7,587	654,00	2,73%	27,35
	38,25	8,599	887,00	3,71%	37,09
	42,75	9,611	1430,00	5,98%	59,80
	47,25	10,622	2404,00	10,05%	100,53
	51,75	11,634	3701,00	15,48%	154,76
	56,25	12,646	5311,00	22,21%	222,09
	60,75	13,657	6265,00	26,20%	261,98
	65,25	14,669	2386,00	9,98%	99,77
	69,75	15,680	153,00	0,64%	6,40
	74,25	16,692	35,00	0,15%	1,46
	78,75	17,704	11,00	0,05%	0,46
	83,25	18,715	0,00	0,00%	0,00
	87,75	19,727	0,00	0,00%	0,00
	92,25	20,739	0,00	0,00%	0,00
	96,75	21,750	0,00	0,00%	0,00
	101,25	22,762	0,00	0,00%	0,00
	105,75	23,774	0,00	0,00%	0,00
	110,25	24,785	0,00	0,00%	0,00
	114,75	25,797	0,00	0,00%	0,00
	118,5	26,640	0,00	0,00%	0,00

TOTAL MENSUAL 23914 100,00%

Tabla 7.48. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza ascendente RN N° 11 “Margarita Belén”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11-M.B.ASCENDENTE AÑO 2016					TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11 -M.B. ASCENDENTE AÑO 2016					TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11 -M.B. ASCENDENTE AÑO 2016				
	EJE SIMPLE		VEH. CENSADOS		23914		EJE TANDEM		VEH. CENSADOS		23914		EJE TRIDEM		VEH. CENSADOS		23914
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RES PECTO AL TOTAL	EJES/1000		PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RES PECTO AL TOTAL	EJES/1000		PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RES PECTO AL TOTAL	EJES/1000
6,75	1,517		9	0%	0,38	13,5	3,035		19,00	0,08%	0,79	27	6,070		6,00	0,03%	0,25
15,75	3,541		7	0%	0,29	31,50	7,081		104,00	0,43%	4,35	60,75	13,657		33,00	0,14%	1,38
20,25	4,552		54	0%	2,26	40,5	9,105		352,00	1,47%	14,72	74,25	16,692		44,00	0,18%	1,84
24,75	5,564		246	1%	10,29	49,5	11,128		474,00	1,98%	19,82	87,75	19,727		47,00	0,20%	1,97
29,25	6,576		343	1%	14,34	58,5	13,151		634,00	2,65%	26,51	101,25	22,762		41,00	0,17%	1,71
33,75	7,587		441	2%	18,44	67,5	15,175		782,00	3,27%	32,70	114,75	25,797		61,00	0,26%	2,55
38,25	8,599		677	3%	28,31	76,5	17,198		719,00	3,01%	30,07	128,25	28,832		64,00	0,27%	2,68
42,75	9,611		868	4%	36,30	85,5	19,221		755,00	3,16%	31,57	141,75	31,867		72,00	0,30%	3,01
47,25	10,622		1018	4%	42,57	94,5	21,244		781,00	3,27%	32,66	155,25	34,902		87,00	0,36%	3,64
51,75	11,634		1059	4%	44,28	103,5	23,268		853,00	3,57%	35,67	168,75	37,937		70,00	0,29%	2,93
56,25	12,646		1260	5%	52,69	112,5	25,291		772,00	3,23%	32,28	182,25	40,971		60,00	0,25%	2,51
60,75	13,657		1417	6%	59,25	121,5	27,314		852,00	3,56%	35,63	195,75	44,006		55,00	0,23%	2,30
65,25	14,669		1591	7%	66,53	130,5	29,338		964,00	4,03%	40,31	209,25	47,041		109,00	0,46%	4,56
69,75	15,680		1713	7%	71,63	139,5	31,361		1071,00	4,48%	44,79	222,75	50,076		255,00	1,07%	10,66
74,25	16,692		2014	8%	84,22	148,5	33,384		1386,00	5,80%	57,96	236,25	53,111		193,00	0,81%	8,07
78,75	17,704		2305	10%	96,39	157,5	35,407		2055,00	8,59%	85,93	249,75	56,146		134,00	0,56%	5,60
83,25	18,715		2463	10%	102,99	166,5	37,431		2565,00	10,73%	107,26	263,25	59,181		66,00	0,28%	2,76
87,75	19,727		2733	11%	114,28	175,5	39,454		2687,00	11,24%	112,36	276,75	62,216		9,00	0,04%	0,38
92,25	20,739		3166	13%	132,39	184,5	41,477		1931,00	8,07%	80,75	290,25	65,251		4,00	0,02%	0,17
96,75	21,750		3610	15%	150,96	193,5	43,501		629,00	2,63%	26,30	303,75	68,286		1,00	0,00%	0,04
101,25	22,762		3901	16%	163,13	202,5	45,524		168,00	0,70%	7,03	317,25	71,321		0,00	0,00%	0,00
105,75	23,774		3359	14%	140,46	211,5	47,547		70,00	0,29%	2,93	330,75	74,356		1,00	0,00%	0,04
110,25	24,785		2111	9%	88,27	220,5	49,570		45,00	0,19%	1,88	344,25	77,390		0,00	0,00%	0,00
114,75	25,797		969	4%	40,52	229,5	51,594		14,00	0,06%	0,59	357,75	80,425		0,00	0,00%	0,00
119,25	26,808		271	1%	11,33	238,5	53,617		12,00	0,05%	0,50	371,25	83,460		0,00	0,00%	0,00
123,75	27,820		160	1%	6,69	247,50	55,640		3,00	0,01%	0,13	384,75	86,495		0,00	0,00%	0,00
128,25	28,832		81	0%	3,39	256,50	57,664		3,00	0,01%	0,13	398,25	89,530		0,00	0,00%	0,00
132,75	29,843		34	0%	1,42	265,50	59,687		2,00	0,01%	0,08	411,75	92,565		0,00	0,00%	0,00
137,25	30,855		16	0%	0,67	274,50	61,710		1,00	0,00%	0,04	425,25	95,600		0,00	0,00%	0,00
141,75	31,867		9	0%	0,38	283,50	63,733		0,00	0,00%	0,00	438,75	98,635		0,00	0,00%	0,00
146,25	32,878		5	0%	0,21	292,50	65,757		1,00	0,00%	0,04	452,25	101,670		0,00	0,00%	0,00
150,75	33,890		3	0%	0,13	301,50	67,780		0,00	0,00%	0,00	465,75	104,705		0,00	0,00%	0,00
155,25	34,902		3	0%	0,13	310,50	69,803		0,00	0,00%	0,00	479,25	107,740		0,00	0,00%	0,00
159,75	35,913		3	0%	0,13	319,50	71,826		0,00	0,00%	0,00	492,75	110,775		0,00	0,00%	0,00
164,25	36,925		0	0%	0,00	328,50	73,850		0,00	0,00%	0,00	506,25	113,810		0,00	0,00%	0,00
168,75	37,937		0	0%	0,00	337,50	75,873		0,00	0,00%	0,00	519,75	116,844		0,00	0,00%	0,00
260,50	58,563		0	0%	0,00	361,00	81,156		0,00	0,00%	0,00	533,25	119,879		0,00	0,00%	0,00

TOTAL MENSUAL 37919 158,56%

TOTAL MENSUAL 20704 86,58%

TOTAL MENSUAL 1412 5,90%

Tabla 7.49. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tandem y tridem – Balanza ascendente RN N° 11 “Margarita Belén”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11-M.B. DESCENDENTE AÑO 2016				
	EJE DIRECCIONAL		VEH.CENSADOS		4233
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RES PECTO AL TOTAL	EJES/1000
6,75	1,517		1,00	0,02%	0,24
15,75	3,541		1,00	0,02%	0,24
20,25	4,552		12,00	0,28%	2,83
24,75	5,564		37,00	0,87%	8,74
29,25	6,576		81,00	1,91%	19,14
33,75	7,587		122,00	2,88%	28,82
38,25	8,599		200,00	4,72%	47,25
42,75	9,611		276,00	6,52%	65,20
47,25	10,622		441,00	10,42%	104,18
51,75	11,634		631,00	14,91%	149,07
56,25	12,646		870,00	20,55%	205,53
60,75	13,657		940,00	22,21%	222,06
65,25	14,669		513,00	12,12%	121,19
69,75	15,680		90,00	2,13%	21,26
74,25	16,692		16,00	0,38%	3,78
78,75	17,704		0,00	0,00%	0,00
83,25	18,715		1,00	0,02%	0,24
87,75	19,727		0,00	0,00%	0,00
92,25	20,739		0,00	0,00%	0,00
96,75	21,750		0,00	0,00%	0,00
101,25	22,762		0,00	0,00%	0,00
105,75	23,774		0,00	0,00%	0,00
110,25	24,785		1,00	0,02%	0,24
114,75	25,797		0,00	0,00%	0,00
118,5	26,640		0,00	0,00%	0,00

TOTAL MENSUAL 4233 100,00%

Tabla 7.50. Espectro de carga de tránsito pesado para eje simple direccional – Balanza descendente RN N° 11 “Margarita Belén”

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11-M.B. DESCENDENTE AÑO 2016				
	EJE SIMPLE		VEH.CENSADOS		4233
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	6,75	1,517	4	0%	0,94
	15,75	3,541	4	0%	0,94
	20,25	4,552	11	0%	2,60
	24,75	5,564	118	3%	27,88
	29,25	6,576	133	3%	31,42
	33,75	7,587	150	4%	35,44
	38,25	8,599	230	5%	54,33
	42,75	9,611	327	8%	77,25
	47,25	10,622	342	8%	80,79
	51,75	11,634	257	6%	60,71
	56,25	12,646	210	5%	49,61
	60,75	13,657	233	6%	55,04
	65,25	14,669	230	5%	54,33
	69,75	15,680	248	6%	58,59
	74,25	16,692	256	6%	60,48
	78,75	17,704	287	7%	67,80
	83,25	18,715	312	7%	73,71
	87,75	19,727	396	9%	93,55
	92,25	20,739	436	10%	103,00
	96,75	21,750	502	12%	118,59
	101,25	22,762	489	12%	115,52
	105,75	23,774	520	12%	122,84
	110,25	24,785	293	7%	69,22
114,75	25,797	170	4%	40,16	
119,25	26,808	63	1%	14,88	
123,75	27,820	50	1%	11,81	
128,25	28,832	14	0%	3,31	
132,75	29,843	9	0%	2,13	
137,25	30,855	9	0%	2,13	
141,75	31,867	6	0%	1,42	
146,25	32,878	0	0%	0,00	
150,75	33,890	1	0%	0,24	
155,25	34,902	0	0%	0,00	
159,75	35,913	0	0%	0,00	
164,25	36,925	0	0%	0,00	
168,75	37,937	0	0%	0,00	
260,50	58,563	1	0%	0,24	
TOTAL.MENSUAL 6311 149,09%					

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11 -M.B. DESCENDENTE AÑO 2016				
	EJE TANDEM		VEH.CENSADOS		4233
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	13,5	3,035	2,00	0,05%	0,47
	31,50	7,081	39,00	0,92%	9,21
	40,5	9,105	186,00	4,39%	43,94
	49,5	11,128	156,00	3,69%	36,85
	58,5	13,151	293,00	6,92%	69,22
	67,5	15,175	315,00	7,44%	74,42
	76,5	17,198	164,00	3,87%	38,74
	85,5	19,221	144,00	3,40%	34,02
	94,5	21,244	139,00	3,28%	32,84
	103,5	23,268	149,00	3,52%	35,20
	112,5	25,291	124,00	2,93%	29,29
	121,5	27,314	118,00	2,79%	27,88
	130,5	29,338	115,00	2,72%	27,17
	139,5	31,361	142,00	3,35%	33,55
	148,5	33,384	168,00	3,97%	39,69
	157,5	35,407	265,00	6,26%	62,60
	166,5	37,431	366,00	8,65%	86,46
	175,5	39,454	404,00	9,54%	95,44
	184,5	41,477	285,00	6,73%	67,33
	193,5	43,501	119,00	2,81%	28,11
	202,5	45,524	35,00	0,83%	8,27
	211,5	47,547	13,00	0,31%	3,07
	220,5	49,570	4,00	0,09%	0,94
229,5	51,594	3,00	0,07%	0,71	
238,5	53,617	1,00	0,02%	0,24	
247,50	55,640	0,00	0,00%	0,00	
256,50	57,664	0,00	0,00%	0,00	
265,50	59,687	0,00	0,00%	0,00	
274,50	61,710	0,00	0,00%	0,00	
283,50	63,733	0,00	0,00%	0,00	
292,50	65,757	0,00	0,00%	0,00	
301,50	67,780	0,00	0,00%	0,00	
310,50	69,803	0,00	0,00%	0,00	
319,50	71,826	0,00	0,00%	0,00	
328,50	73,850	0,00	0,00%	0,00	
337,50	75,873	0,00	0,00%	0,00	
361,00	81,156	0,00	0,00%	0,00	
TOTAL.MENSUAL 3749 88,57%					

TODAS LAS CONFIGURACIONES DE VEHICULOS	RN N° 11 -M.B. DESCENDENTE AÑO 2016				
	EJE TRIDEM		VEH.CENSADOS		4233
	PESO KN	PESO KIPS	TOTAL EJES	% RESPECTO AL TOTAL	EJES/1000
	27	6,070	0,00	0,00%	0,00
	60,75	13,657	26,00	0,61%	6,14
	74,25	16,692	17,00	0,40%	4,02
	87,75	19,727	8,00	0,19%	1,89
	101,25	22,762	3,00	0,07%	0,71
	114,75	25,797	5,00	0,12%	1,18
	128,25	28,832	2,00	0,05%	0,47
	141,75	31,867	8,00	0,19%	1,89
	155,25	34,902	10,00	0,24%	2,36
	168,75	37,937	8,00	0,19%	1,89
	182,25	40,971	13,00	0,31%	3,07
	195,75	44,006	14,00	0,33%	3,31
	209,25	47,041	24,00	0,57%	5,67
	222,75	50,076	19,00	0,45%	4,49
	236,25	53,111	27,00	0,64%	6,38
	249,75	56,146	43,00	1,02%	10,16
	263,25	59,181	20,00	0,47%	4,72
	276,75	62,216	2,00	0,05%	0,47
	290,25	65,251	0,00	0,00%	0,00
	303,75	68,286	1,00	0,02%	0,24
	317,25	71,321	0,00	0,00%	0,00
	330,75	74,356	0,00	0,00%	0,00
	344,25	77,390	0,00	0,00%	0,00
357,75	80,425	0,00	0,00%	0,00	
371,25	83,460	0,00	0,00%	0,00	
384,75	86,495	0,00	0,00%	0,00	
398,25	89,530	0,00	0,00%	0,00	
411,75	92,565	0,00	0,00%	0,00	
425,25	95,600	0,00	0,00%	0,00	
438,75	98,635	0,00	0,00%	0,00	
452,25	101,670	0,00	0,00%	0,00	
465,75	104,705	0,00	0,00%	0,00	
479,25	107,740	0,00	0,00%	0,00	
492,75	110,775	0,00	0,00%	0,00	
506,25	113,810	0,00	0,00%	0,00	
519,75	116,844	0,00	0,00%	0,00	
533,25	119,879	0,00	0,00%	0,00	
TOTAL.MENSUAL 250 5,91%					

Tabla 7.51. Espectros de carga de tránsito pesado para ejes simple, tándem y tridem – Balanza descendente RN N° 11 “Margarita Belén”

7.5. COMPARACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LOS FACTORES DE CAMIÓN

En este punto se desarrolla la comparación de los factores de camión indicados en puntos precedentes mediante el cálculo del número de ejes equivalentes (N_{eq}). Los autores y/o metodologías adoptadas se reiteran a continuación:

- Método AASHTO 93: SN 2, 3 y 4; pt = 2,0 y 2,5
- Valores de FC adoptados por Vialidad Nacional.
- Valores de FC ajustados por los autores Lilli- Lockhart a partir de los trabajos de los años 1995 y 1997.
- Fórmula propuesta (FP).

La comparación se materializó adoptando la configuración de camiones obtenida de la página web oficial de Vialidad Nacional. Como referencia, se adoptó el año en coincidencia con la mayor cantidad de datos identificados en cada una de las balanzas, siendo el año 2016 para las balanzas “Colastiné” y “Margarita Belén” y 2014 para “Río Tala”.

Las condiciones de borde aplicadas en el cálculo de N_{eq} se resumen en la tabla inferior:

RN N°	Balanza	TMDA _{TRAMO}	TMDA _{VP}	Tasa de crecimiento (%)	Vida Útil (años)
168	Colastiné	11836	1787	3,0	10
9	Río Tala	21990	9214	3,0	10
11	Margarita Belén	6444	1334	3,0	10

Tabla 7.52. Condiciones de borde asumidas para el cálculo de ejes equivalentes

La composición del tránsito pesado se presenta por Ruta Nacional:

Configuraciones Tránsito Pesado	RN N° 168 "Colastiné"	RN N° 9 "Río Tala"	RN N° 11 "Margarita Belén"
1-1	34,44%	14,25%	32,37%
1-2	3,97%	1,85%	1,93%
11-11	3,31%	0,00%	2,42%
11-12	21,85%	17,68%	16,91%
12-11	0,00%	0,79%	0,00%
12-12	0,00%	0,00%	0,00%
1.1.1	2,65%	0,00%	2,42%
1.1.2	16,56%	35,62%	24,15%
1.1.3	8,01%	15,83%	11,01%
1.2.2	6,56%	13,19%	7,34%
1.2.3	2,65%	0,79%	1,45%

Tabla 7.53. Composición del tránsito pesado respecto al total de camiones

En las tablas inferiores se muestra el cálculo del número de ejes equivalentes para cada balanza y sentido asociado:

RN N° 168- Balanza "Colastiné" - Ascendente

Sentido	Fórmula propuesta	DNV	Lilli-Lockhart (1995)	Lilli-Lockhart (1997)	AASHTO 93		
					SN=2; pt= 2	SN=3; pt= 2	SN=4; pt= 2
N° ejes equivalentes (millones)	4,94E+06	9,13E+06	5,22E+06	5,61E+06	5,11E+06	4,78E+06	4,67E+06
% de variacion	- 5,31%	+ 75,03%	+ 0,00%	+ 7,52%	- 2,11%	- 8,40%	-10,55%

Tabla 7.54. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza ascendente "Colastiné"

RN N° 168- Balanza "Colastiné" - Descendente

Sentido	Fórmula propuesta	DNV	Lilli-Lockhart (1995)	Lilli-Lockhart (1997)	AASHTO 93		
					SN=2; pt= 2	SN=3; pt= 2	SN=4; pt= 2
N° ejes equivalentes (millones)	5,16E+06	9,13E+06	5,22E+06	5,61E+06	5,01E+06	4,91E+06	4,81E+06
% de variacion	- 1,14%	+ 75,03%	+ 0,00%	+ 7,52%	- 4,06%	- 5,86%	0,00%

Tabla 7.55. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza descendente "Colastiné"

RN N° 9- Balanza "Río Tala"- Ascendente

Sentido	Fórmula propuesta	DNV	Lilli- Lockhart (1995)	Lilli- Lockhart (1997)	AASHTO 93		
					SN=2; pt= 2	SN=3; pt= 2	SN=4; pt= 2
N° ejes equivalentes (millones)	3,64E+07	4,59E+07	2,57E+07	2,61E+07	3,67E+07	3,58E+07	3,50E+07
% de variacion	+ 41,53%	+ 78,43%	+ 0,00%	+ 1,47%	+ 42,43%	+ 38,95%	35,74%

Tabla 7.56. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza ascendente “Río Tala”

RN N° 9- Balanza "Río Tala"- Descendente

Sentido	Fórmula propuesta	DNV	Lilli- Lockhart (1995)	Lilli- Lockhart (1997)	AASHTO 93		
					SN=2; pt= 2	SN=3; pt= 2	SN=4; pt= 2
N° ejes equivalentes (millones)	3,87E+07	5,13E+07	2,92E+07	2,94E+07	3,89E+07	3,80E+07	3,72E+07
% de variacion	+ 32,47%	+ 75,72%	+ 0,00%	+ 0,60%	+ 33,21%	+ 30,04%	27,30%

Tabla 7.57. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza descendente “Río Tala”

RN N° 11- Balanza "Margarita Belén"- Ascendente

Sentido	Fórmula propuesta	DNV	Lilli- Lockhart (1995)	Lilli- Lockhart (1997)	AASHTO 93		
					SN=2; pt= 2	SN=3; pt= 2	SN=4; pt= 2
N° ejes equivalentes (millones)	4,84E+06	6,89E+06	3,73E+06	4,01E+06	4,76E+06	4,67E+06	4,57E+06
% de variacion	+ 29,70%	+ 84,77%	+ 0,00%	+ 7,48%	+ 27,80%	+ 25,15%	22,59%

Tabla 7.58. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza ascendente “Margarita Belén”

RN N° 11- Balanza "Margarita Belén"- Descendente

Sentido	Fórmula propuesta	DNV	Lilli- Lockhart (1995)	Lilli- Lockhart (1997)	AASHTO 93		
					SN=2; pt= 2	SN=3; pt= 2	SN=4; pt= 2
N° ejes equivalentes (millones)	4,42E+06	6,89E+06	3,73E+06	4,01E+06	4,32E+06	4,23E+06	4,13E+06
% de variacion	+ 18,44%	+ 84,77%	+ 0,00%	+ 7,48%	+ 15,90%	+ 13,42%	10,92%

Tabla 7.59. Comparación de Neq s/ distintas formulaciones- Balanza descendente “Margarita Belén”

Se aclara que en el caso de las Balanzas de Río Tala, los resultados obtenidos de número de ejes correspondientes a Lilli Lockhart no coinciden entre sí debido a que se adoptaron para la verificación similares configuraciones a las calculadas por la formulación propuesta, razón por lo cual se adoptaron dos configuraciones menos de ejes en la ascendente que la descendente.

En función a lo expuesto se deduce que en las balanzas “Colastiné” los resultados aplicando la fórmula propuesta resultan muy próximos a los propios de AASHTO 93 para SN=3 y Pt = 2. El número de ejes asociados a la formulación de Vialidad Nacional resulta ser el de mayor nivel de desfaseaje, superando en 80% del valor mínimo obtenido coincidente con la formulación AASHTO 93 (SN=4; Pt=2).

Para el caso de las balanzas de “Río Tala”, se verifica la misma tendencia que en Colastiné, siendo el valor calculado de Lilli- Lockhart el piso mínimo de comparación. El número de ejes equivalentes de Vialidad Nacional supera en un 75% el mínimo mencionado. La formulación propuesta brinda similares resultados que la metodología AASHTO 93.

En las Balanzas de Margarita Belén se repitió la tendencia de Río Tala, pero aumentando notablemente el desfase entre el mínimo (Lilli- Lockhart) y el máximo número de ejes equivalentes (DNV), superando el 84%.

7.6. DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL DEL TRÁNSITO

Cuando el tránsito circula por la carretera no lo hace canalizado, es decir, no todos respetan la misma trayectoria, sino que cada camión adopta distintas posiciones respecto al perfil transversal de la calzada. Este movimiento se puede valorar a través de un valor medio de posiciones respecto al borde externo del carril de circulación y una desviación respecto a ese medio si se asume una distribución Gaussiana. La desviación lateral de las líneas de corriente de tránsito produce una influencia en el número admisible de aplicaciones de carga sobre un determinado punto del pavimento (línea de huella) al momento de predecir el comportamiento a la fatiga y al ahuellamiento sufrido por una capa de pavimento. Un incremento en esa desviación, se traduce en un menor daño tanto por fisuración como por ahuellamiento incrementando la vida útil del pavimento.

Puede expresarse entonces que este factor constituye otro elemento que condiciona el efecto destructivo sufrido por la calzada, esta vez desde el punto de vista del posicionamiento de las cargas y no desde el del espectro de cargas y tipo de ejes. Estando su distribución condicionada principalmente por el ancho de los carriles, el nivel de tránsito y la presencia de obstrucciones laterales.

En los métodos de diseño este aspecto fue históricamente omitido en el análisis de las tensiones e incluido dentro de los criterios de falla; más recientemente comenzó a ser valorada su consideración dentro del análisis tensional y requiriéndose en consecuencia la definición de las variables que definan esta distribución lateral del tránsito. El AASHTOWare Pavement ME Design (2008) adopta una distribución estándar y por defecto, para carriles habituales, una desviación de 25 centímetros. Este método recomienda además, si no fue medido, diferentes valores a adoptar según el ancho del carril, para anchos inferiores a 305 cm sugiere un valor de desviación de 20 cm mientras que para anchos del carril superior a 365 cm se sugiere una desviación de 30 cm. A nivel local el programa BackViDe adopta similares consideraciones, pudiendo el usuario modificar dicho valor.

En virtud de la trascendencia de este variable, siendo éste un objetivo planteado relacionado con la deriva transversal de los vehículos pesados en la trocha, se realizaron censos de cobertura en diversas secciones en las Rutas Nacionales N° 34 y N° 11 en jurisdicción de la Provincia de Santa Fe.

La medición se realizó materializando en el borde de la calzada líneas divisorias equidistantes 0,20 m a partir del borde externo de la demarcación lateral, de manera de verificar la distancia efectiva de apoyo del neumático externo de los vehículos pesados. Para el censo se observó el borde externo de la rueda externa del segundo eje de cada vehículo pesado.

El relevamiento visual se realizó a partir del posicionamiento de los técnicos en un sector que no tuviera influencia en el desarrollo normal de la trayectoria del vehículo. Los censos fueron de cobertura durante 4 hs consecutivas, encuadrados en períodos centrales de días hábiles, totalizando más de 76 hs de auscultación visual. En las fotos inferiores se presentan algunos ejemplos de censos realizados por ruta.



Figura 7.16. Foto relevamiento visual RN N° 34- Km 184,00



Figura 7.17. Foto relevamiento visual RN N° 11- Km 663,00



Figura 7.18. Foto relevamiento visual RN N° 34- Km 209,00



*Figura 7.19. Foto relevamiento visual
RN N° 34- Km 235,00*



*Figura 7.20. Foto relevamiento visual
RN N° 34- Km 101,00*



*Figura 7.21. Foto relevamiento visual
RN N° 11- Km 549,00*



*Figura 7.22. Foto relevamiento visual
RN N° 11- Km 520,00*



*Figura 7.23. Foto relevamiento visual
RN N° 11- Km 663,00*



*Figura 7.24. Foto relevamiento visual
RN N° 11- Km 430,00*

En la tabla inferior se resumen los resultados obtenidos de los censos visuales, organizados de acuerdo a la ruta, sección, ancho de calzada, fecha, TMDA de vehículos pesados y ubicación de la rueda respecto al borde externo de la señalización horizontal.

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RN	KM	Ancho calzada (m)	Fecha relevamiento	TMDA total (v/d)	% VP	TMDA VP (v/d)	Período de relevamiento	VP relevados (v/d)	Entre 0,00m- 0,20m	Entre 0,20m- 0,40m	Entre 0,40m- 0,60m	Entre 0,60m- 0,80m
RN 34	KM 209	7,30	09/09/2015	6491	52,9	3434	10:00 -14:00	166	9,64%	49,40%	40,96%	0,00%
RN 34	KM 184	7,30	10/09/2015	4334	61,3	2657	8:00 -12:00	120	5,00%	16,67%	78,33%	0,00%
RN 11	KM 663	7,35	16/09/2015	3133	45	1410	10:00 -14:00	143	0,70%	1,40%	68,53%	29,37%
RN 34	KM 386	7,30	14/10/2015	4981	56,8	2829	8:00 -12:00	170	15,29%	41,18%	43,53%	0,00%
RN 34	KM 235	7,30	26/04/2016	7200	39,2	2822	13:00 -17:00	104	25,00%	75,00%	0,00%	0,00%
RN 34	KM 184	7,30	27/04/2016	4239	53,1	2251	8:00 -12:00	138	0,00%	86,96%	13,04%	0,00%
RN 34	KM 209	7,30	05/05/2016	6500	47,4	3081	9:00 -13:00	282	24,82%	67,38%	7,80%	0,00%
RN 34	KM 145	7,30	14/06/2016	3750	64,4	2415	12:00 -16:00	152	0,00%	92,11%	7,89%	0,00%
RN 34	KM 101	7,30	15/06/2016	4500	76,4	3438	9:00 -13:00	252	0,00%	92,06%	7,94%	0,00%
RN 34	KM 209	7,30	14/07/2016	6500	51,2	3328	9:00 -13:00	236	0,00%	57,63%	42,37%	0,00%
RN 11	KM 549	7,30	26/07/2016	4450	34,7	1544	10:00 -14:00	148	24,32%	75,68%	0,00%	0,00%
RN 11	KM 520	7,30	27/07/2016	4450	34,7	1544	9:00 -13:00	168	21,43%	66,67%	11,90%	0,00%
RN 11	KM 663	7,30	03/08/2016	3171	41,1	1303	9:00 -13:00	72	0,00%	75,00%	25,00%	0,00%
RN 11	KM 430	7,30	03/11/2016	3100	23,4	725	8:00 -12:00	67	50,75%	49,25%	0,00%	0,00%
RN 34	KM 235	7,30	09/11/2016	7200	44,5	3204	9:00 -13:00	216	18,52%	51,85%	29,63%	0,00%
RN 34	KM 235	7,30	10/11/2016	7200	44,5	3204	9:00 -13:00	168	28,57%	33,33%	38,10%	0,00%
RN 34	KM 253	7,30	14/02/2017	6500	44,5	2893	12:00 -16:00	216	17,59%	73,15%	9,26%	0,00%
RN 11	KM 663	7,30	22/05/2017	3171	41,1	1303	9:00 -13:00	284	7,75%	54,93%	37,32%	0,00%
RN 11	KM 500	7,30	23/05/2017	5400	41,2	2225	9:00 -13:00	143	0,00%	8,39%	54,55%	37,06%
Σ									13,13%	56,21%	27,17%	3,50%

Tabla 7.60. Resultados censos visuales distancia entre borde de calzada y rueda externa

De acuerdo a los relevamientos ejecutados, se verifica que el 56% de los vehículos pesados presentan una trayectoria de huella externa comprendida entre 0,20m y 0,40m.

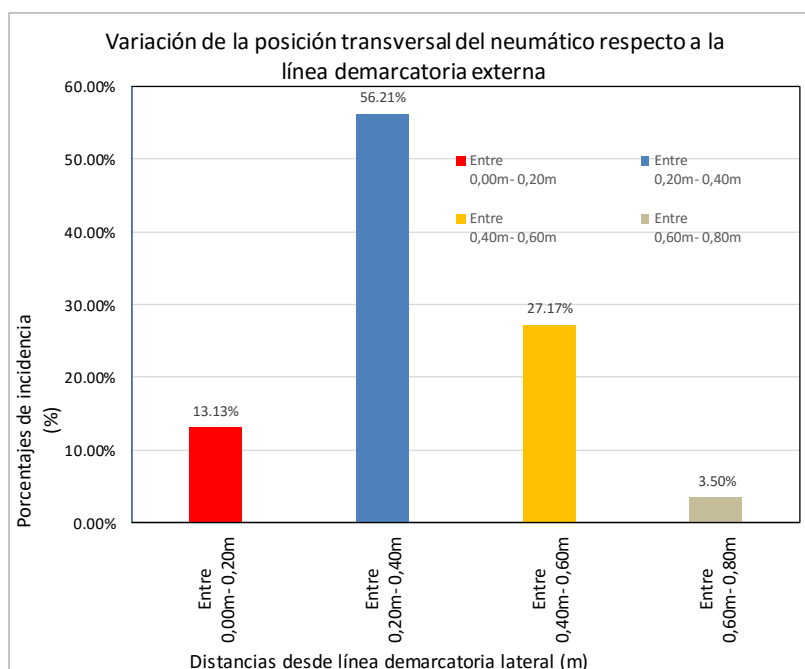


Figura 7.25. Variación transversal del neumático respecto al borde de calzada

La gráfica siguiente muestra el promedio de las mediciones cada 10 cm, ponderado con el número de mediciones, conjuntamente con la distribución Gaussiana que aproxima la distribución evaluada. Resultando en misma una desviación estándar de 13 cm y un valor medio de 32 cm.

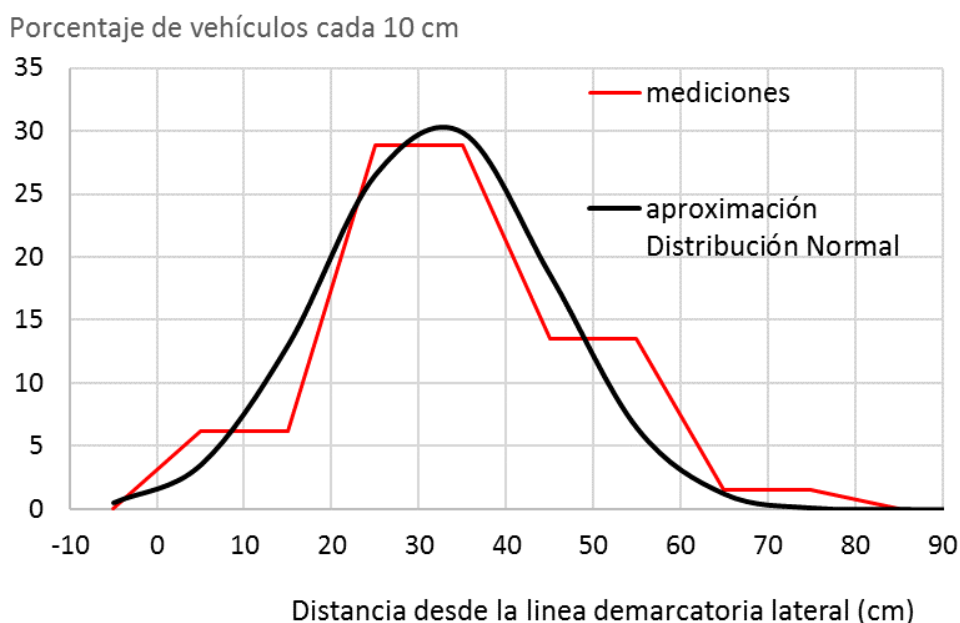


Figura 7.26. Distribución normal de la posición del neumático

Se evidencia una marcada canalización del tránsito respecto a los valores sugeridos por la guía empírico mecanicista AASHTO y adoptados localmente, resultando en esta evaluación una desviación de 13 cm del orden de la mitad de la sugerida 25 cm.

Esta primera medición plantea la posibilidad de un comportamiento diferencial de los conductores locales del tránsito pesado, si bien se desconoce la influencia ocasionada en esta evaluación por la presencia del personal que efectuó el censo.

CAPÍTULO 8

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

8.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En función de los objetivos específicos formulados en el Plan de Tesis, el desarrollo de la misma ha permitido arribar a los siguientes resultados:

- **Caracterizar el tránsito a nivel regional, mediante el estudio de las cargas por configuración de ejes por vehículo (Espectro de Cargas) en tres rutas nacionales de fuerte influencia de tránsito pesado vinculado a cargas agrícolas- ganaderas.**

Las balanzas adoptadas para el análisis se ubican sobre arterias principales de la Red Vial Nacional, precisamente son las Rutas Nacionales N° 168, N° 9 y N° 11. Estas arterias son vías de transporte de commodities, mercaderías y cargas generales en la región centro este del país, con fuerte impronta agroindustrial y en menor medida transferencia internacional de cargas.

Las balanzas propuestas presentan un TMDA de vehículos pesados en el rango de 16,60% a 42,00%, promediando 26,00%. El porcentaje de vehículos pesados medidos en el período 2013-2016 fue inferior al 5,5% del total de camiones que transitaron por la sección. La mayor cantidad de camiones relevados corresponden a configuraciones del tipo S1D1D1D2, S1D1D2, S1D2D1D1 y S1D1D2.

Las cargas legales de circulación en jurisdicción de la Rep. Argentina están reglamentadas por la Ley 24449, que limita las cargas por cada tipo eje para preservar la infraestructura vial. Durante el desarrollo de la Tesis se verificó que el eje que presentaba mayor incumplimiento es el eje simple dual, promediando el 12,0% del total de ejes de ese tipo auscultado. En esta línea le sigue el eje direccional promediando 6,1%, el tadem y el tridem respectivamente. Sin embargo existe una salvedad normativa relacionada con la carga transportada que debería ser modificada. Los ejes duales puedan alcanzar la carga máxima reglamentada ajustando la carga neta transportada porque el peso propio del eje no tiene gran influencia en el total auscultado. Por otro lado el eje direccional concentra la totalidad de la carga en el peso propio correspondiente a los elementos mecánicos que forman parte del tren delantero como así también en el peso propio del motor, éste último condicionado también por la relación peso potencia. Por este motivo, como no puede regularse con libertad las cargas asociadas al peso propio debería ajustarse la normativa punitiva para no caer en criterios legales inaplicables y contradictorios. Considerando el eje simple dual, las configuraciones más impactadas fueron S1D1D1D2 y la S1D1D3.

Del análisis de los espectros de carga quedó en evidencia en algunas configuraciones la estacionalidad asociada al transporte de mercaderías. Es así que en las configuraciones S1D1D1D2, S1D1D1D1D1, S1D2D1D1, S1D1D3, entre otras registraron picos bien marcados en sus respectivos espectros.

- **Análisis estadístico de la variación de la carga equivalente (LEF) y el factor de camión (FC), para los distintos tipos de vehículos, comparación mensual y anual.**

Del análisis estadístico comparativo de los factores de camión se concluye que en la mayor parte de las balanzas se registra una variación dentro de los límites conformados por los factores de camión adoptados por Vialidad Nacional y un valor mínimo calculado por Lilli Lockhart (1997). Por lo tanto, dentro de esta área convergen entre el 60% y el 67% de los resultados, sobre el límite superior entre el 10% y 20% y por debajo del inferior entre el 18% y 30%. En este sentido, el factor de equivalencia asociado al eje simple direccional presenta la mayor divergencia entre la

formulación propuesta y el método AASHTO 93, magnitud que posteriormente se traslada a la configuración del camión en análisis. Es factible que esa diferencia se deba al valor adoptado de 69 KN, mientras que el método AASHTO 93 al no estar indicado ese valor se adoptaron los LEF correspondiente al eje simple dual de 80 KN.

En relación a los factores de camión, los resultados indican que no es factible realizar una caracterización fidedigna a nivel regional, verificando una notable variación entre las Balanzas “Colastiné” y las demás estudiadas. Comparando los factores de camión finales respecto a los propios de Vialidad Nacional, en el 90% de los casos los valores obtenidos de las balanzas resultan inferiores, perfectamente identificables en los gráficos que forman parte del capítulo desarrollado sobre el tema. Ahora bien, si se comparan con los propios de Lilli- Lockhart los valores son más homogéneos, notándose que la Balanza Colastiné es la que más se aproxima. Las restantes resultan superiores en la mayor parte de las configuraciones. Si se comparan los resultados obtenidos por Bavdaz, en función de los espectros de carga de la Autopista del Oeste, éstos resultan muy superiores a los registrados en la presente tesis, incluso mayores a los factores de camión adoptados por la DNV.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla inferior:

Vehículos pesados	Conf. de ejes	DNV 80KN 80 KN	Lilli- Lockhart 1997	Bavdaz- Método A 2010	Balanzas					
					Colastine		Río Tala		Margarita Belén	
					Asc	Desc	Asc	Desc	Asc	Desc
Sin Acoplado	1-1	2,64	1,337	1,076	0,718	0,574	1,672	1,123	1,359	1,134
	1-2	2,51	0,653	2,164	0,785	0,766	1,200	0,949	1,318	0,926
Con Acoplado	1-1-1-1	5,28	2,734	-	1,326	1,601		3,808	2,169	1,523
	1-1-1-2	4,29	4,418	9,384	5,032	4,734	5,316	5,450	5,511	5,961
	1-2-1-1	5,17	4,111	-	5,364	3,092	7,142	6,056	5,683	5,080
	1-2-1-2	4,22	2,437	-	-	-	-	-	-	-
	1-1-1-1-1	-	-	-	6,755	5,952	-	6,112	-	-
Semi remolque	1-1-1	3,56	2,499	5,176	0,736	0,848		1,569		
	1-1-2	3,96	1,598	4,856	0,941	1,252	2,471	2,556	2,081	1,076
	1-1-3	4,51	2,447	5,093	2,598	3,763	3,476	3,102	3,409	3,556
	1-2-2	3,85	1,745	-	1,125	1,959	2,851	3,031	2,515	2,914
	1-2-3	4,62	1,222	-	2,727	2,345	2,874	2,304	3,185	2,837

Tabla 8.1. Comparación factores de camión entre los antecedentes propuestos y las balanzas seleccionadas

Analizando el comportamiento del factor de camión en el tiempo, tanto en las balanzas “Colastiné” como las propias de “Margarita Belén”, se verifica una tendencia hacia la baja, no así en las balanzas “Río Tala”, en donde no se distingue tal situación. En cuanto a los picos, se verifican picos estacionales variables asociados a cargas de distinta índole, sin embargo no sobresalen por demás los picos asociados a períodos de cosecha, lo que estaría indicando la homogeneidad anual existente en materia de transporte de mercaderías.

A nivel general, si se comparan los factores de camión obtenidos en las distintas Rutas, se obtuvieron diferencias apreciables. Los factores de camión de “Colastiné” resultaron ser menores a

las otras dos balanzas en la mayor parte de las configuraciones. Se presenta cierto equilibrio entre las Balanzas de Río Tala y Margarita Belén. Por lo tanto, se concluye que no es recomendable caracterizar incuestionablemente el tránsito pesado de la región centro este del país mediante determinados espectros de carga, por lo que resulta primordial ampliar en el conocimiento específico de espectros en cada sección estudiada, logrando de esta manera una red pormenorizada de datos de base.

• **Análisis comparativo del Factor de Camión regional con los propios de aplicación usuales en Argentina (Dirección Nacional de Vialidad, Lilli y Lockhart 1995 y 1997).**

El análisis comparativo del Factor de Camión se materializó a través del cálculo de número de ejes equivalentes determinado en cada una de las Rutas Nacionales en coincidencia con la sección de ubicación de las balanzas. De la comparación del número de ejes equivalentes surge que los factores de camión de la formulación propuesta se encuentran en el rango de los calculados por AASHTO 93 en sus distintas condiciones de borde de serviciabilidad y número estructural. No se cumple esta tendencia con los propios de la Dirección Nacional de Vialidad que resultan muy superiores a estos últimos y más aún a los mínimos obtenidos, que mayormente fueron de Lilli-Lockhart. El desfase de los factores adoptados por la DNV resulta muy evidente, superando en un promedio del 65% a los propuestos y en un 80% a los de Lilli-Lockhart. Estas diferencias indudablemente no reflejan las condiciones reales del tránsito, repercutiendo fuertemente en el diseño tanto de las estructuras viales nuevas como en los refuerzos asociados a tareas de mantenimiento.

• **Análisis estadístico de la deriva transversal del tránsito, valorada a través de los puestos de censos de cobertura distribuidos en Rutas Nacionales de la Provincia de Santa Fe.**

El cumplimiento del objetivo propuesto fue logrado en base a relevamientos realizados en Rutas Nacionales de la Provincia de Santa Fe, en secciones de calzada de 7,30m de ancho. Desde el punto de vista conceptual, éste es un insumo que reviste trascendencia en análisis mecanicistas no solicitados a la fecha por las Reparticiones Técnicas Gubernamentales específicas, razón por lo cual es difícil encontrar estudios comparables de dichos datos a nivel regional. Sin embargo, la DNV se encuentra en proceso de adoptar algún métodos empírico- mecanicistas en el corto plazo para actualizar los procedimientos de cálculo viales, que seguramente será la piedra basamental de las propias reparticiones provinciales. A los fines prácticos, en los resultados del análisis estadístico de la deriva transversal en las rutas supervisadas de 7,30m de ancho, se evidencia que el tránsito pesado circula, en mayor proporción, con la rueda externa ubicada entre 0,20 y 0,40 m del borde externo, lo que equivale en porcentajes relativos de tránsito pesado el 56%.

8.2. CONCLUSIONES

Importancia de la sistematización de datos de pesaje

Queda claramente en evidencia la necesidad de abocar esfuerzos en la ampliación de las estaciones de pesaje, dirigidos a auscultar la totalidad de los ejes que transitan en las arterias del país. En este marco de trabajo, es factible incorporar a las estaciones fijas de peso estático de Vialidad Nacional, equipos de pesaje dinámico tipo WIM, que de alguna manera ajustarían los factores de camión en tiempo real, anual y estacional. Desde esta instancia resulta valioso que la implementación del pesaje dinámico transcurra simultáneamente con las balanzas estáticas en plena operación. Esto permitiría un tiempo de transición en donde se ajusten, corroboren y contrasten los pesos para lograr datos fidedignos. En virtud de las inversiones asociadas a una implementación lo más acabada posible de sistemas tipo WIM, sería transcendental en una primera etapa analizar regiones que agrupen tránsito, a priori, de cargas y características socio- económicas similares, de

modo de articular inicialmente sectores caracterizados por “factores de camión por región”, para posteriormente en una segunda etapa profundizar las regiones más comprometidas.

Mejoras en las herramientas metodológicas de verificación, corrección de los pesos medidos, factores de camión

Durante el desarrollo de la presente tesis quedó en evidencia las limitaciones que presenta el actual programa de sistematización de datos de Vialidad Nacional. La falta de control de los procedimientos de carga de datos y filtrado de insumos de entrada trae aparejados datos erróneos que pueden inducir a falsos valores de información de base. En este punto es necesario que la recolección de datos siga un procedimiento probado de fiscalización y corroboración.

Necesidad de continuar con futuros estudios de carga que comprendan las nuevas configuraciones implementadas a través del Art. 27 del Decreto N° 32/18 del Poder Ejecutivo Nacional.

El Decreto referido introduce al sistema de transporte de cargas nuevas configuraciones de camiones, de mayor relación peso potencia y carga total. En algunas configuraciones ya existentes, como por ejemplo S1D2D3, S1D1D2D2 se aumentó el peso máximo de carga total vigente hasta el presente decreto. También se introdujeron configuraciones tipo bitrenes, no consideradas en el corriente trabajo. Por lo tanto, es recomendable que futuras investigaciones concentren sus objetivos en actualizar los valores de espectros de carga, LEF y factores de camión, a los efectos de evaluar el impacto de la nueva reglamentación en los índices de base que caracterizan el tránsito pesado. También es recomendable seguir indagando sobre la representatividad que registran el valor legal asociado al eje direccional, con el fin de justificar la anulación y/o modificación de dicho límite punible que quedó desfasado en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D. C., USA: AASHTO, 2002.

(AASHTO 72) “AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures 1972”, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), National Academy of Science, National Research Council, Washington, D.C., 1972.

(AASHTO 86) “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures,” Vol. 1, Vol. 2, Vol. 3, AASHTO, 1986.

(AASHTO 93) “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.” AASHTO, Washington, D. C., 1993.

American Association of State Highway and Transportation Officials, “AASHTO Guide For Design of Pavement Structures,” Washington, D.C., 1993.

Badilla Vargas, G. “LA IMPORTANCIA DEL CONTROL DE CARGAS VEHICULARES EN LA VIDA UTIL DE NUESTRAS CARRETERAS”. Unidad de Investigación en Infraestructural Vial LanammeUCR- Universidad de Costa Rica. 2009.

Battiato G., G. Camomilla, M. Malgarini and C. Scapaticci “Measurement of the Aggressiveness of Good traffic on Road Pavements.” *Autostrade, Report No. 3: Tandem Effect Evaluation*. 1984.

Bavdaz G. Tesis de Maestría de Ingeniería Vial “DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS: COMPARATIVA DE METODOLOGÍAS CLÁSICAS Y MODERNAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS ESPECTROS DE CARGA”. Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires. Diciembre de 2010.

Bonaquist, R., C. J. Churilla, and D. M. Freund. “Effect of Load, Tire Pressure, and Tire Type on Flexible Pavement Response,” *Transportation Research Record No. 1207*, 1988.

Bonaquist, R. An Assessment of the Increased Damage Potential of Wide Based Single Tires,” *Seventh International Conference on Asphalt Pavement, Volume 3, Design and Performance*, pp. 1-16.

Carpenter, S. H. “Load Equivalency Factors and Rutting Rates: The AASHO Road Test.” *Transportation Research Record 1354*, Transportation Research Board. Washington, D.C. 1992.

Christison, J. T. “Vehicle Weights and Dimension Study,” Volume 8: Pavement Response to Heavy Vehicle Test Program: Part 1 — Data Summary Report, Road and Transportation Association of Canada, Technical Report, July 1986.

Corre, B. J., and T. D. White. “AASHTO Flexible Pavement Design Method: Fact or Fiction?,” *Transportation Research Record No. 1286*. 1990.

Garnica, A. P. Espectros de carga y daño para diseño de pavimentos, México, 2009.

Garnica P., Gómez J.A. (2002), “Mecánica de Materiales para Pavimentos”, Publicación Técnica 197, Instituto Mexicano del Transporte.

Garnica Anguas, P. “Espectros de Carga y Daño para Diseño de Pavimentos”. Quinta Conferencia Magistral “Alfonso Rico Rodríguez”. Instituto Mexicano del Transporte, 2017.

Garnica Anguas, P., Correa A. (2004) “Conceptos mecanicistas en pavimentos”, Publicación Técnica No. 258.

Gerrard, C. M., and W. J. Harrison. “A Theoretical Comparison of the Effects of Dual-Tandem and Dual-Wheel Assemblies on Pavements,” *Australian Road Research Board Conference, Proceedings*, Vol. 5, pp. 112-137, 1970.

Hajek J. “GENERAL AXLE LOAD EQUIVALENCY FACTORS”. *Transportation Research Board Record No. 1482*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995.

Hveem, F; Carmany R. The Factors Underlyng a Rational Design Pavements. Proc. Highway Research Board. 1948.

Hernández Jiménez, J.; Fabela Gallegos, M. “Diseño y construcción de un prototipo para determinar el peso de vehículos ligeros en movimiento”. Publicación Técnica No. 247. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México. 2004.

Huang Y.H., (2004), “Pavement Analysis and Design”, Ed, Prentice Hall.

Hudson, W. R., and L. J. Butler. “THE EFFECT OF TRIDEM AXLES ON PAVEMENT DAMAGE,” for the Association of American Railroads, Washington D.C., September 1994.

Hudson W. R., Seeds, S.B., Finn, F.N. and Carmichael R.F., 1986. Evaluation of Increased Pavement Loading. Final Report: Arizona DOT 84-59-1. ARE Inc. Engineering Consultants. Texas.

Hutchinson, B. G., R. C. G. Haas, P. Meyer, K. Hadipour, and A. T. Papagiannakis: Equivalencies of Different Axle Load Groups. Proc., 2nd North American Pavement Management Conference, Toronto, Canadá, Vol. 3, 1987.

Ibañez C. “PUERTOS CEREALEROS DE ARGENTINA”. Area de Infraestructura Comercial y Regímenes Especiales”. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Subsecretaría Agroindustria y Mercados. Presidencia de la Nación. Argentina. Agosto de 2008.

Ing. Félix Lilli, Ing. Jorge Lockhart; “EJES EQUIVALENTES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”, XXVIII Reunión del Asfalto, Buenos Aires, Abril de 1995.

Instituto Argentino del Transporte. “PLAN FEDERAL ESTRATEGICO DE MOVILIDAD Y TRANSPORTE Y CONFORMAR EL SISTEMA NACIONAL DE TRANSPORTE”. Ministerio del Interior y Transporte, Presidencia de la Nación- Argentina

Instituto del Transporte. “DEL CONTROL DE LAS CARGAS EN LAS RUTAS Y DE LAS DIMENSIONES DE LOS CAMIONES”. Academia Nacional de Ingeniería. Documento N° 9. Agosto 2015.

Jung, F. W., and W. A. Phang. “Elastic Layer Analysis Related to Performance in Flexible Pavement Design” *Transportation Research Record* No. 521, pp. 14-29, 1974.

Kawa I, Zhabg Z, Hudson R. “EVALUATION OF THE AASHTO 18- KIPS LOAD EQUIVALENCY CONCEPT”. Texas Department of Transportation. Report No. FHWA/TX-05/0-1713-1. October 1997.

Little, R. J., and L. J. McKenzie. “Performance of Pavement Test Sections in the AASHO Test Road,” Physical Research Report 76. FHWA-IL-PR- 76. Illinois Department of Transportation, FHWA, U.S. Department of Transpiration, 1977.

Luis Fernando Macea-Mercado, Luis Guillermo Fuentes-Pumarejo, Luis Gabriel Márquez-Díaz. “Characterization and development of closed form solutions for axle load spectra associated with trucks circulating the highways of Colombia”. Publicación Técnica Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, No. 77, pp. 32-40, 2015.

Mahoney, J. P., B. C. Winters, K. Chatti, T. J. Moran, C. L. Monismith, and S. L. Kramer: Vehicle/Pavement Interaction at the PACCAR Test Site. Research Report WA-RD- 384.1. Washington State Transportation Center (TRAC), University of Washington, Seattle, Washington. November 1995.

Monteros Vasquez C. Tesis de Maestría de Ingeniería Vial “FACTORES DE EQUIVALENCIA DE DAÑO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: ANÁLISIS PARA CONDICIONES TÍPICAS DE ARGENTINA”. Universidad Nacional de La Plata. Abril de 2016.

National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) “Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures”, NCHRP, Washington, D. C., USA, Project Rep. 1-37A, 2004. 3. Y. Wang, D. Hancher and K. Mahboub, “Axle Load Distribution for Mechanistic–Empirical Pavement Design”, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 133, no. 8, 2007.

Norma de secciones de firmes de la Comunitat Valenciana., 2009. Dirección General de Obras Públicas. División de Carreteras.

Papagiannakis, T., A. Oancea, N. Ali, J. Chan, and A. T. Bergman. “Application of ASTM E1049-85 in Calculating Load Equivalence Factors from In Situ Strains,” Transportation Research Record No. 1307, 1991, pp. 82-89.

Pavement Damage Functions for Cost Allocation, Vol. 1, Damage Functions and Load Equivalency Factors; Vol. 2, Description of Detailed Studies; Vol. 3, Flexible Pavement Damage Functions from AASHO Road Test Data; Rauhut, J. B., Lytton R. L., Darter, M. I.; Brent Rauhut Engineering, Inc.; Federal Highway Admin. Off. Of Eng. & Hwy. Opns.; FHWA/RD 84/019, 84/020; June 1984.

Poder Ejecutivo Nacional, “Ley de Tránsito; N°: 24449”, Diciembre de 1994.

Prozzi J. and Hong F., “Optimum statistical characterization of axle load spectra based on load associated pavement damage”, International Journal of Pavement Engineering, vol. 8, no. 4, 2007.

Revista Carreteras. Año XXIII/ N° 86- Abril- Junio 1978- Asociación Argentina de Carreteras. Sobre la equivalencia entre las cargas máximas por eje especificadas en el Reglamento General de Tránsito. Ing. Boris Dorfman

Rico, R. A., Téllez, G. R., Garnica, A.P. (1998). “Pavimentos Flexibles. Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias”. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 104. Querétaro.

Rod E. Turochy David H. Timm S. Michelle Tisdale. “TRUCK EQUIVALENCY FACTORS, LOAD SPECTRA MODELING AND EFFECTS ON PAVEMENT DESIGN”. Final Report Project 930-564. Highway Research Center Auburn University Auburn, Alabama. October 2005.

Romero R., Ruiz A., Perez J. “FIRST TEST ON THE CEDEX TEST TRACK”. Transportation Research Record 1354. Agosto 2008.

Southgate H. F. and Deen R. C.. Effects of Load Distributions on Axle and Tire Configurations. Research Report UKTRP-85- 13. Kentucky Transportation Research Program, 1985.

Timm, D.H., Peters, K.D. and R.E. Turochy, “Effects of Axle Load Spectra Shifts on Highway Infrastructure Damage and Cost,” Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, Paris, France, 2008. Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, Paris, France, 2008

Timm, D.H., Tisdale and R. Turochy, “Axle Load Spectra Characterization by Mixed Distribution Modeling”, Journal of Transportation Engineering, vol. 131, no. 2, 2005.

Transportation Research Board. “Regulation of Weights, Lengths, and Widths of Commercial Motor Vehicles”. Special Report 267. 2002.

Troncoso, Juan Ricardo. “EVALUACIÓN DEL ESPECTRO DE CARGA Y COEFICIENTES DE DAÑO EN EL CORREDOR DE LA AVENIDA BOYACÁ, BOGOTÁ D.C.”. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Maestría en Ingeniería Geotecnia. Bogotá 2011.

Ullidtz P., (1998), “Modelling Flexible Pavement Response and Performance”.

Universidad de Minnesota, 1999. Load Testing of Instrumented Pavement Sections, Mn/DOT Office of Materials and Road Research Maplewood, MN 55109. February 16, 1999

Vargas G. “LA IMPORTANCIA DEL CONTROL DE CARGAS VEHICULARES EN LA VIDA ÚTIL DE NUESTRAS CARRETERAS”. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial- Universidad de Costa Rica. San José, 2009.

Yi Jiang Shuo Li Tommy Nantung Huaxin Chen. “ANALYSIS AND DETERMINATION OF AXLE LOAD SPECTRA AND TRAFFIC INPUT FOR THE MECHANISTIC-EMPIRICAL PAVEMENT DESIGN GUIDE” . FHWA/IN/JTRP-2008/7. October 2008.

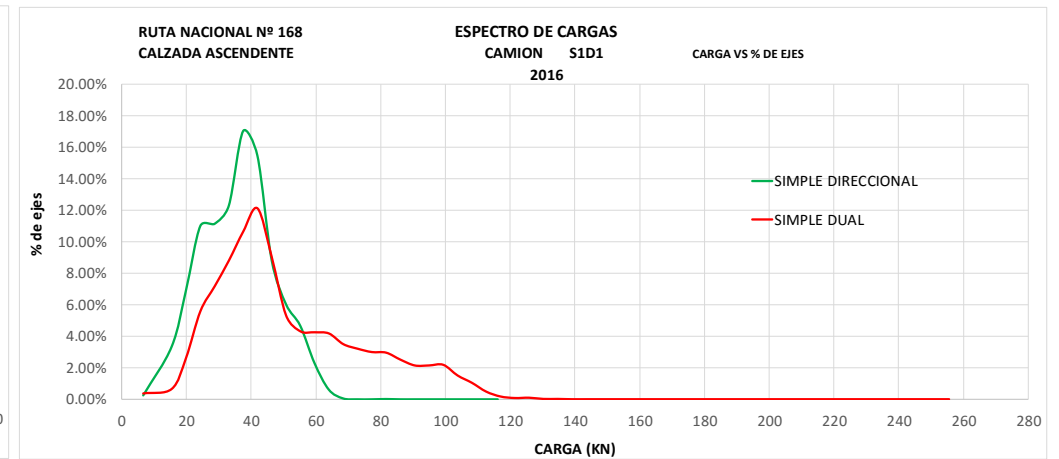
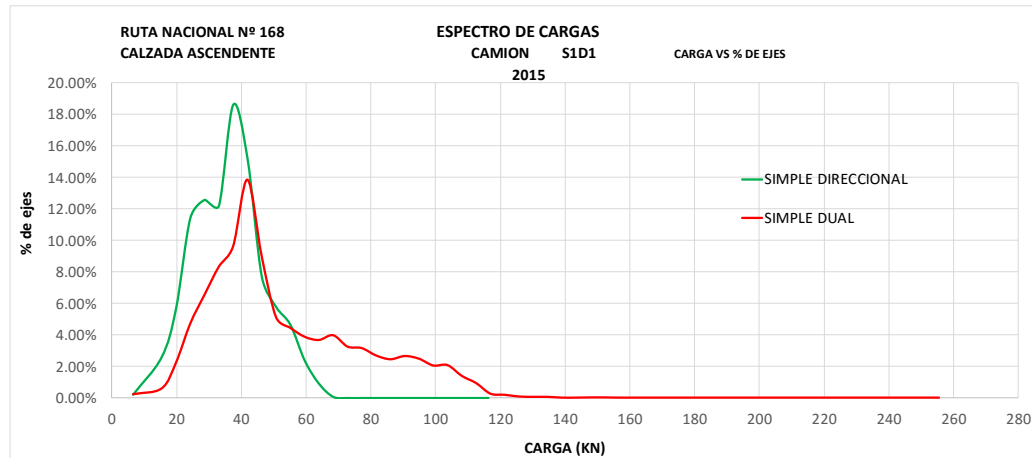
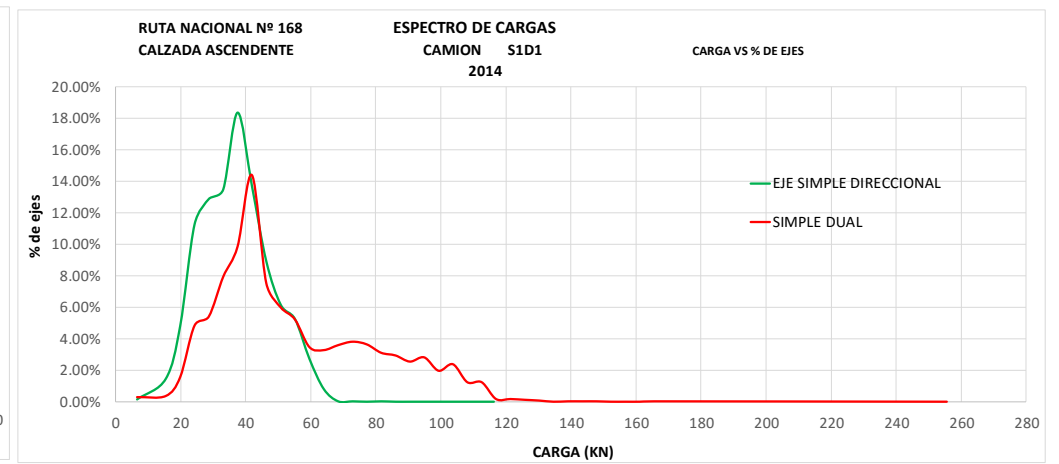
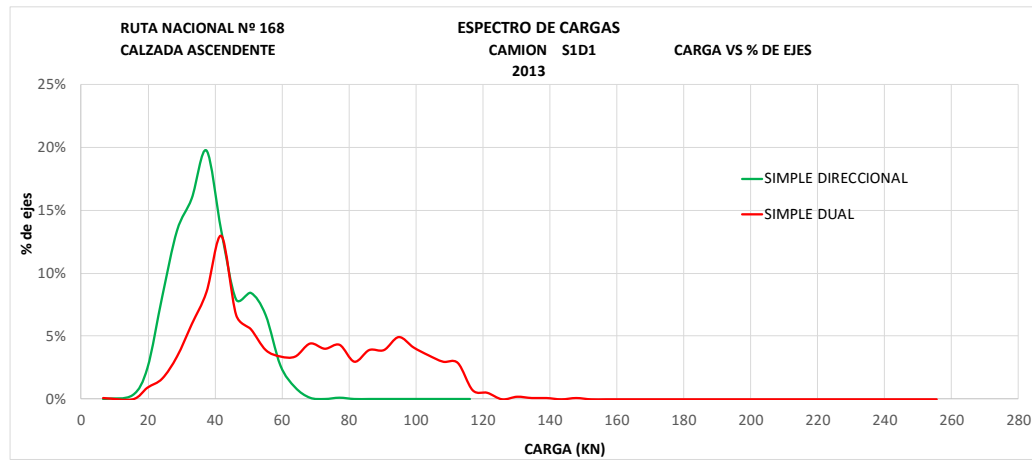
WITCZAK M. W.. “Principles of Pavement Design”. Second Edition. Wiley- Interscience Publication. 2do Edition.

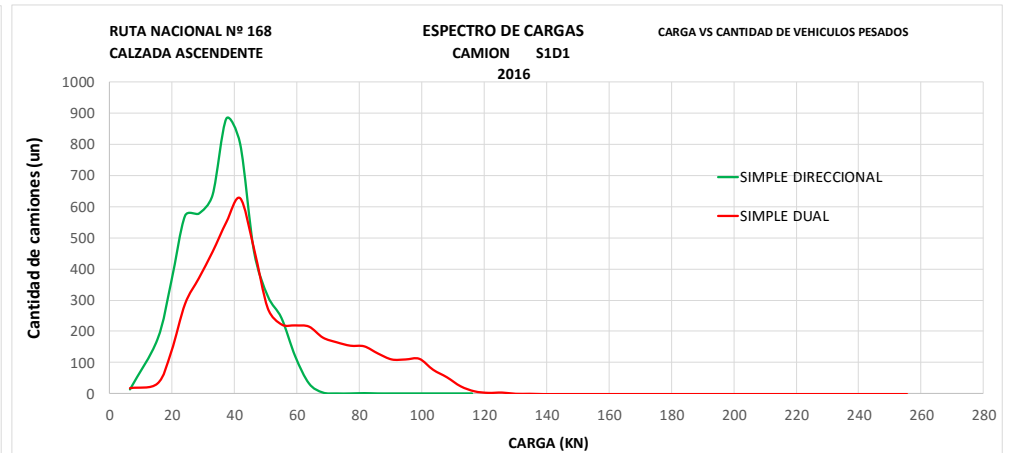
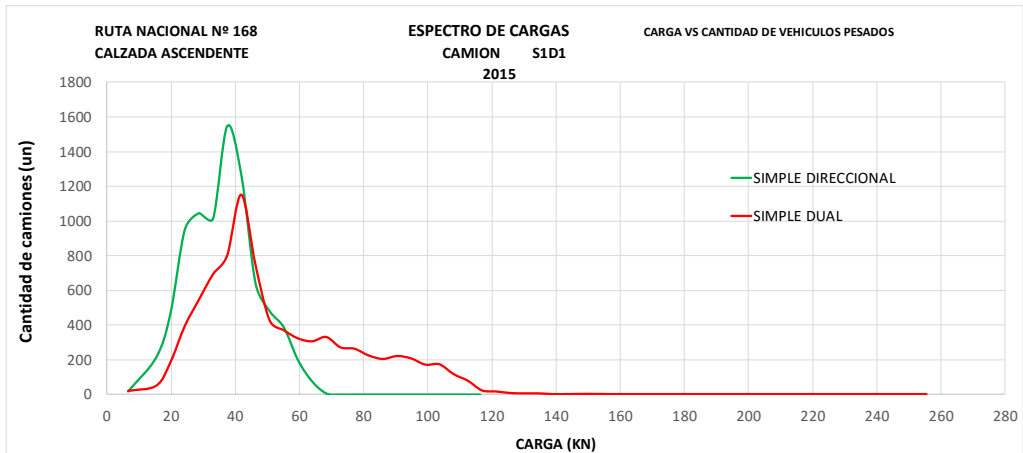
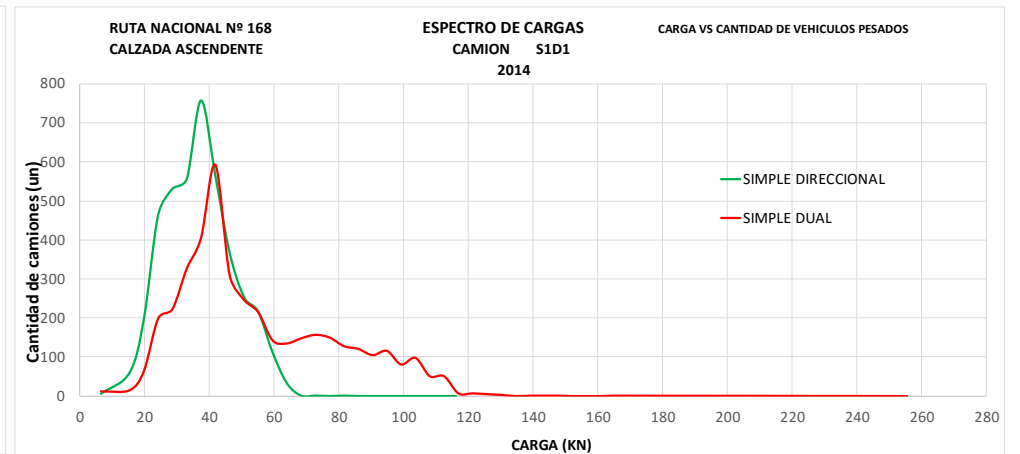
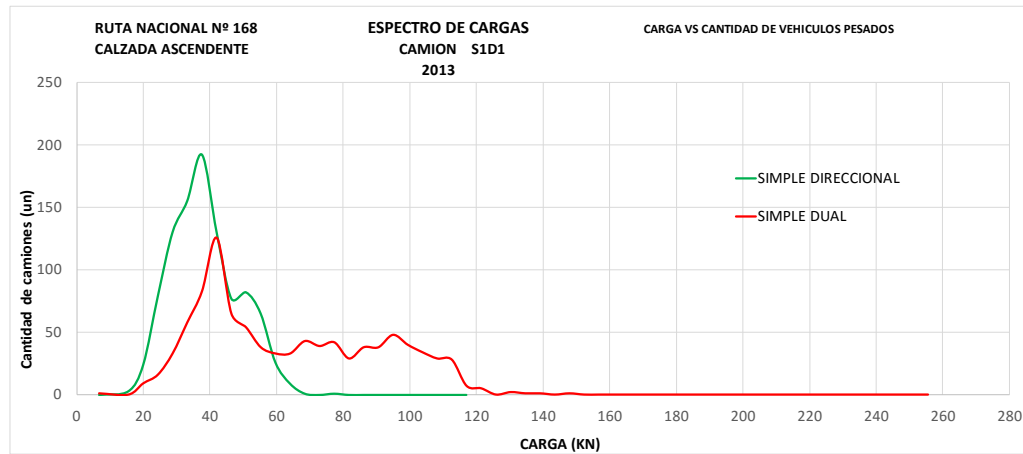
Hudson, S. W., V. L. Anderson, P. E. Irick, R. F. Carmichael, and B. F. McCullough. “Impact of Truck Characteristics on Pavements: Truck Load Equivalency Factors,” Final Report. 1992/07.9201-9207.

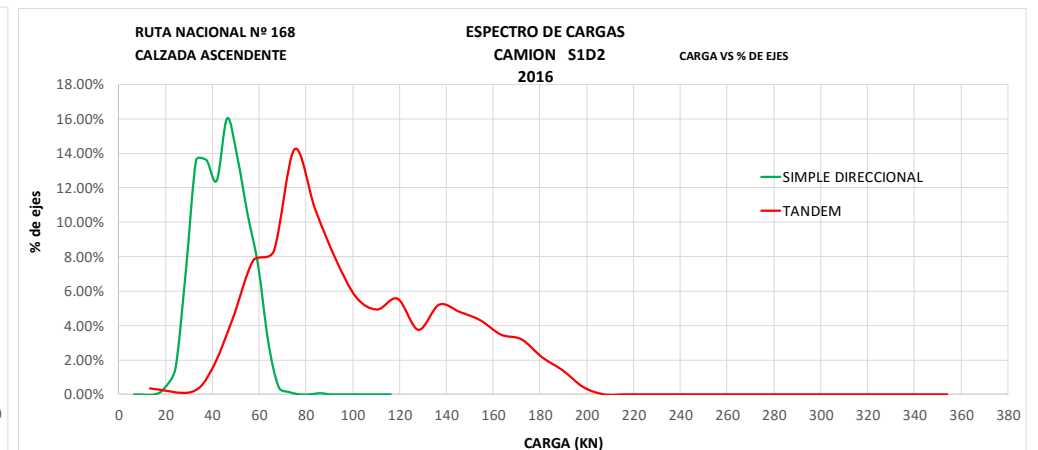
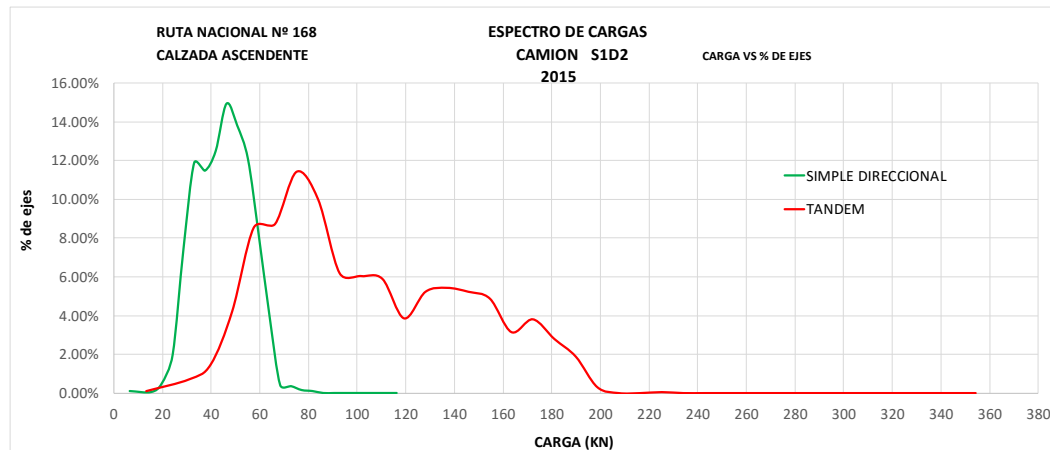
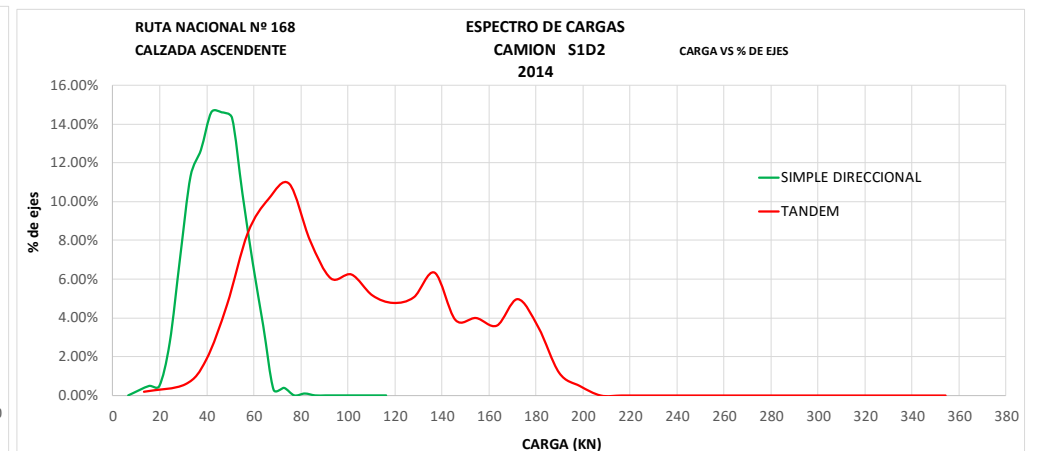
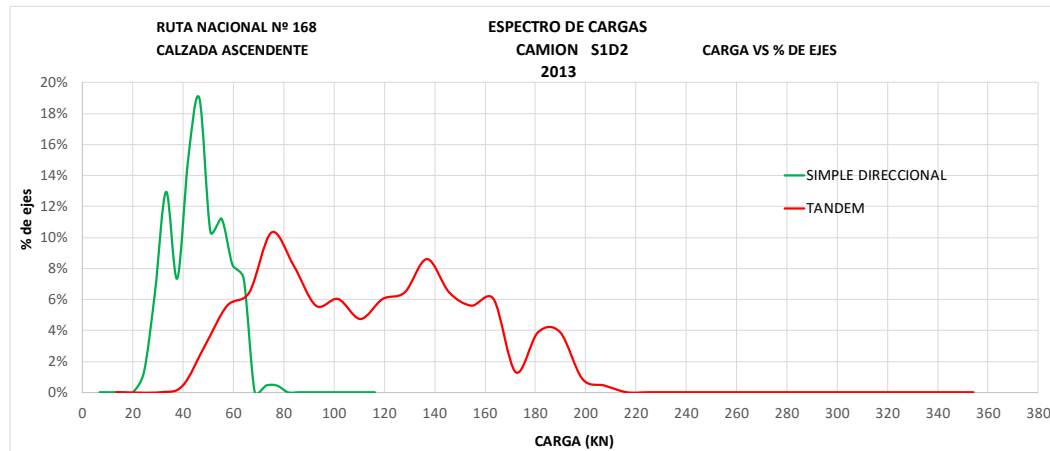
Hudson, W. R., M. T. McNerney, and T. Dossey. “Comparison and Reanalysis of AASHO Road Test Rigid Pavement Data,” *Transportation Research Record* No. 1307, 1991.

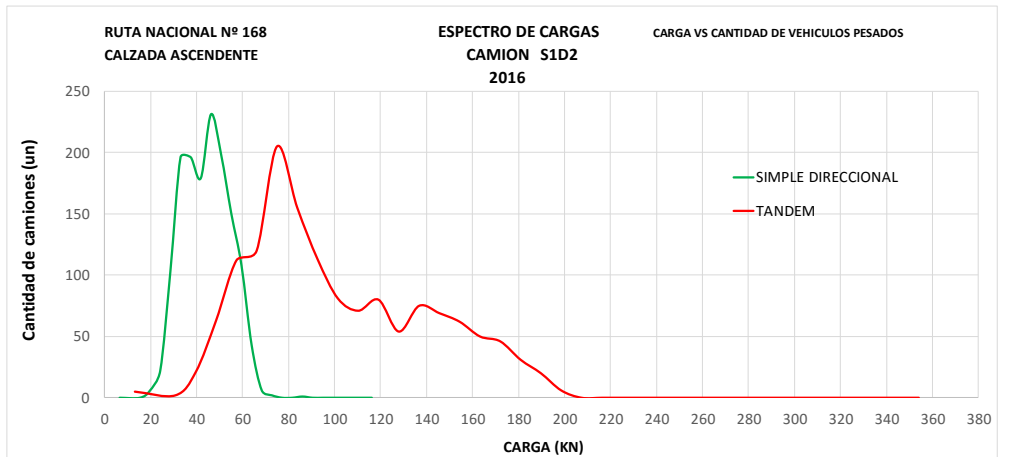
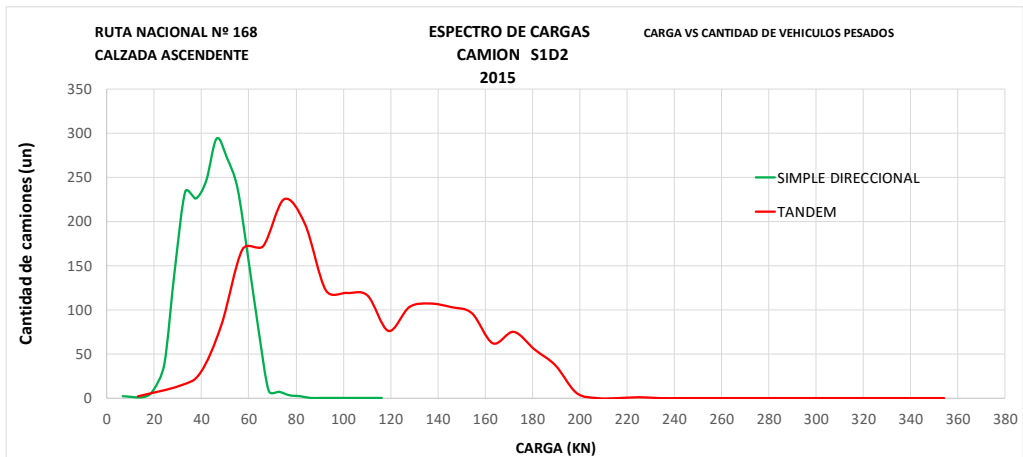
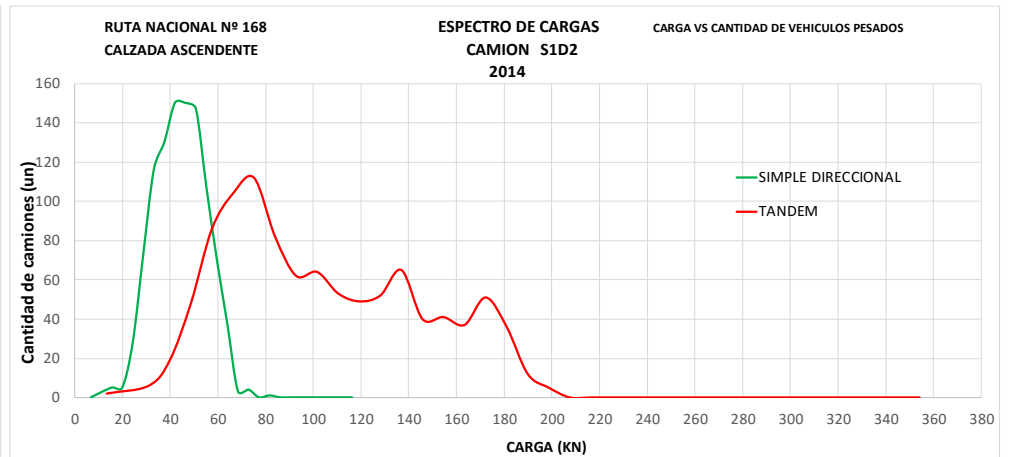
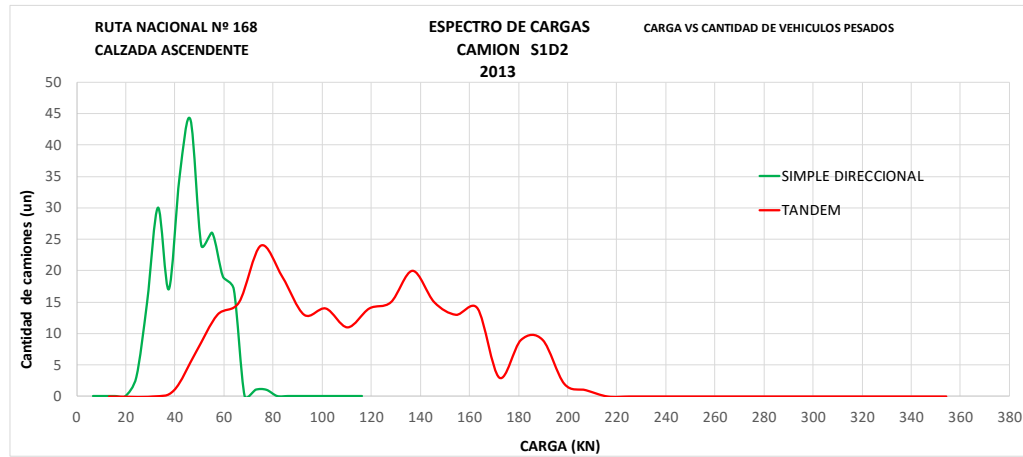
Scala, A. J., W. J. Cogill, and A. McNeil. “Comparison of the Response of Pavements to Single and Tandem Axle Loads,” Proceedings, Fifth ARRB Conference (5A), 1970.

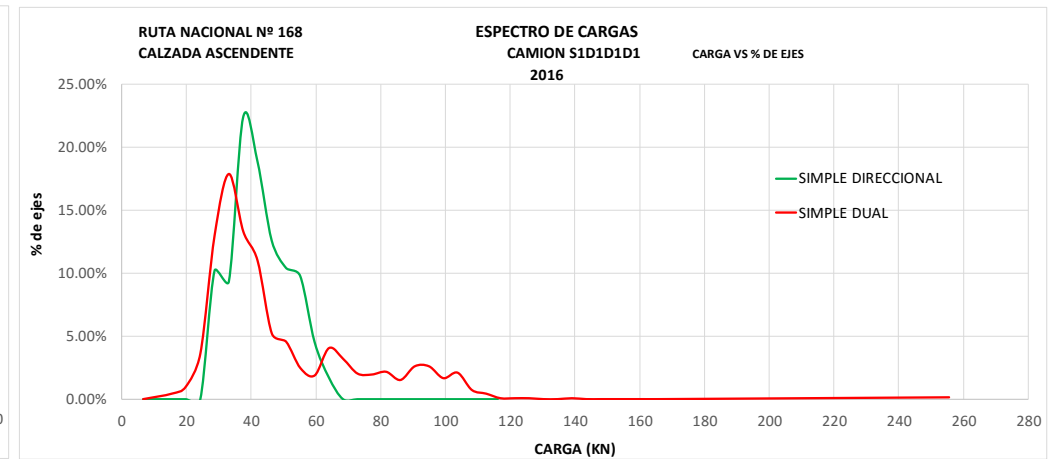
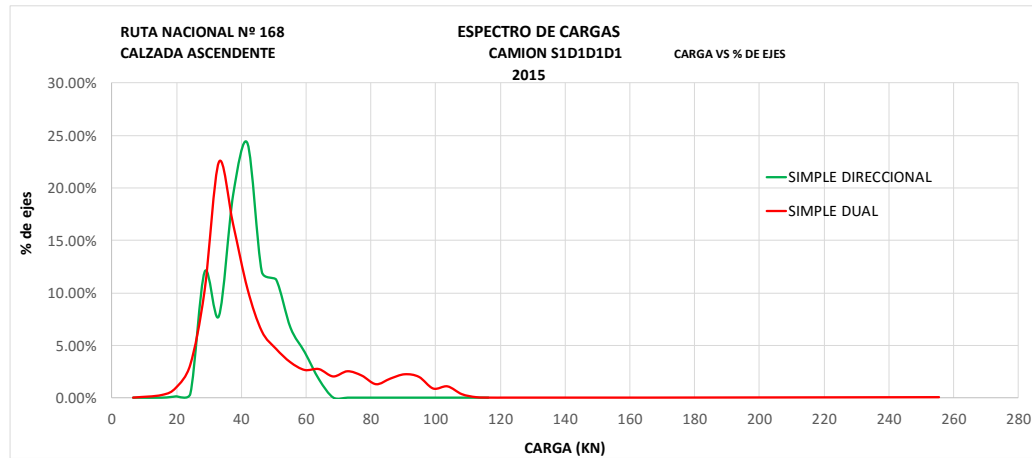
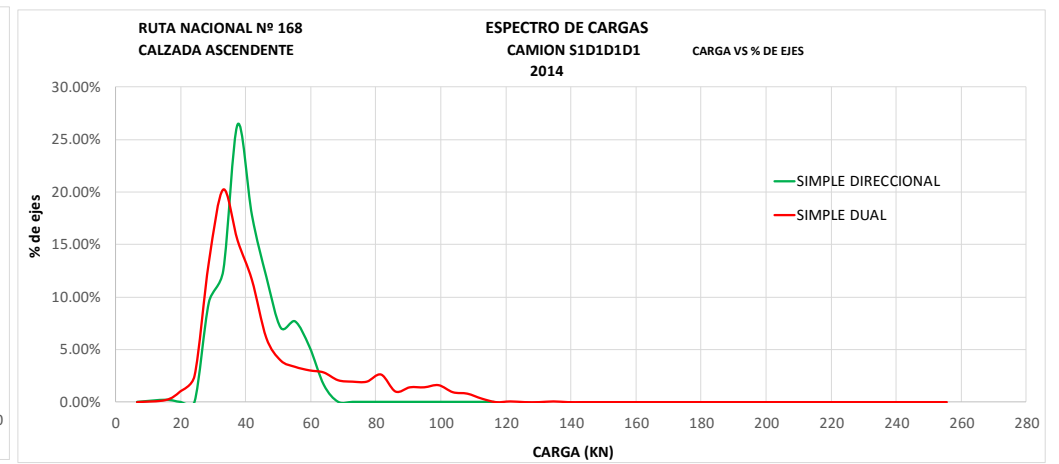
ANEXO I- ESPECTRO DE CARGA ANUAL POR CONFIGURACIÓN DE VEHÍCULO
BALANZAS RN N° 168- “COLASTINÉ”
BALANZAS RN N° 9- “RÍO TALA”
BALANZAS RN N° 11- “MARGARITA BELÉN”

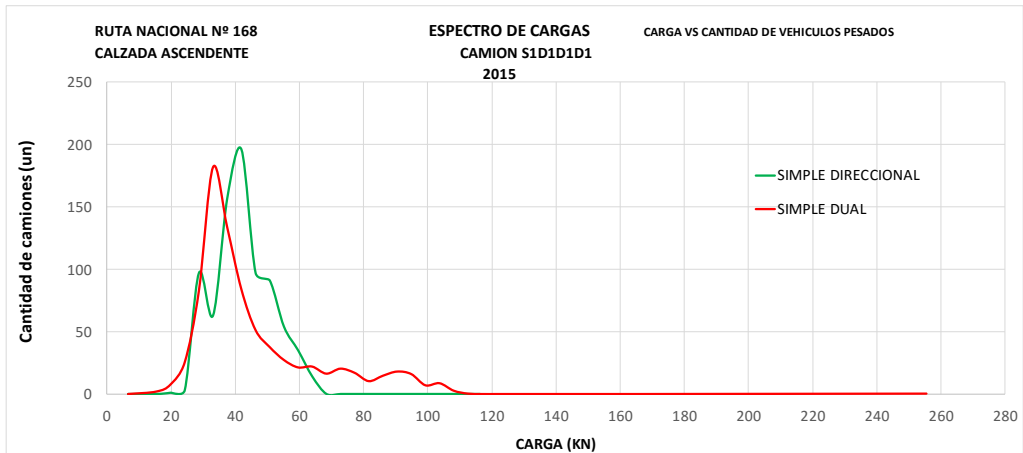
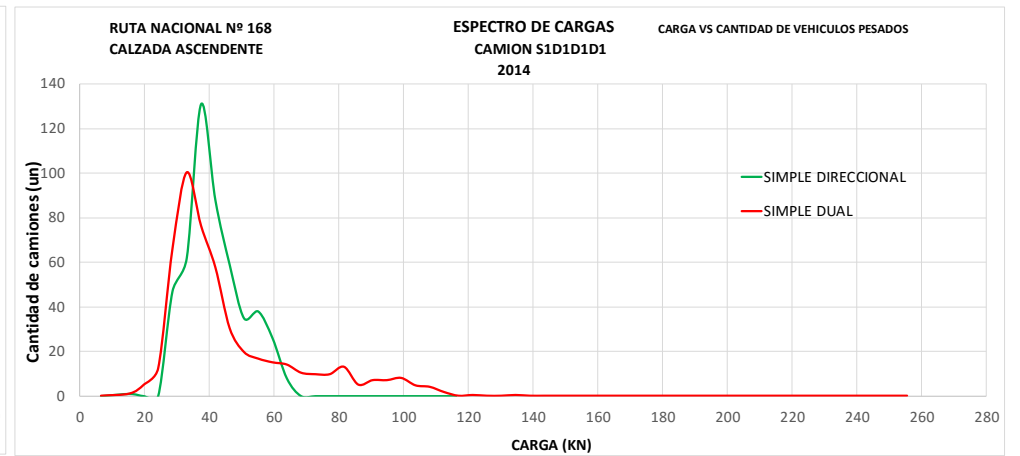
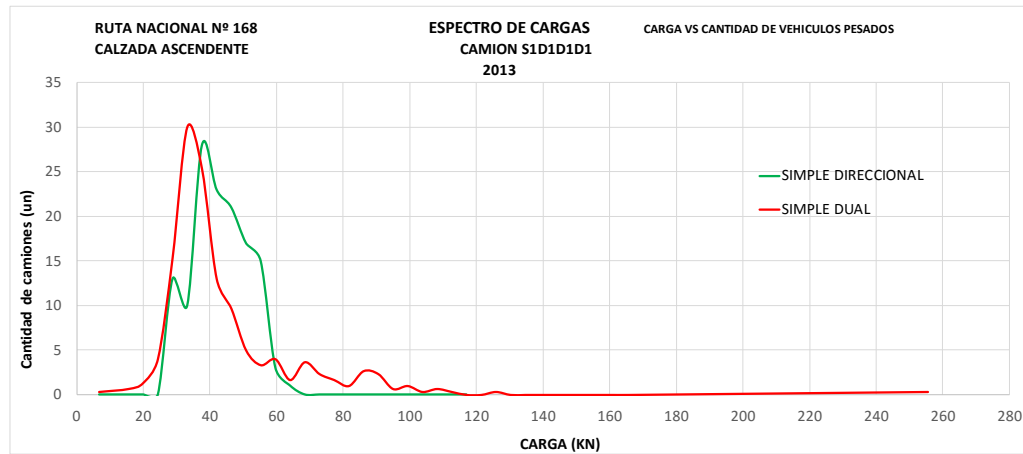


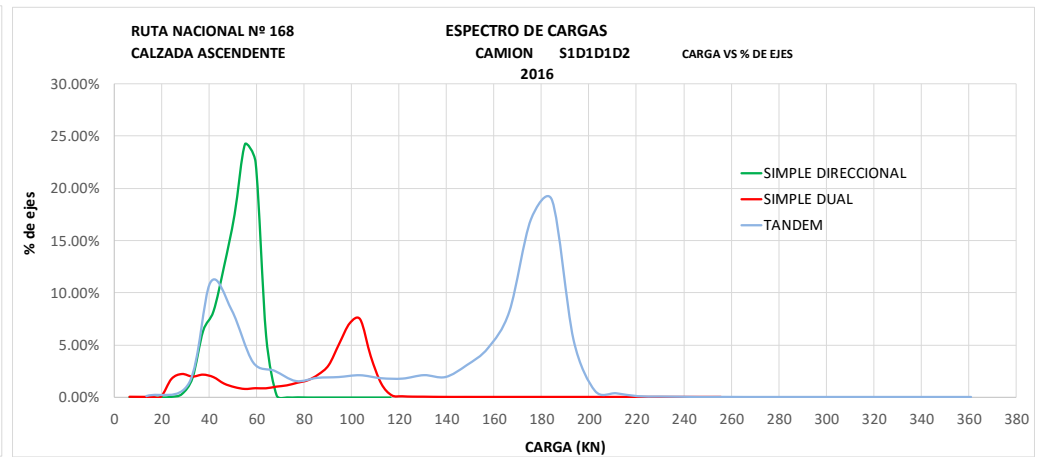
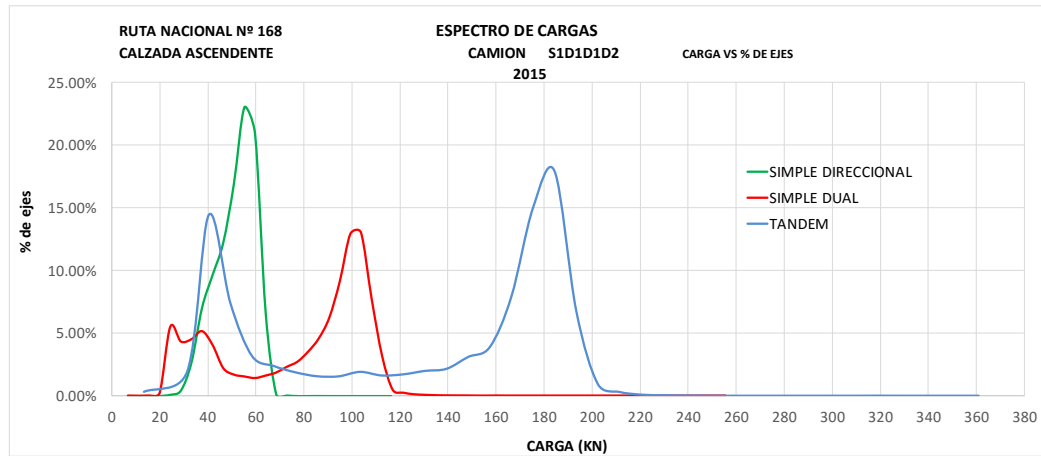
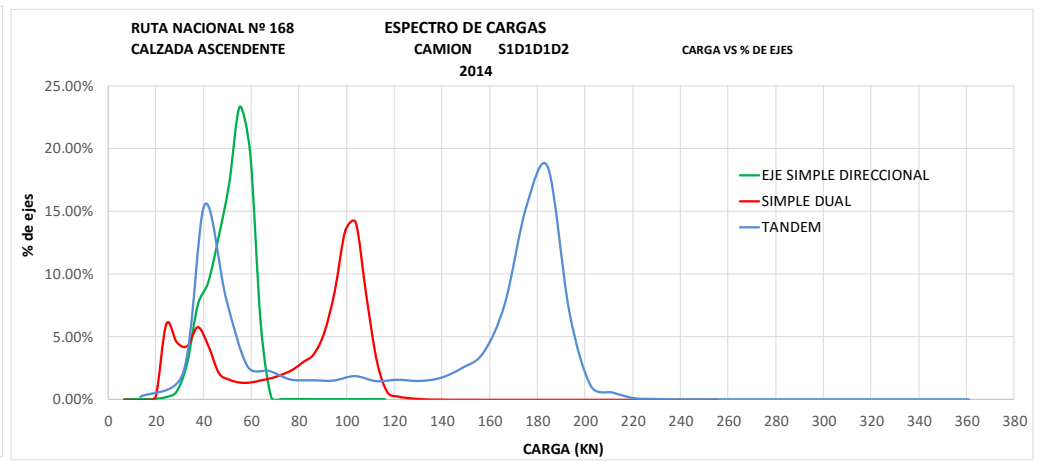


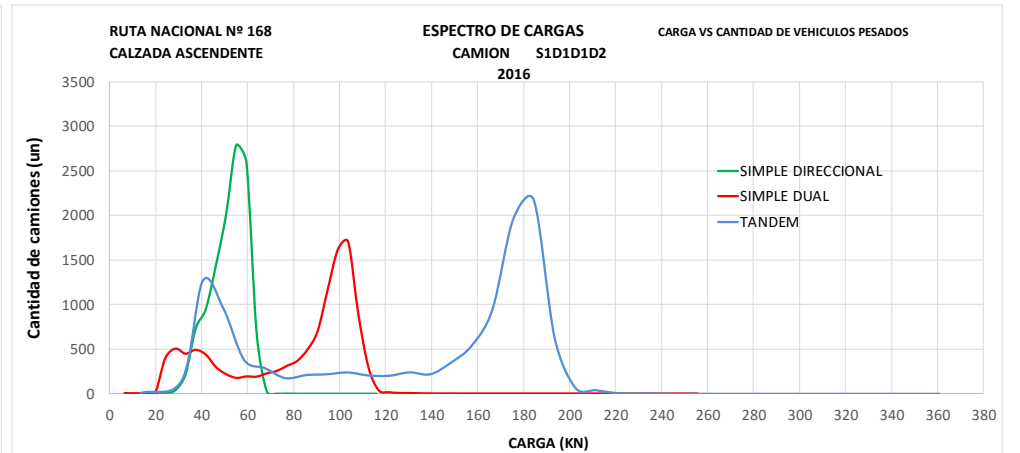
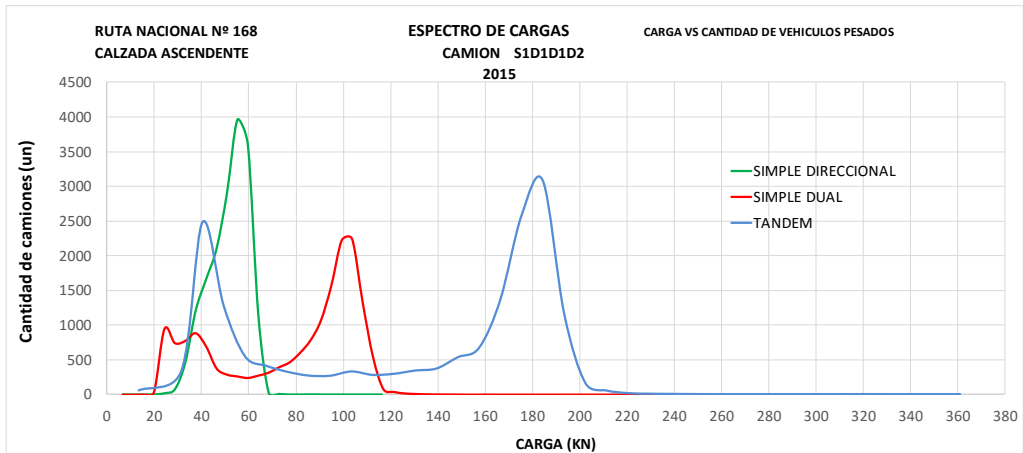
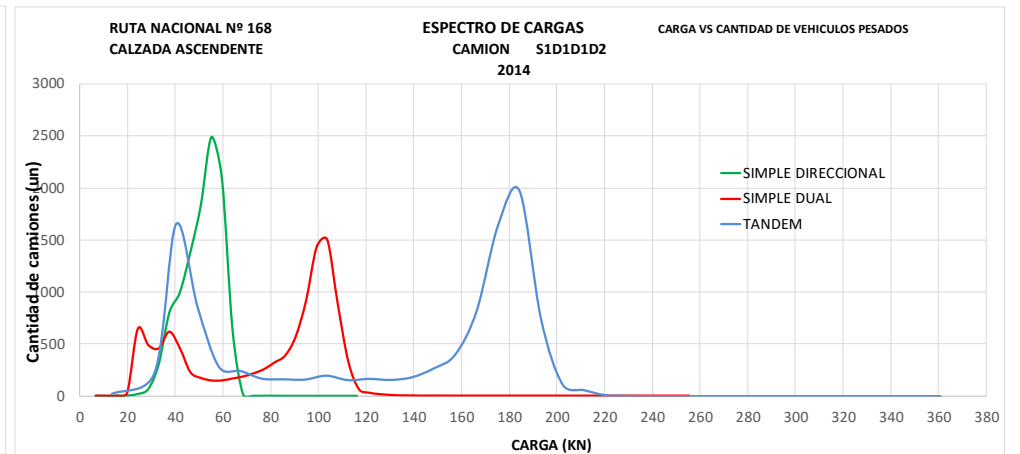
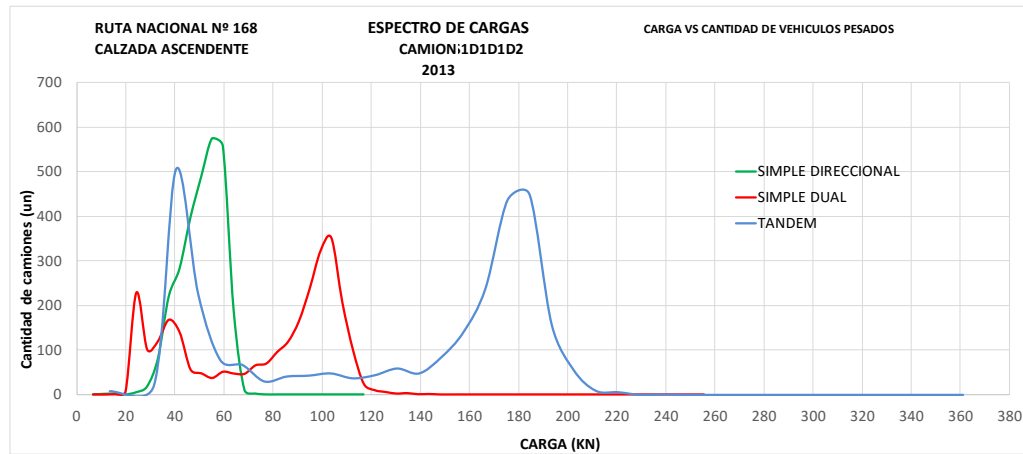


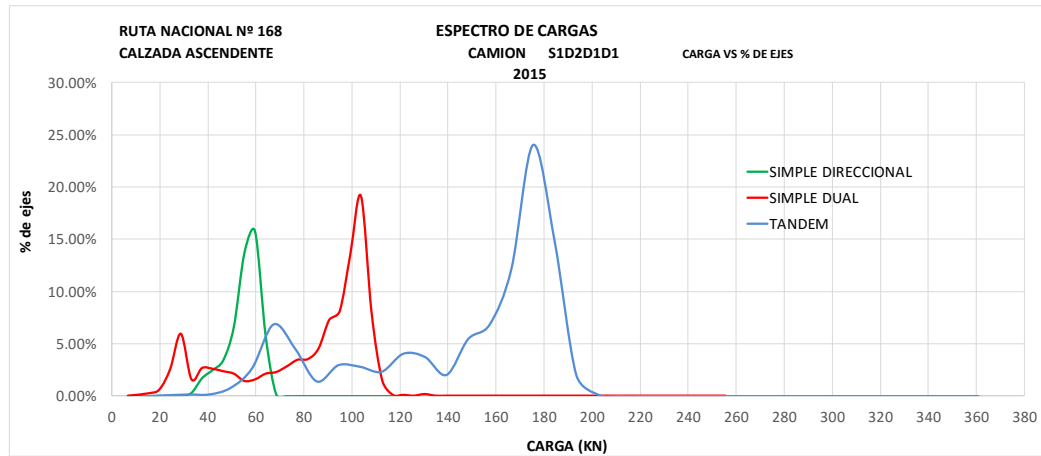
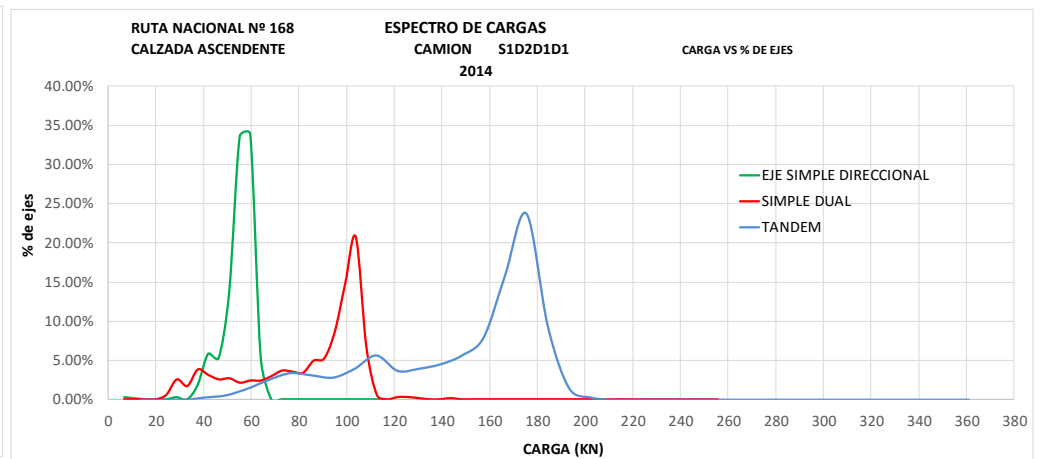
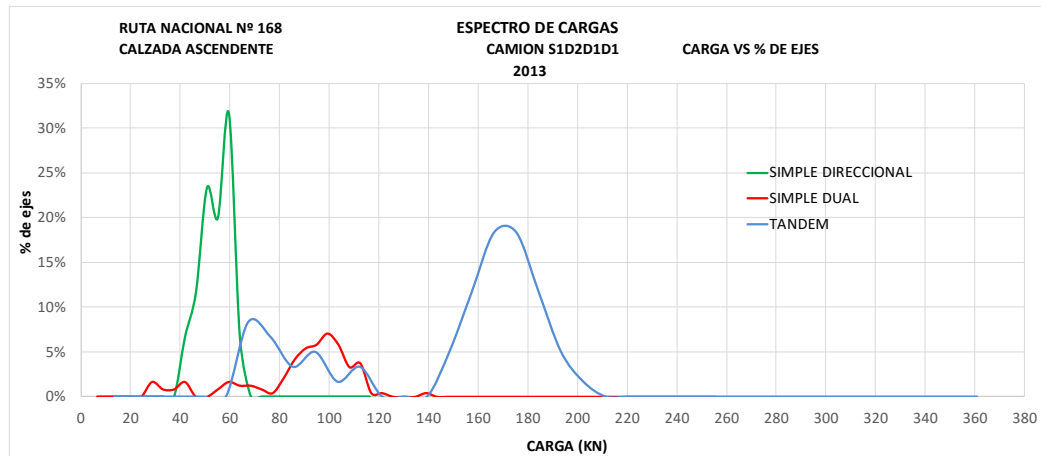


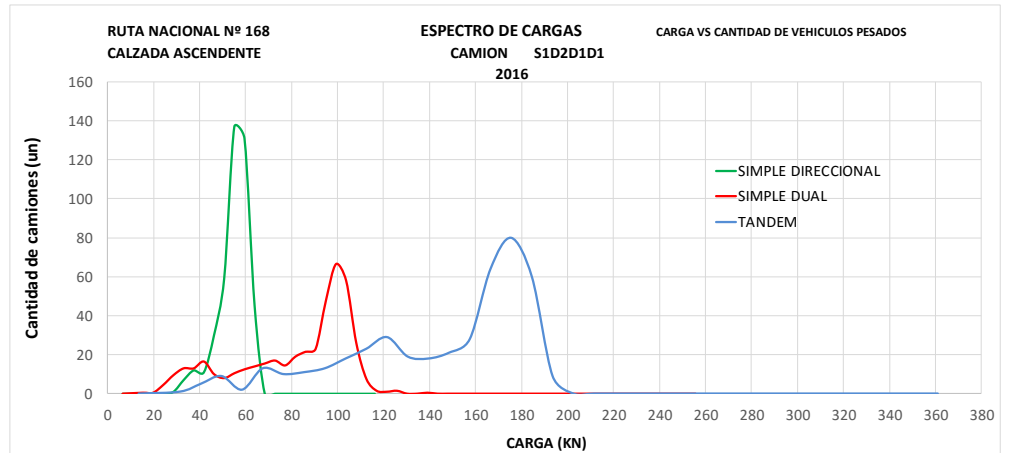
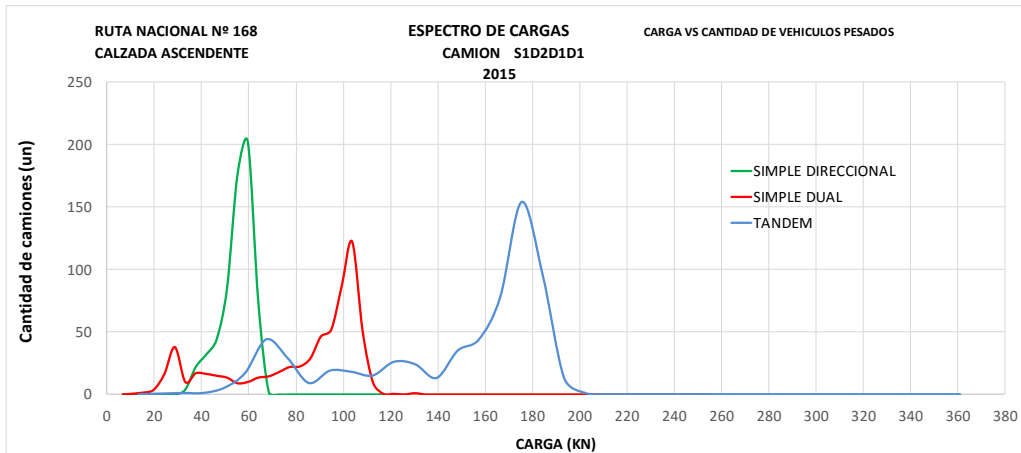
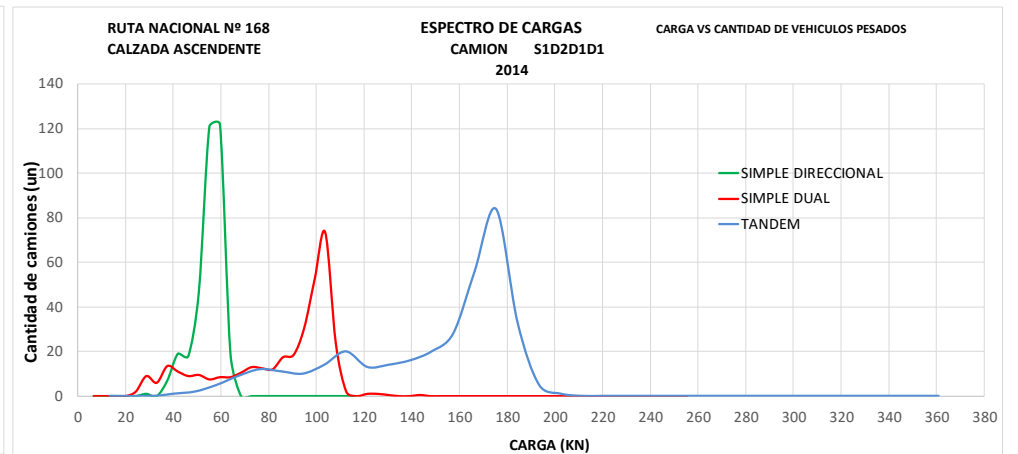


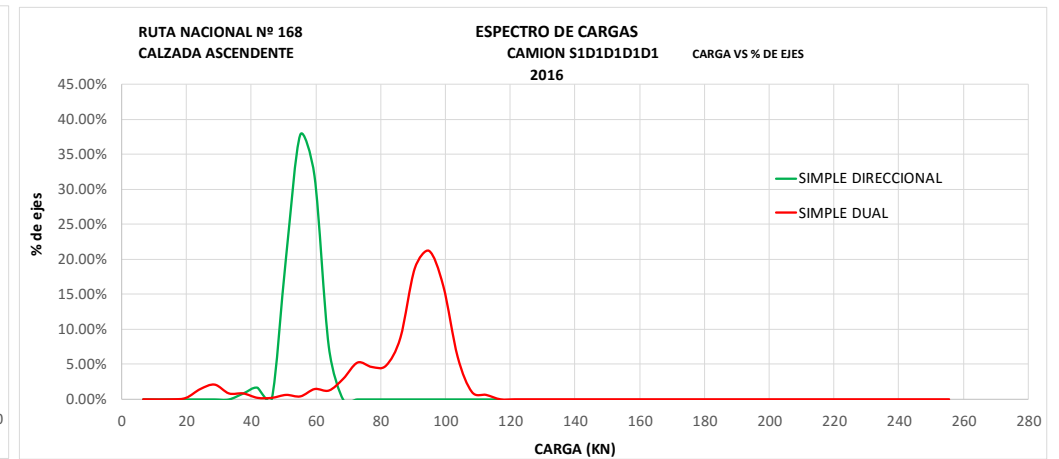
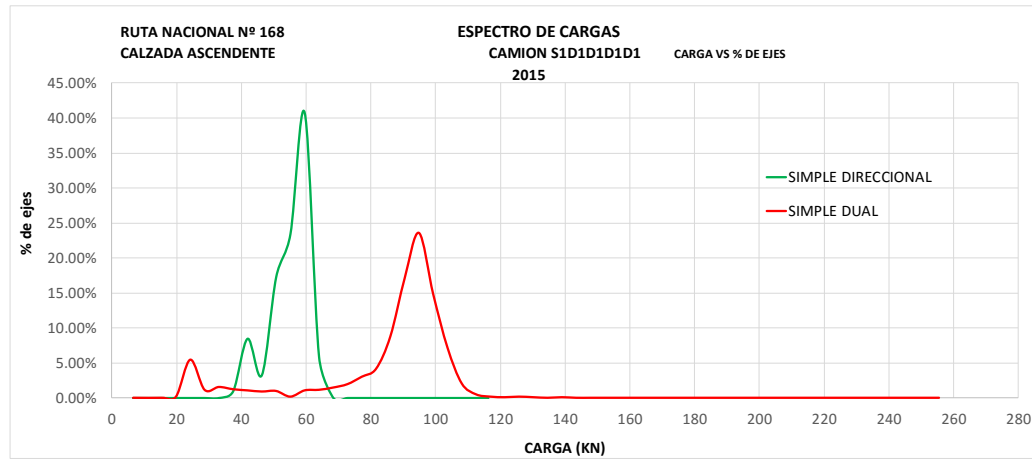
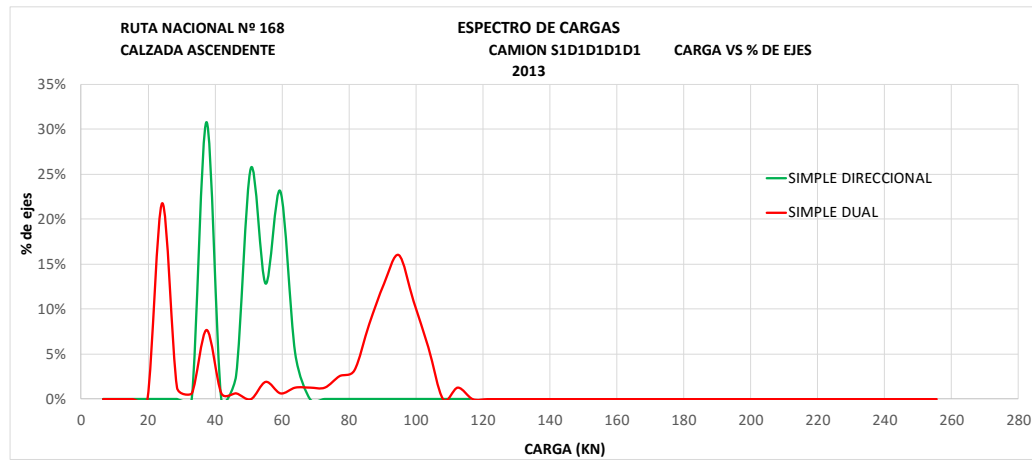


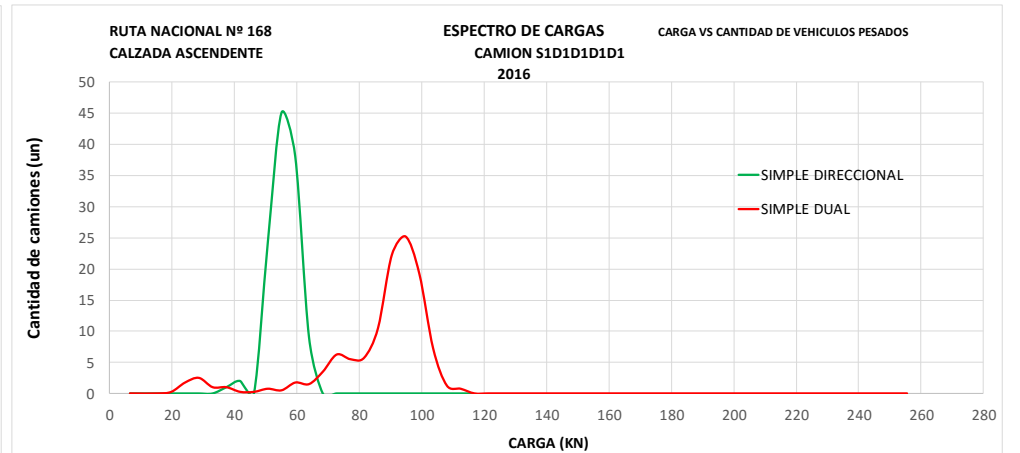
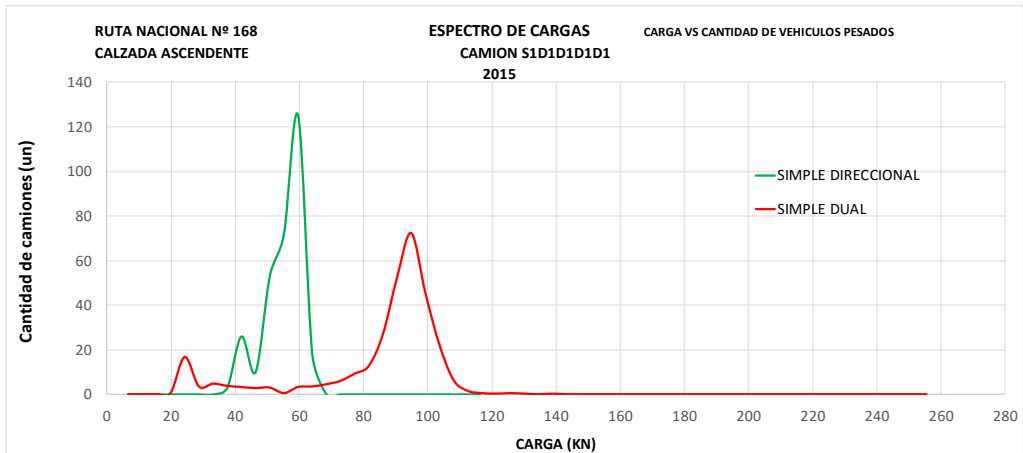
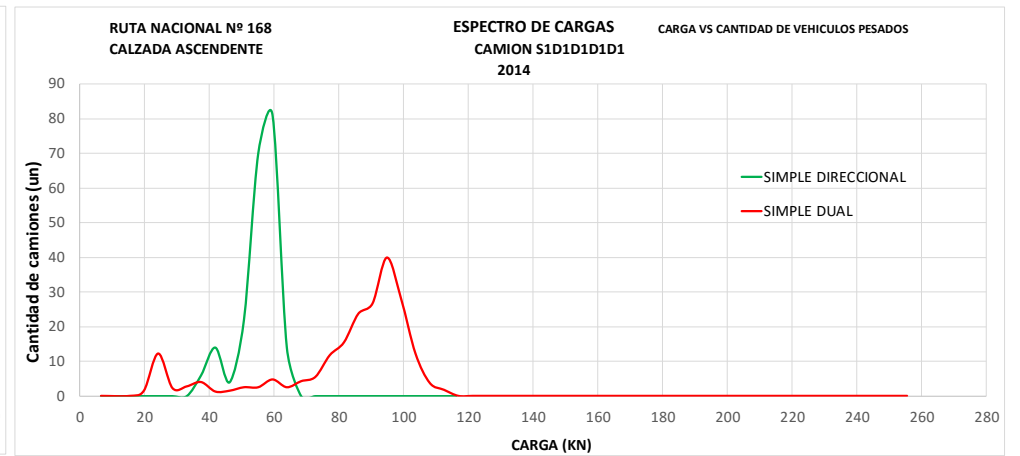
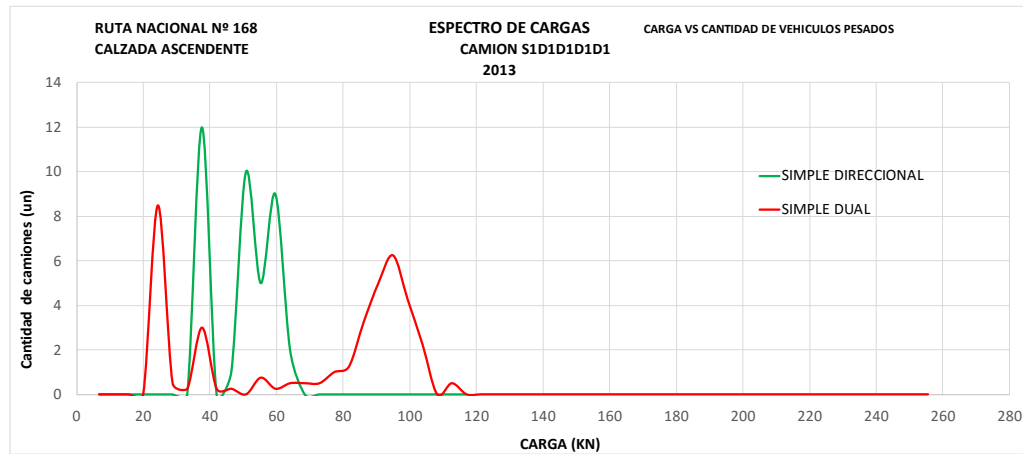


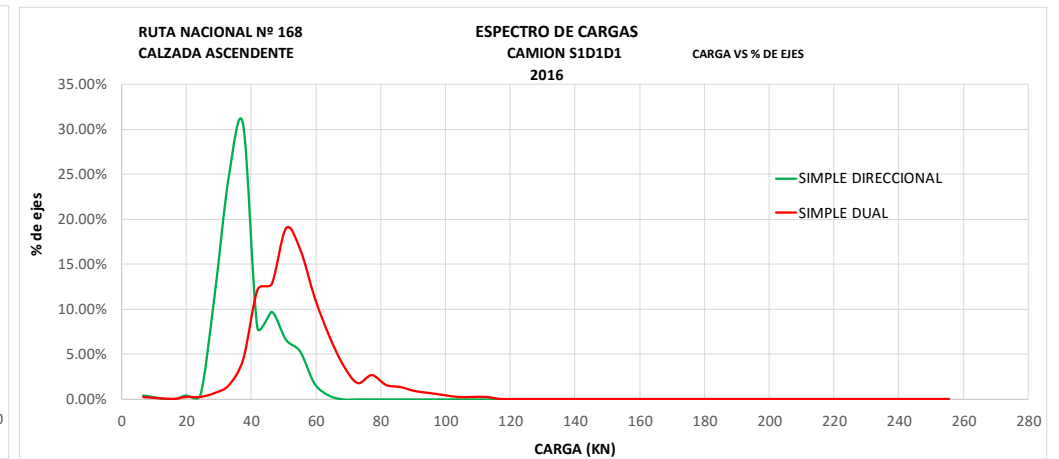
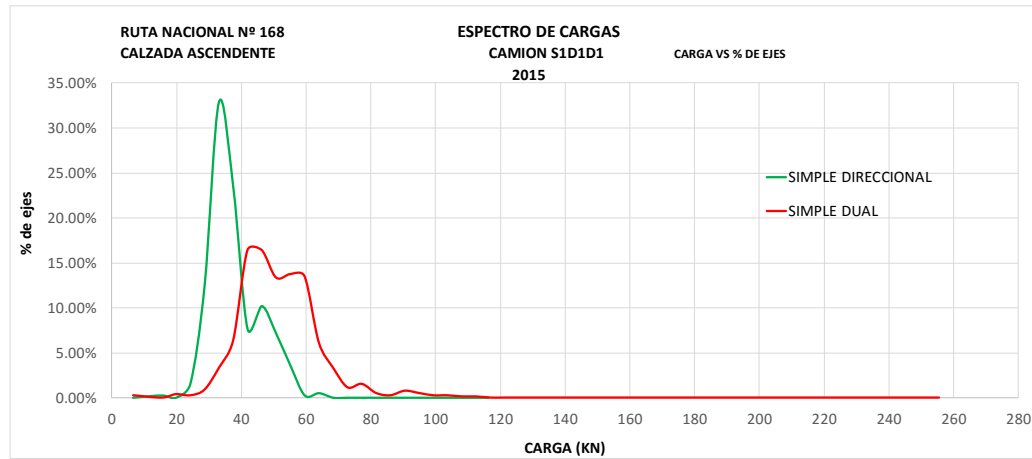
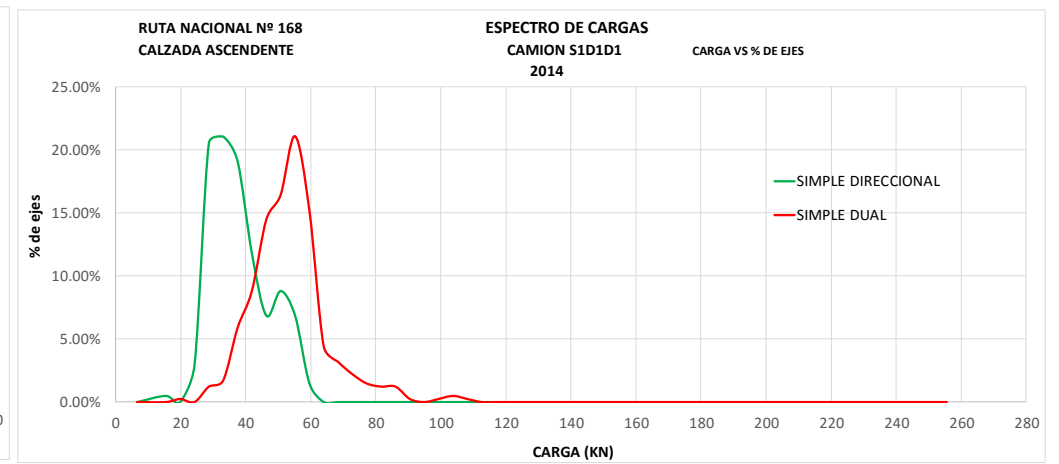


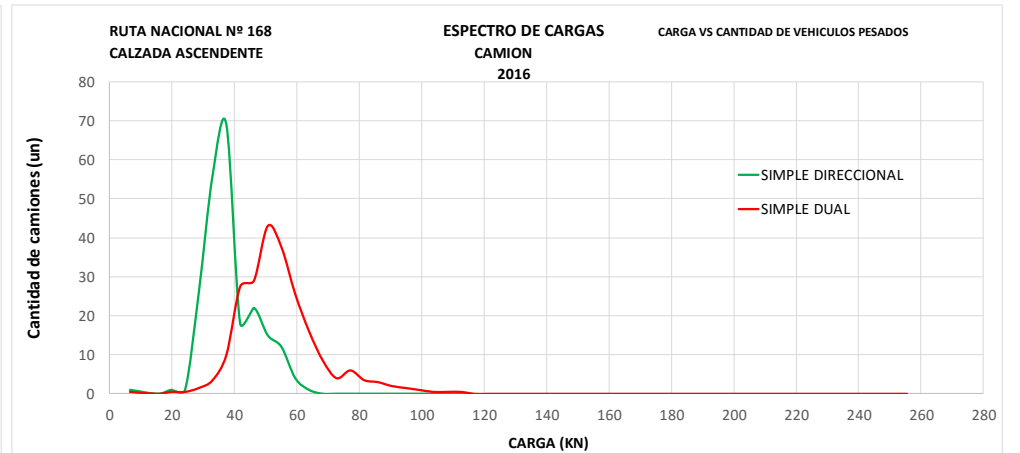
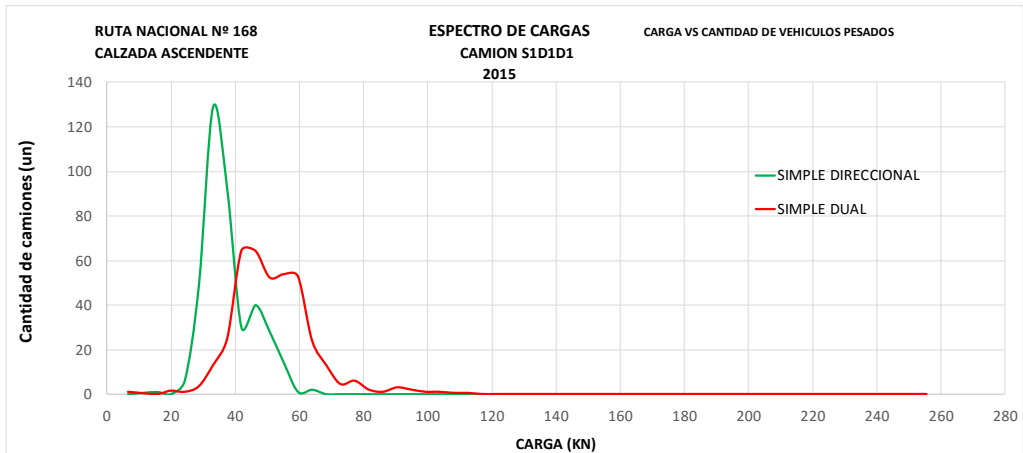
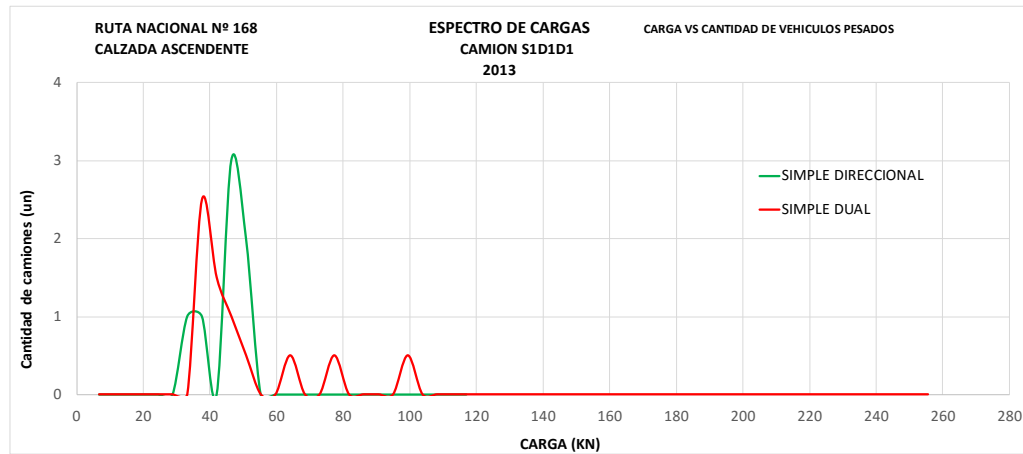


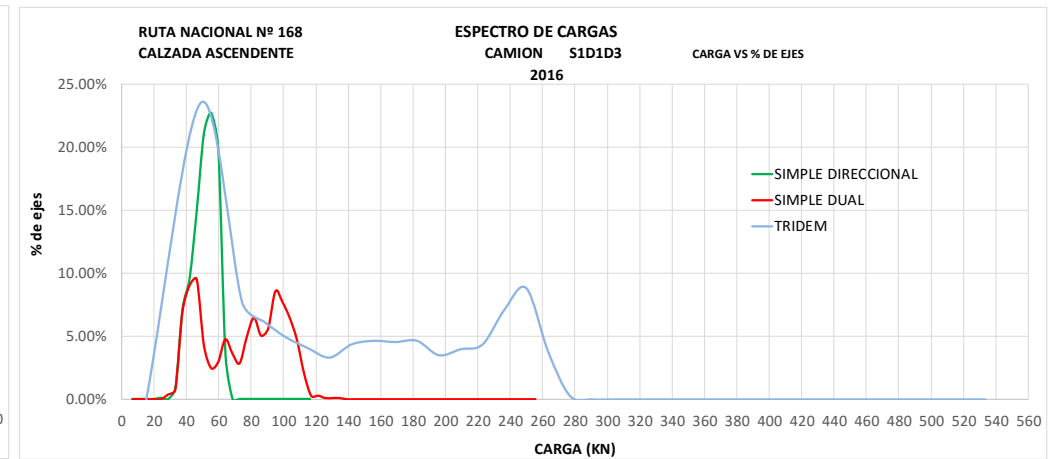
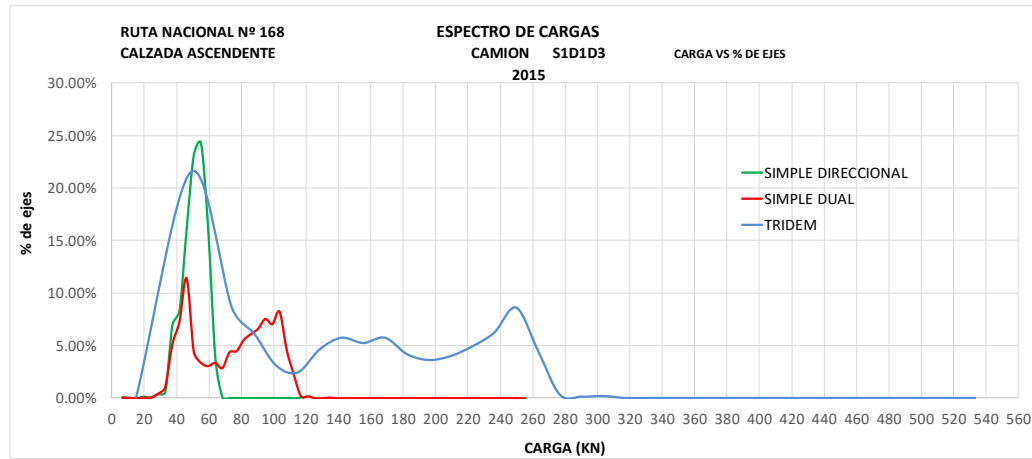
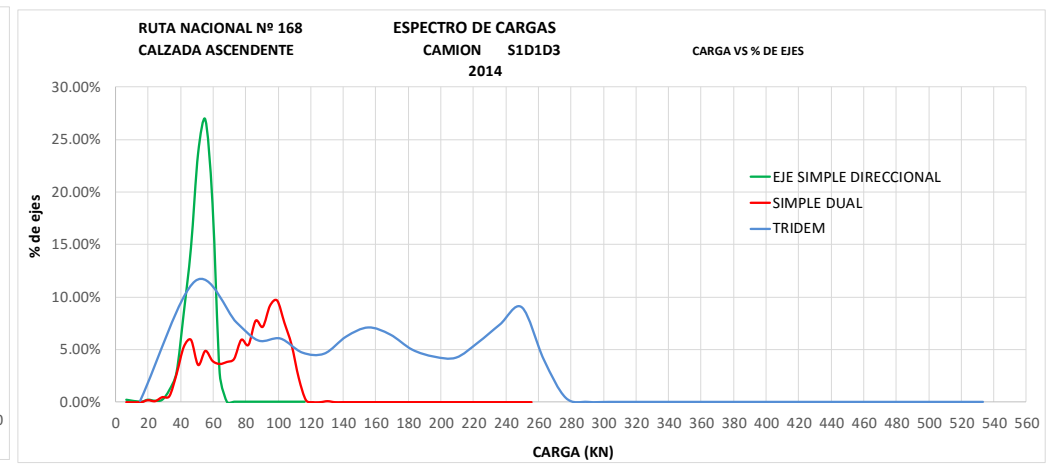


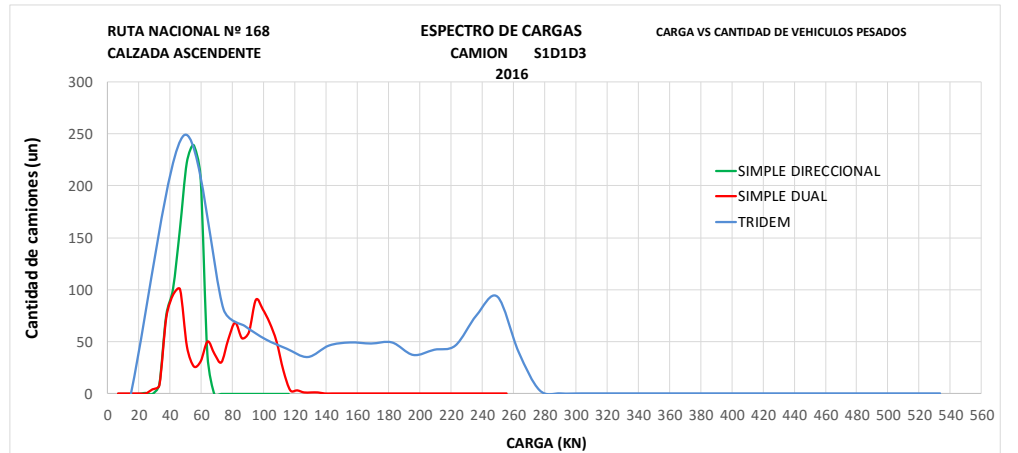
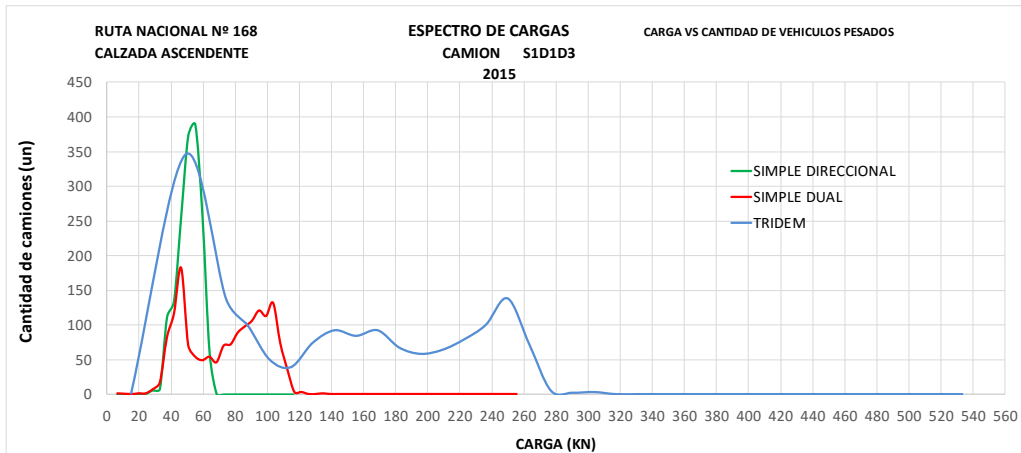
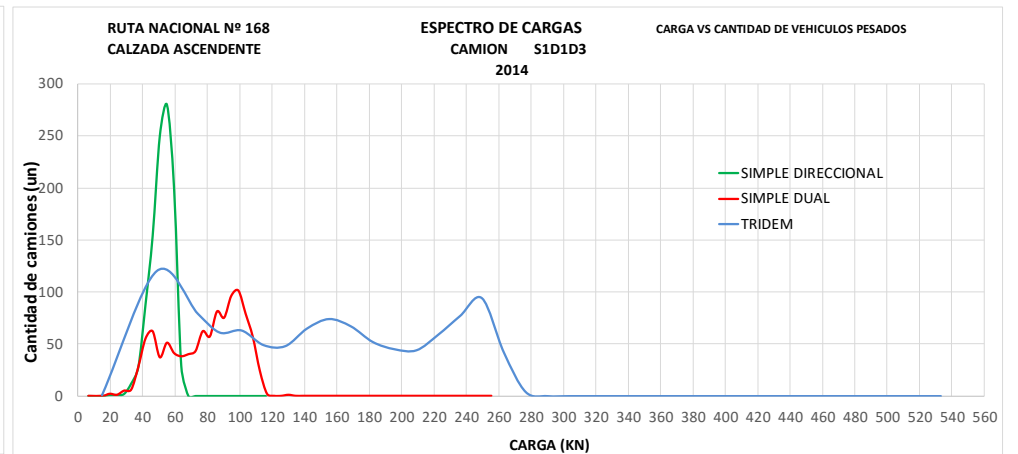
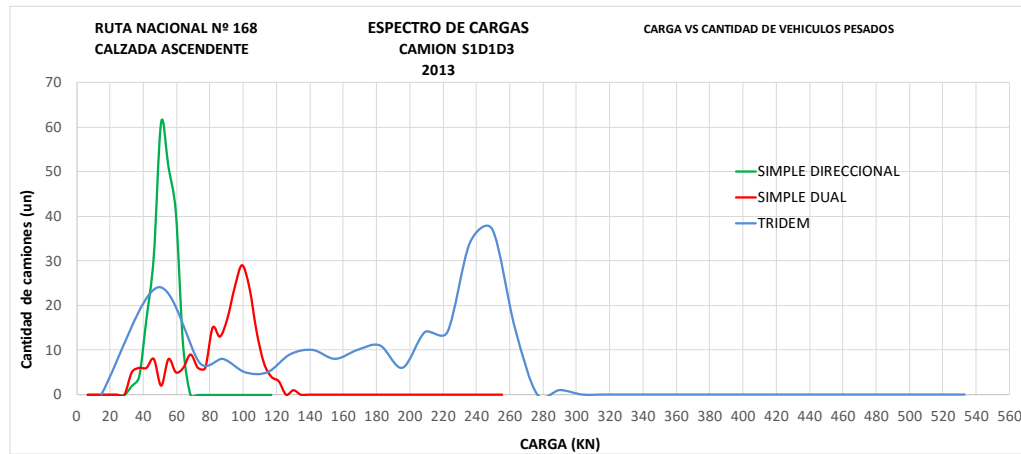


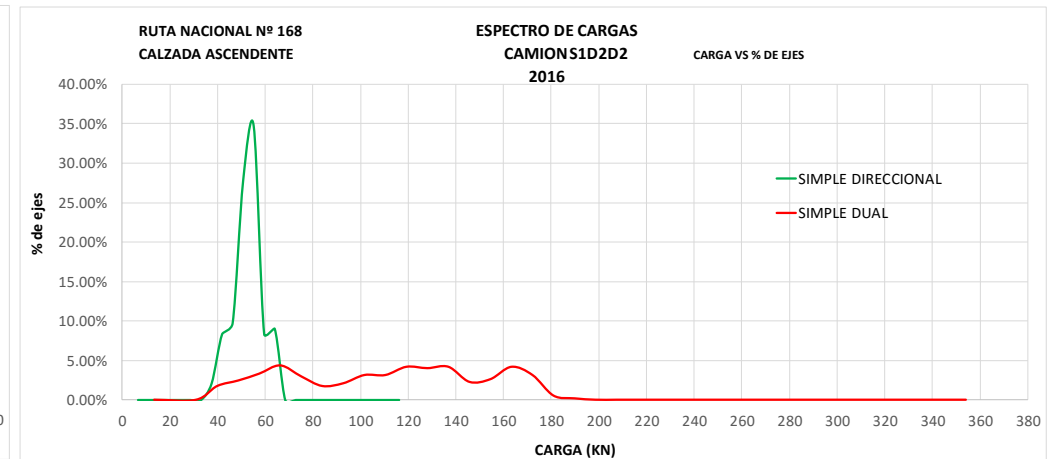
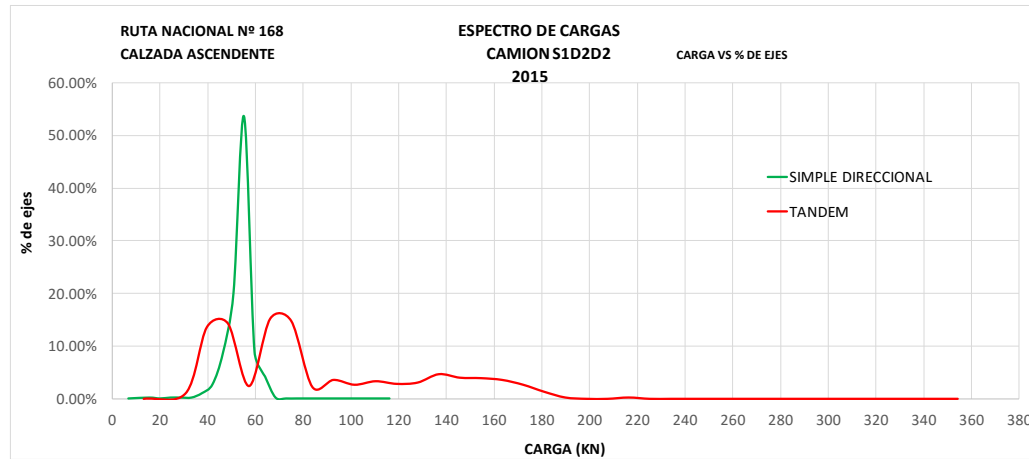
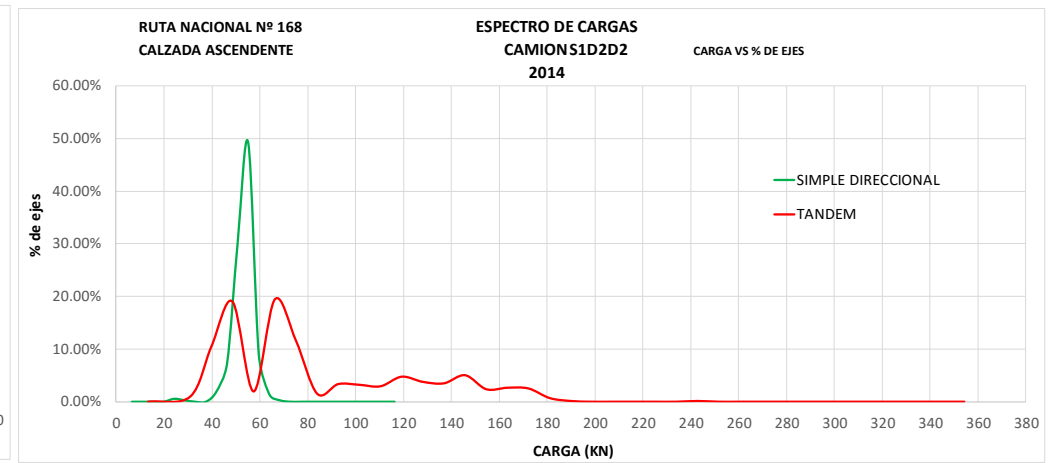
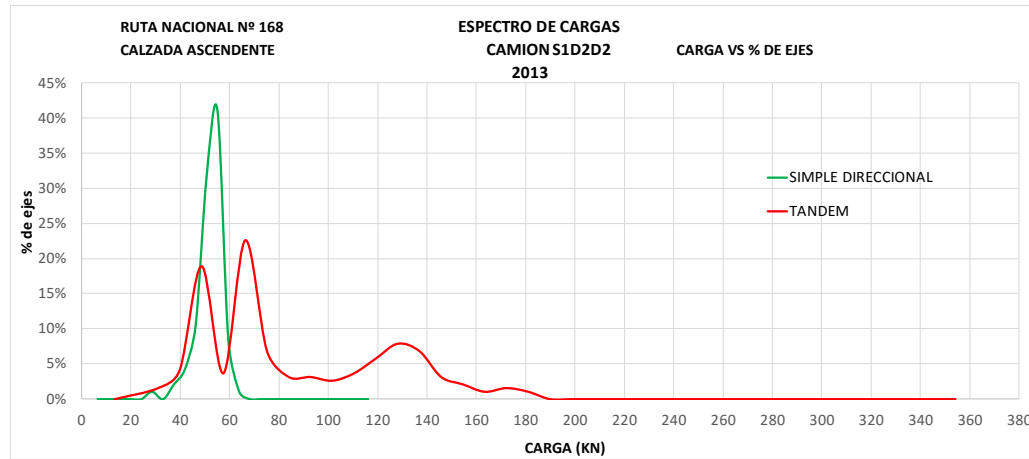


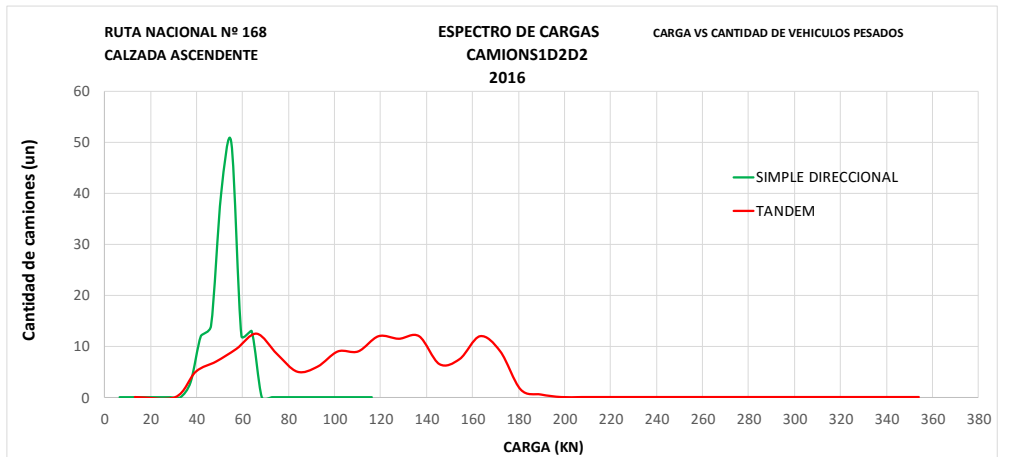
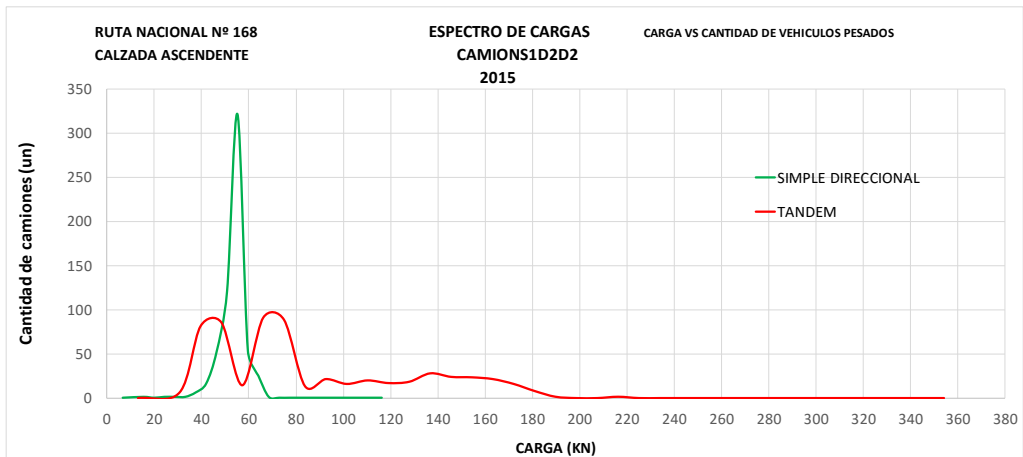
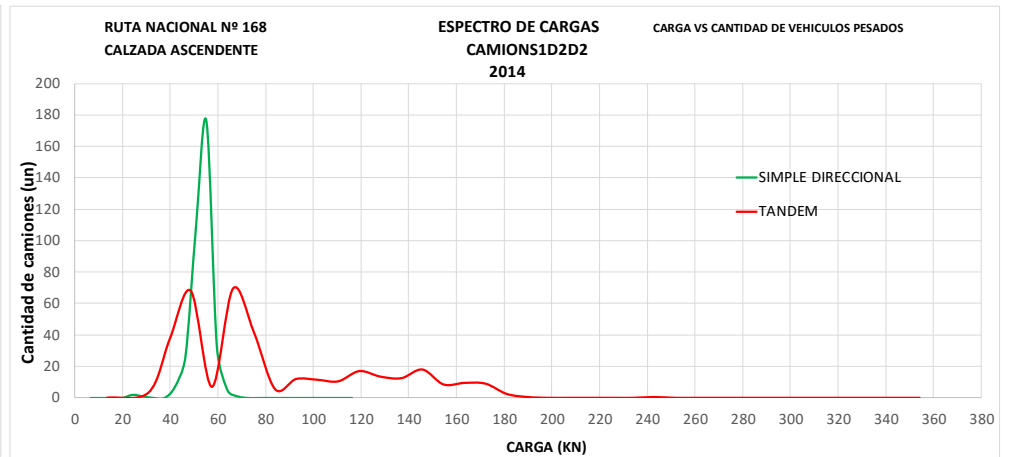
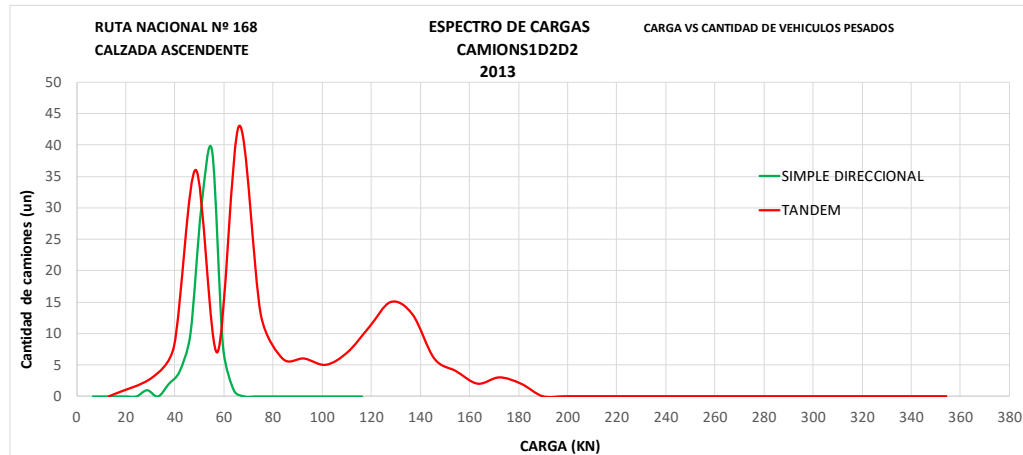


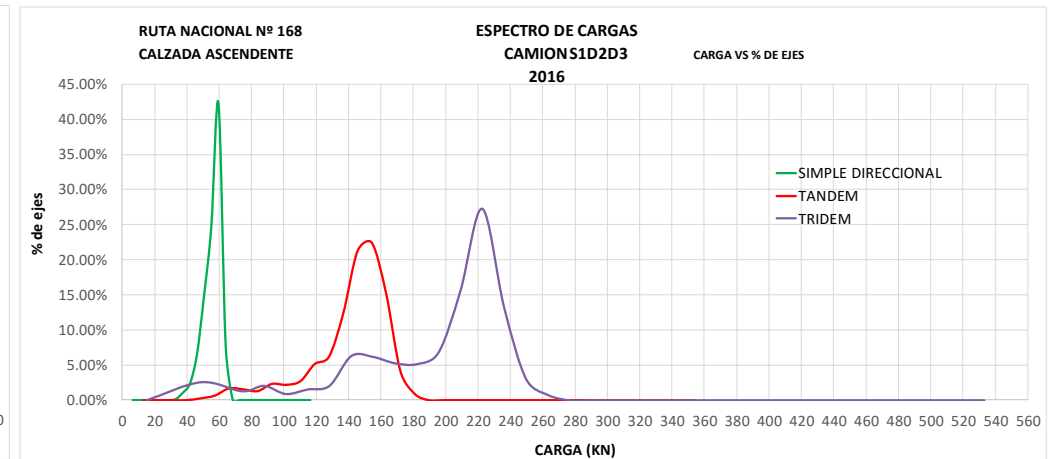
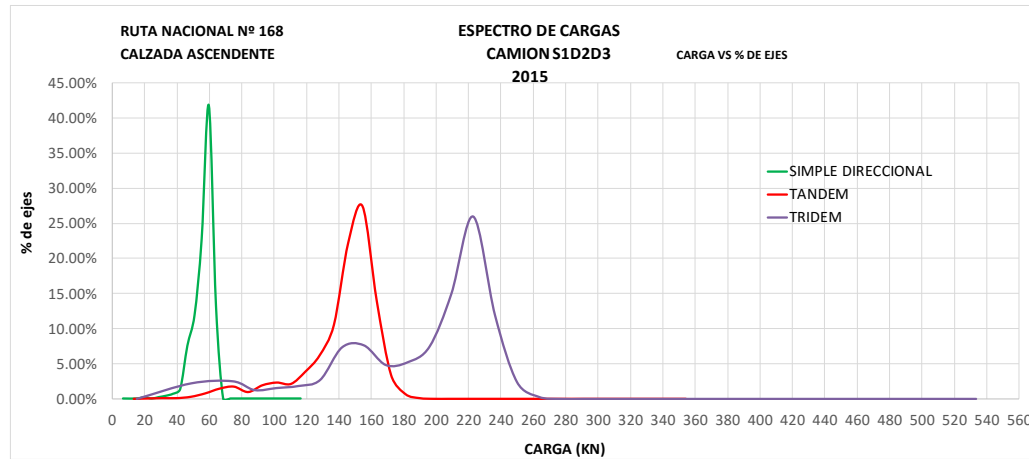
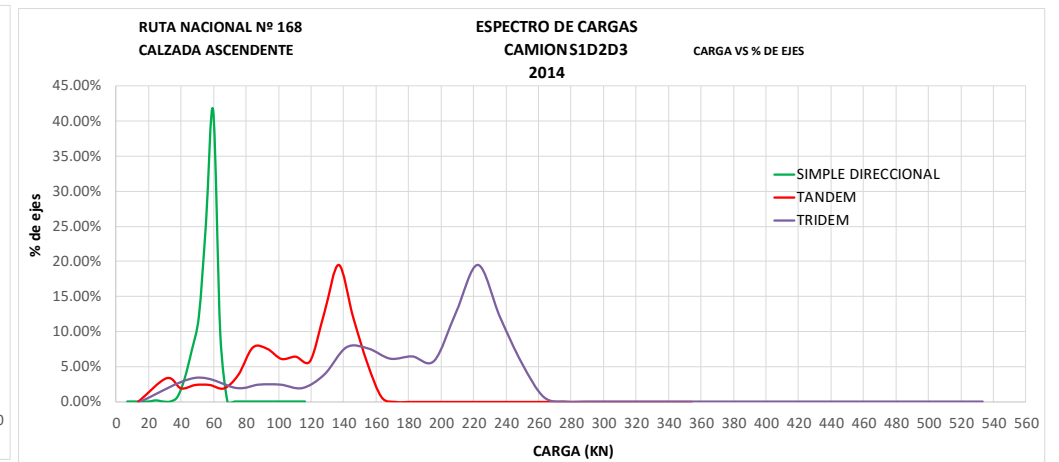
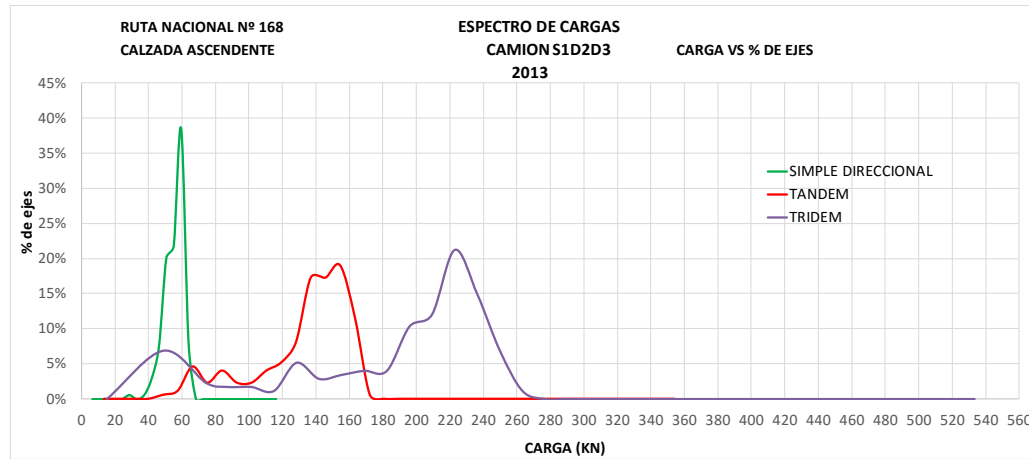


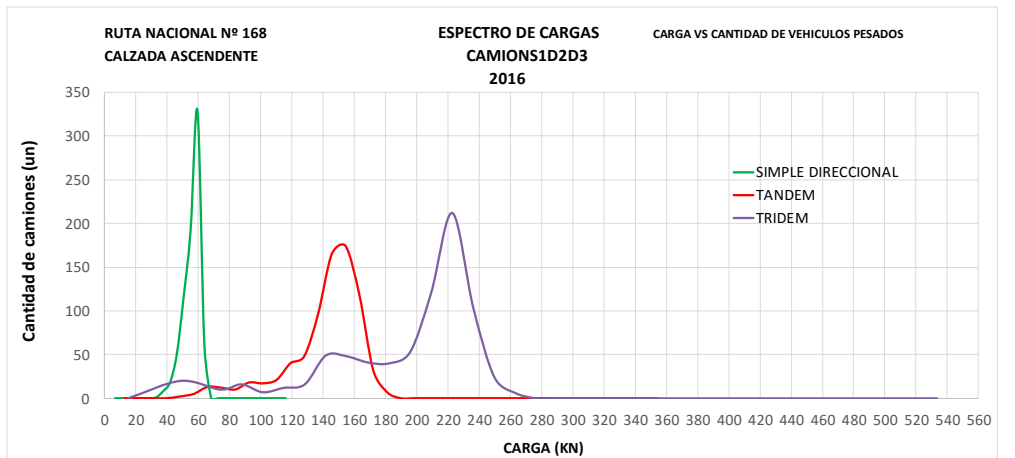
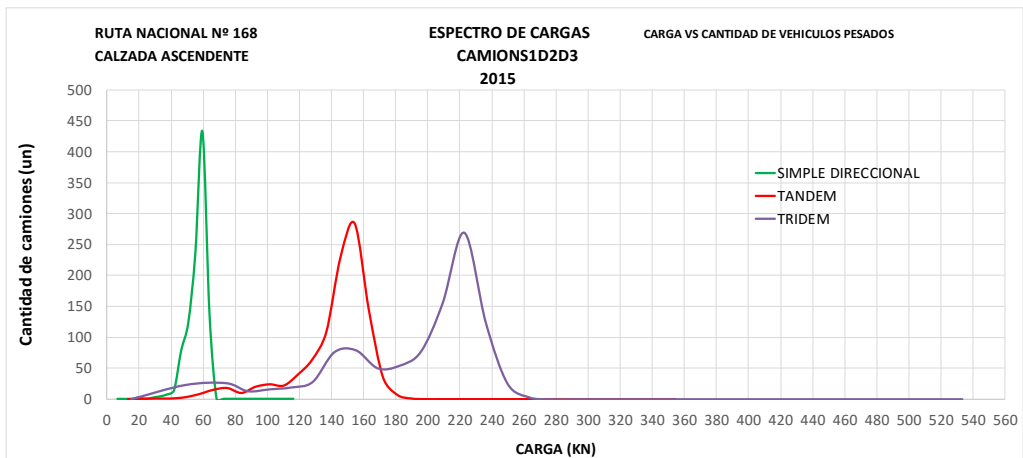
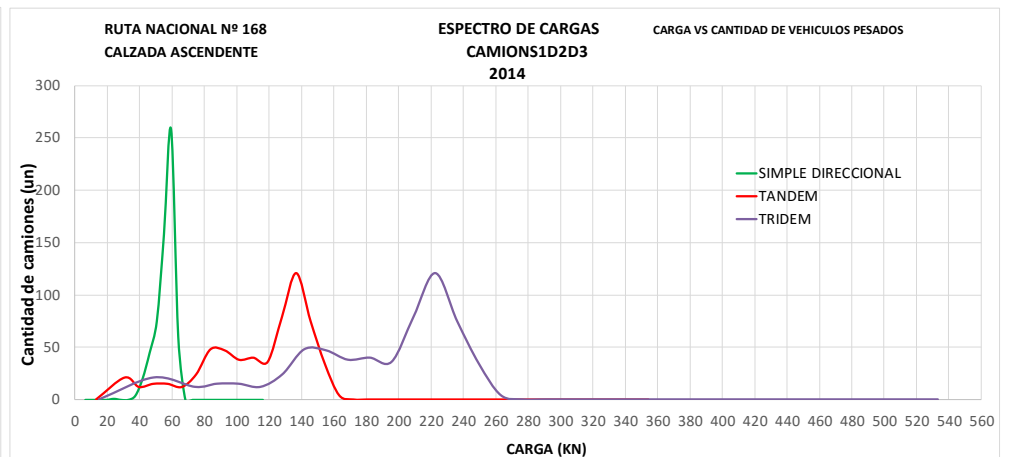
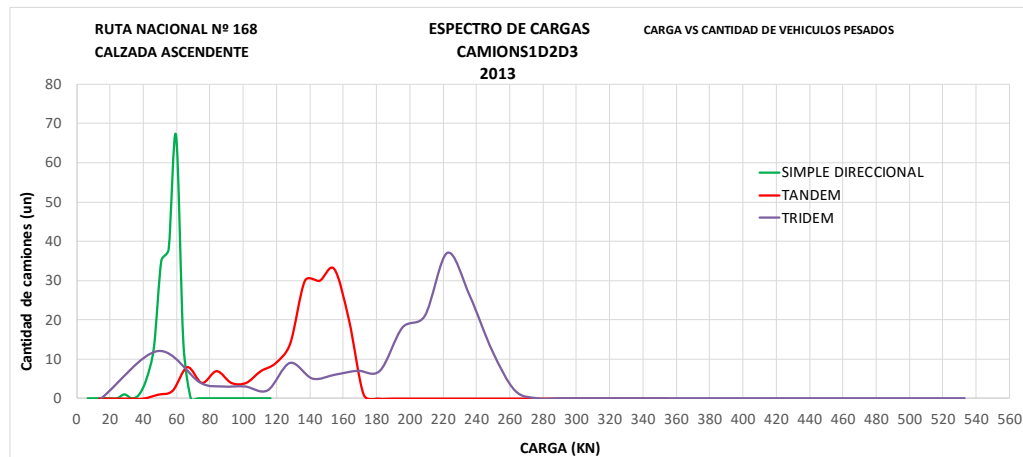


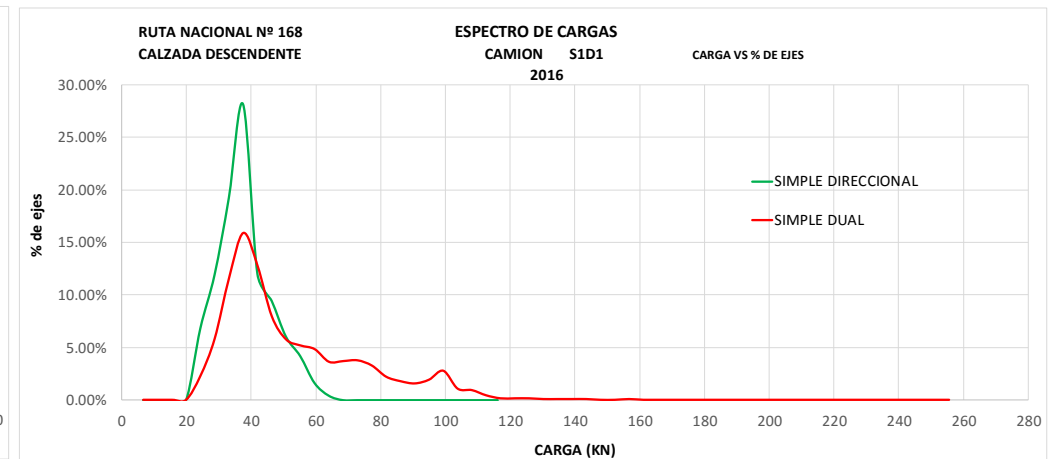
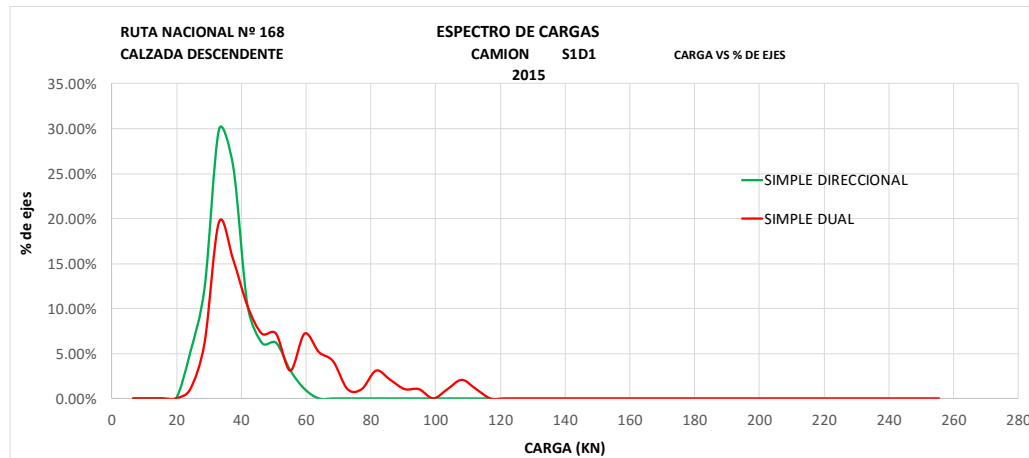
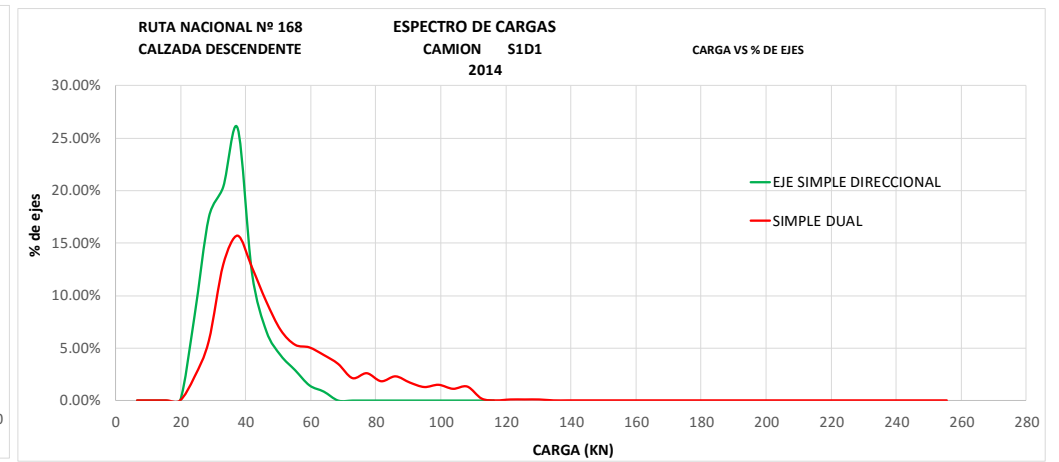
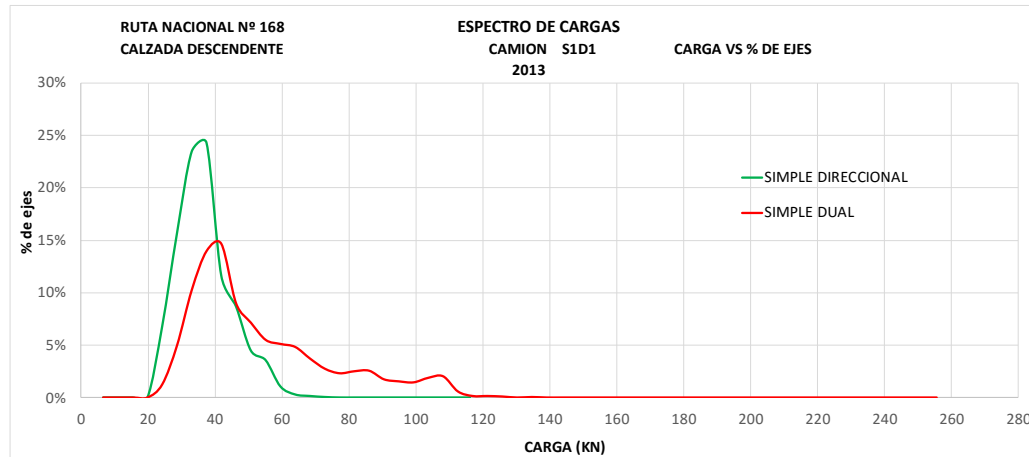


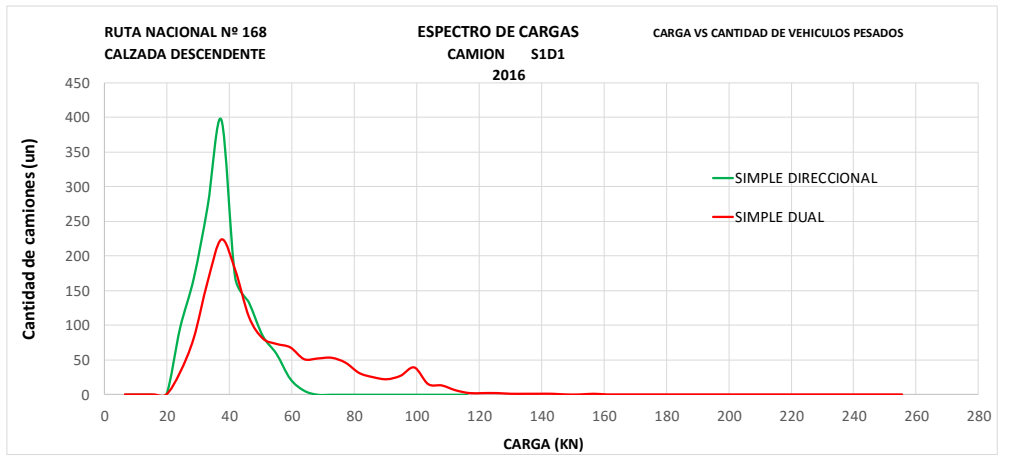
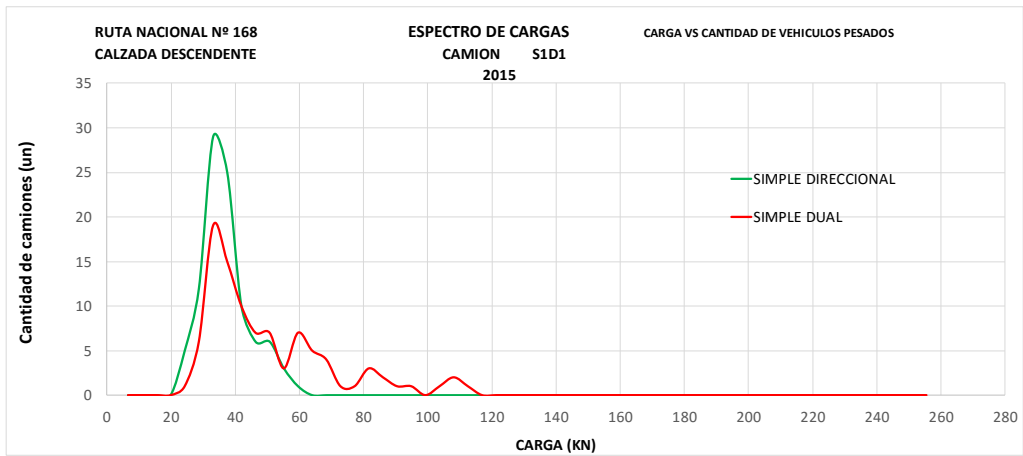
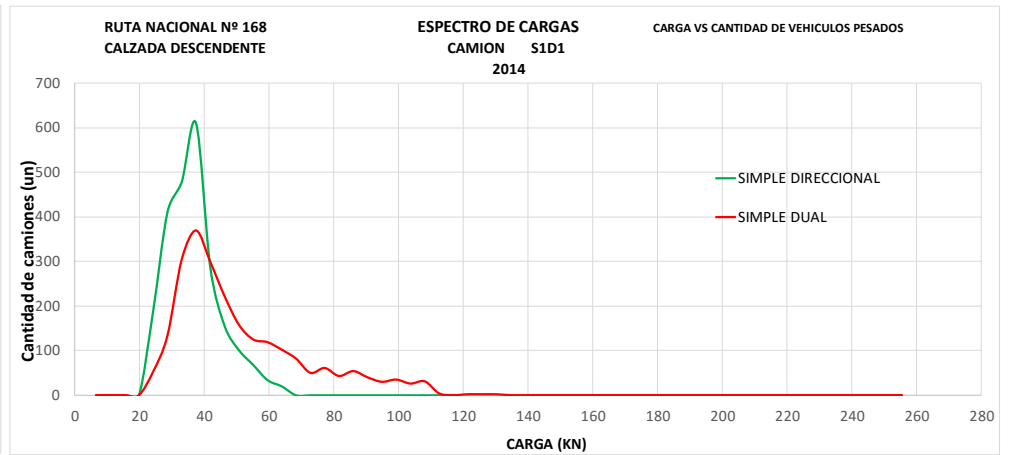
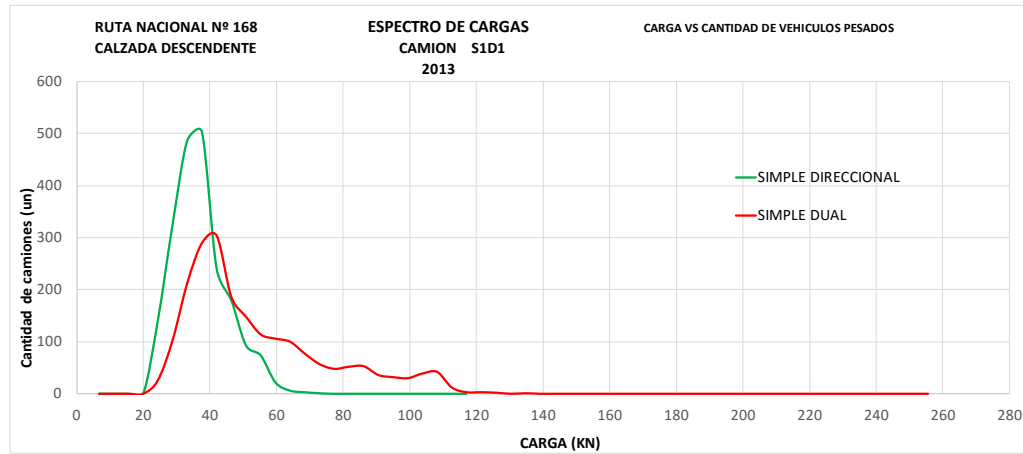


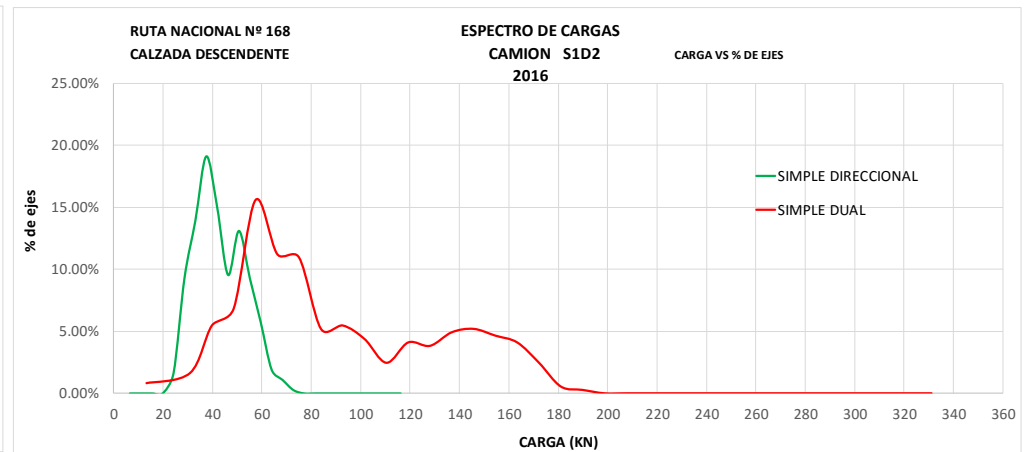
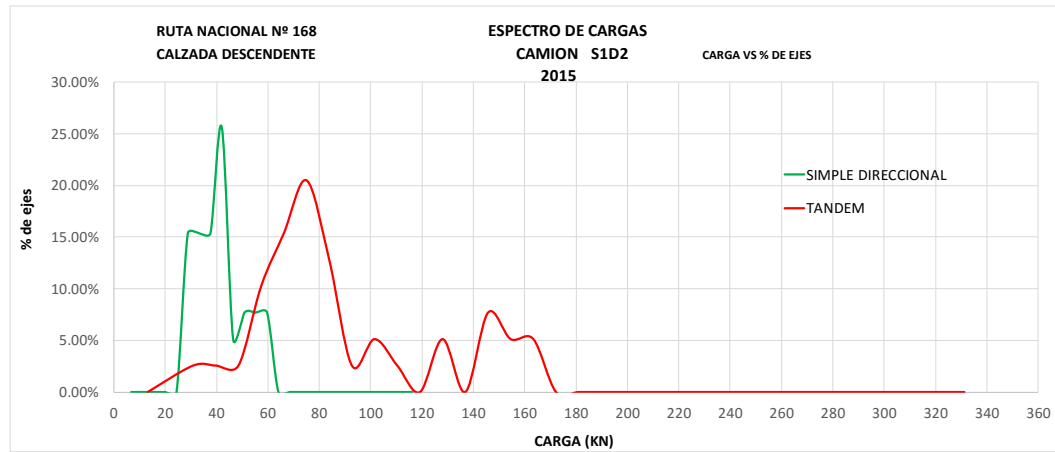


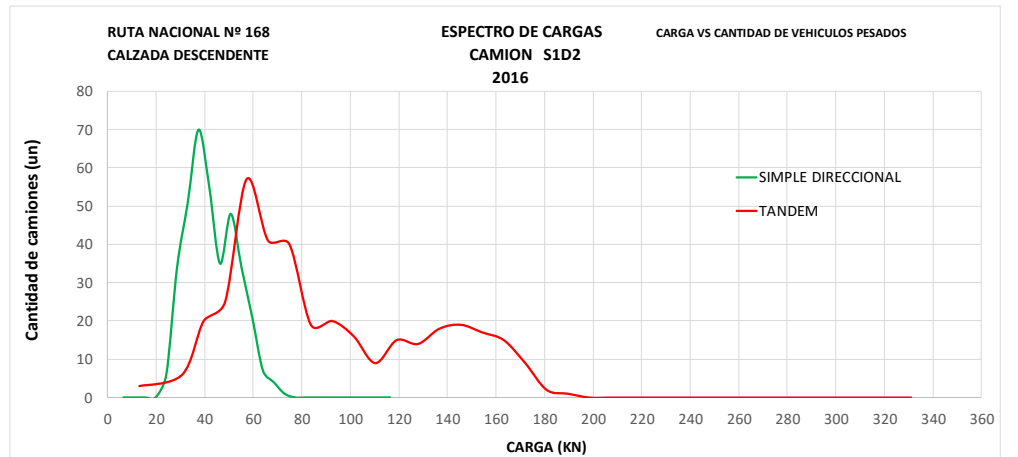
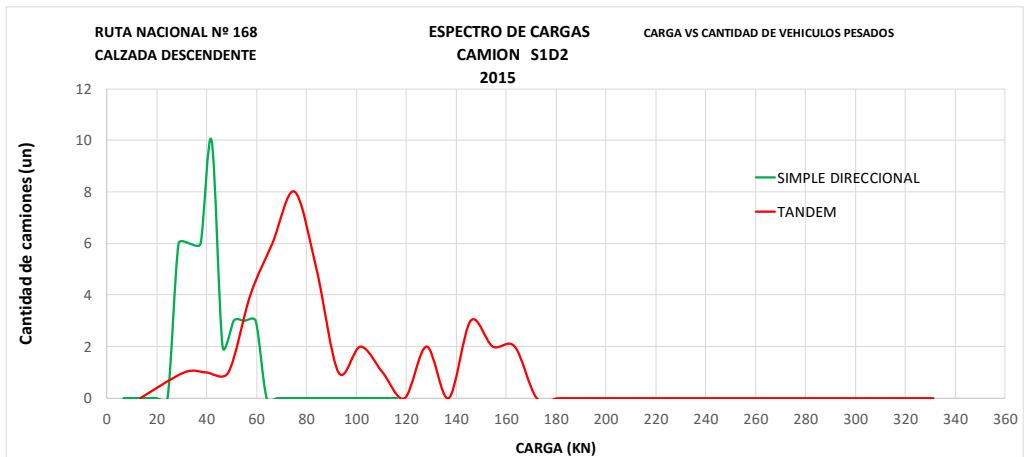
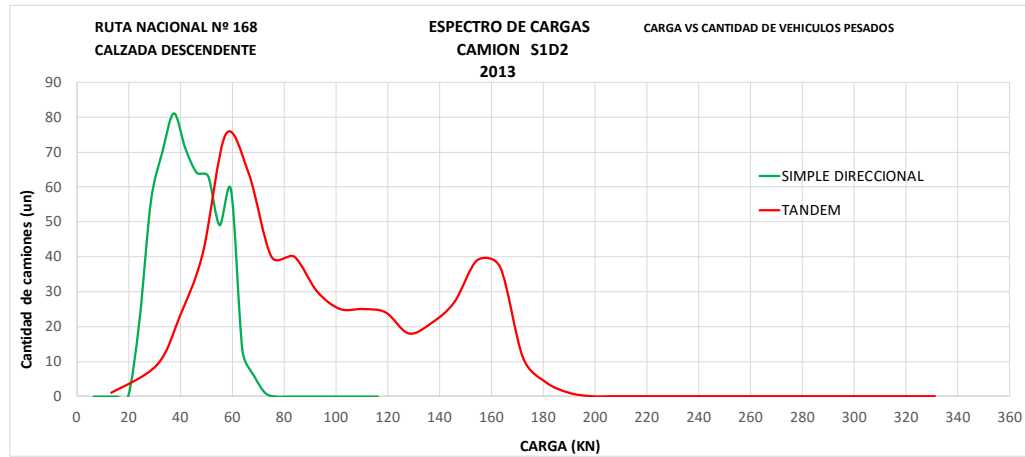


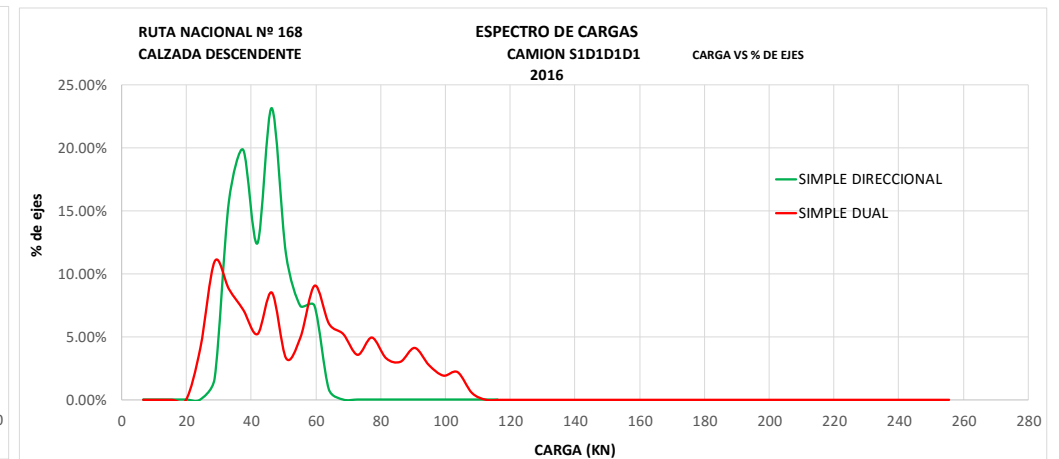
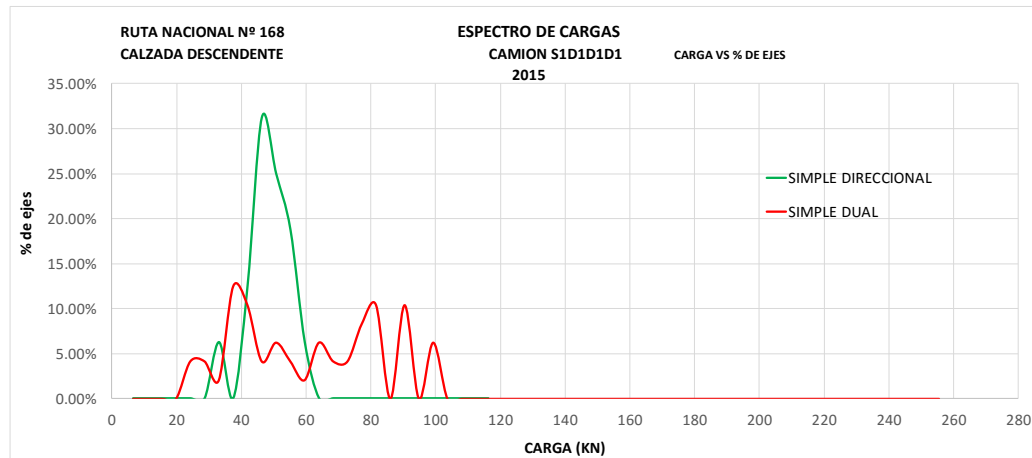
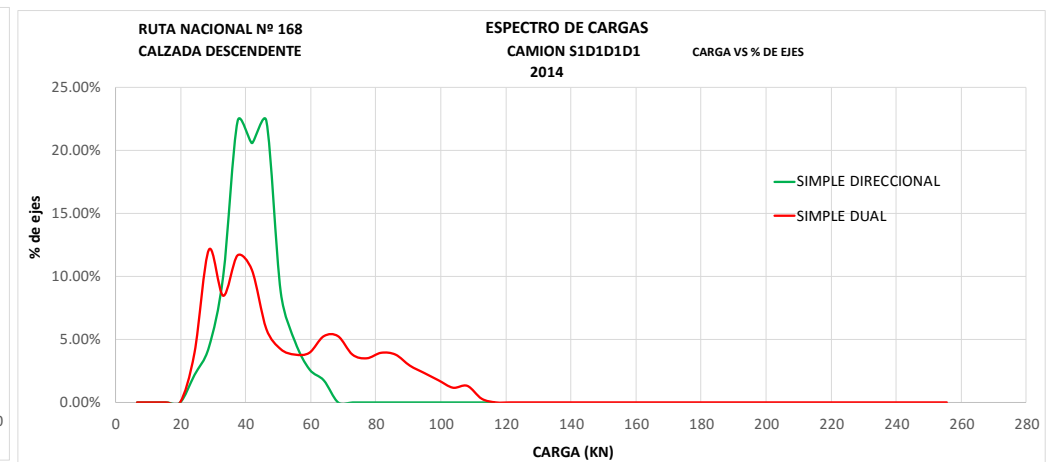
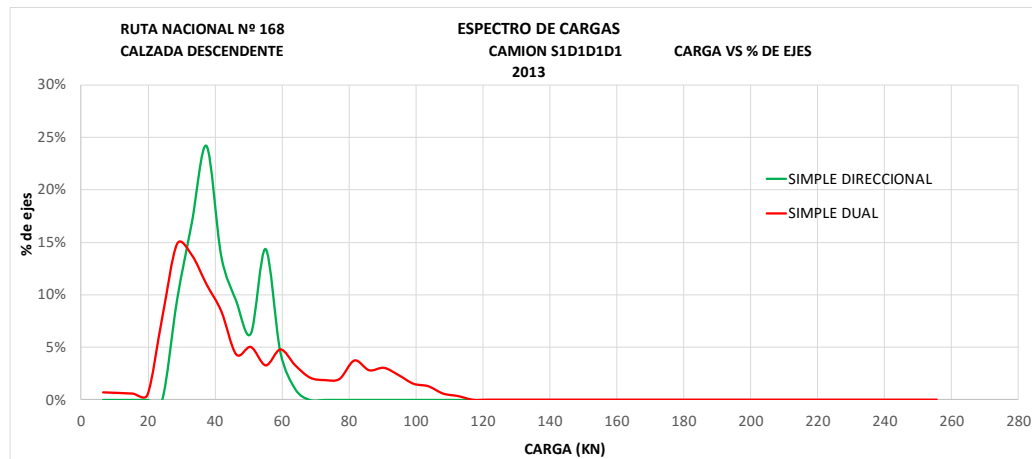


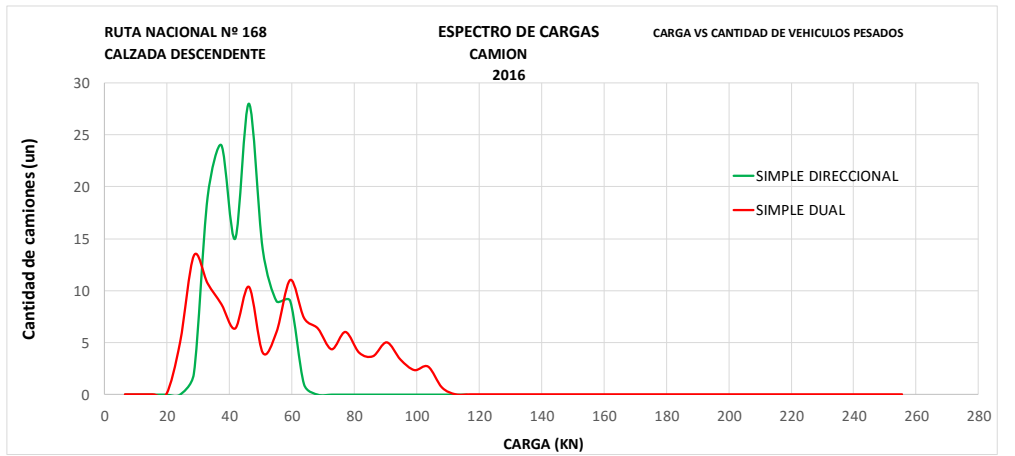
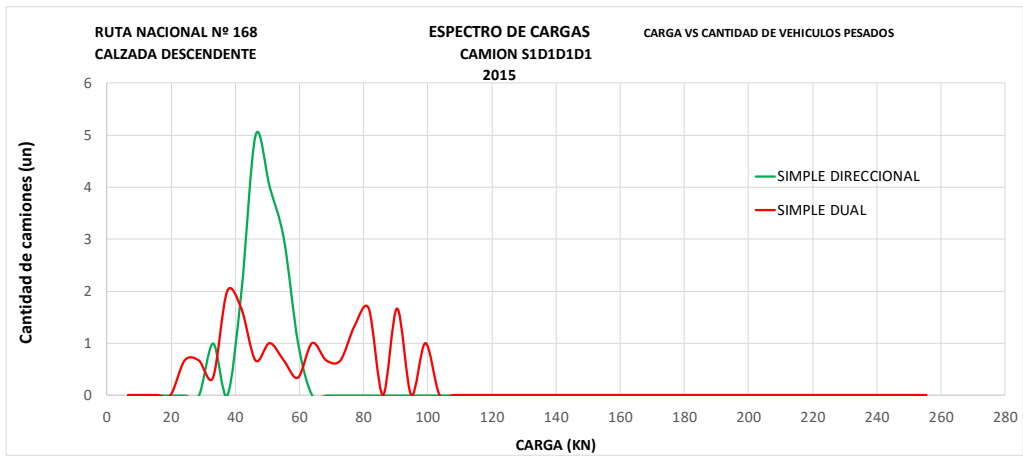
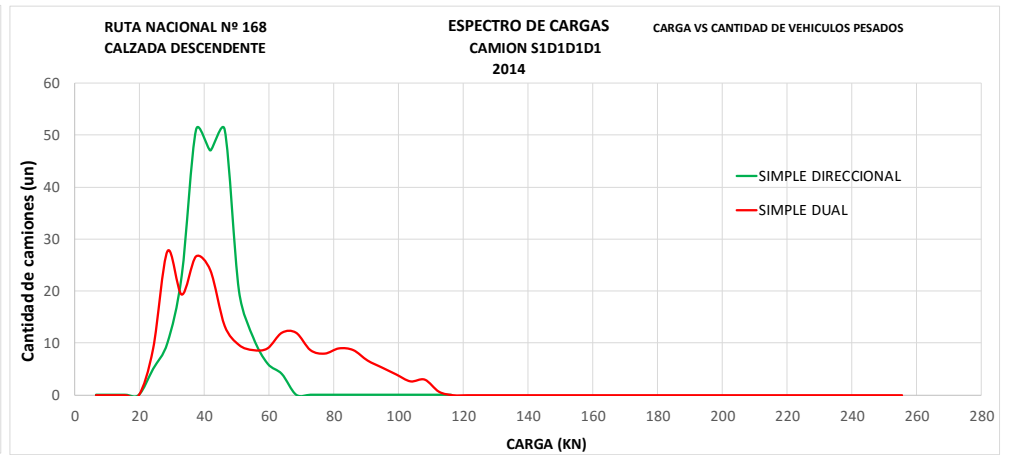
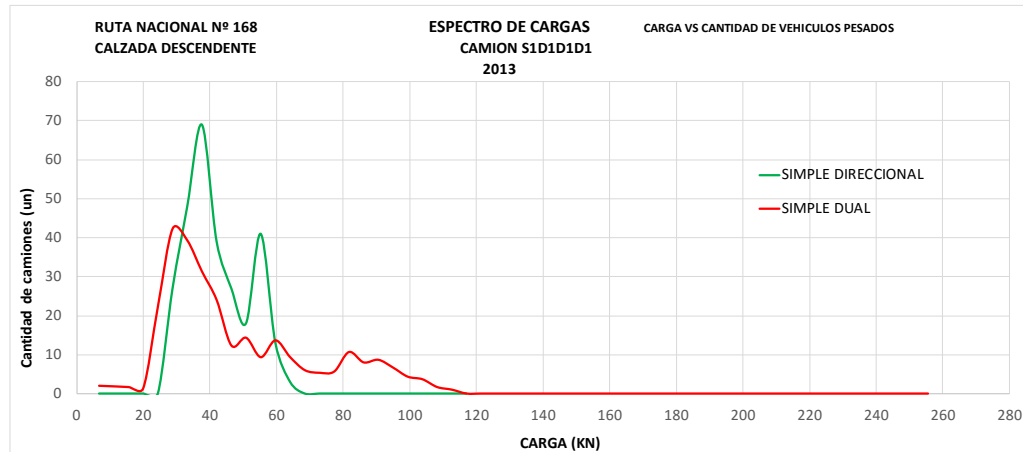


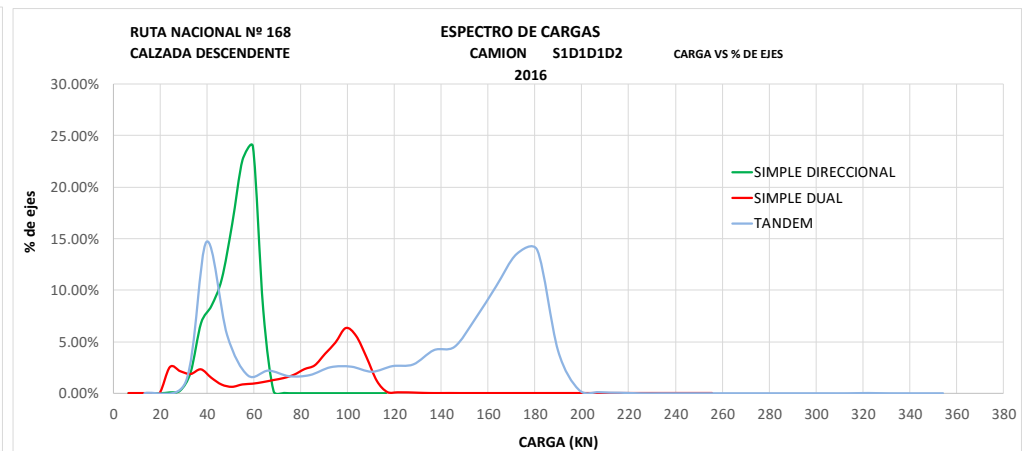
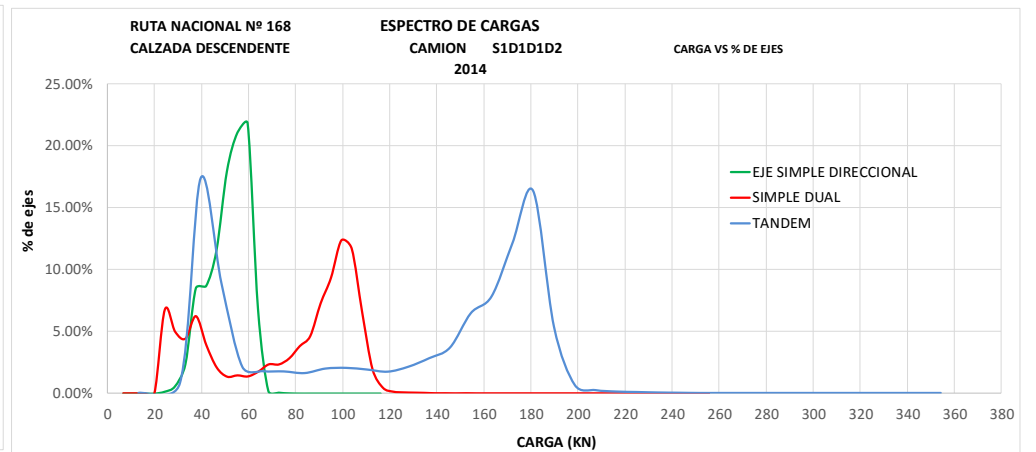


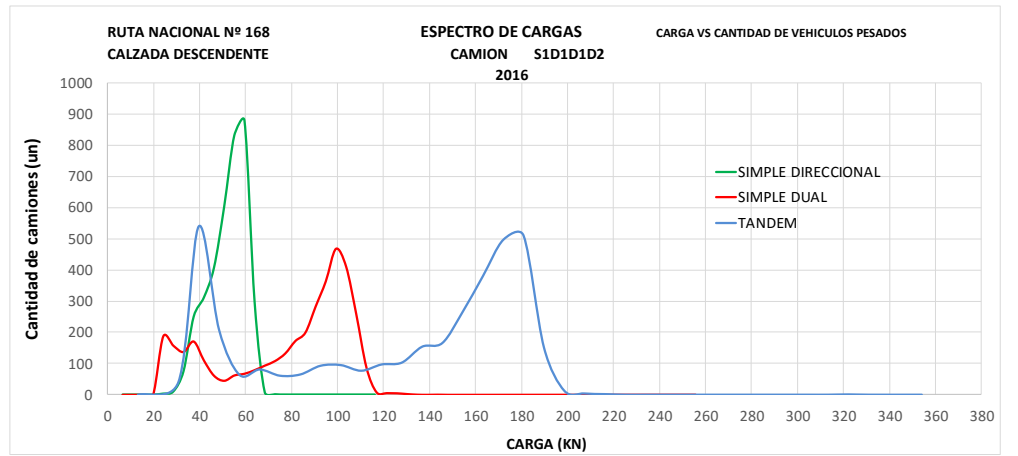
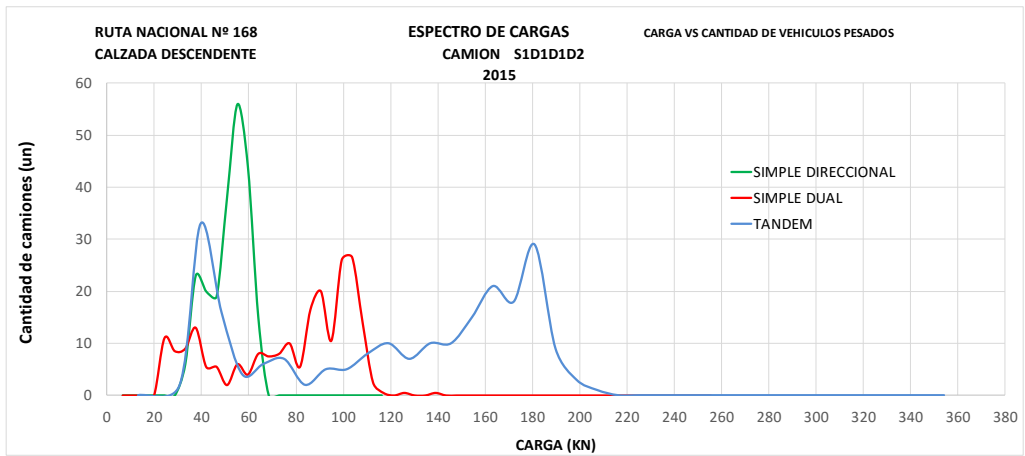
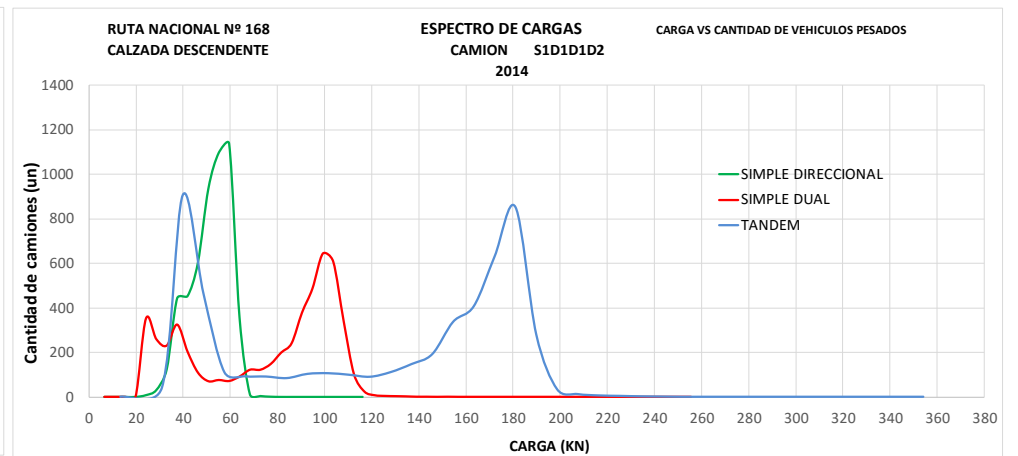


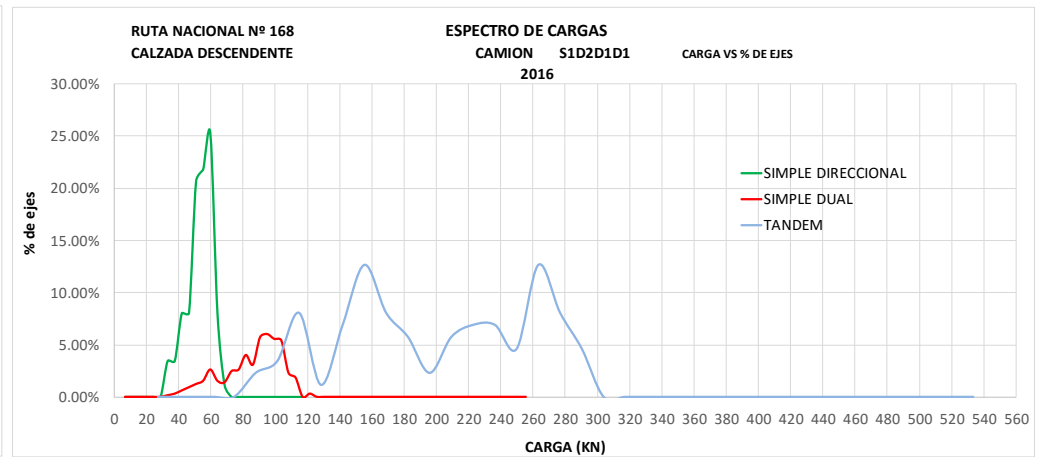
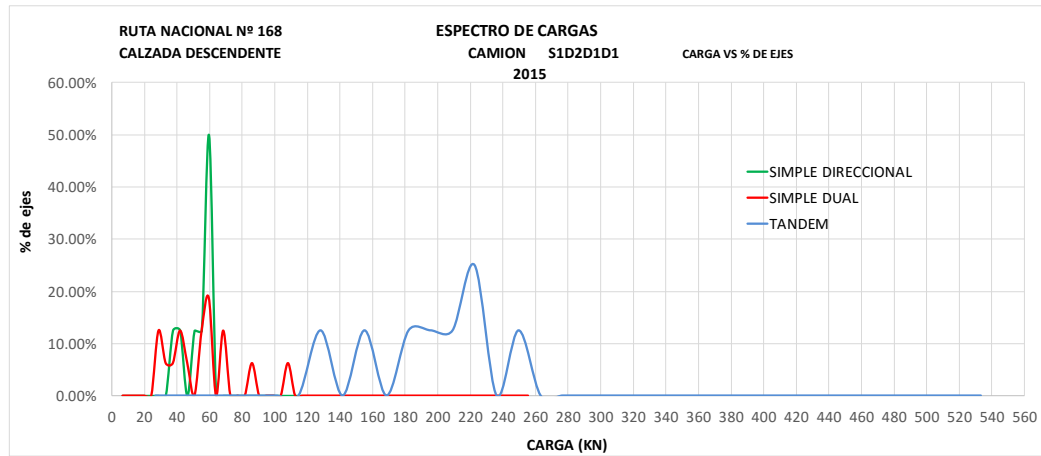
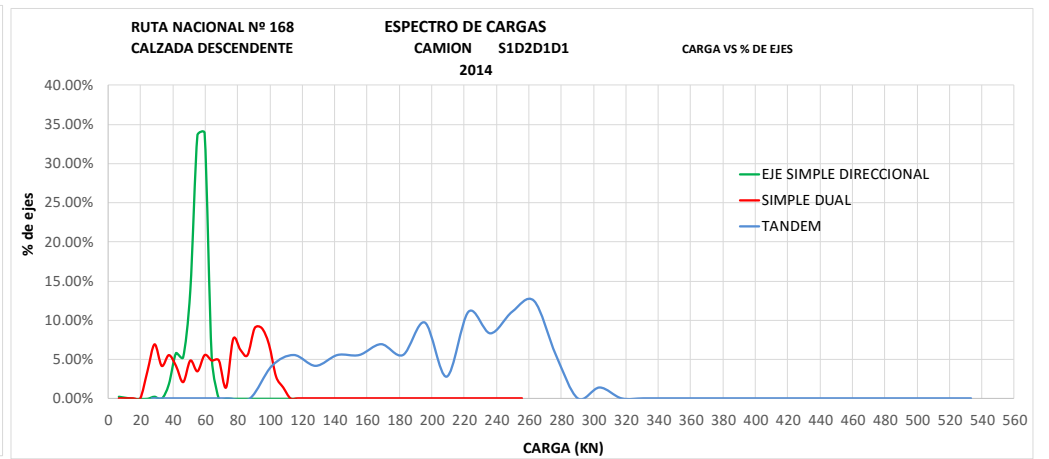


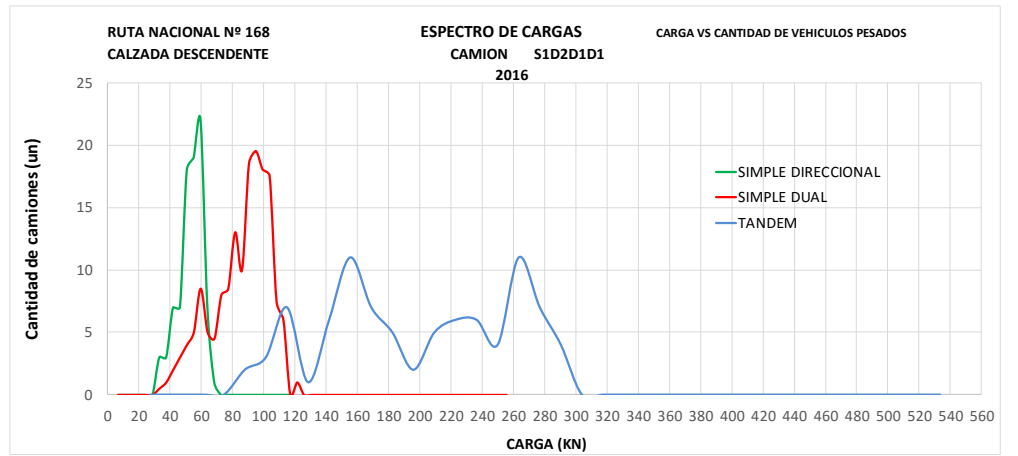
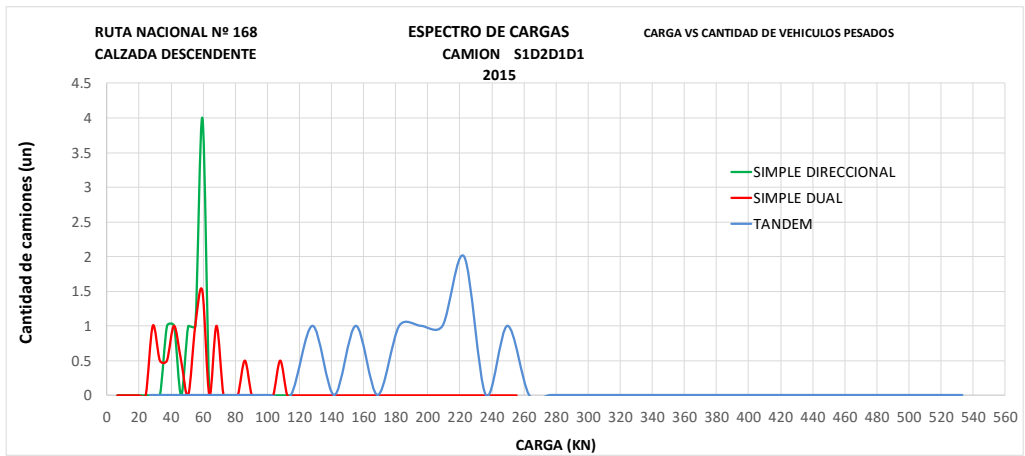
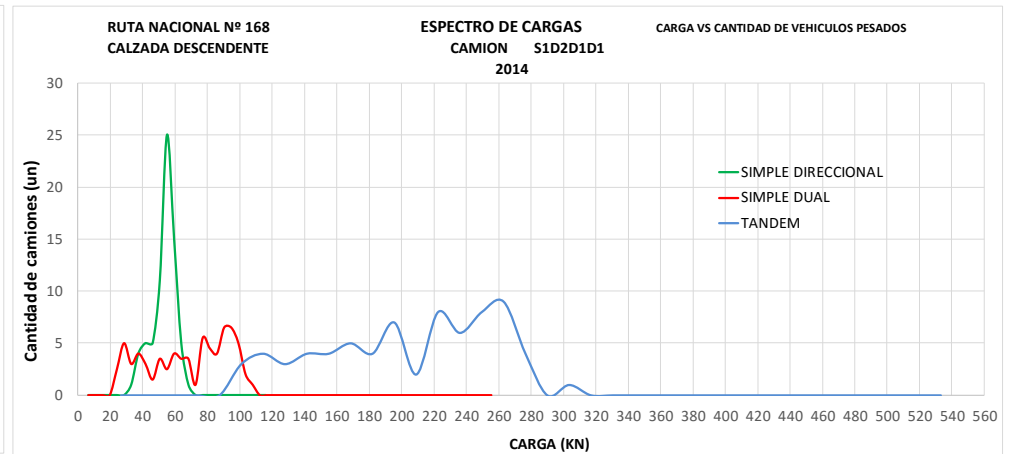
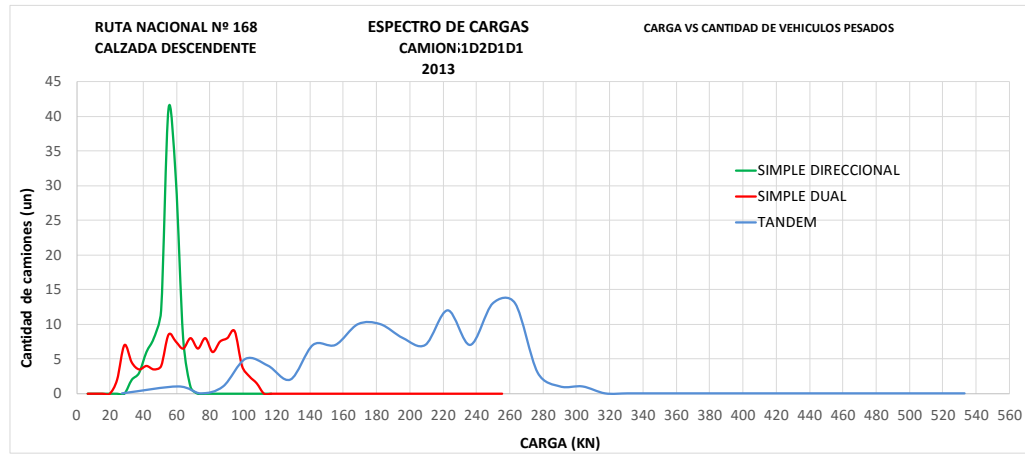


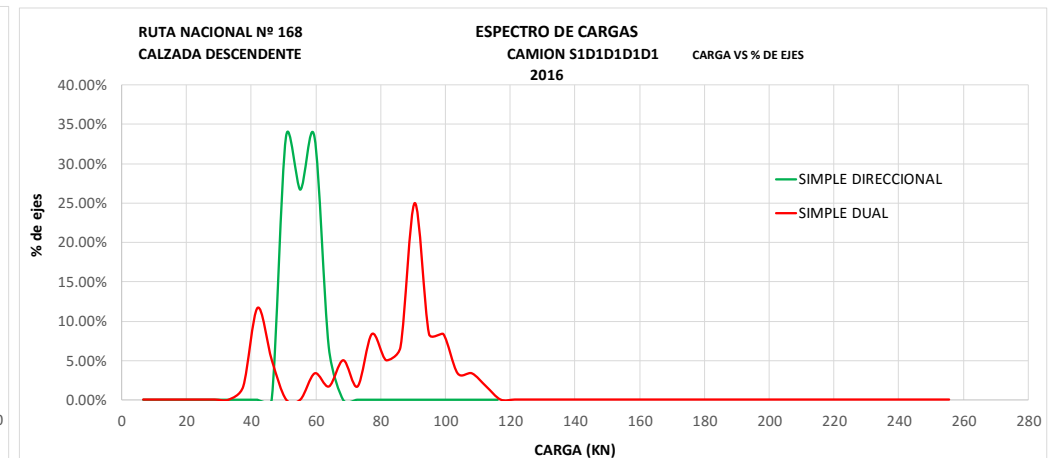
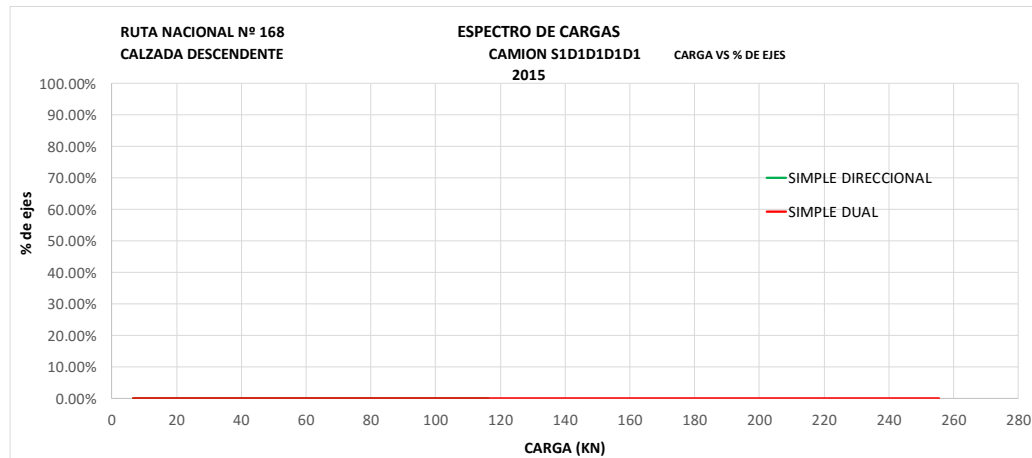
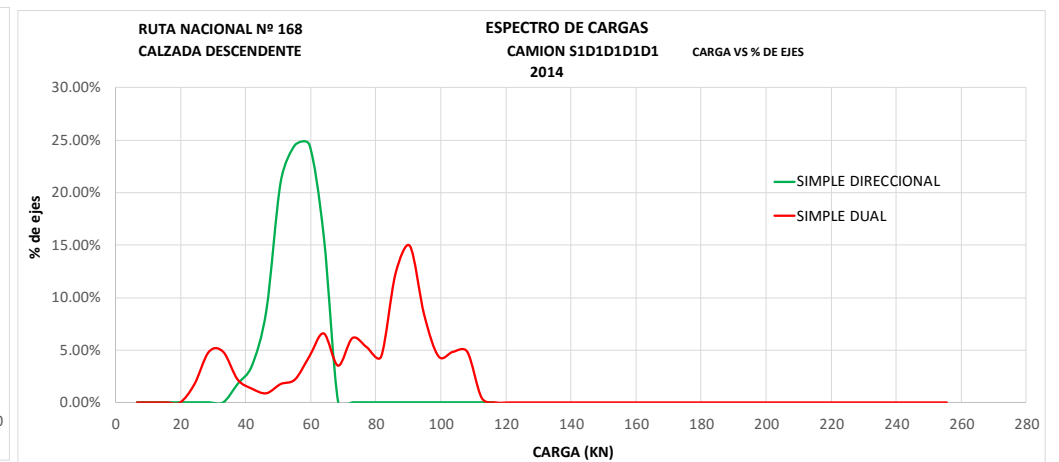
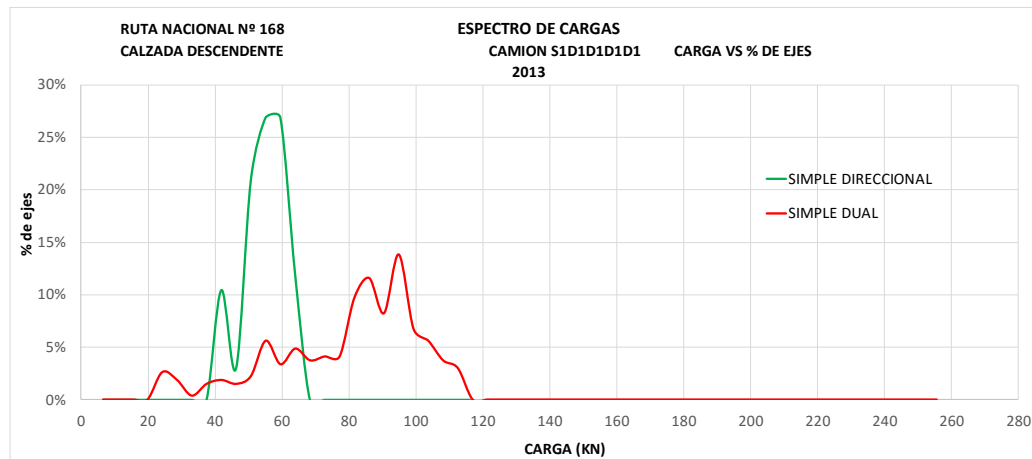


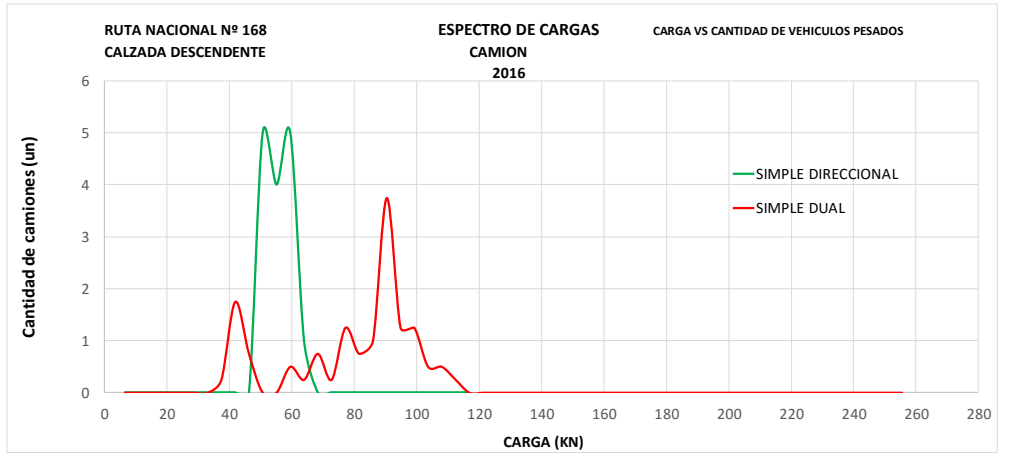
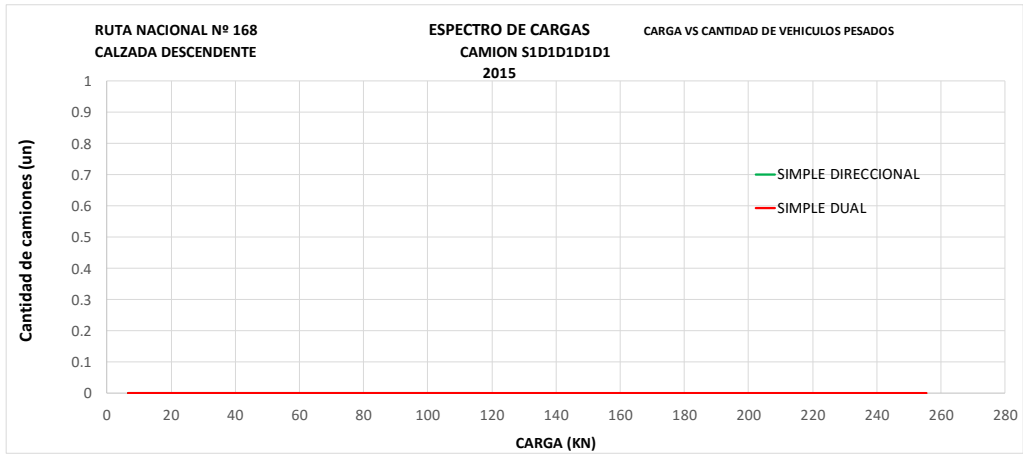
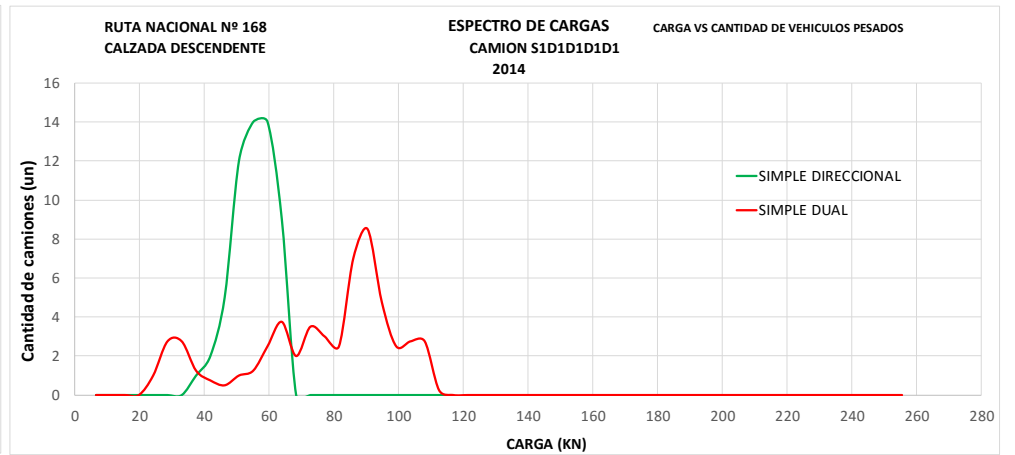


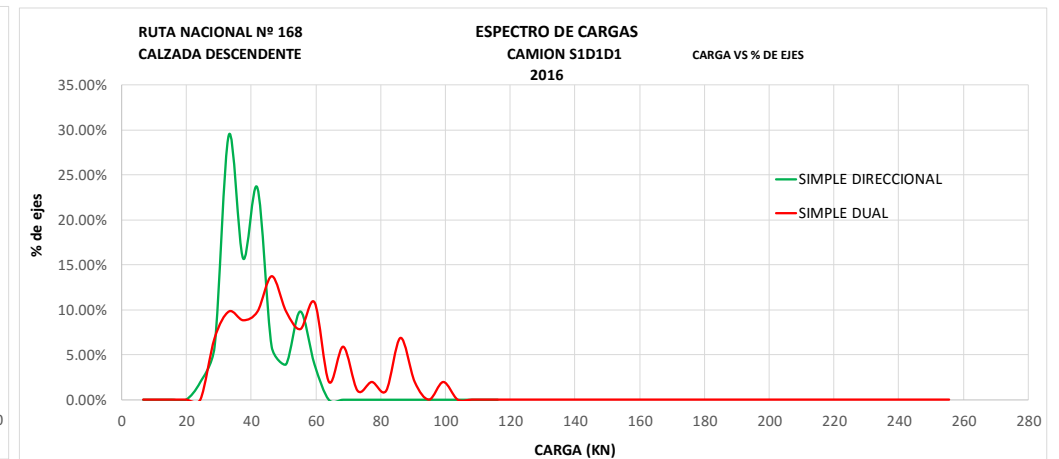
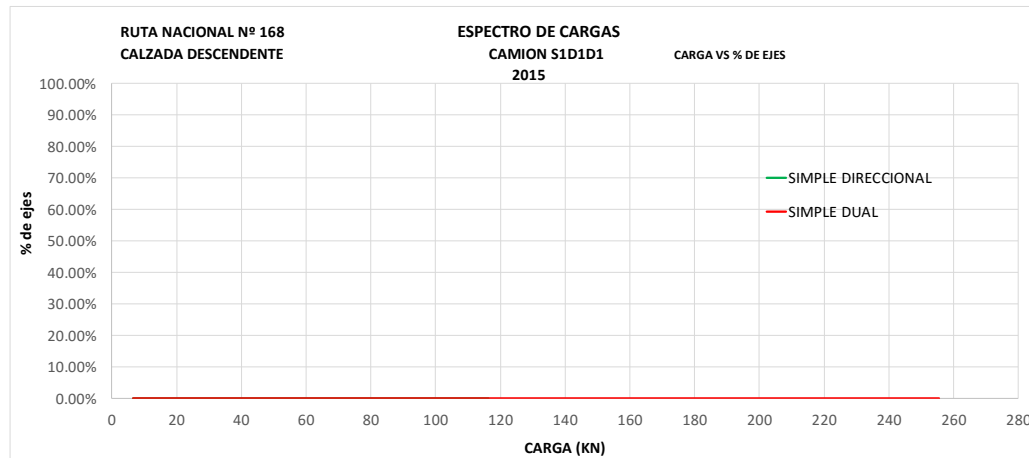
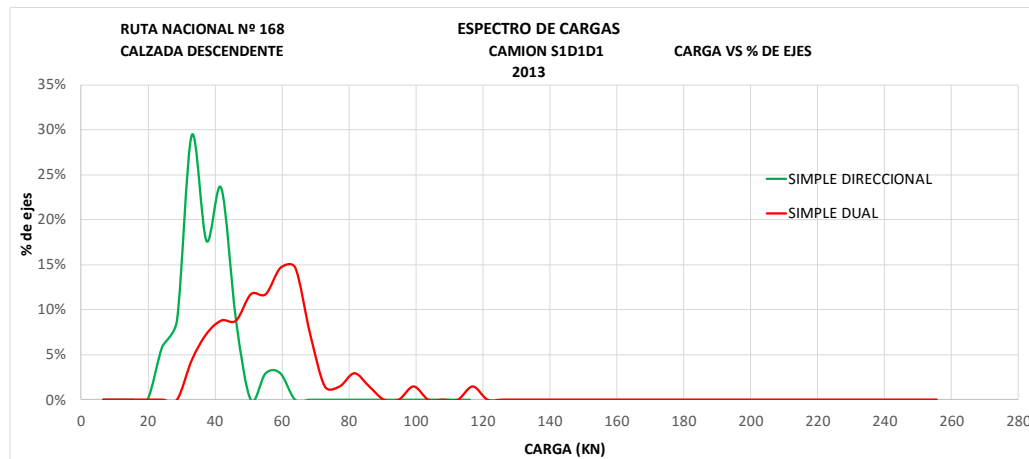


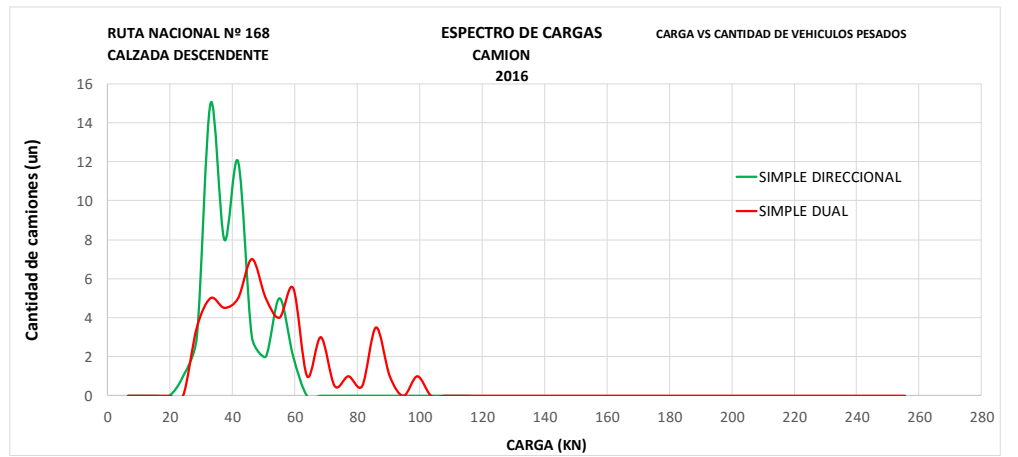
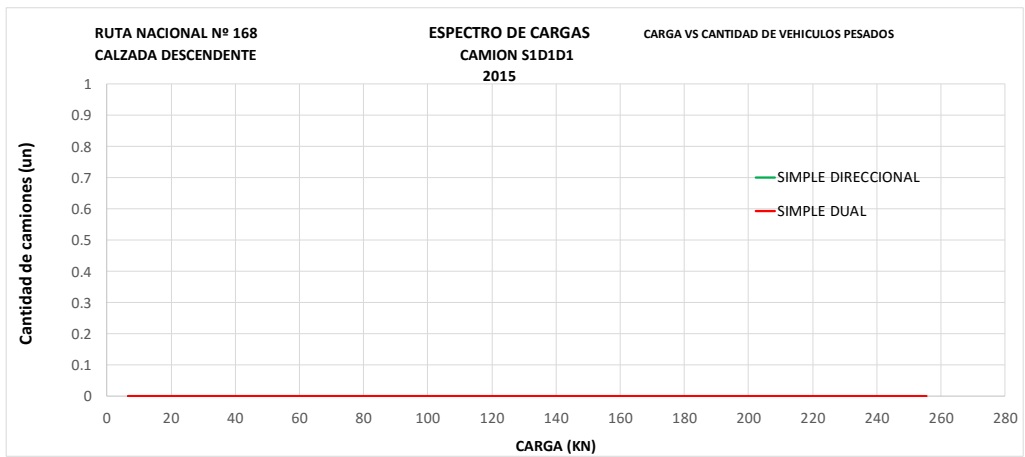
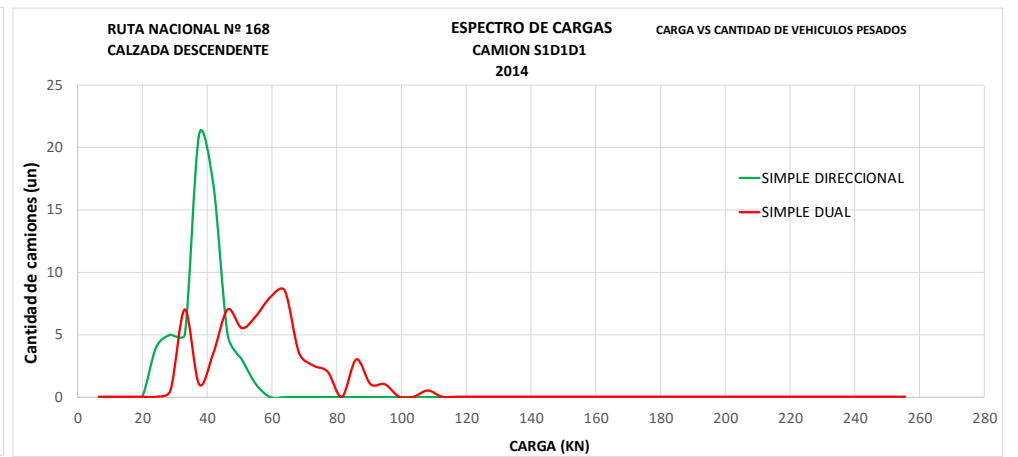
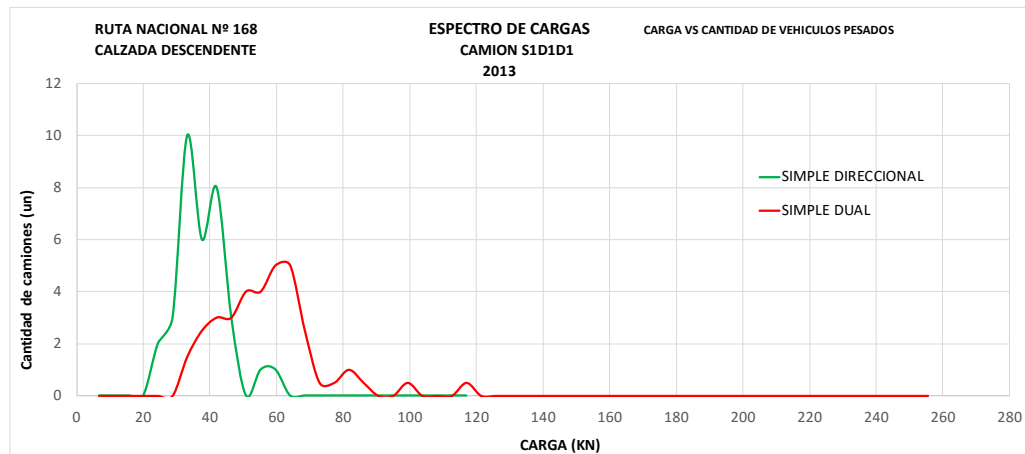


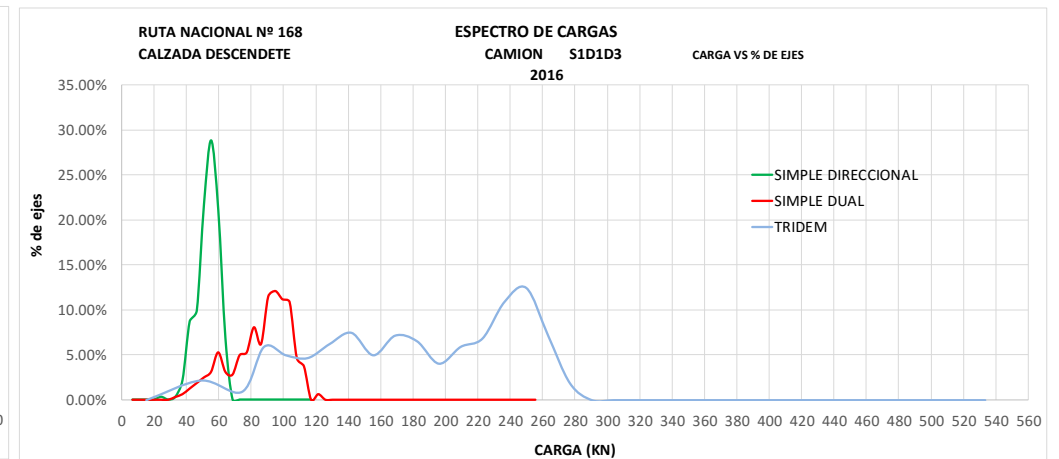
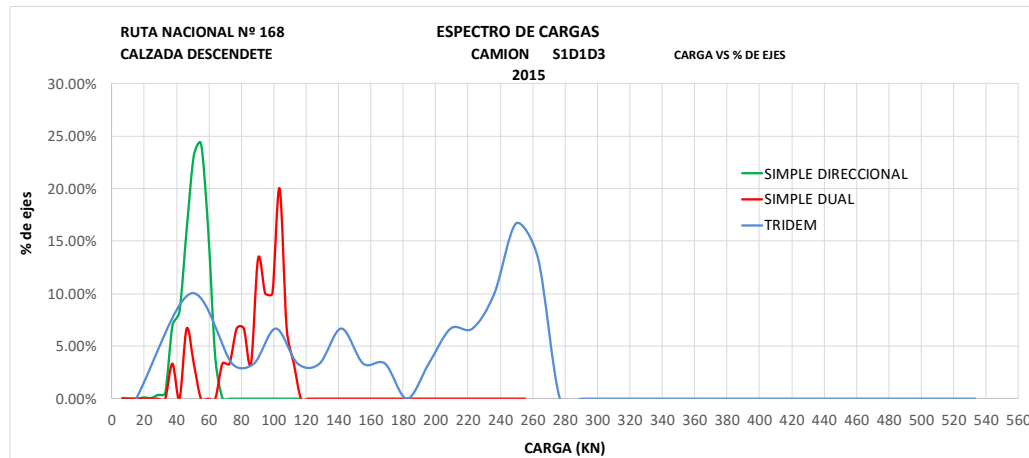
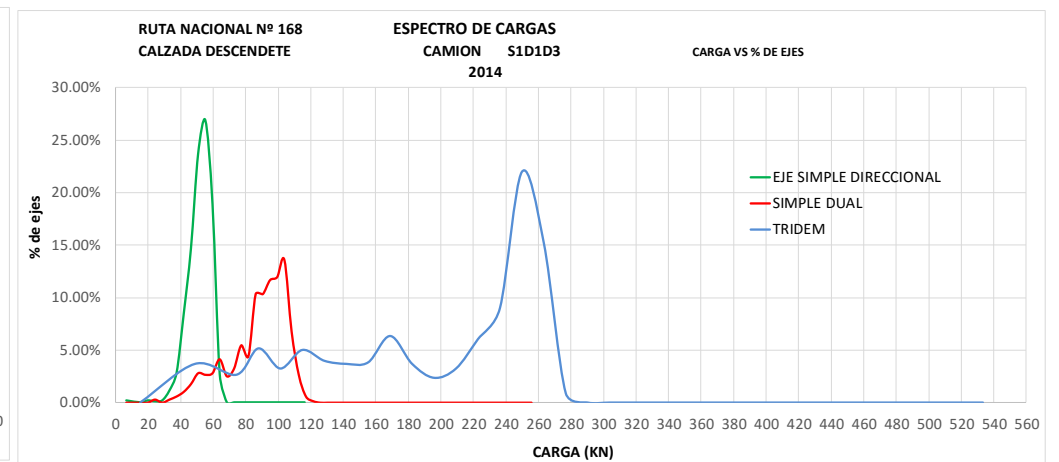
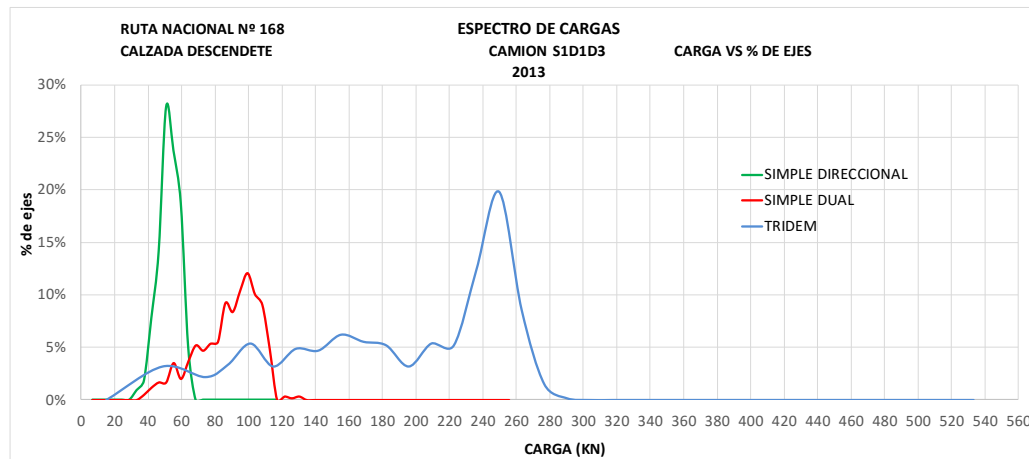


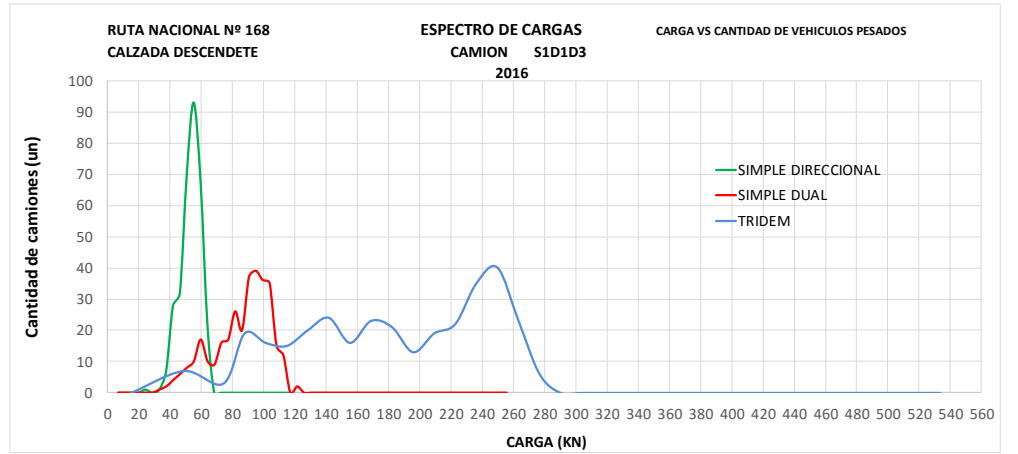
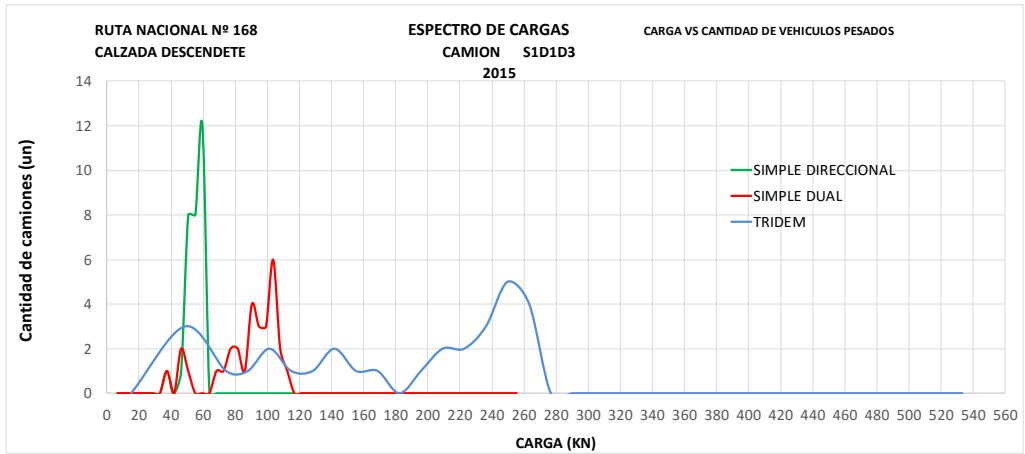
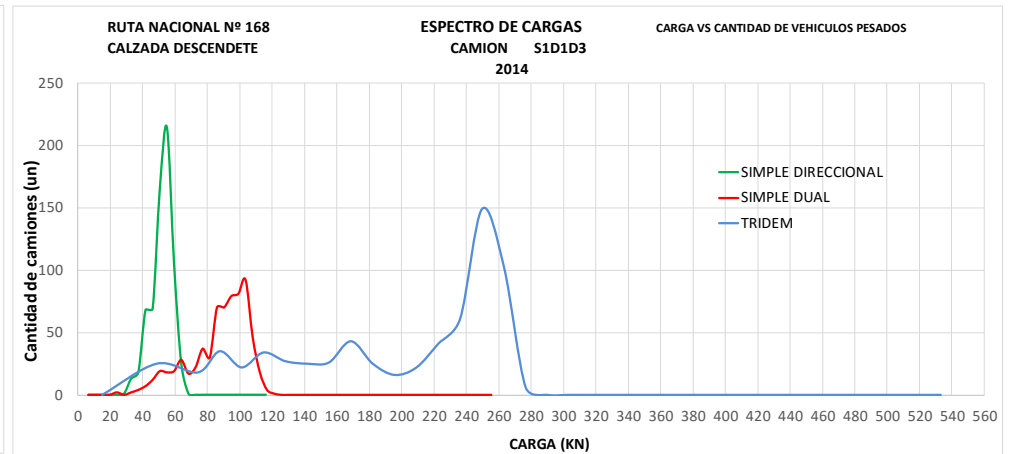
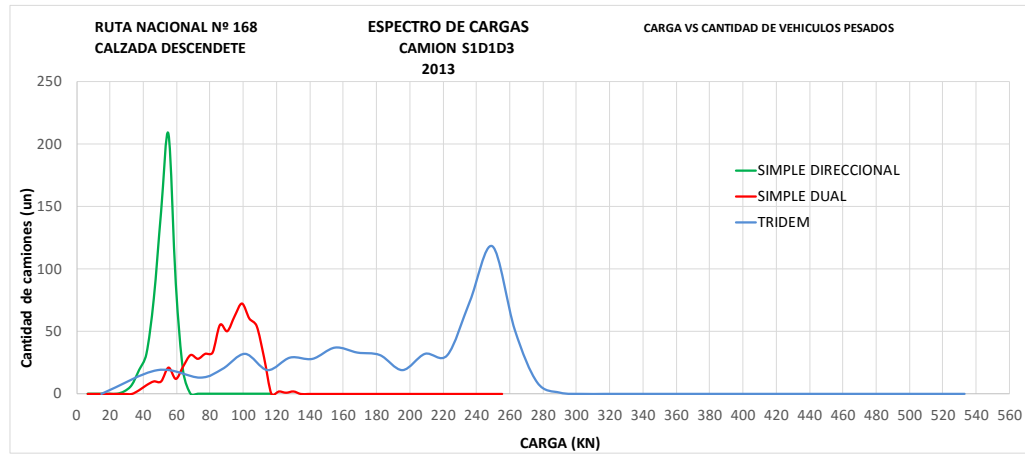


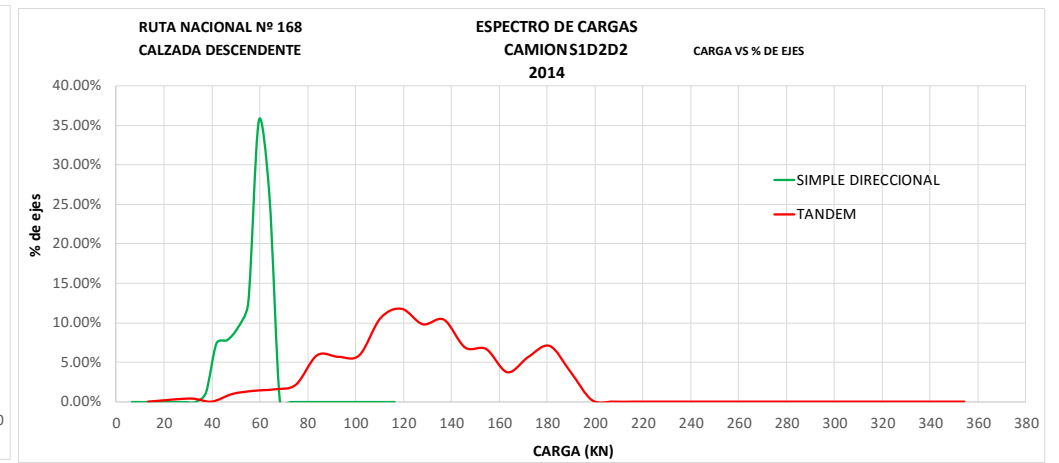
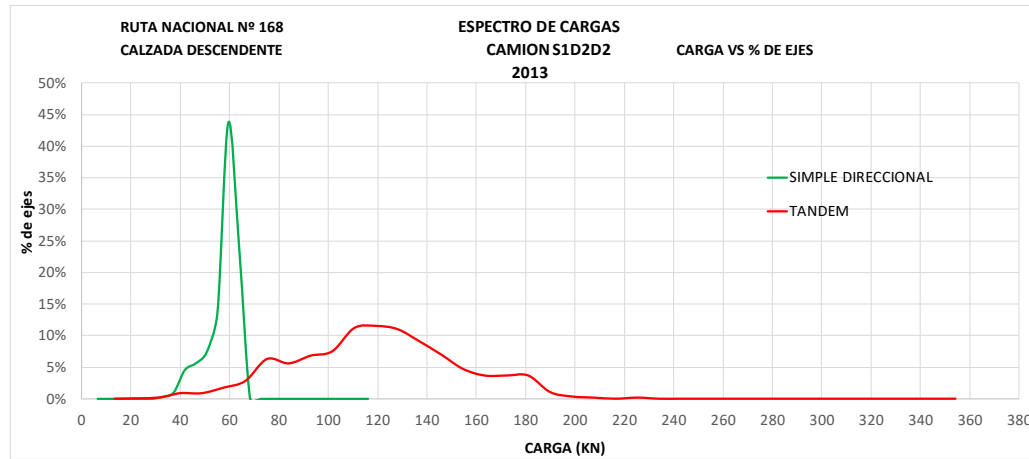


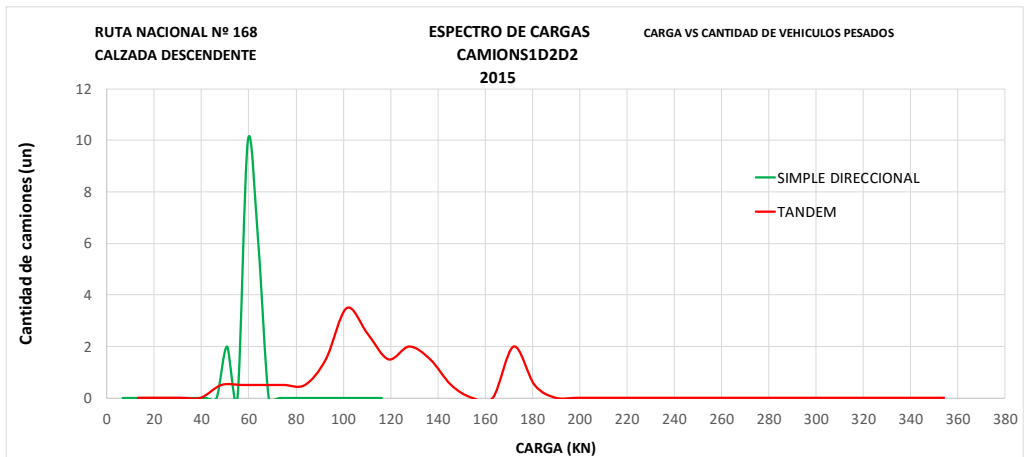
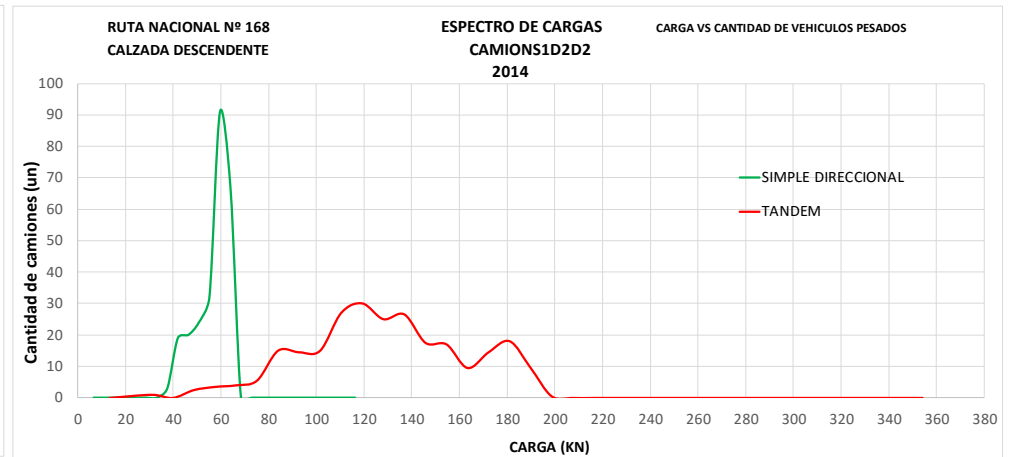
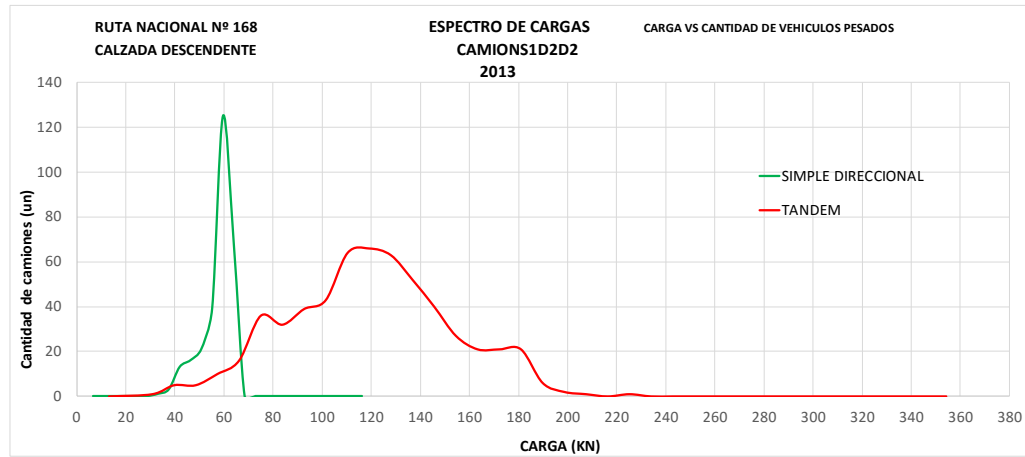


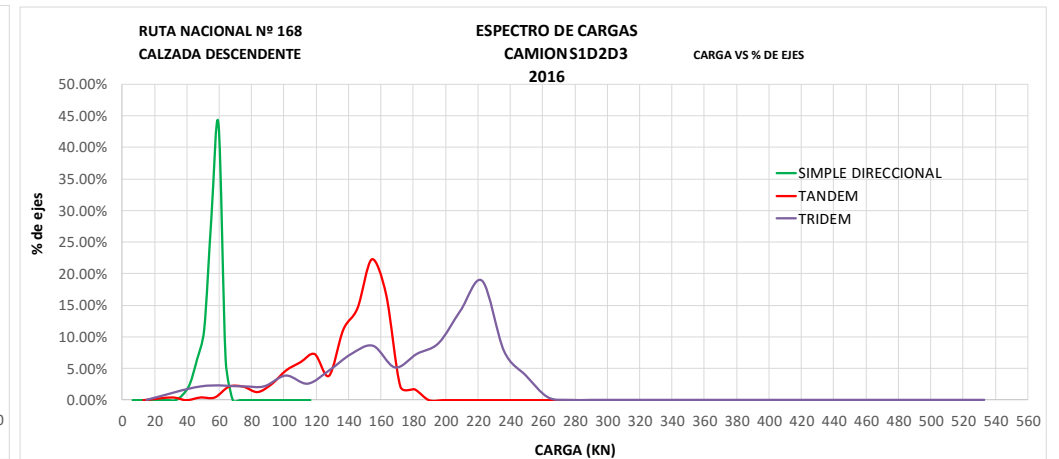
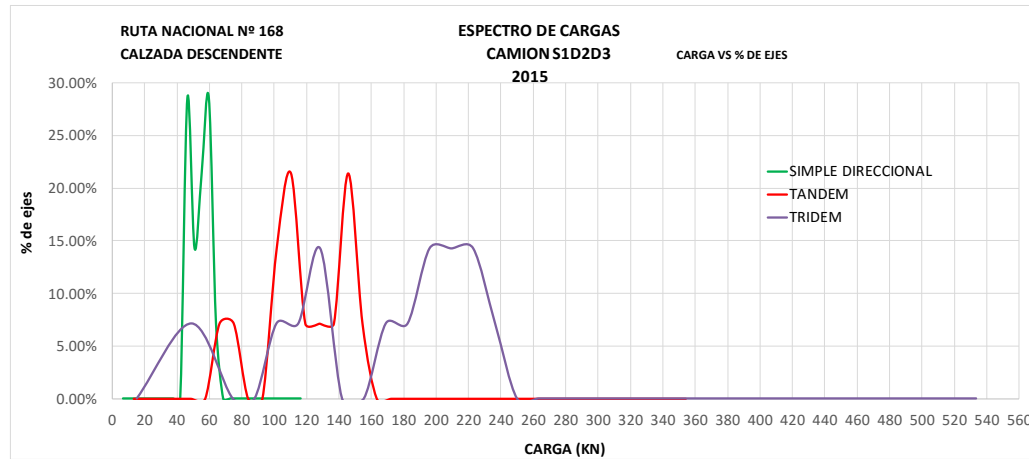
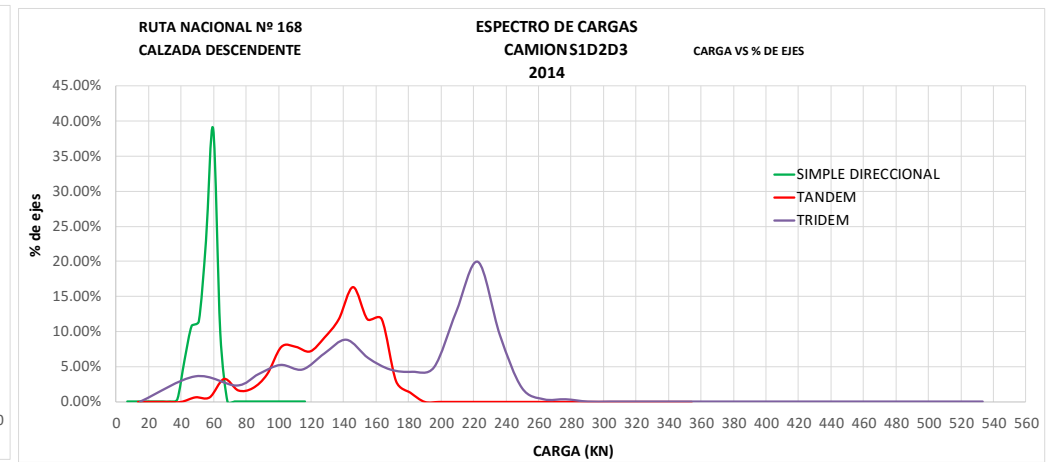
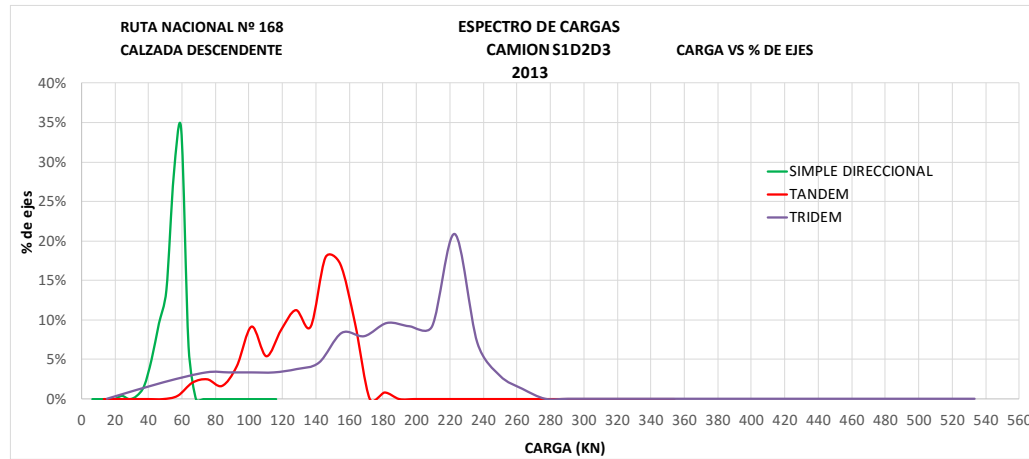


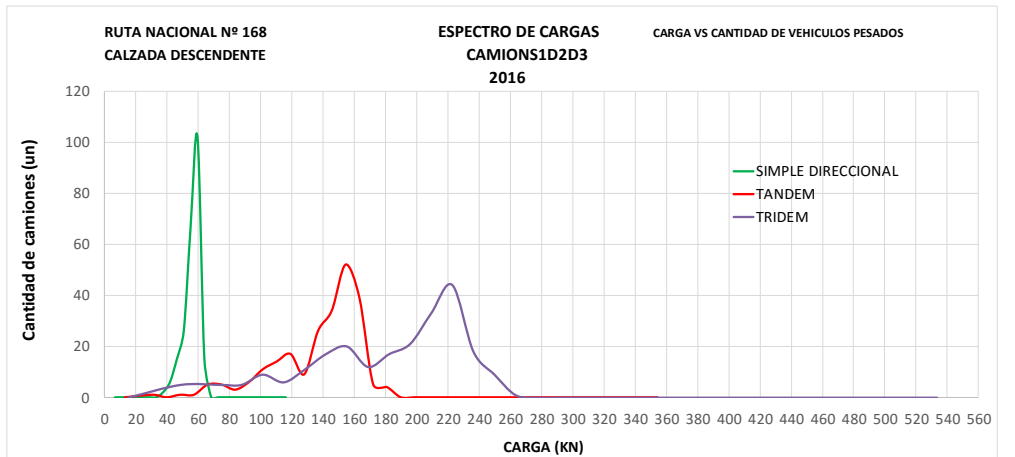
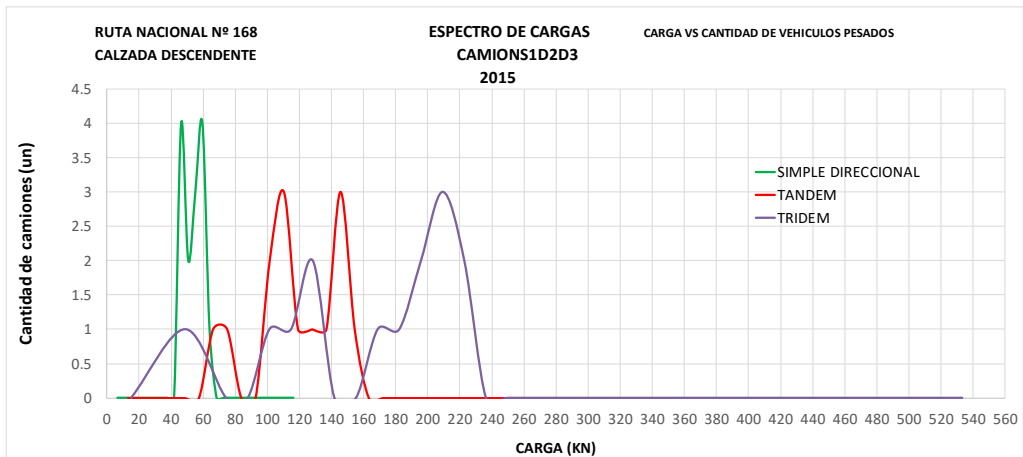
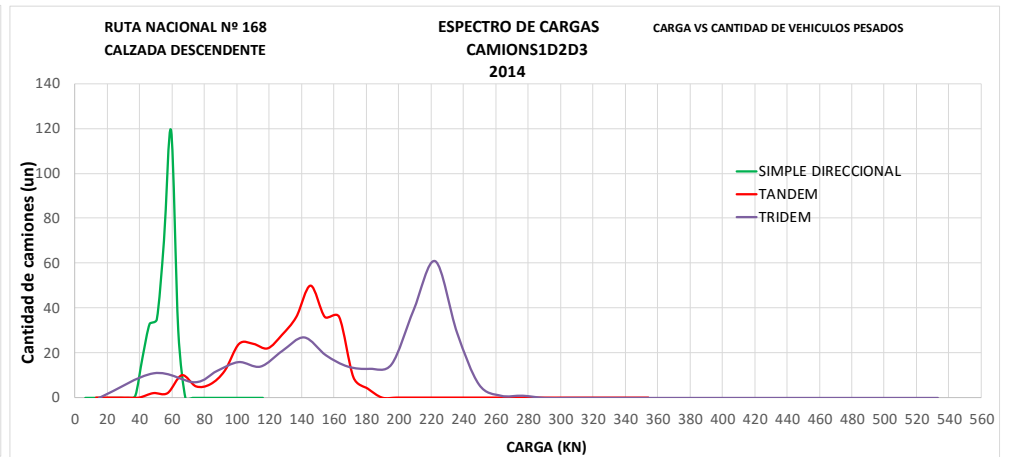
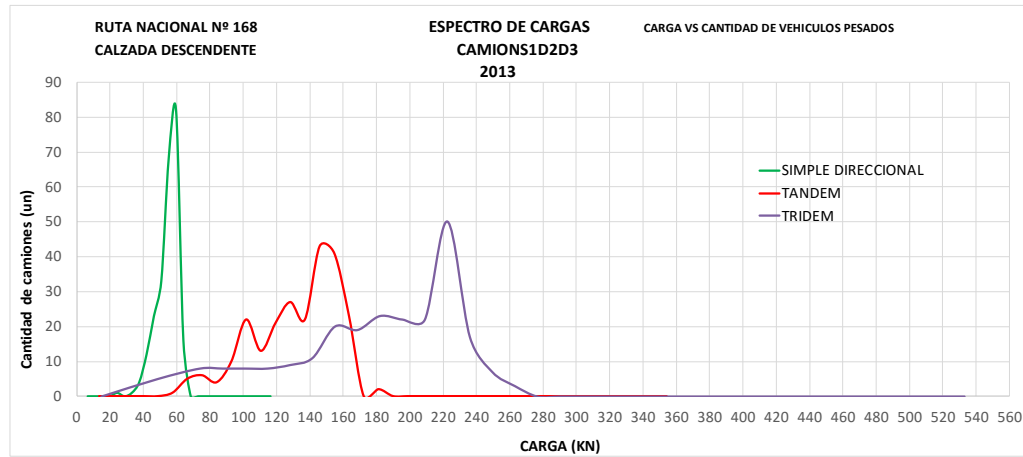


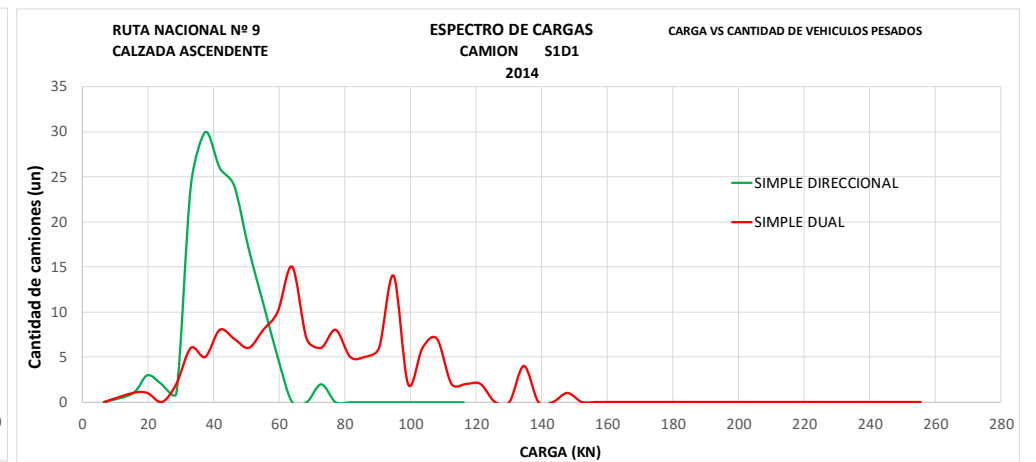
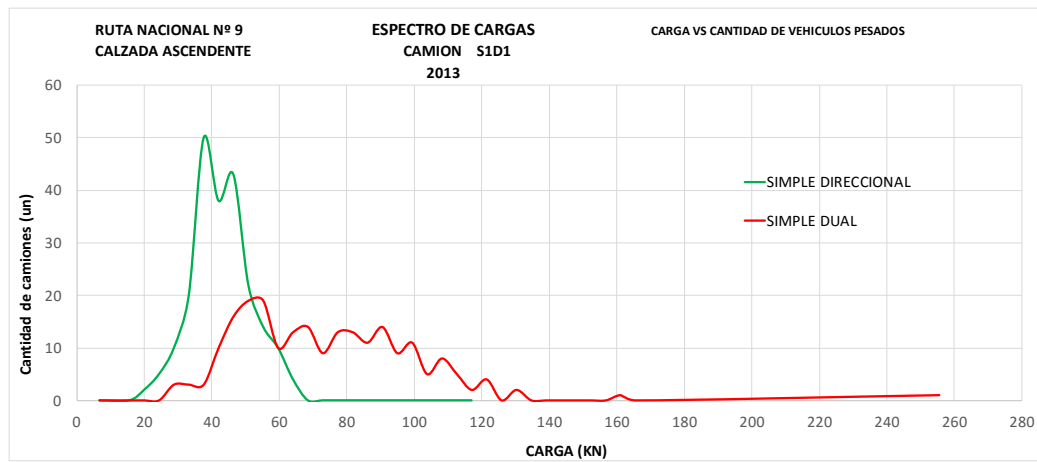
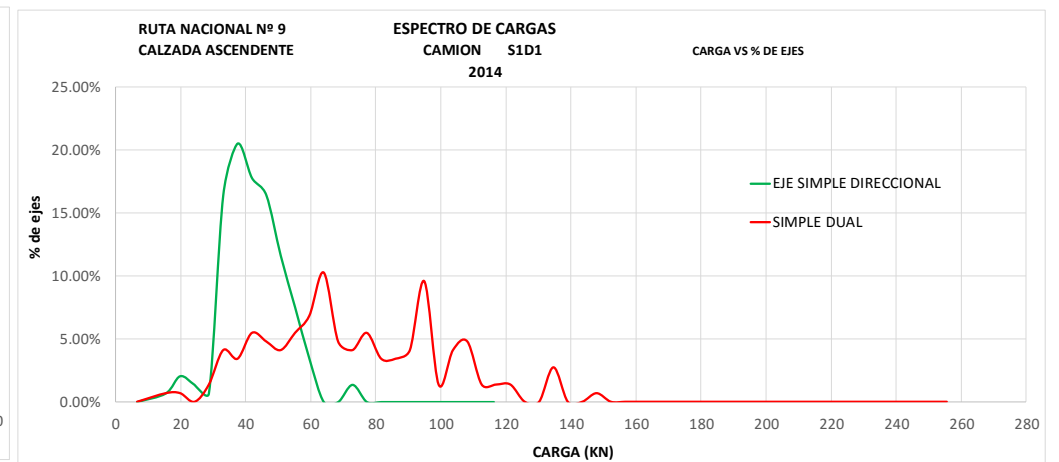
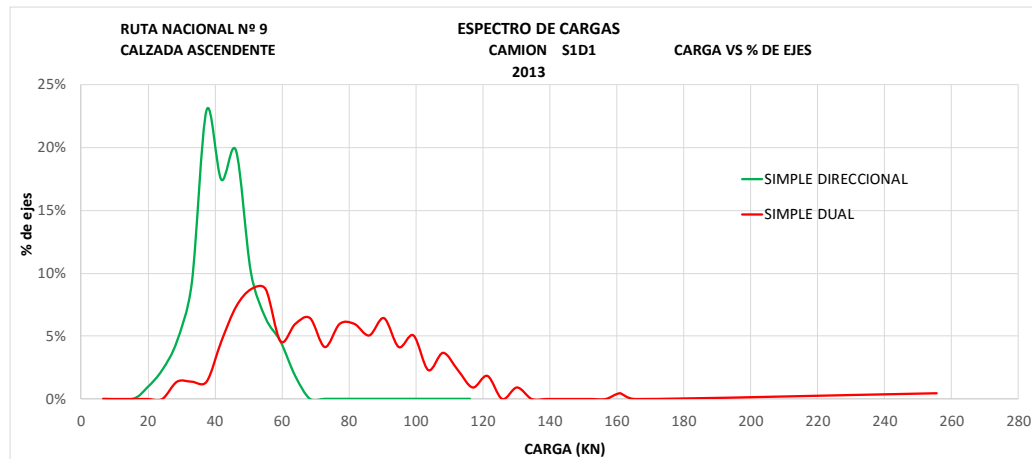


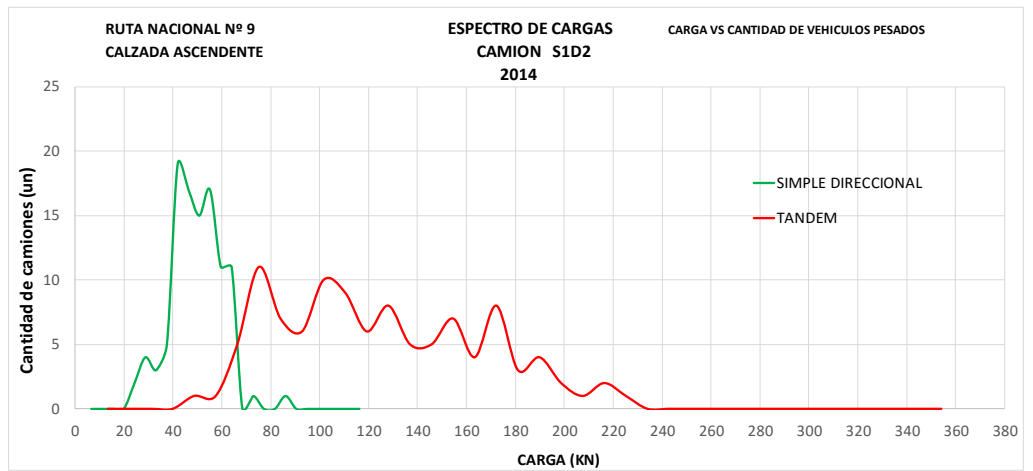
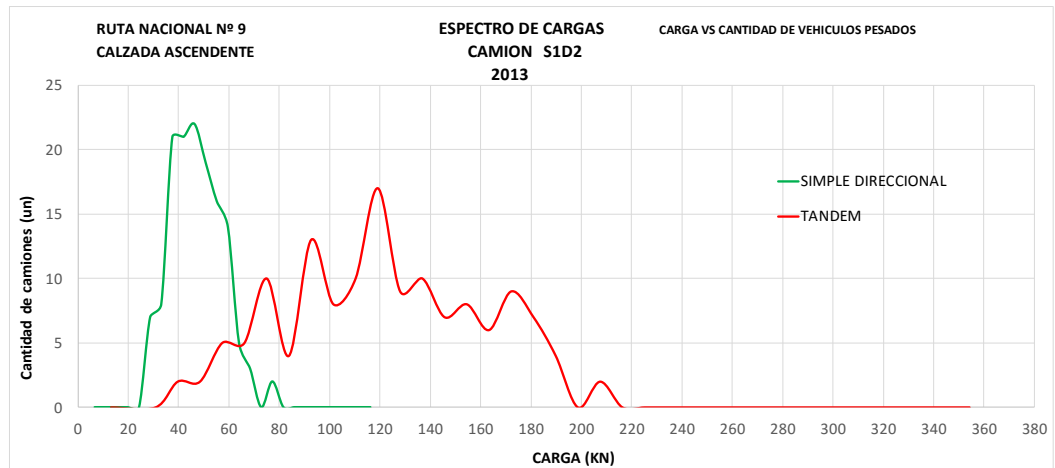
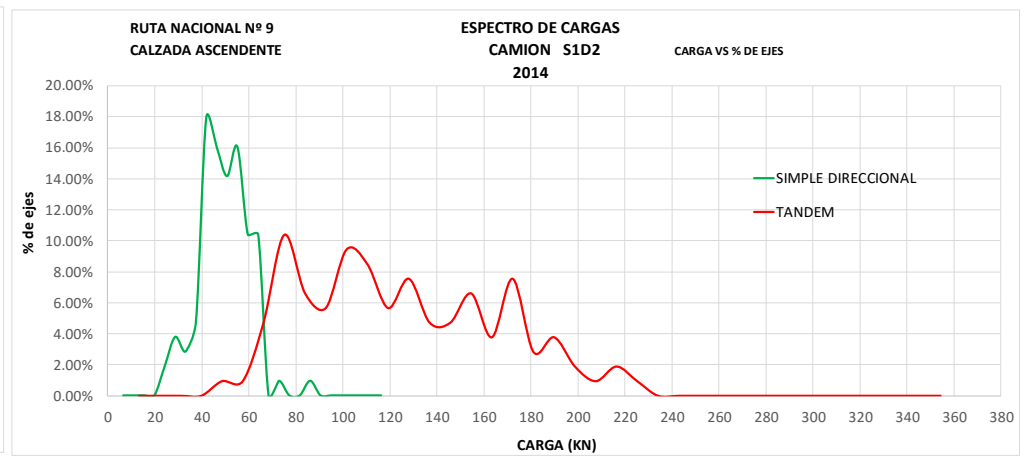
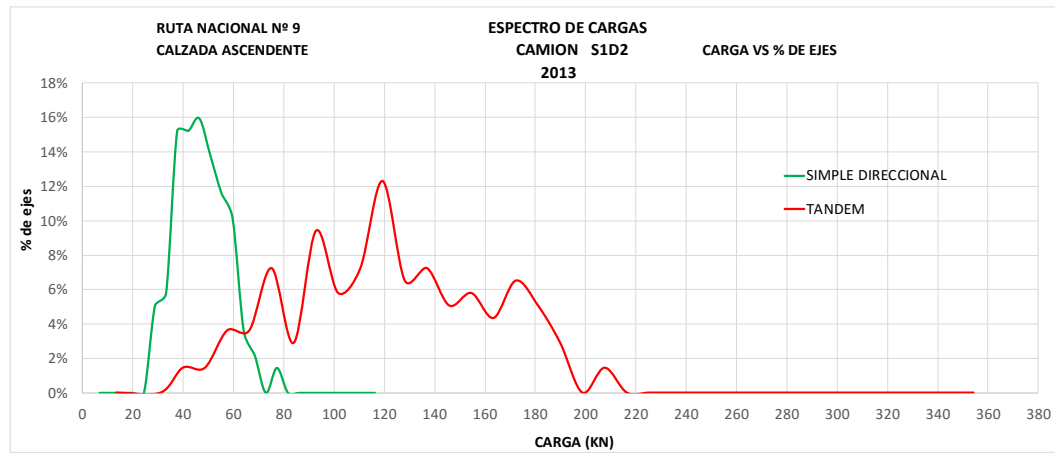


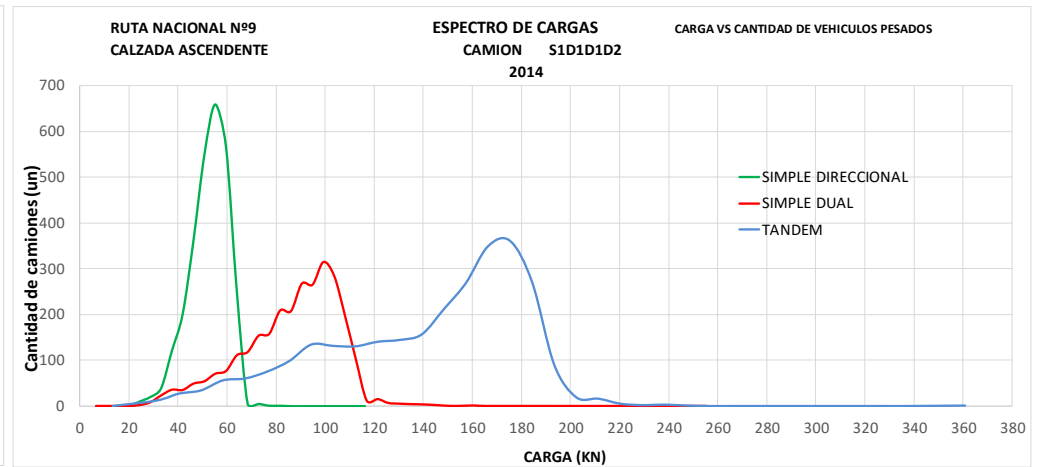
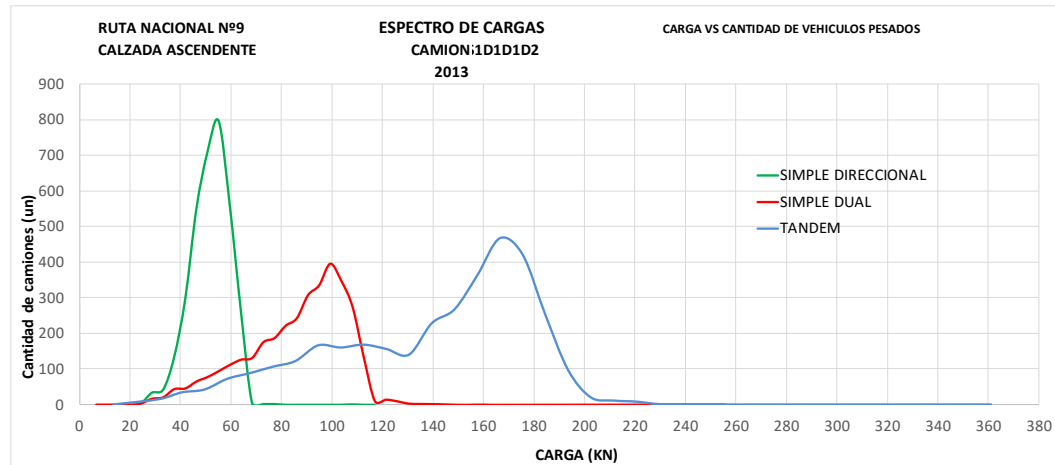
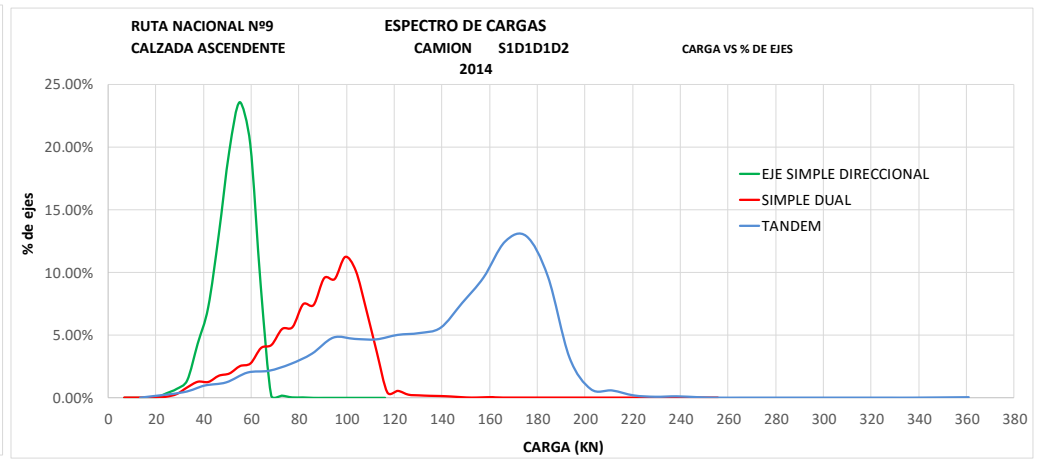
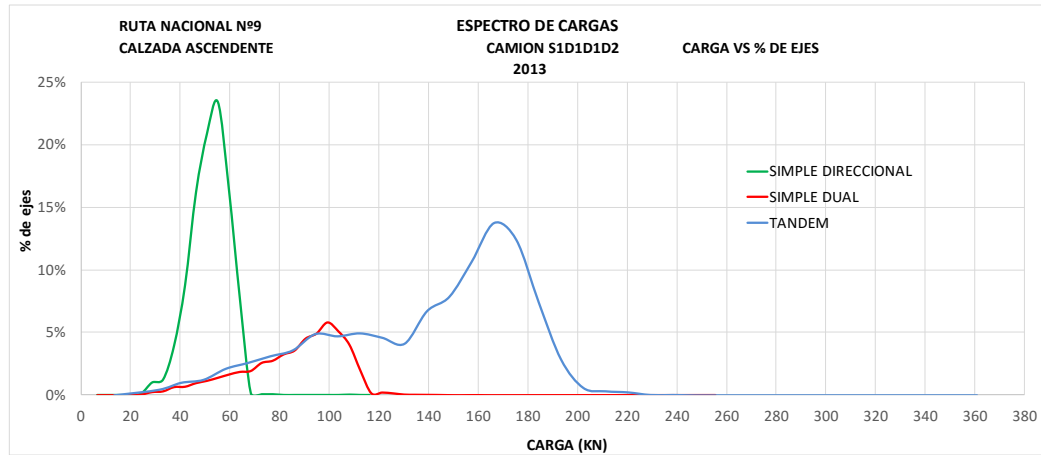


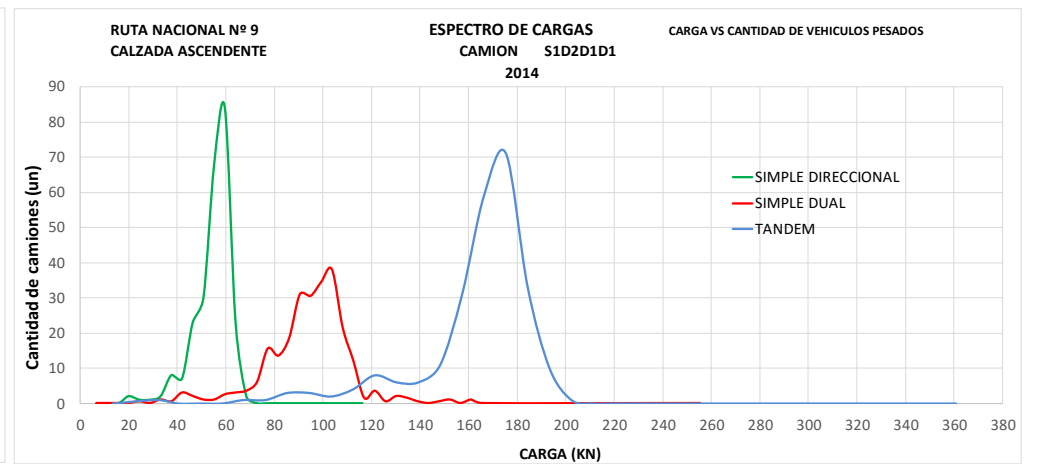
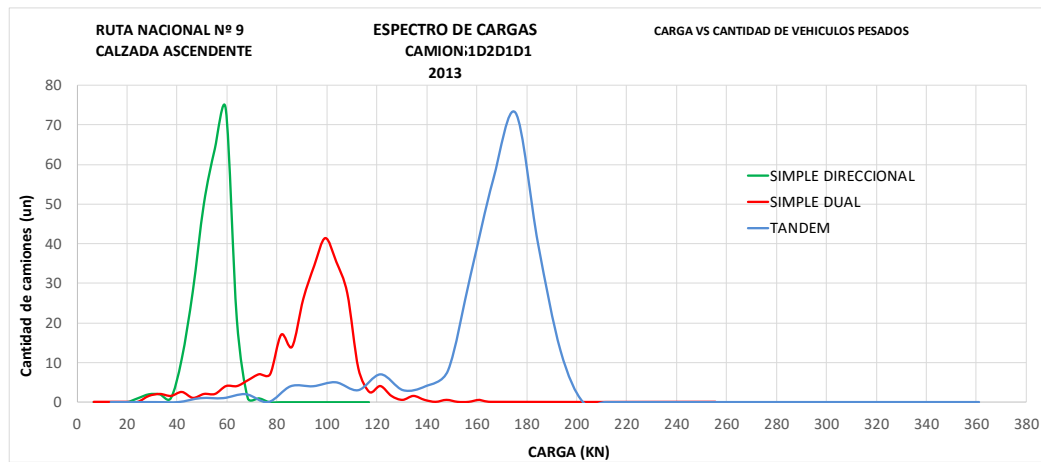
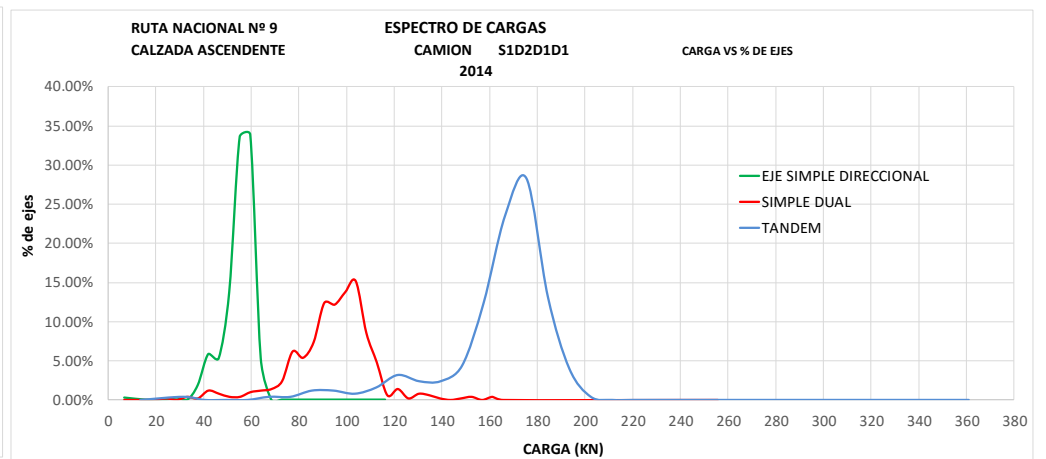
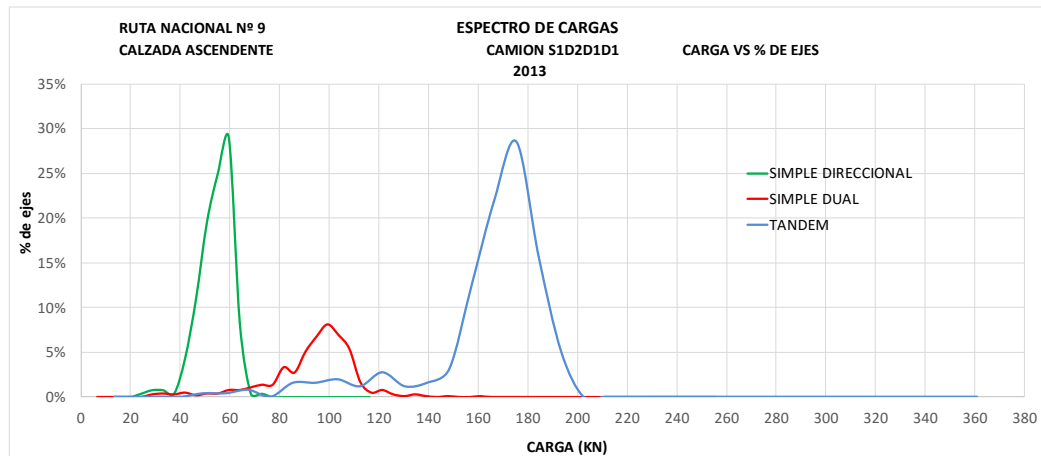


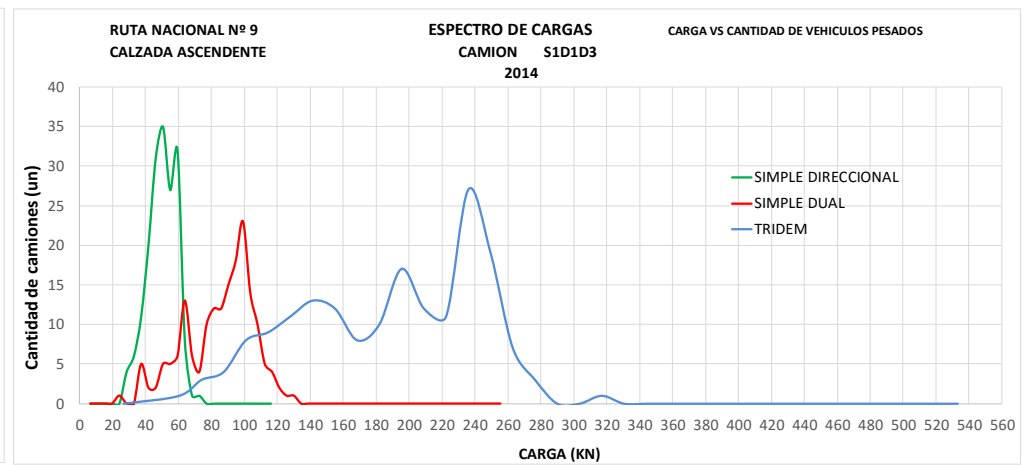
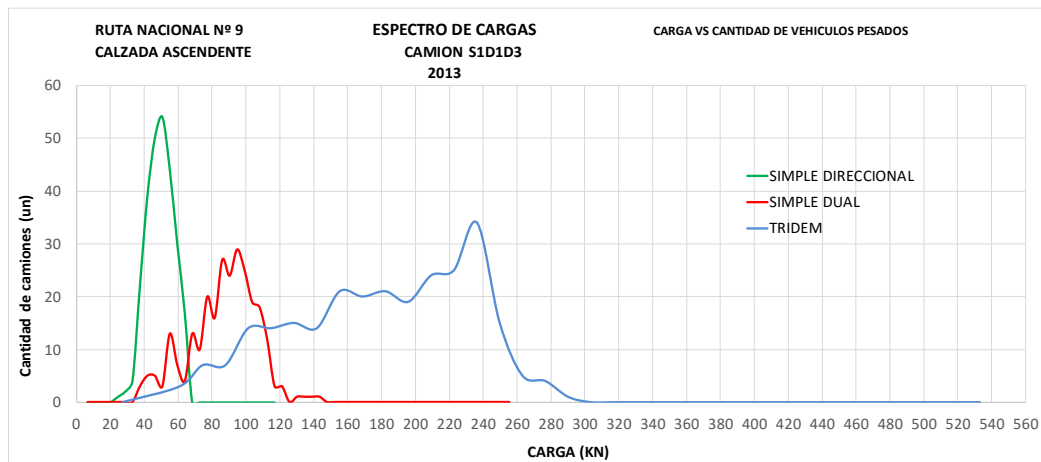
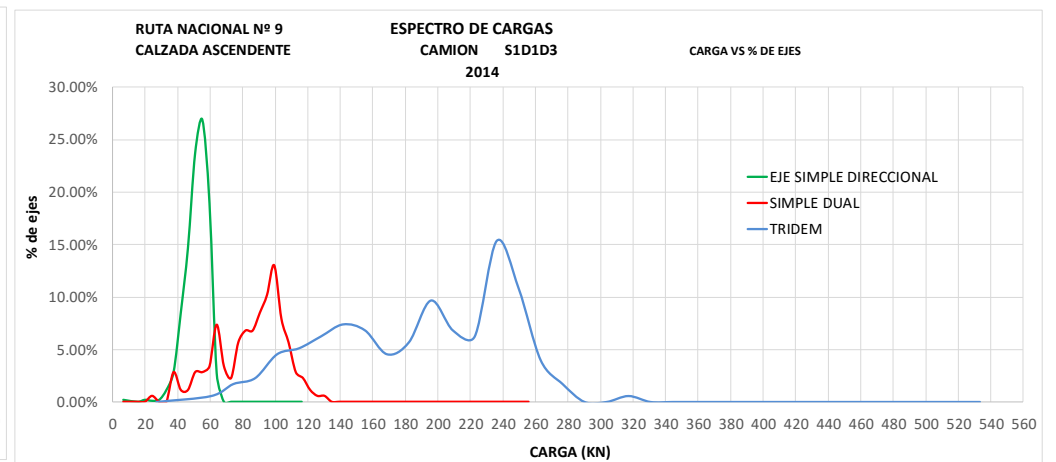
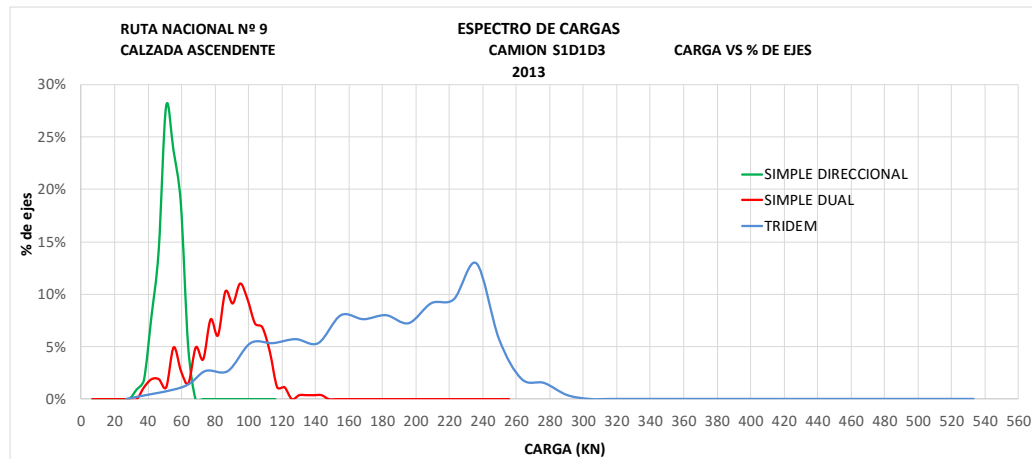


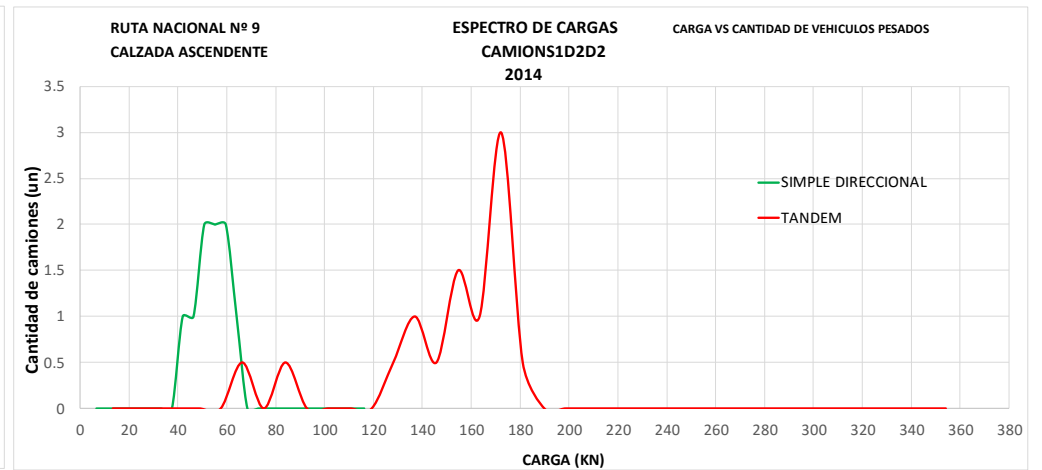
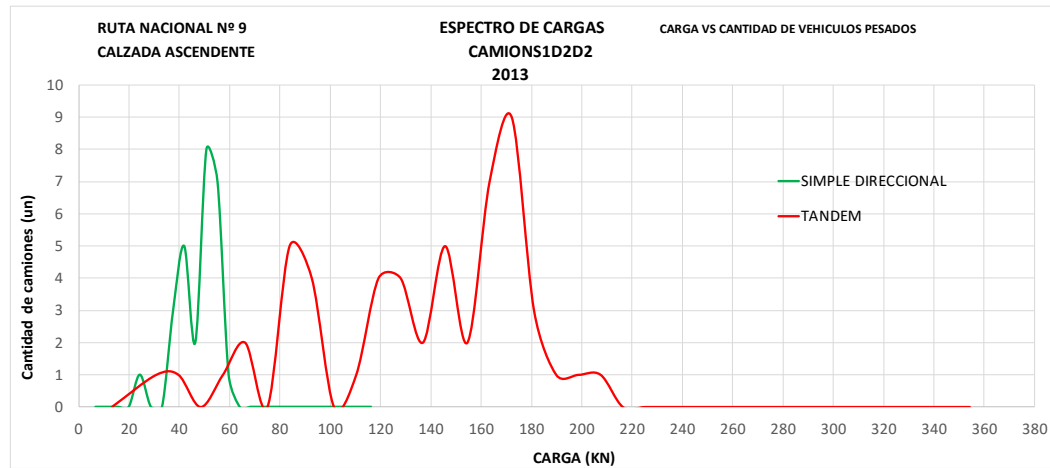


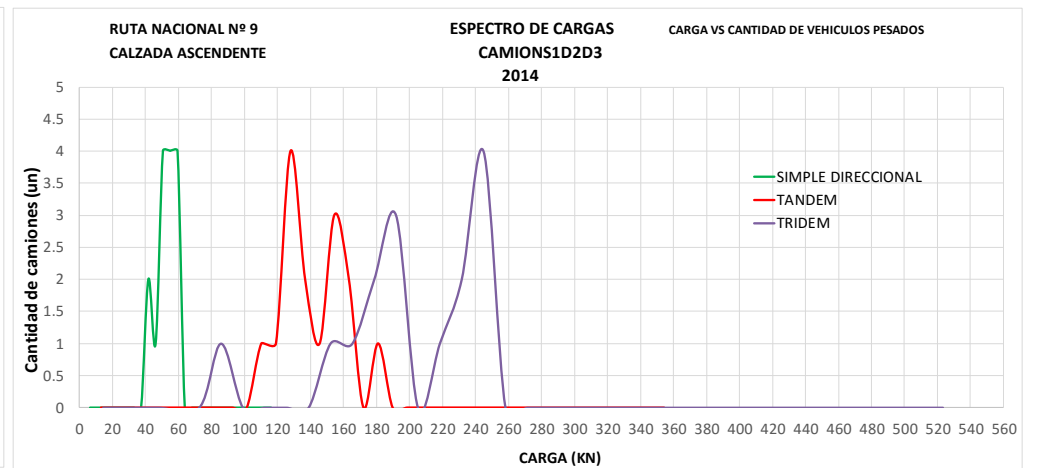
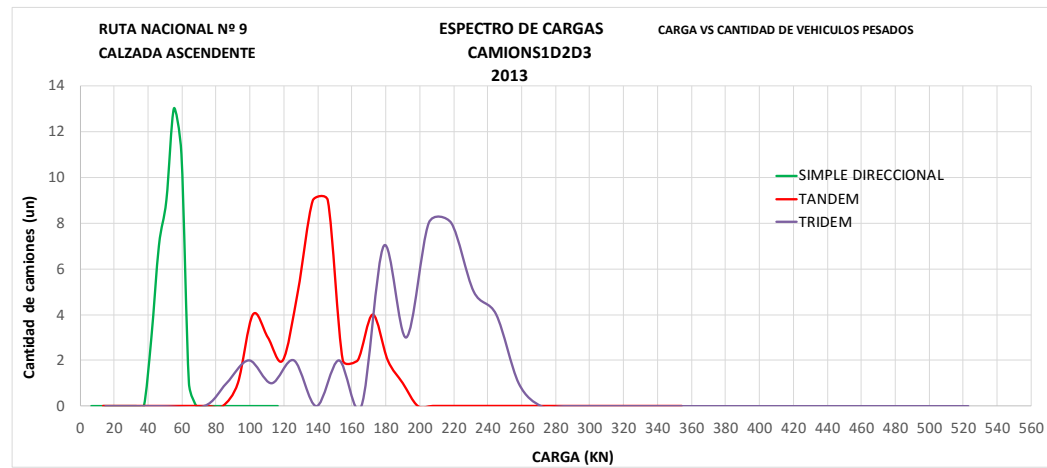
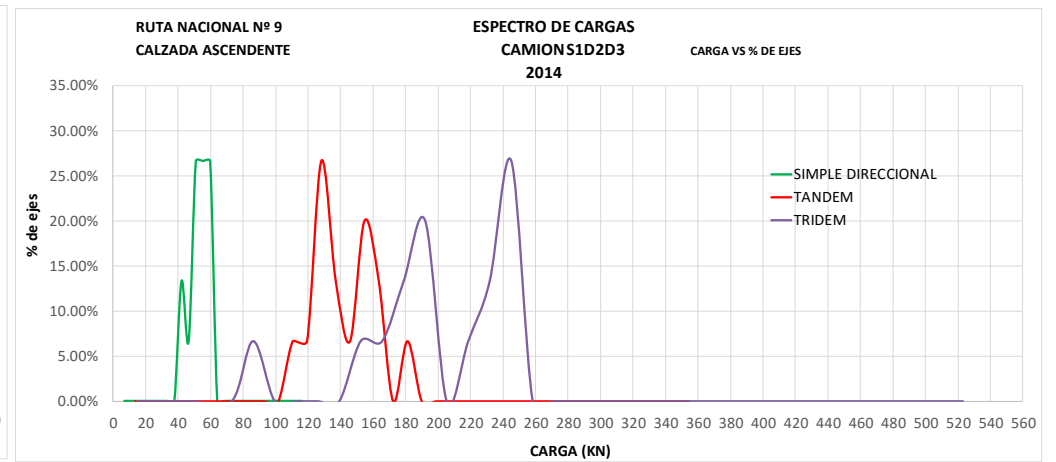
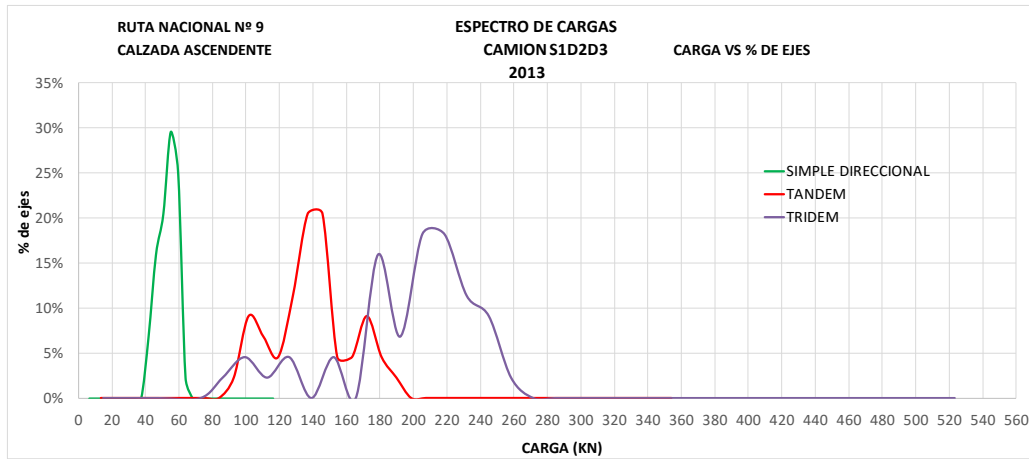


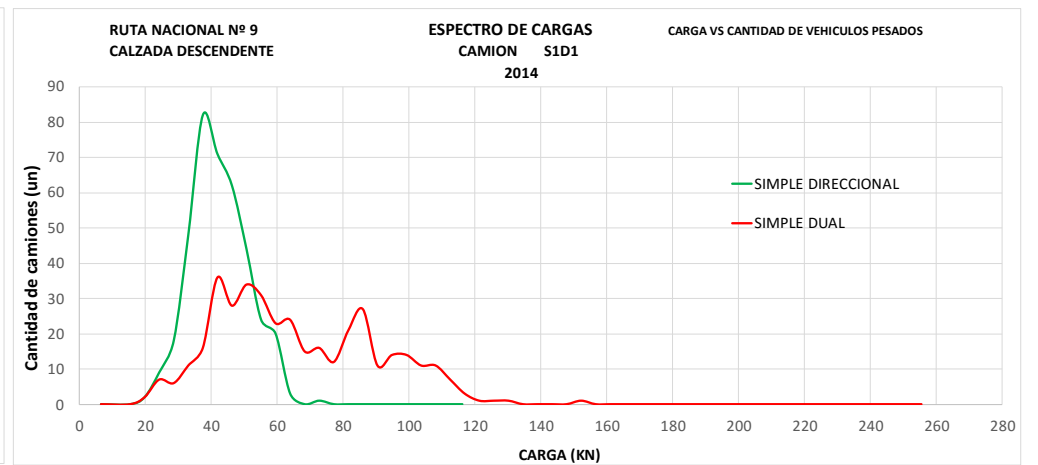
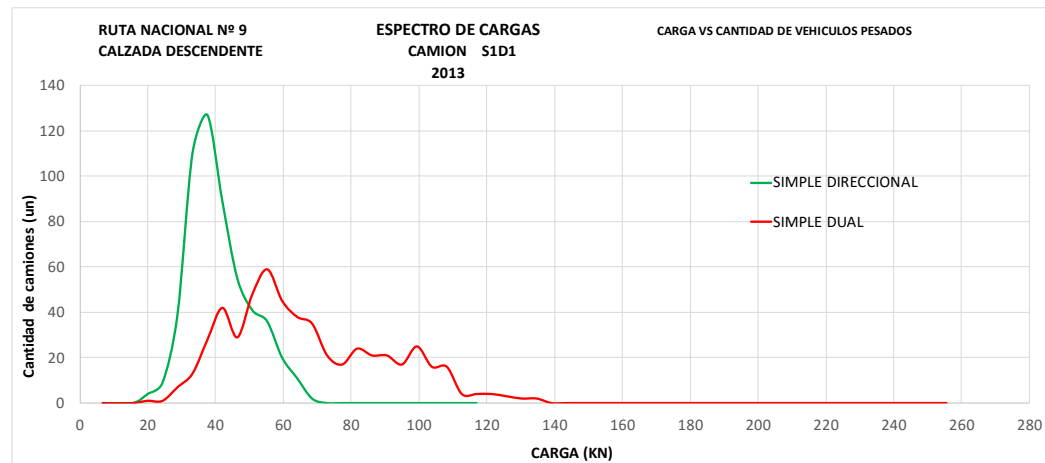
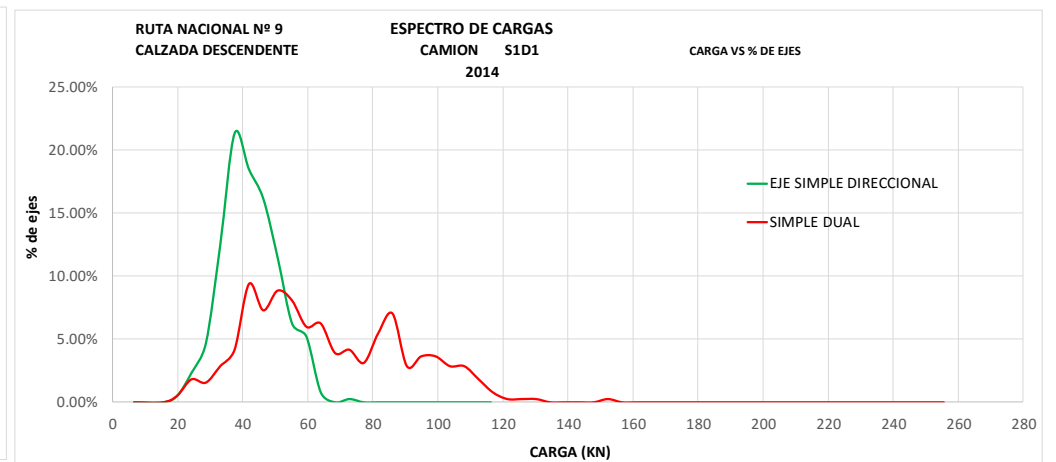
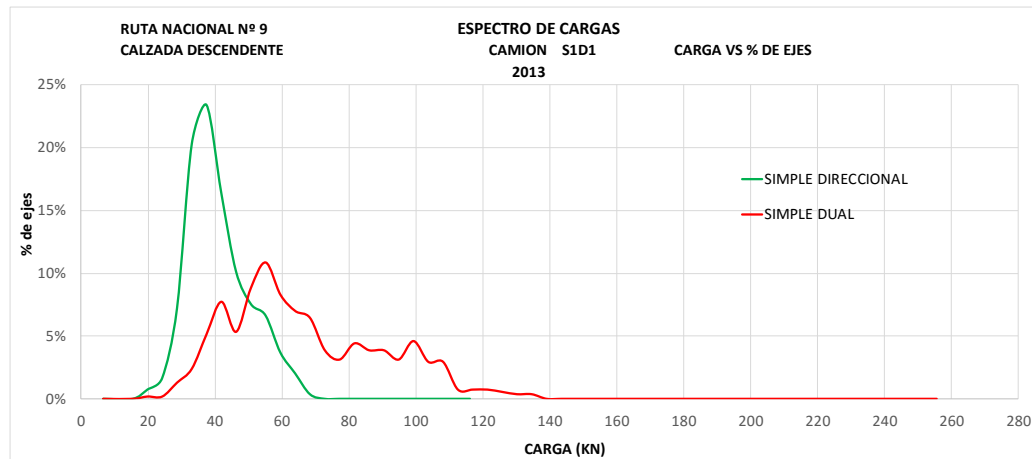


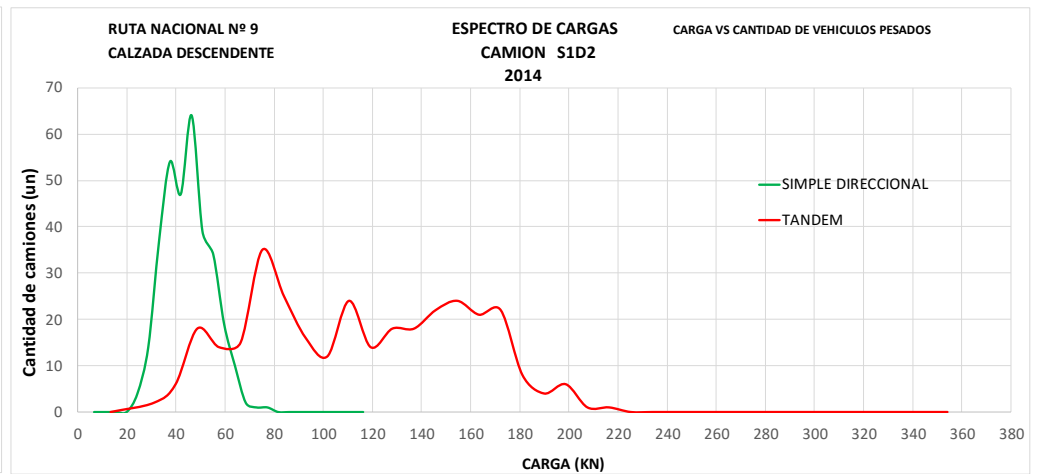
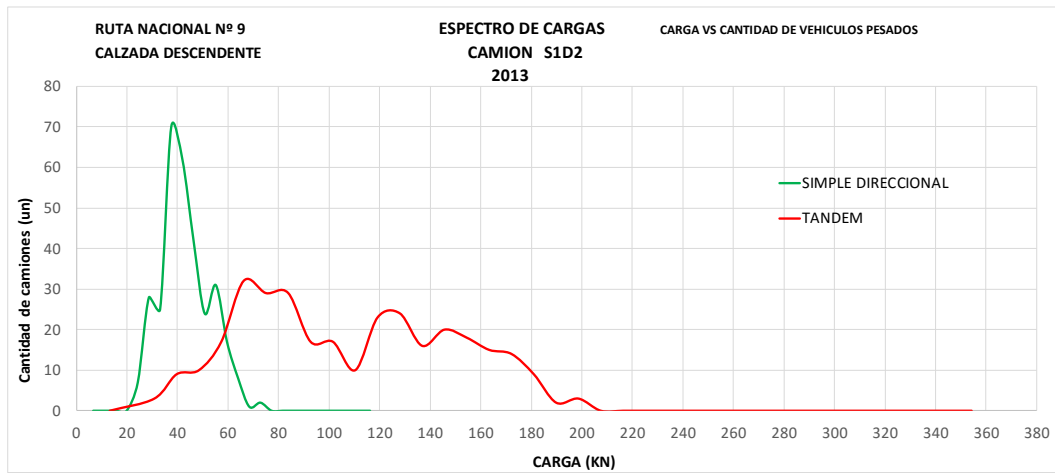
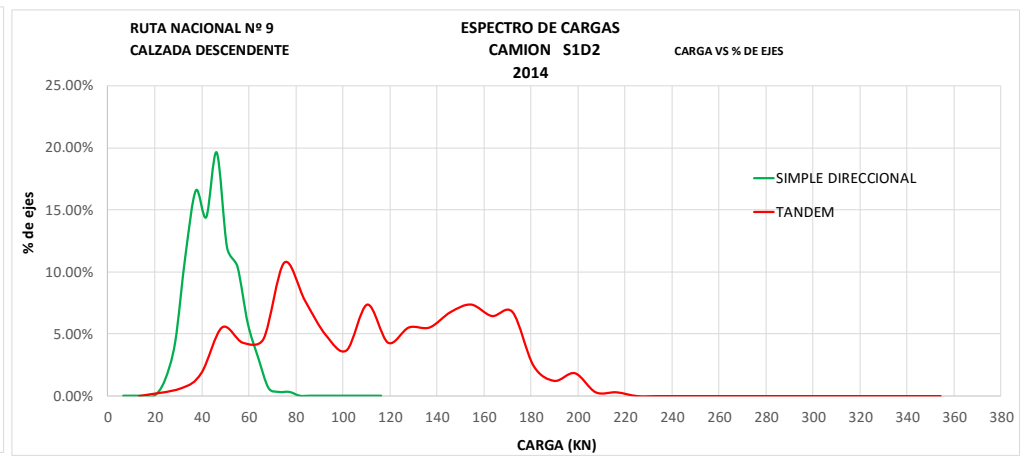
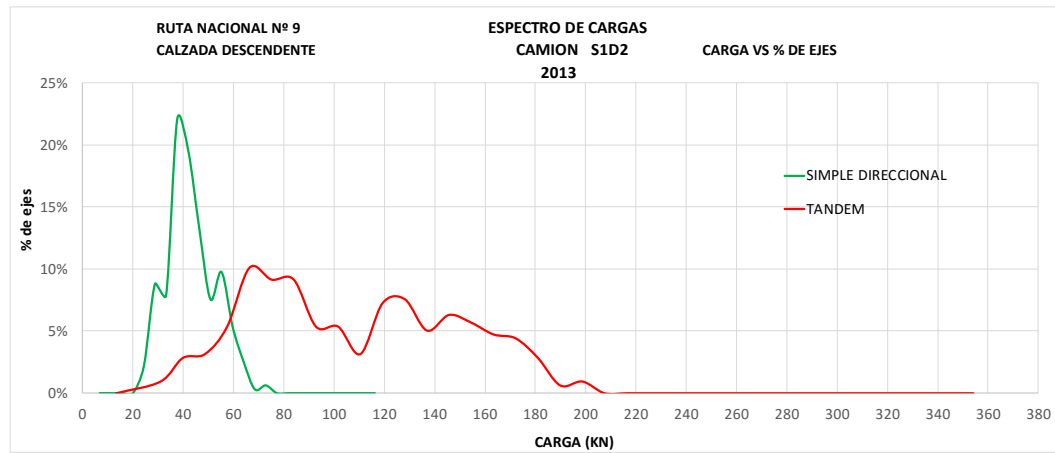


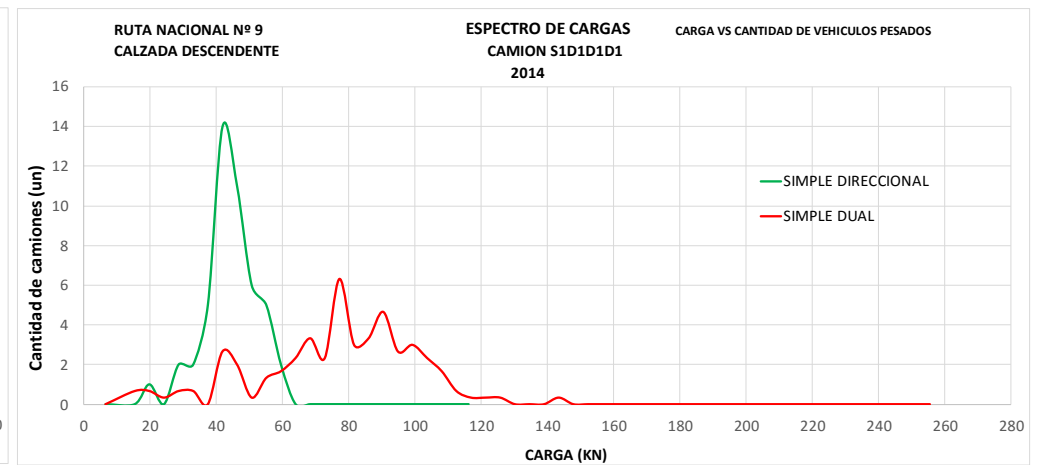
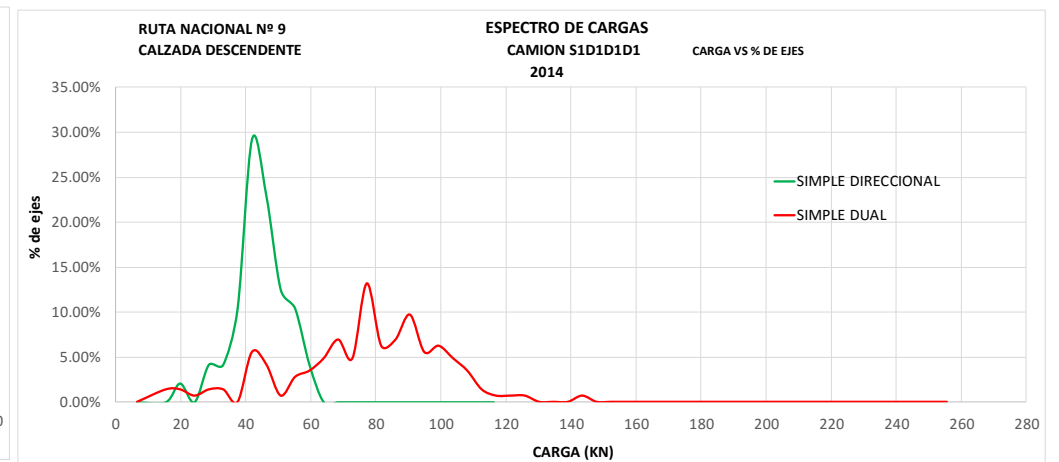


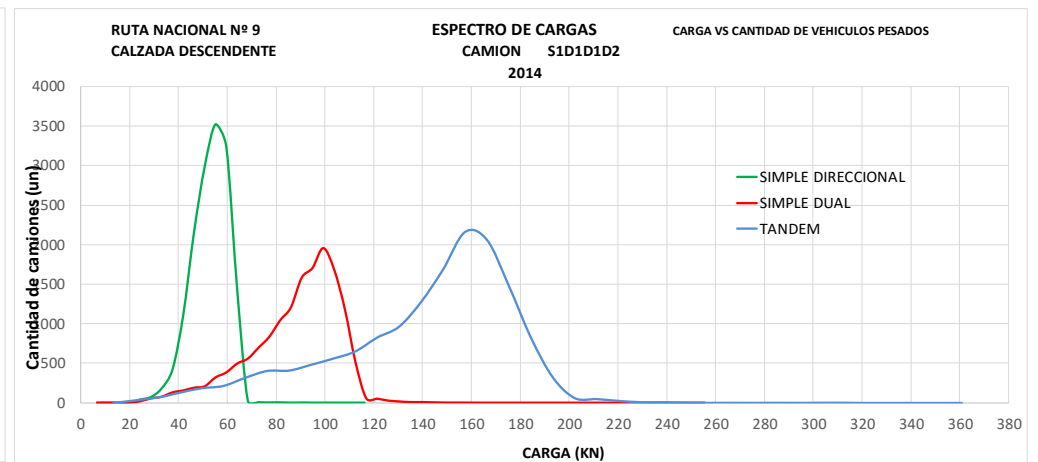
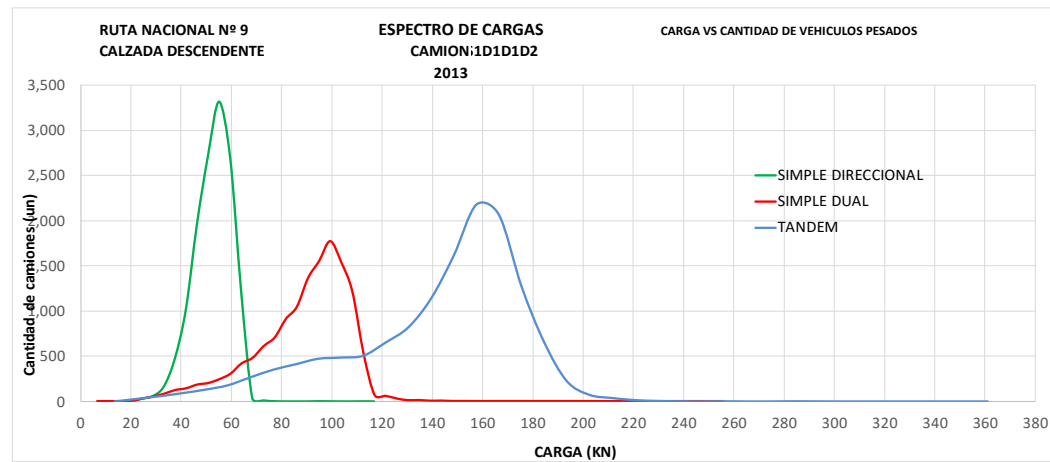
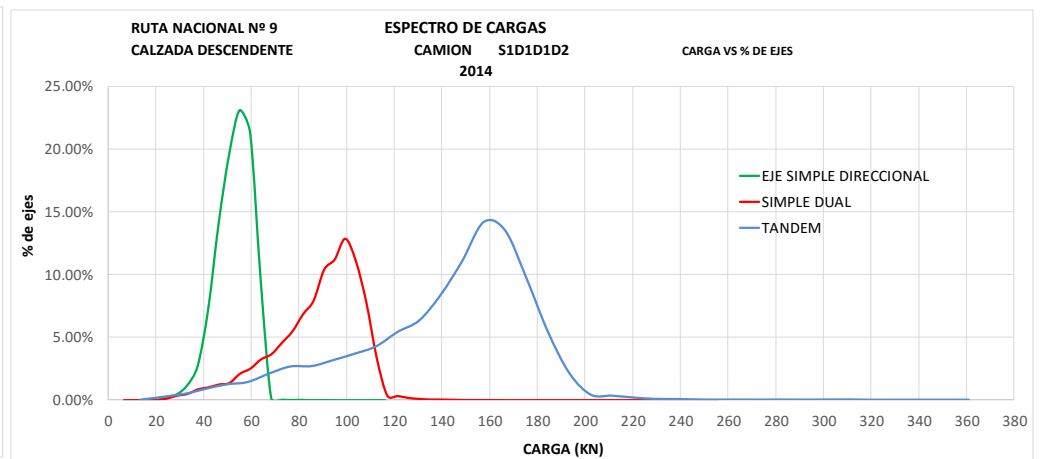
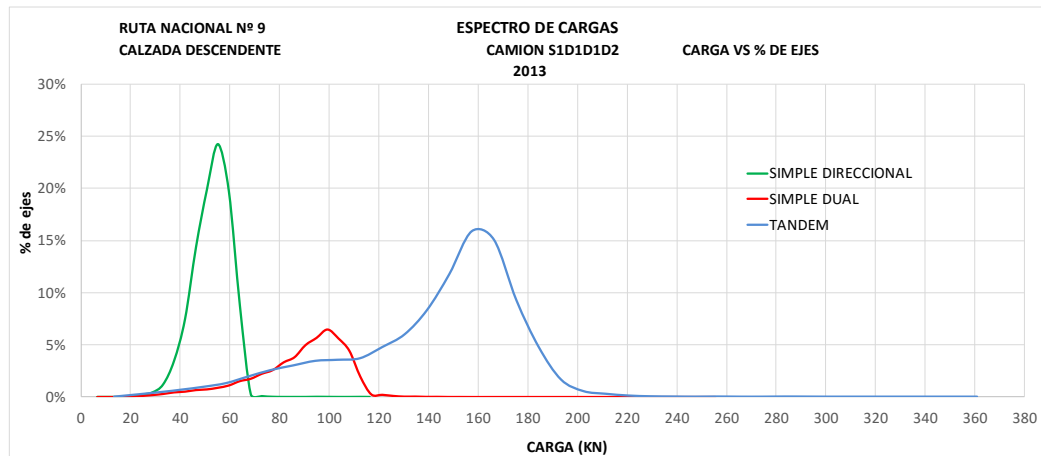


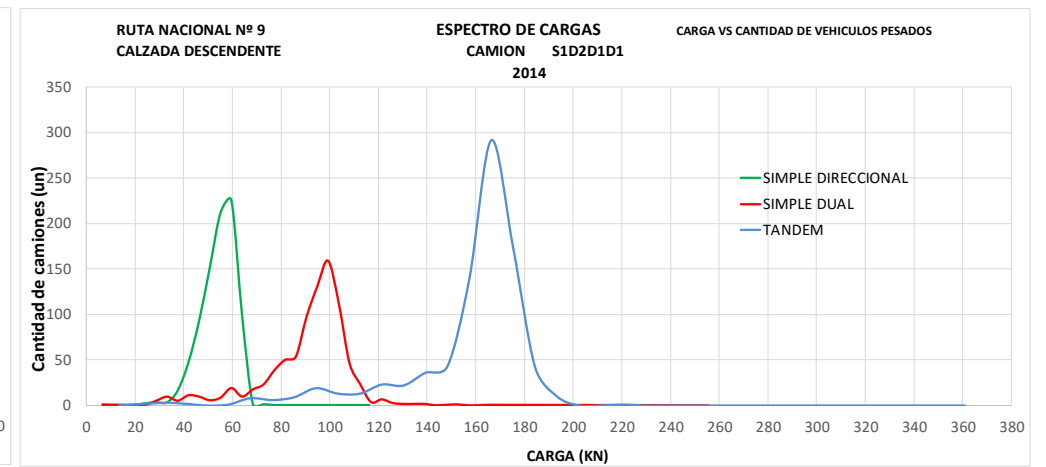
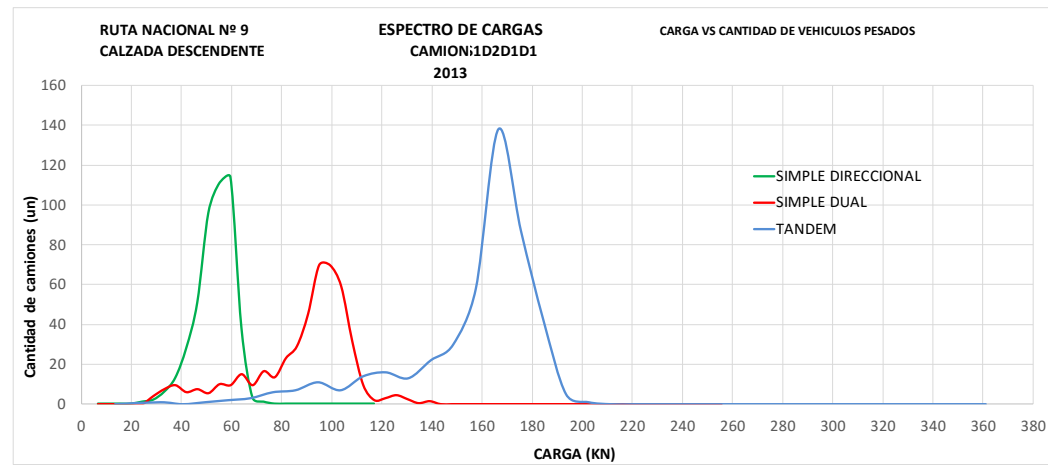
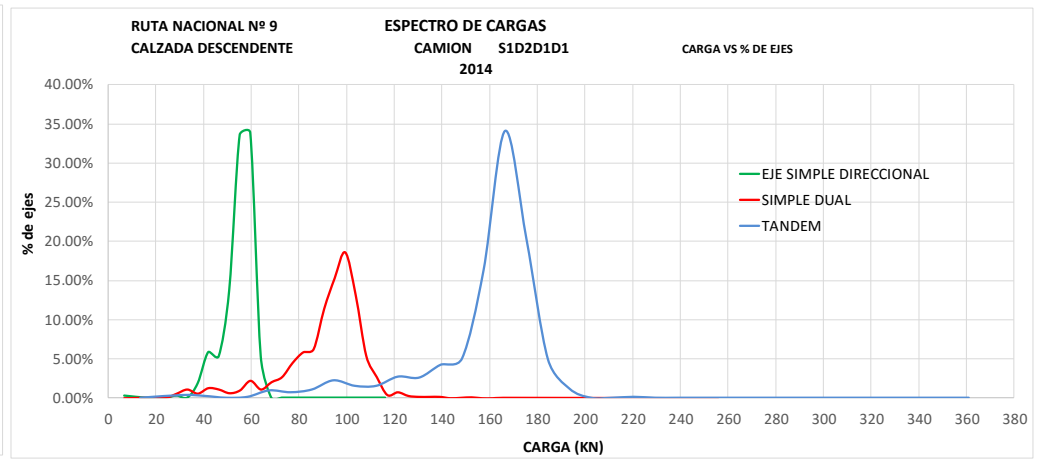
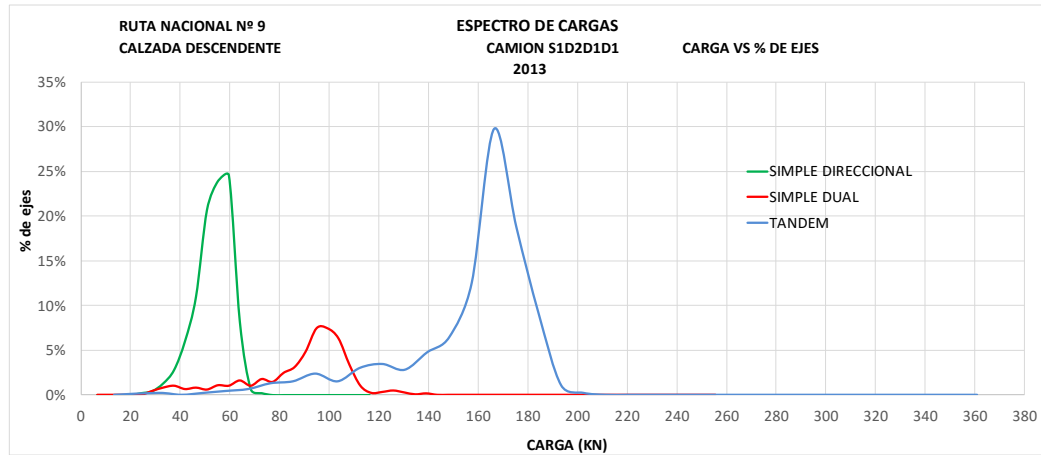


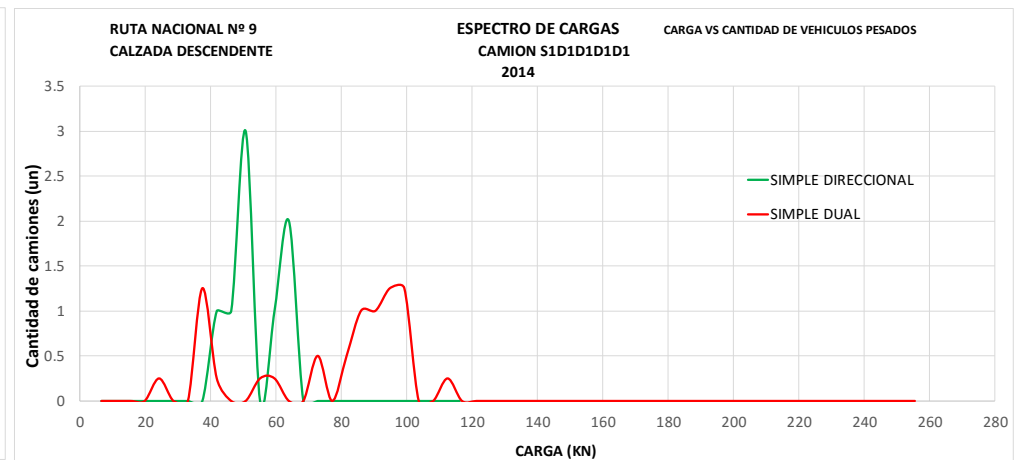
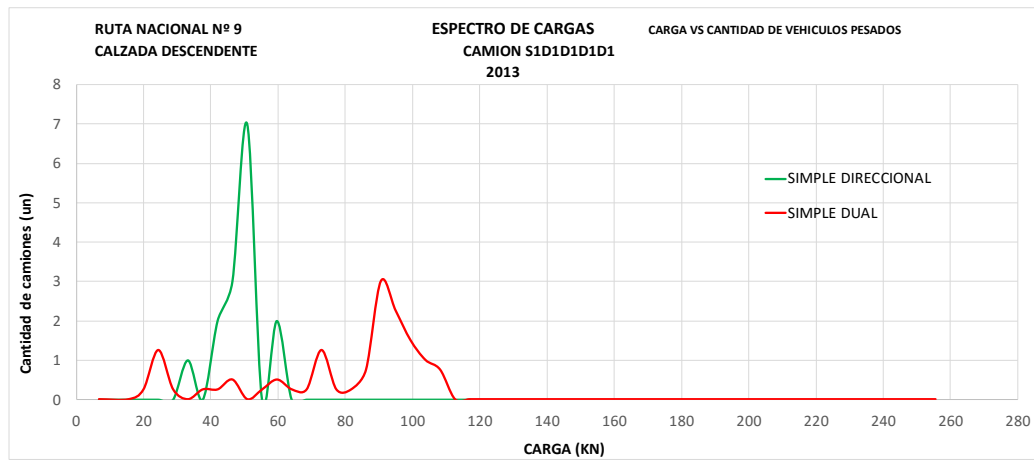
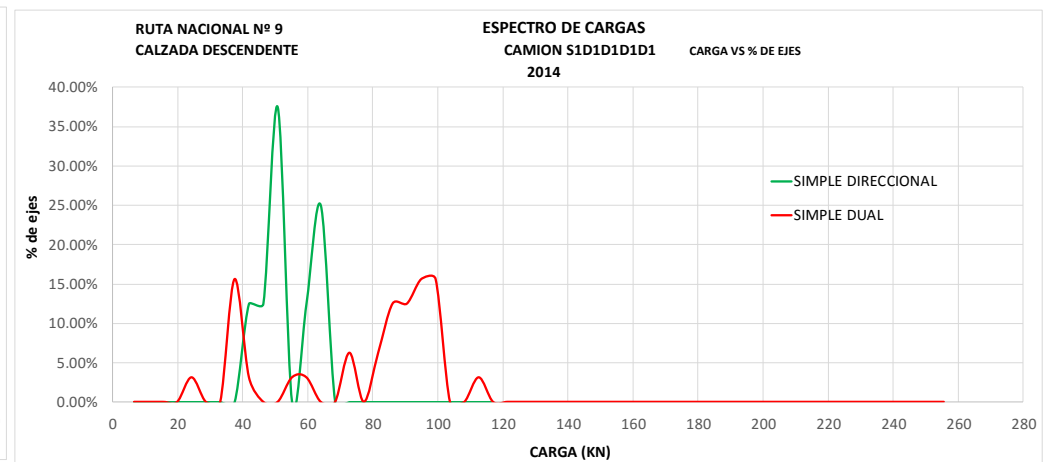


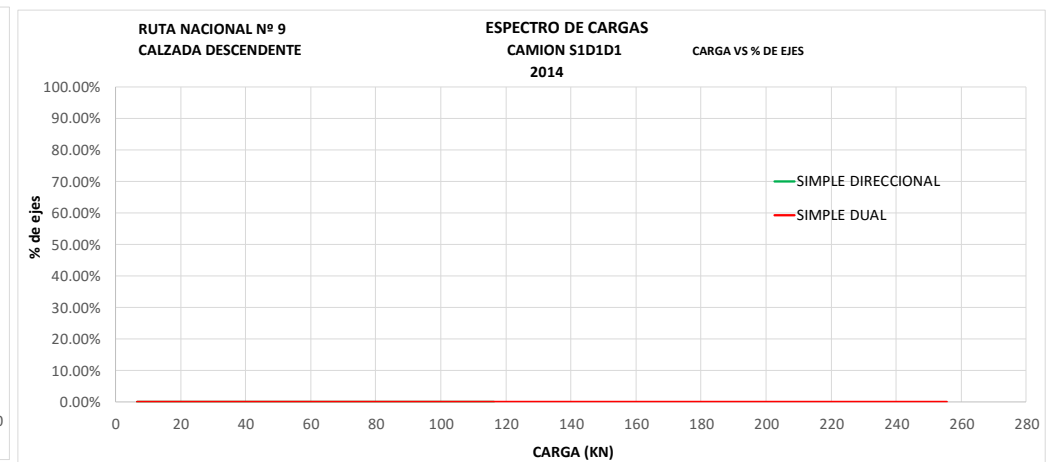
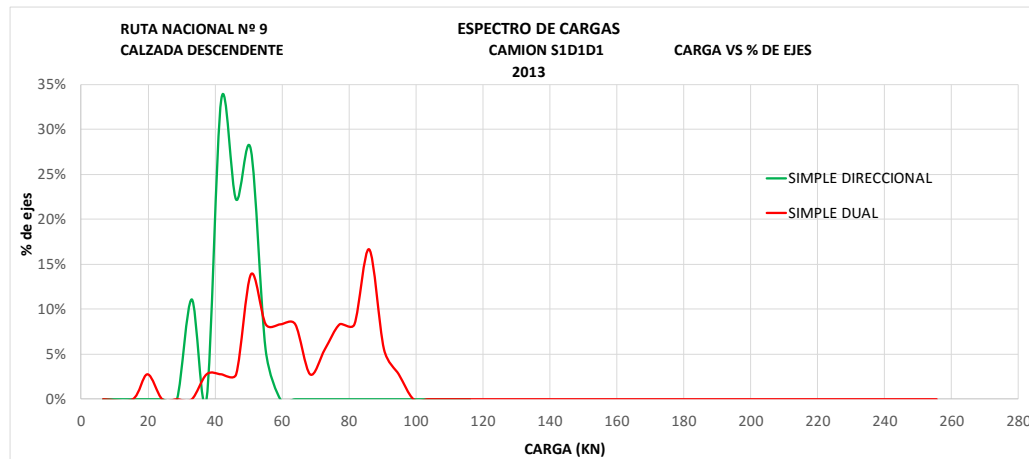


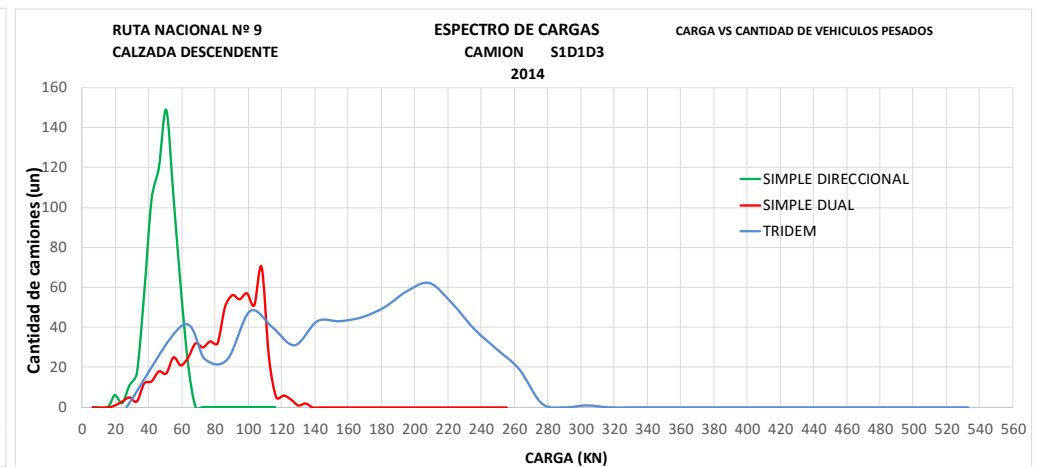
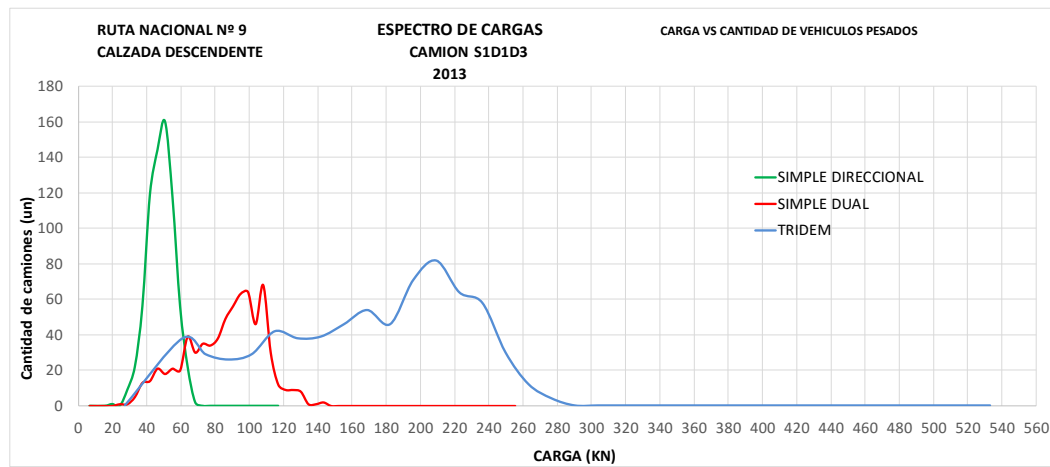
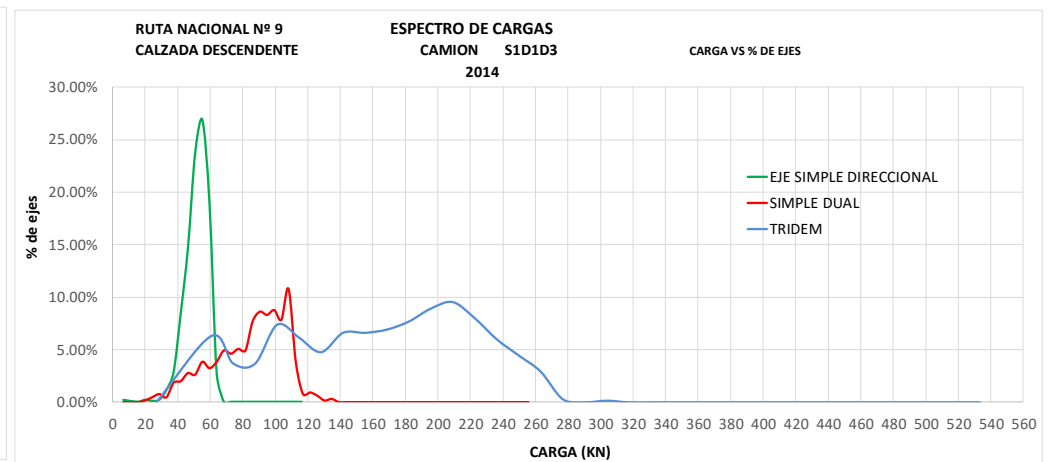
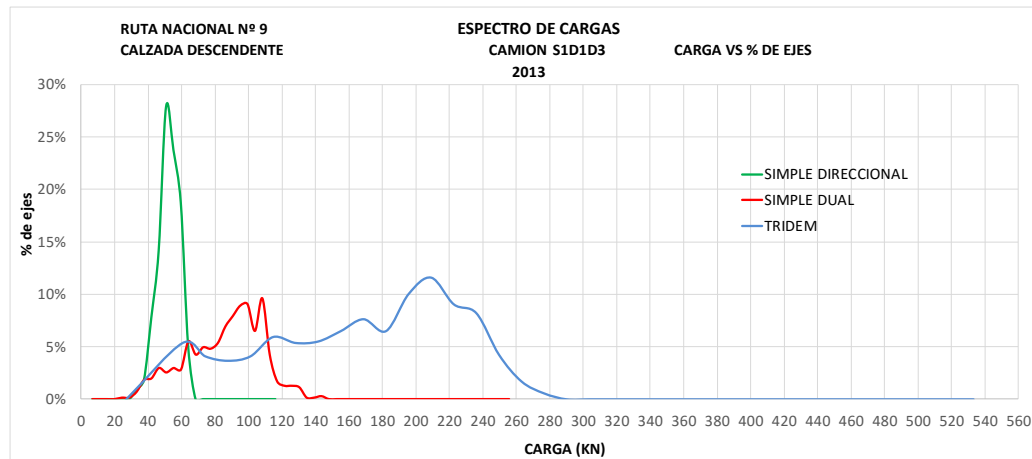


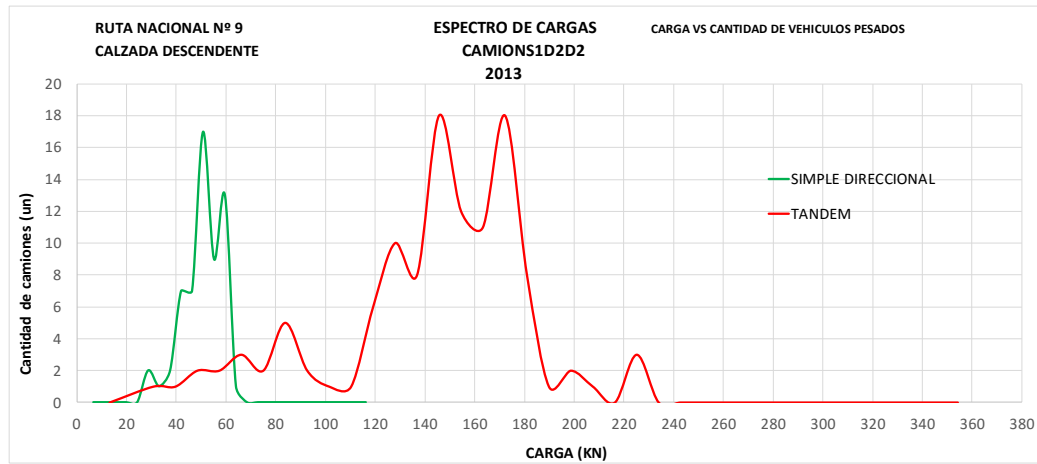
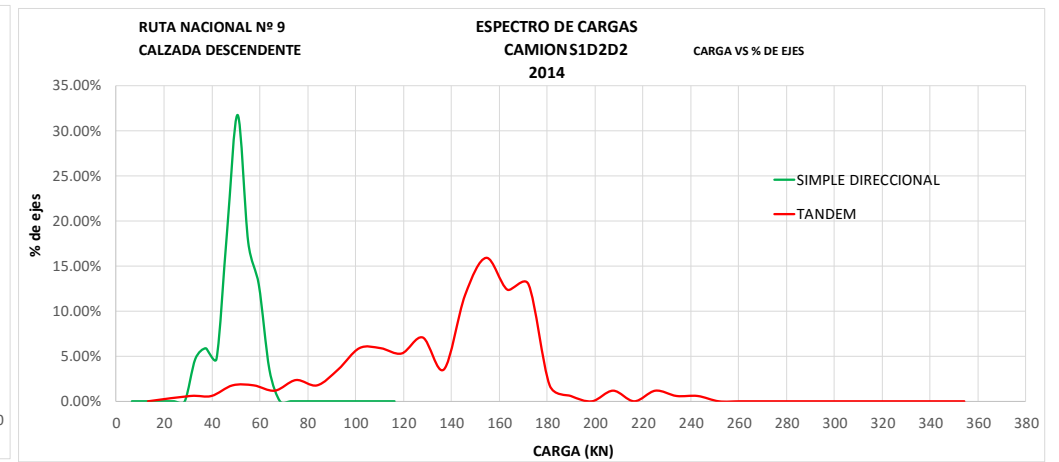


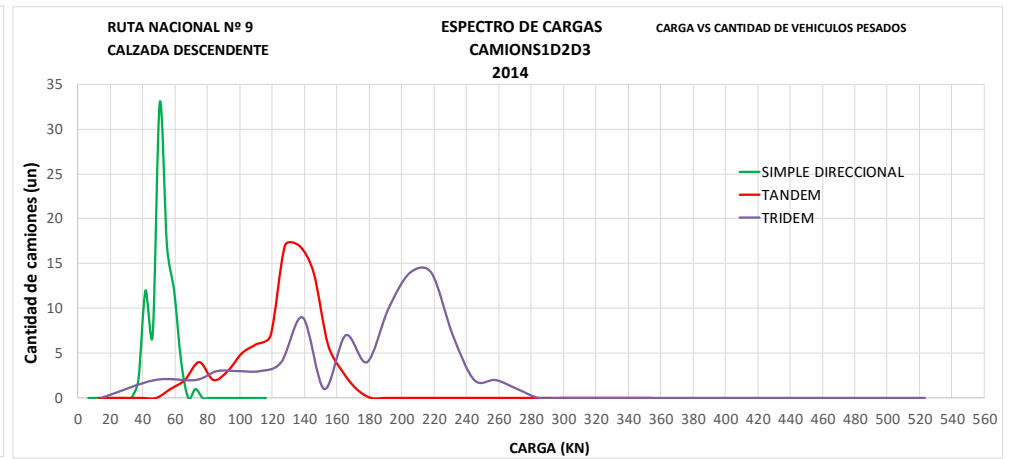
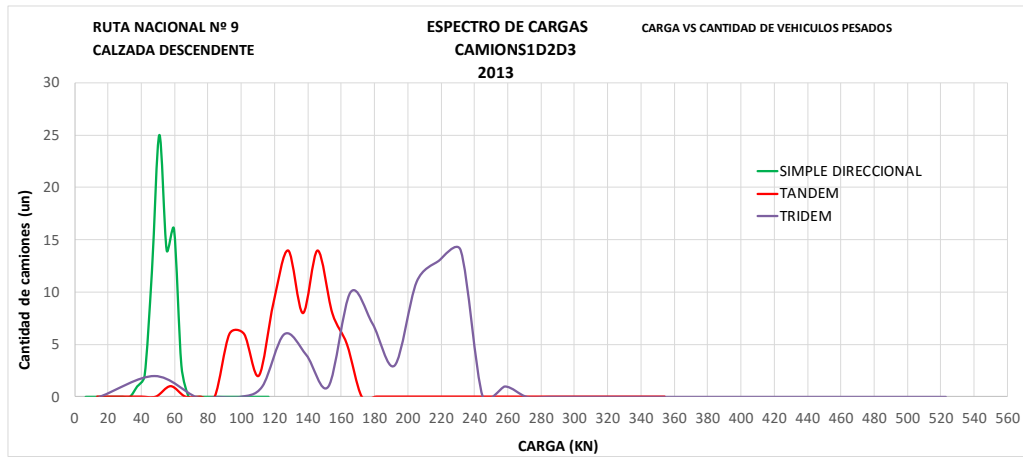
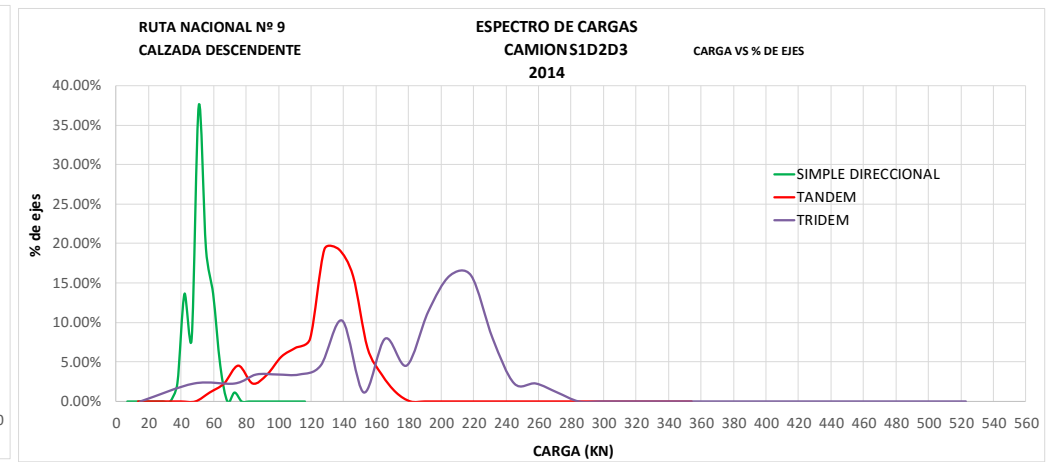
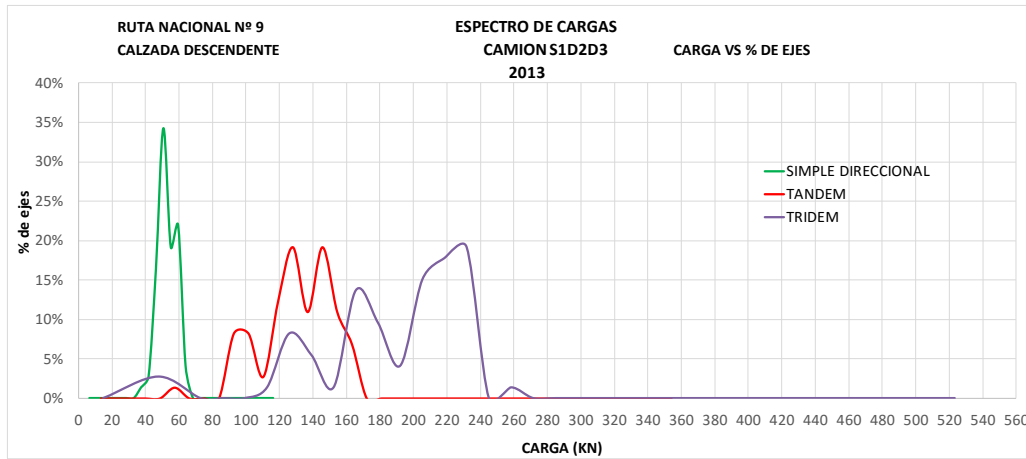


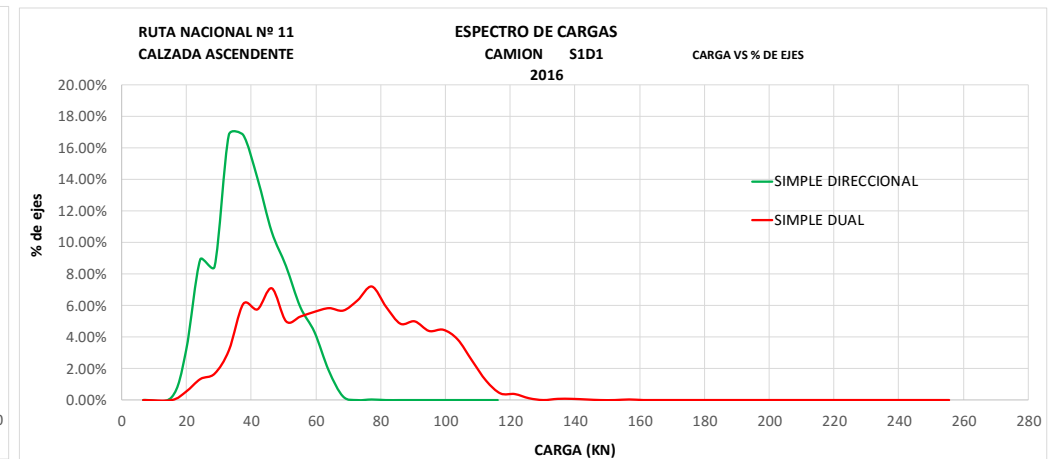
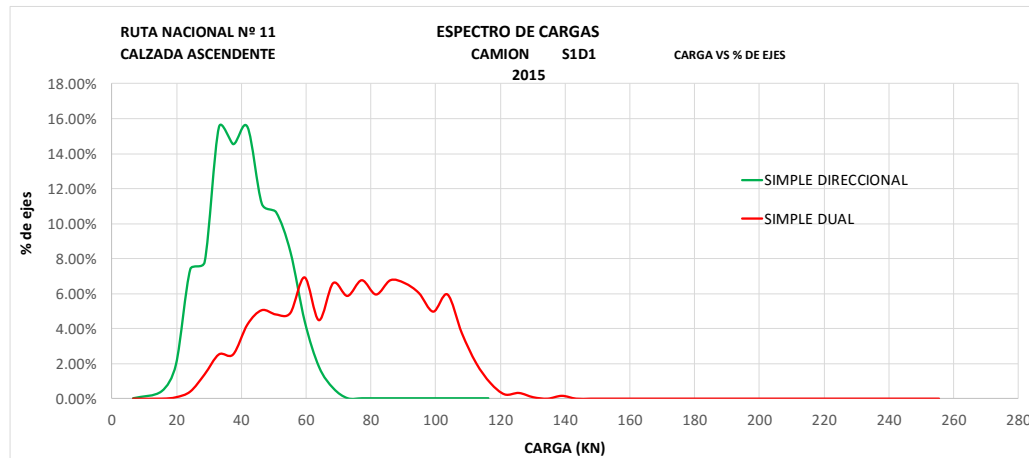
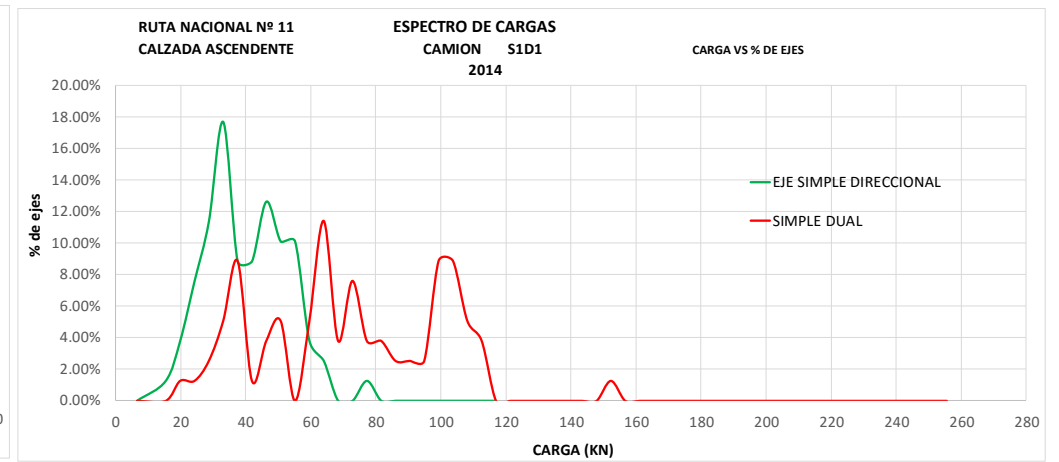
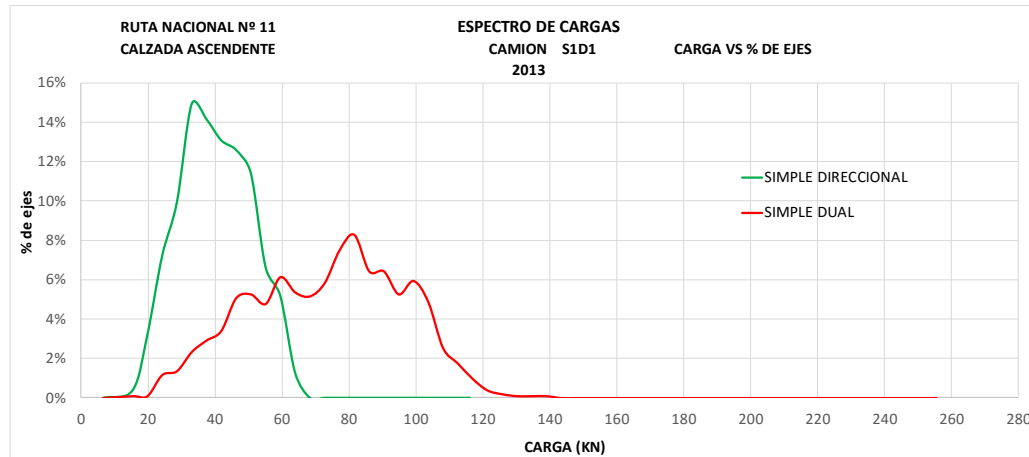


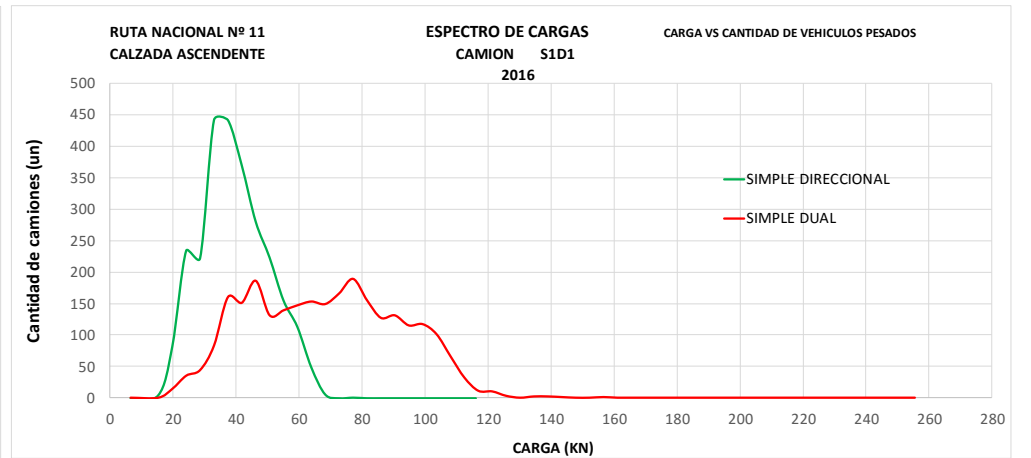
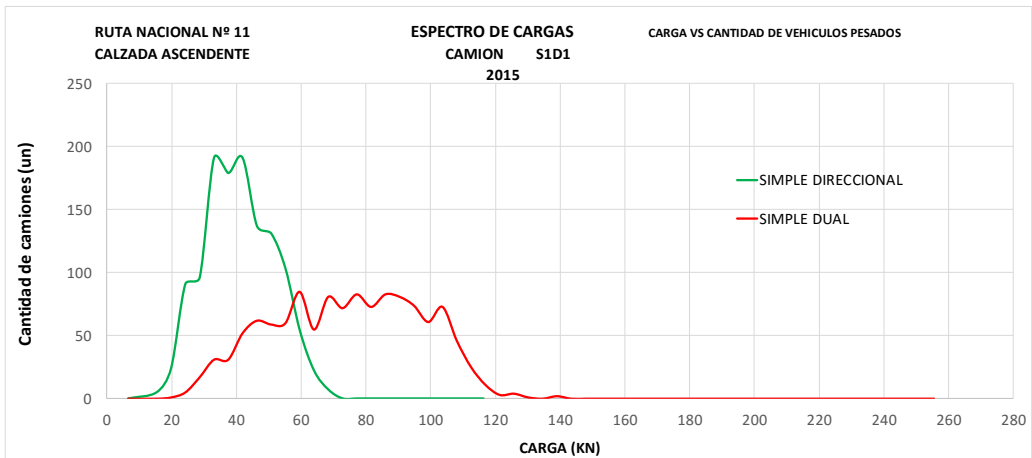
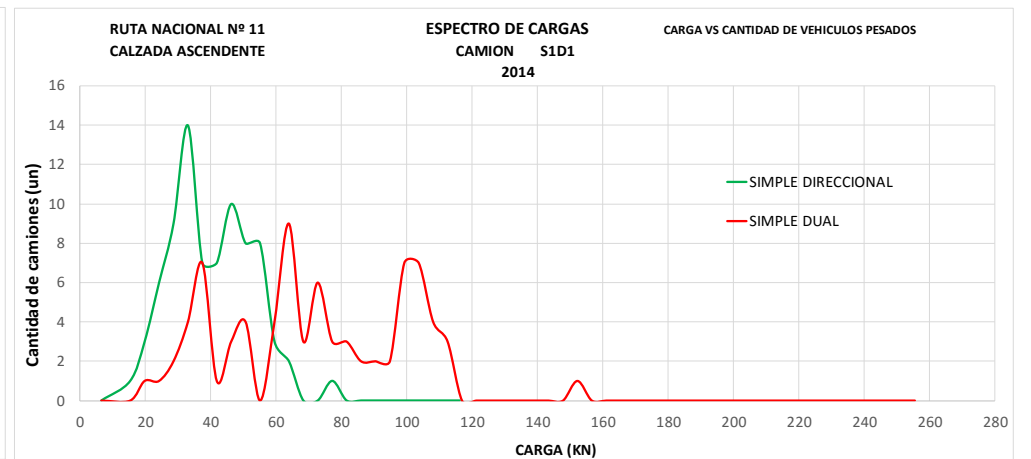
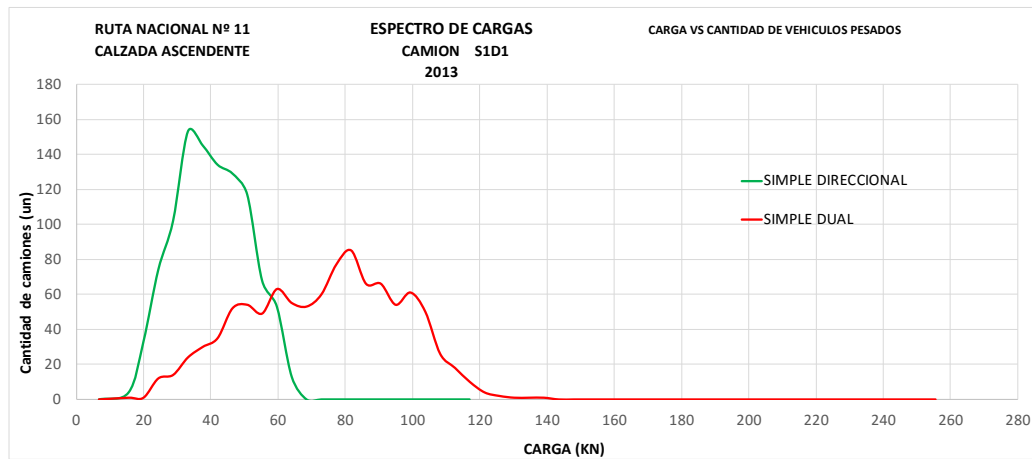


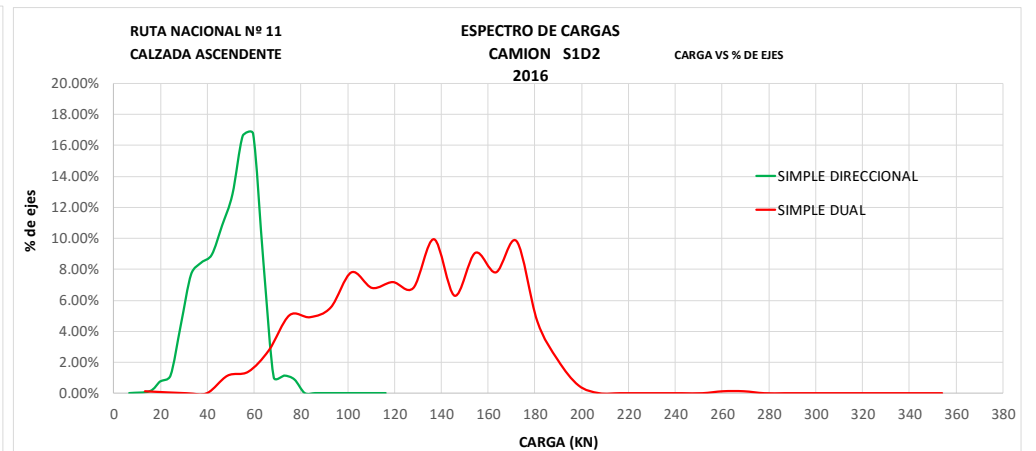
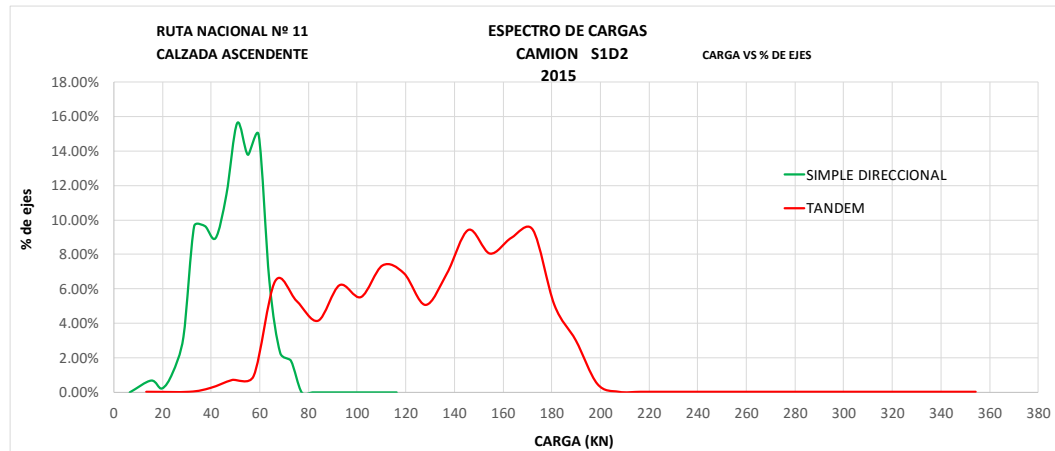
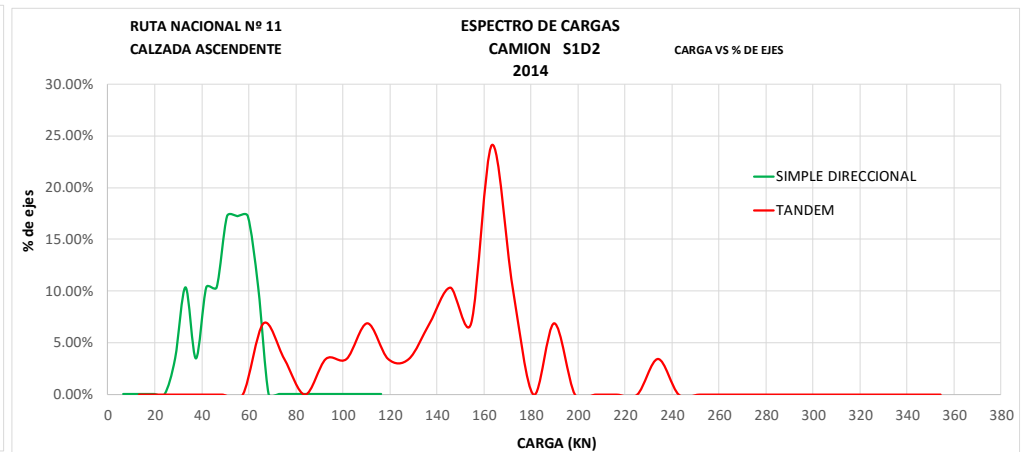
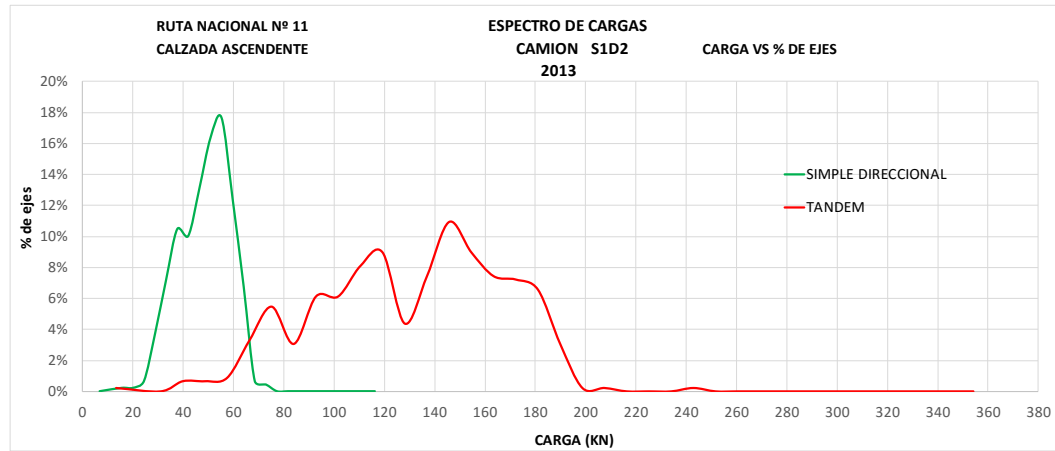


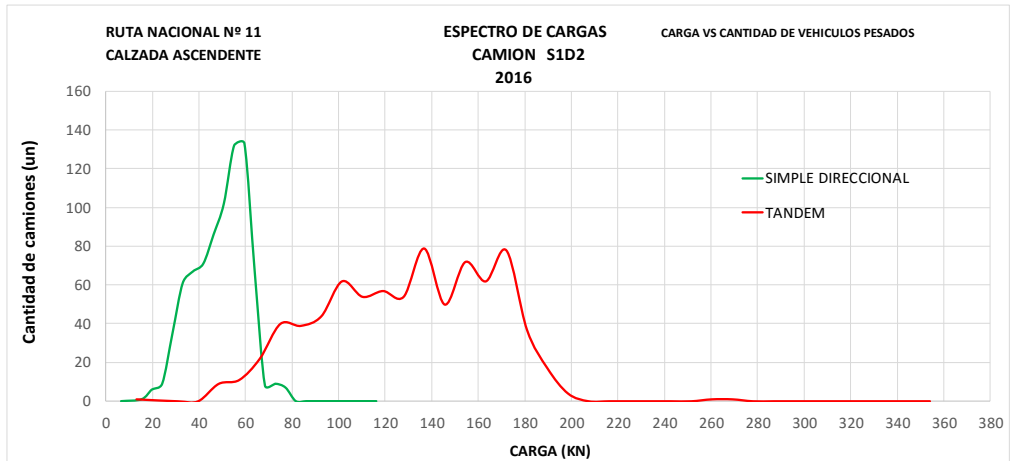
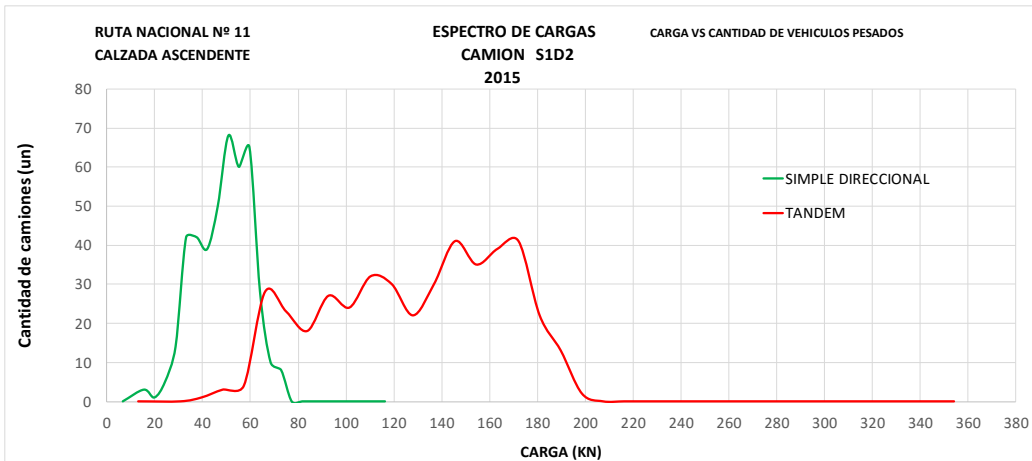
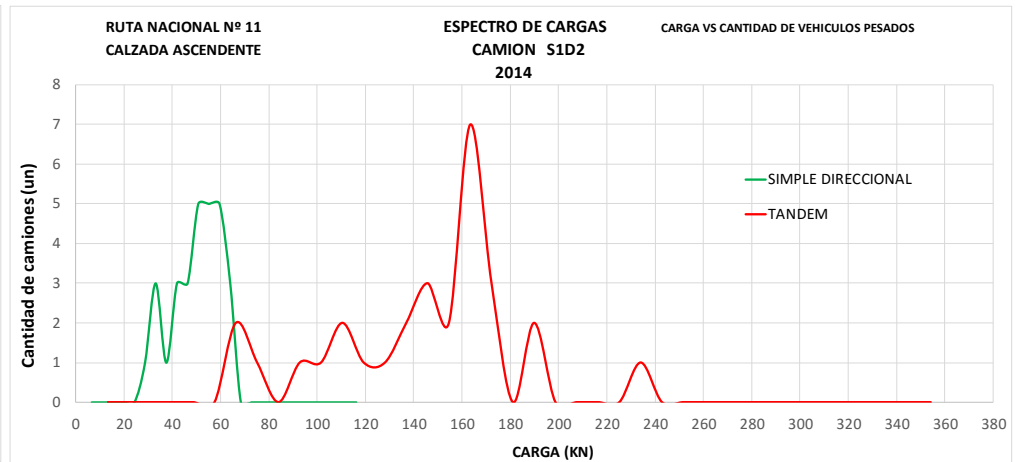
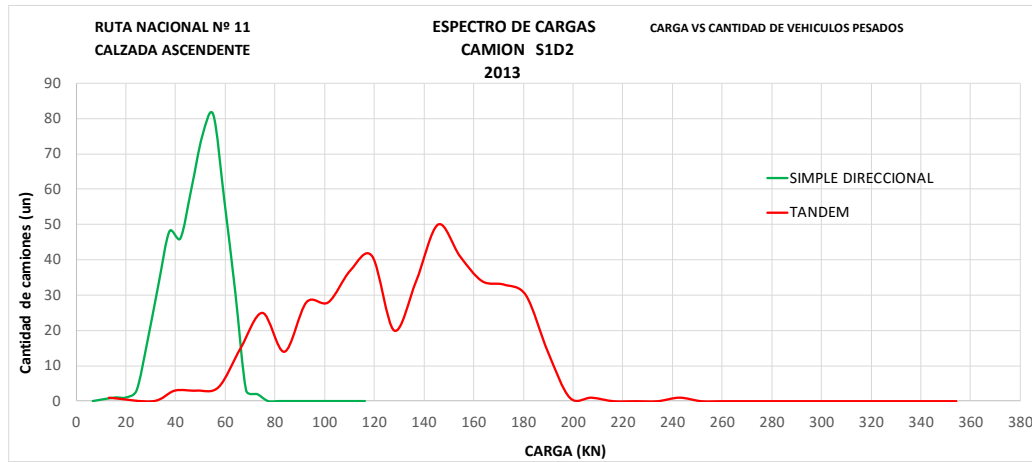


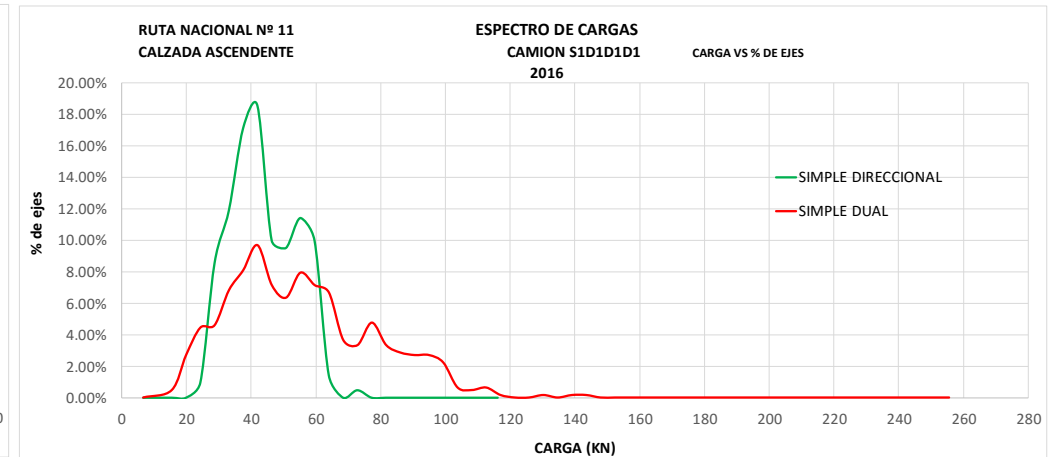
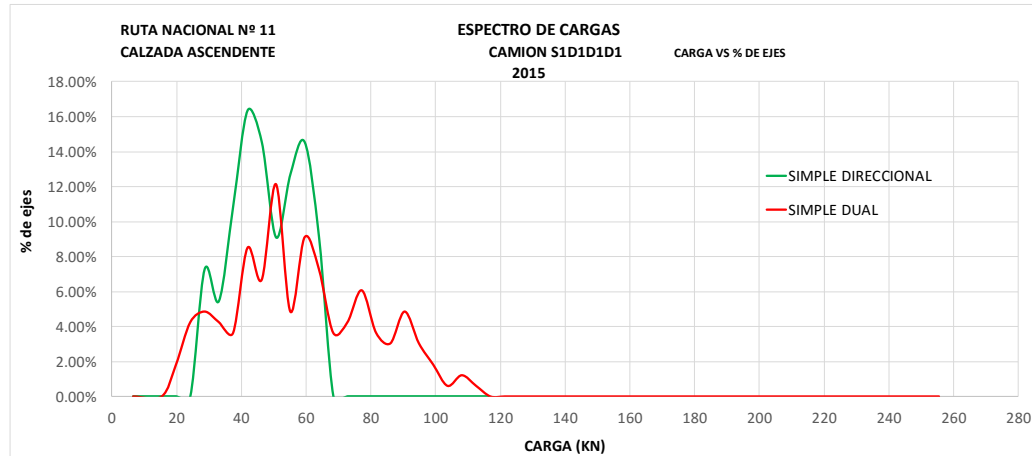
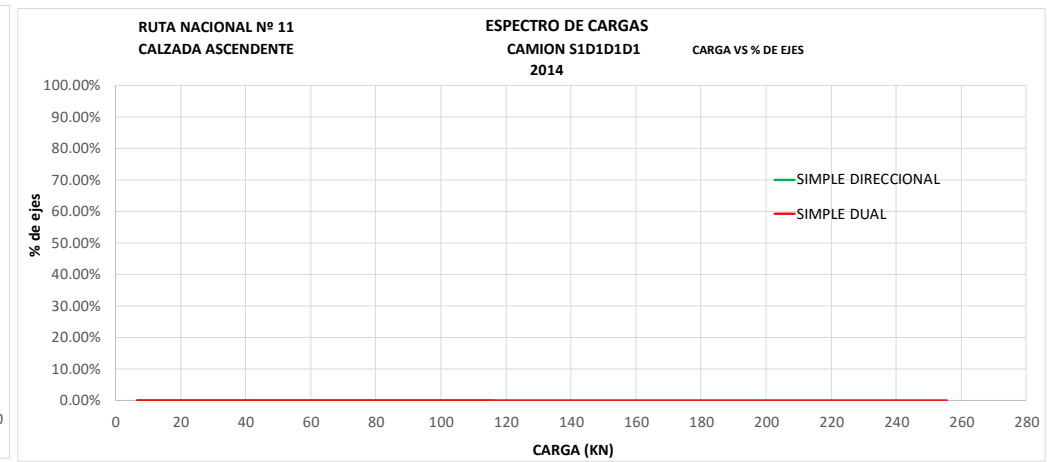
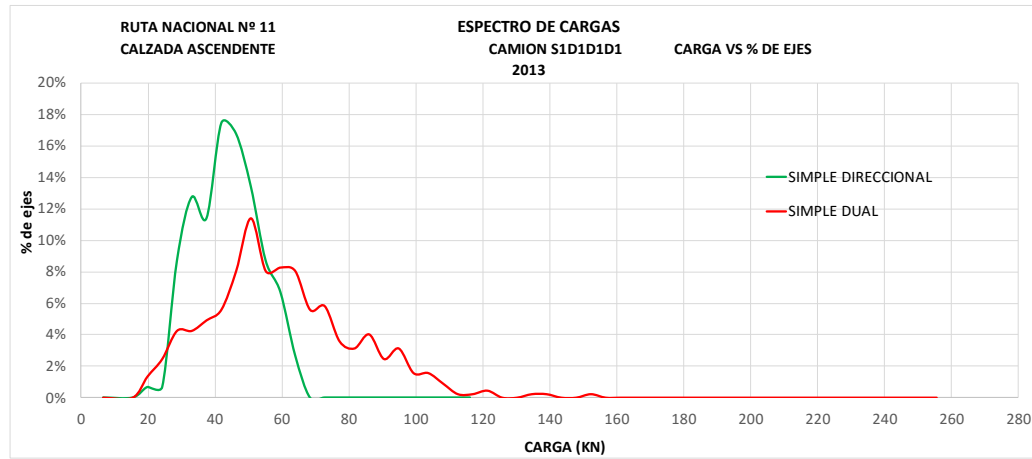


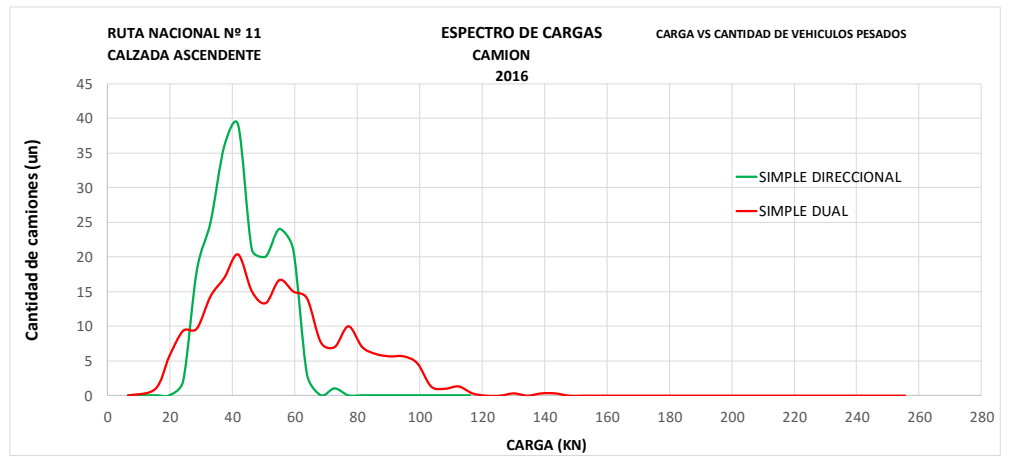
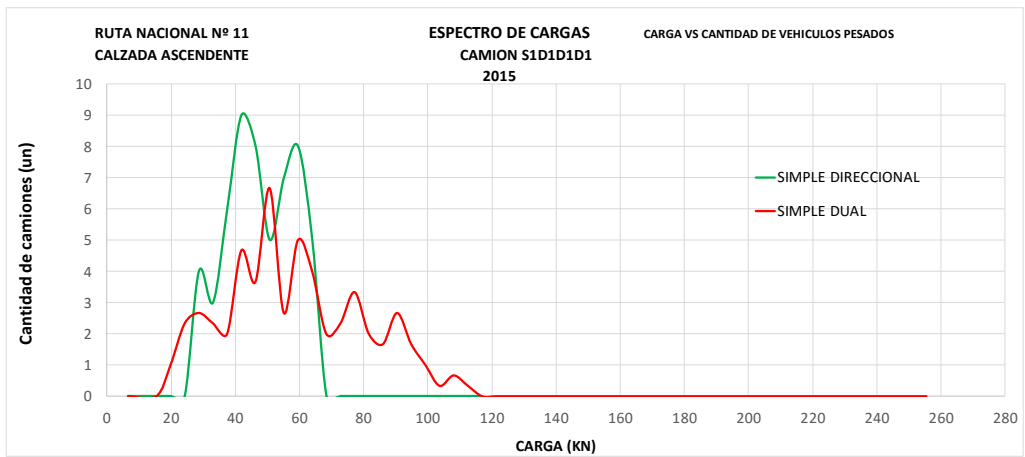
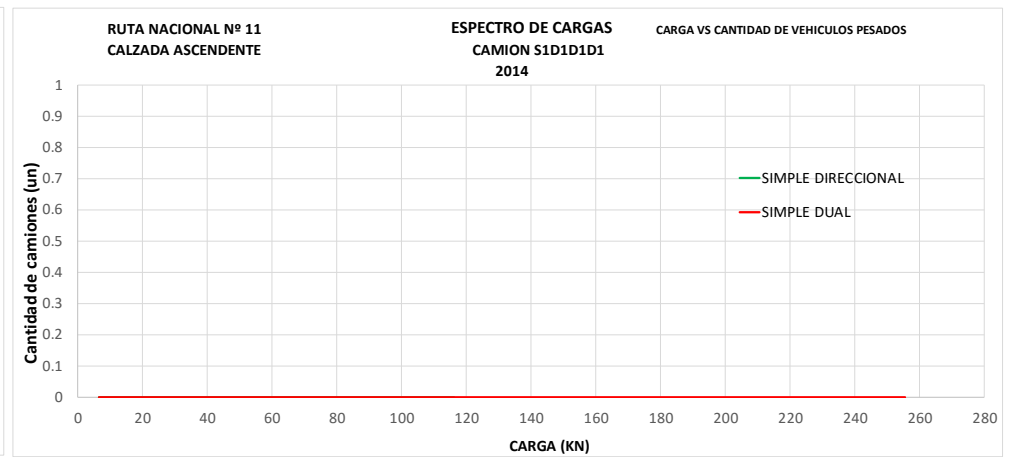
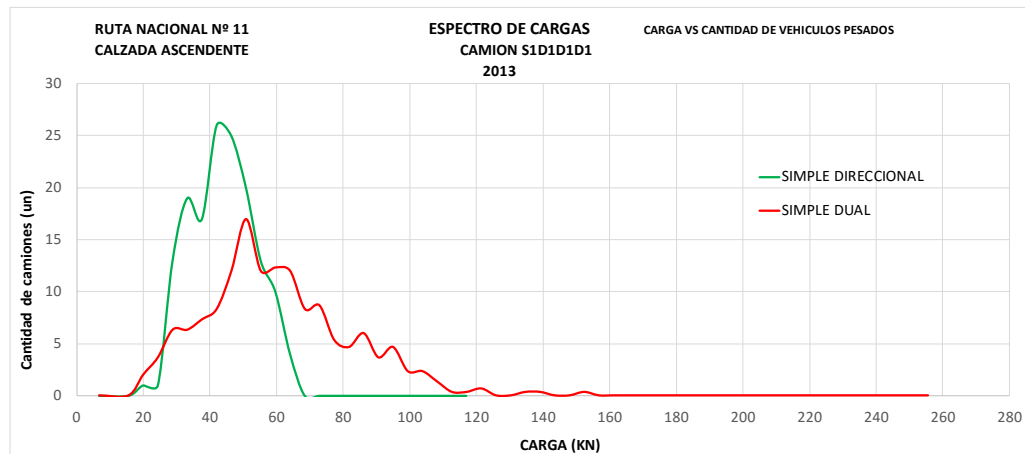


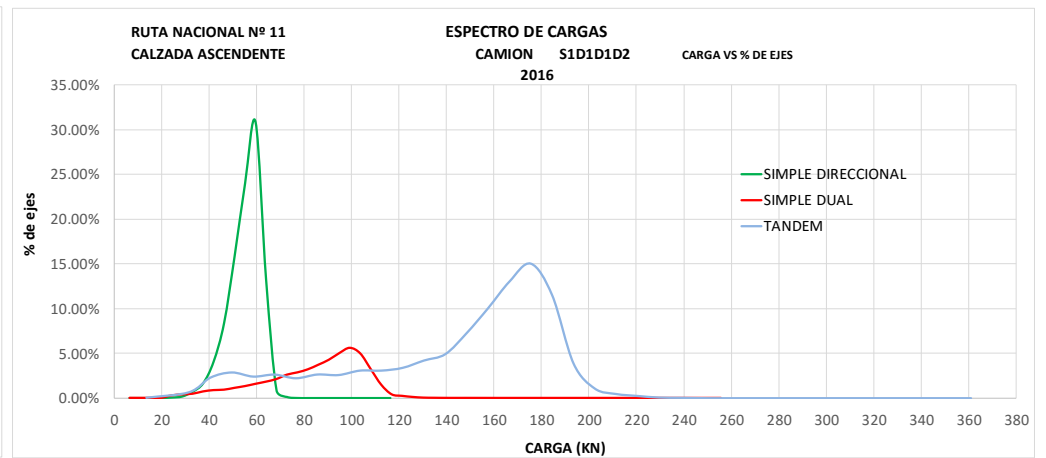
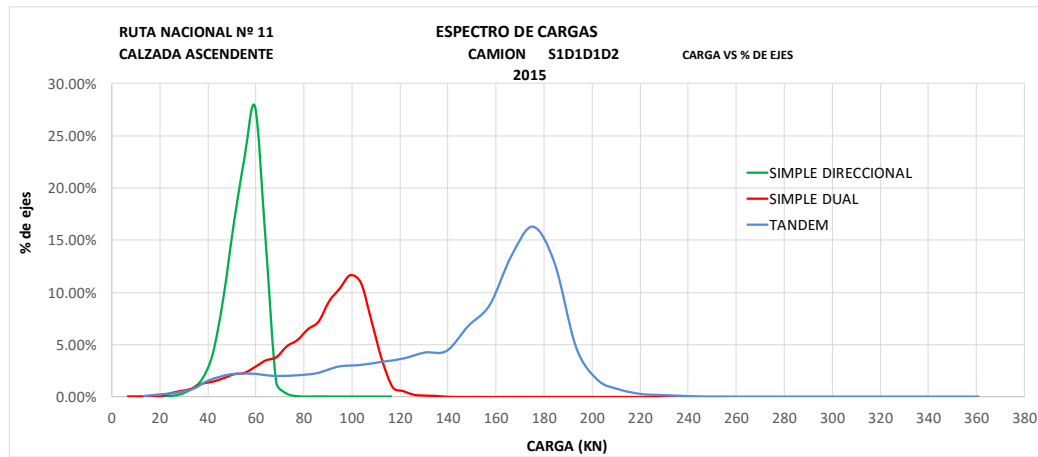
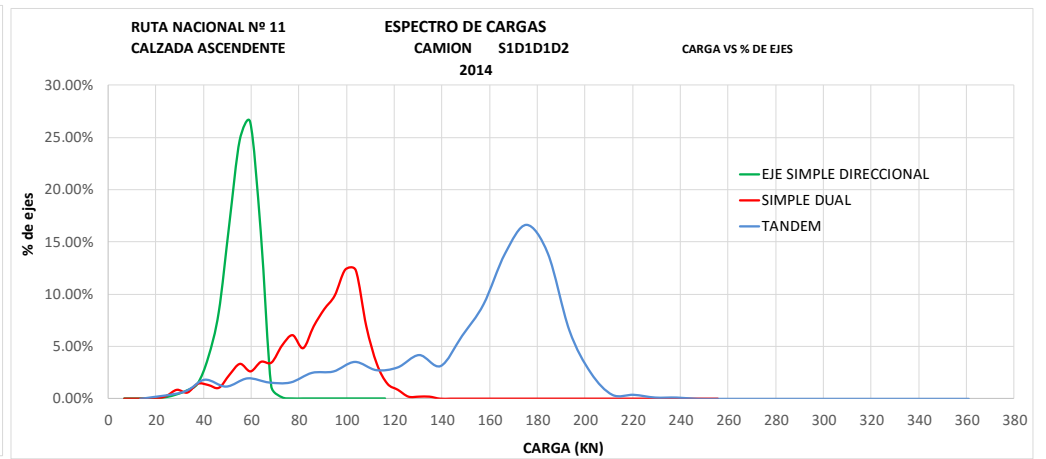


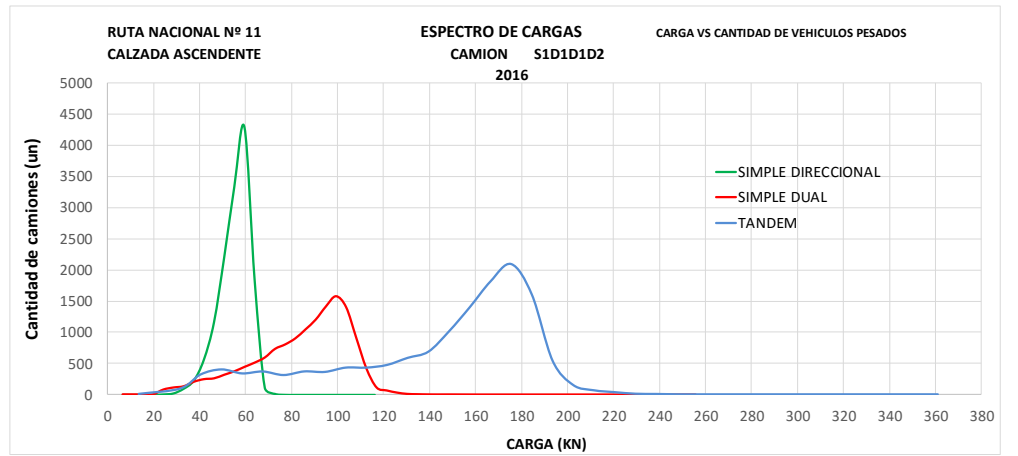
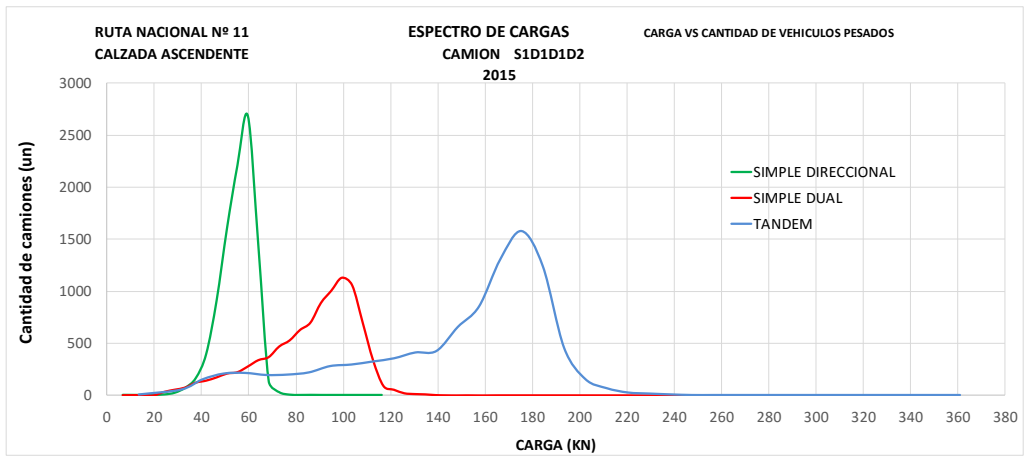
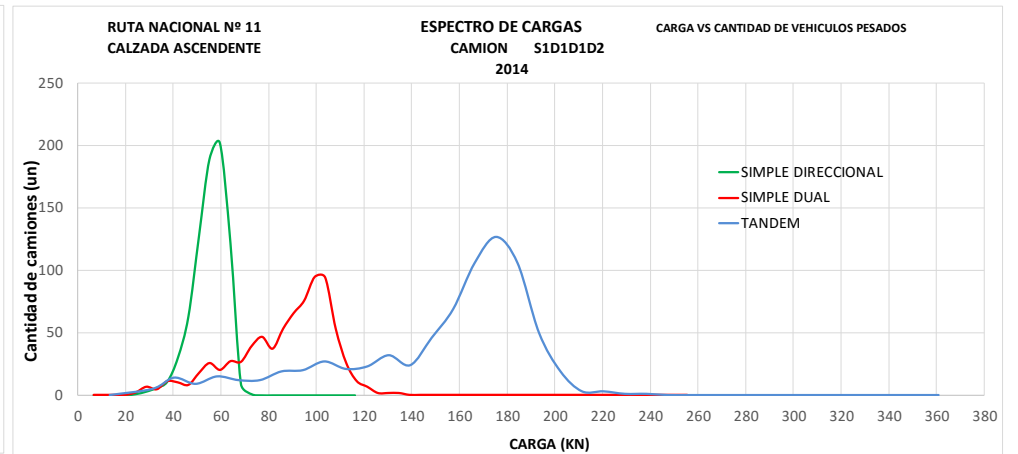
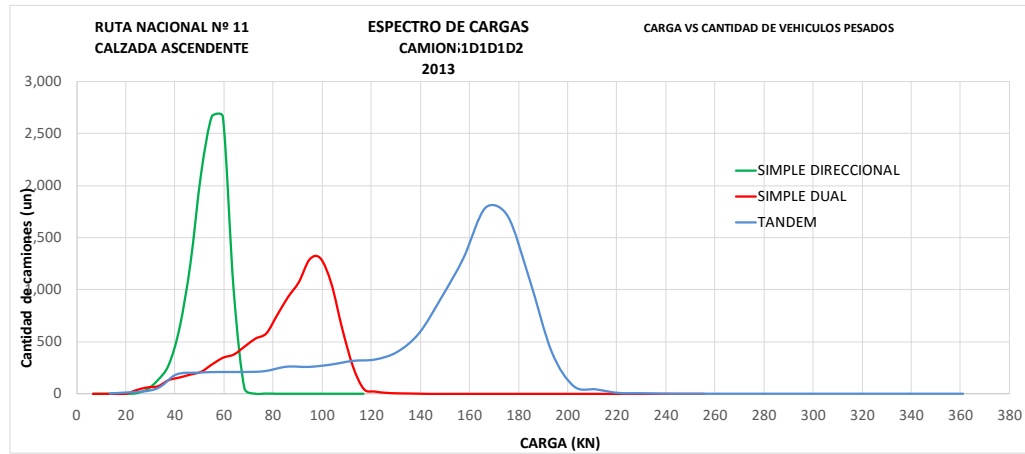


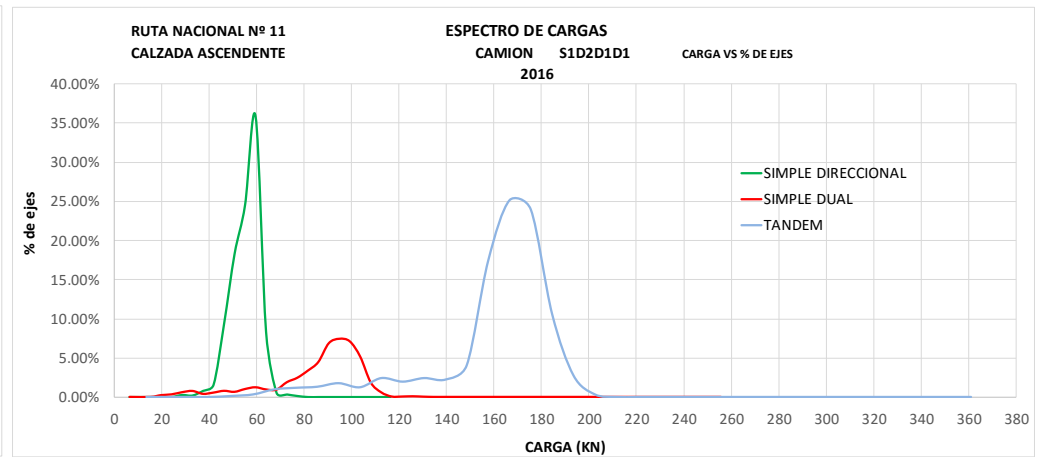
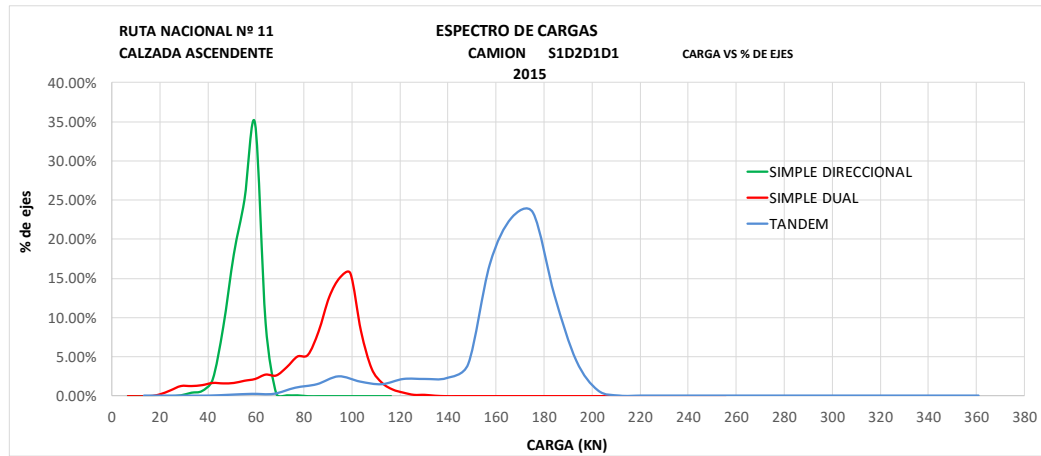
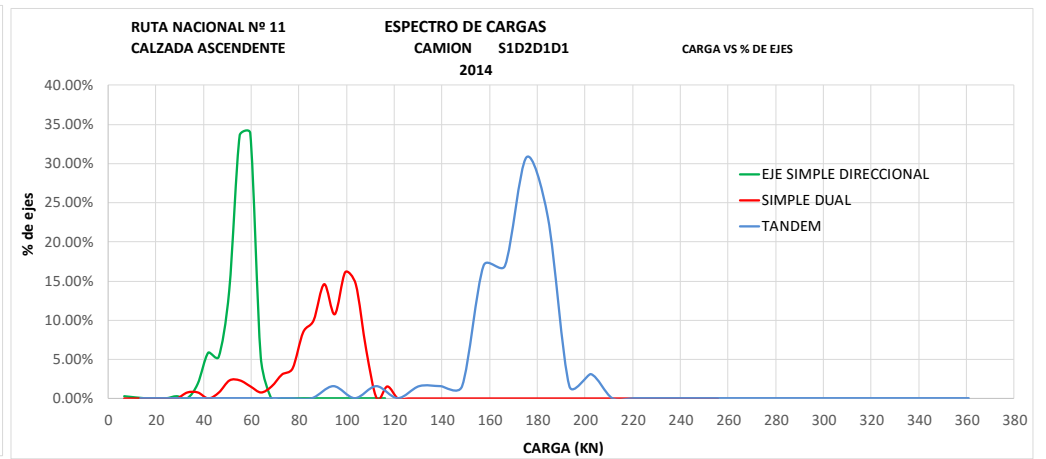


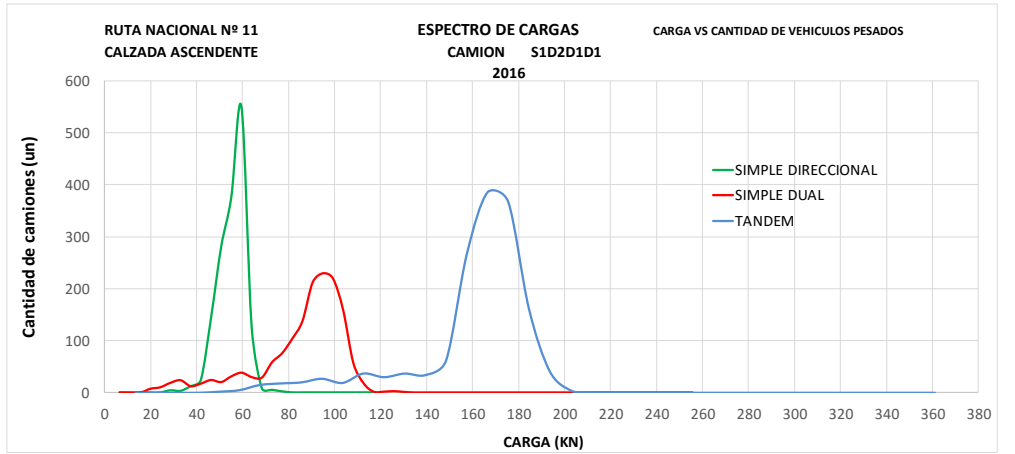
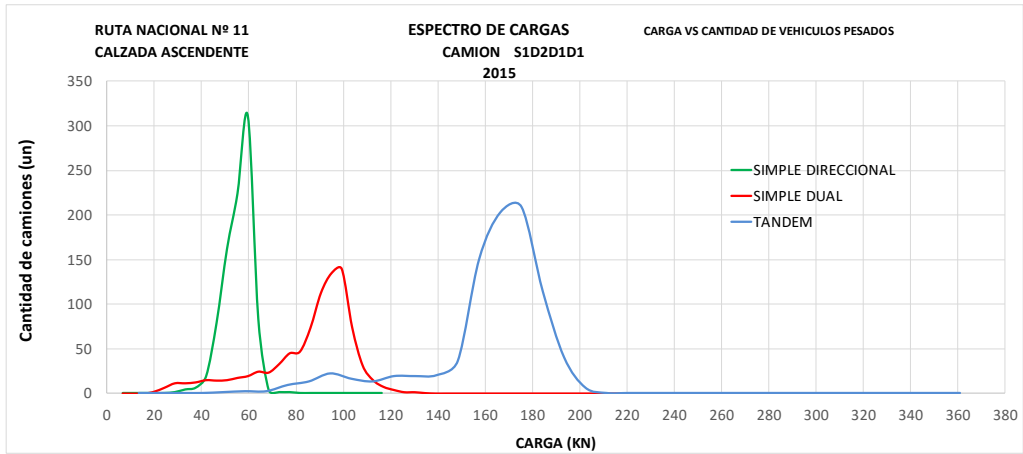
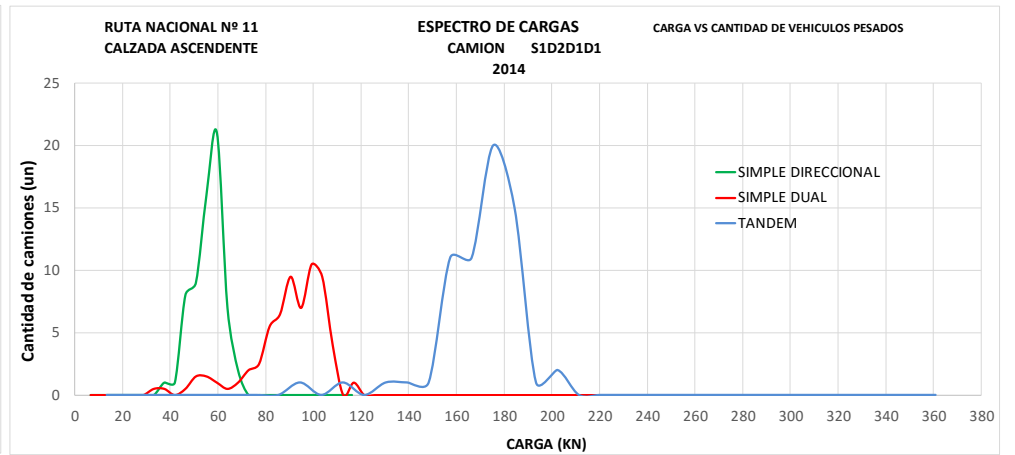
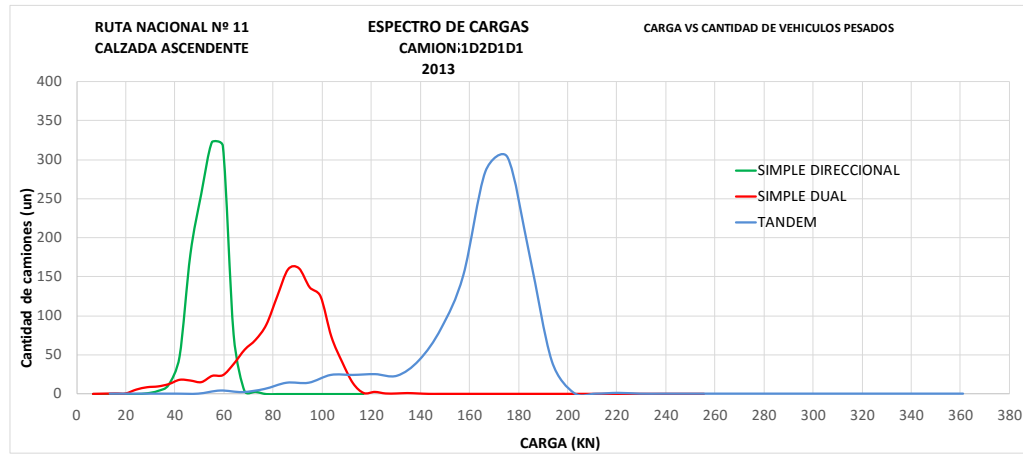


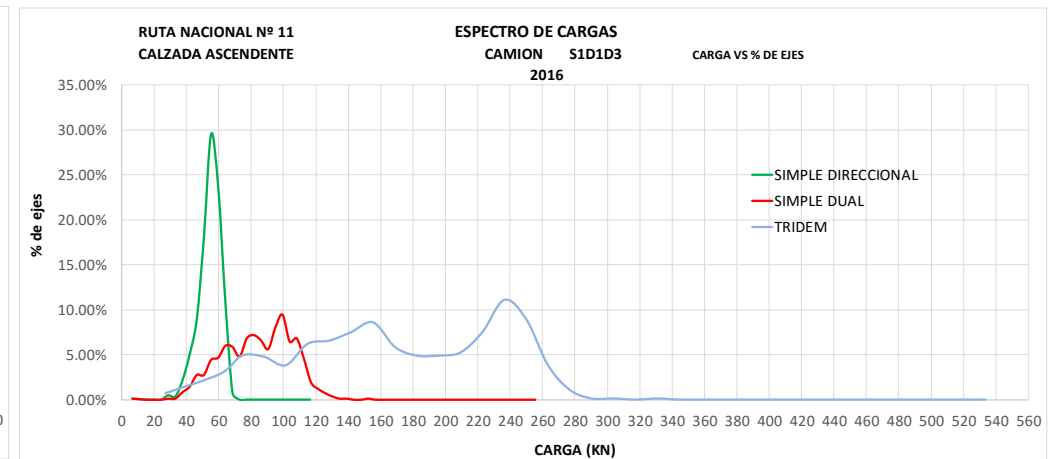
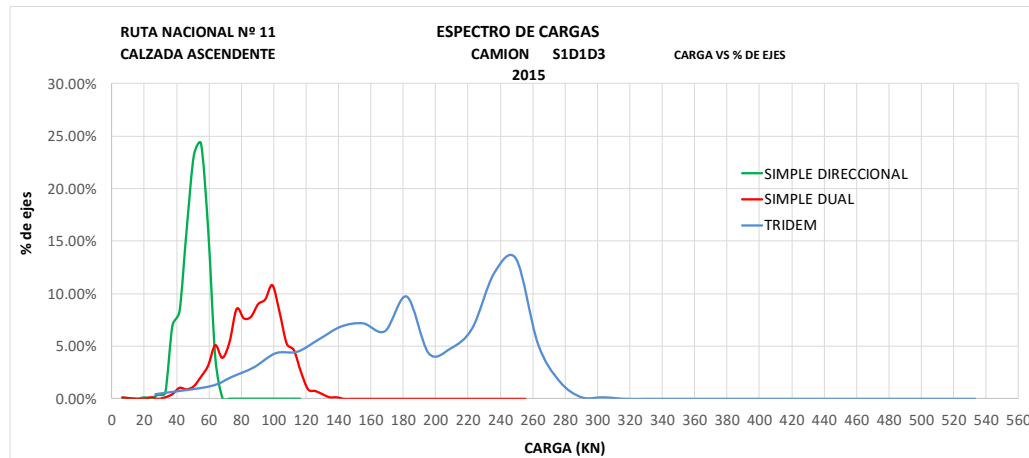
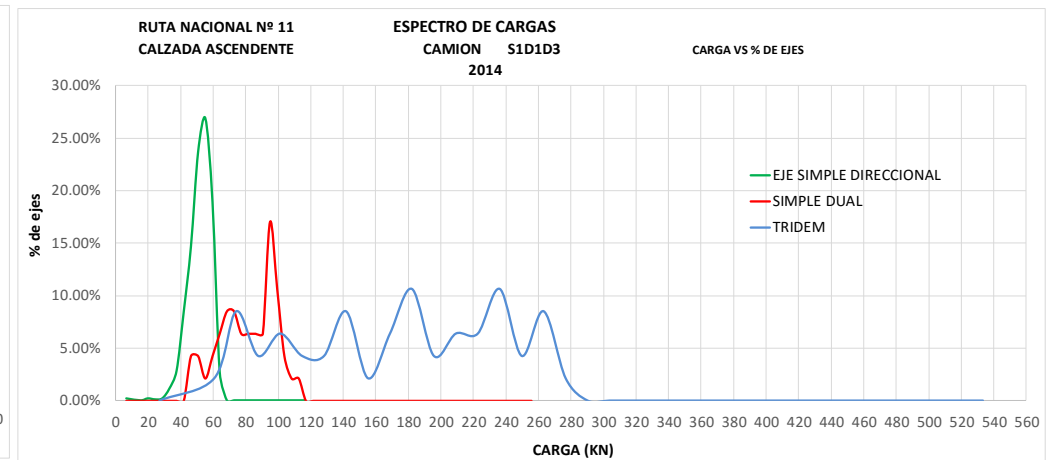


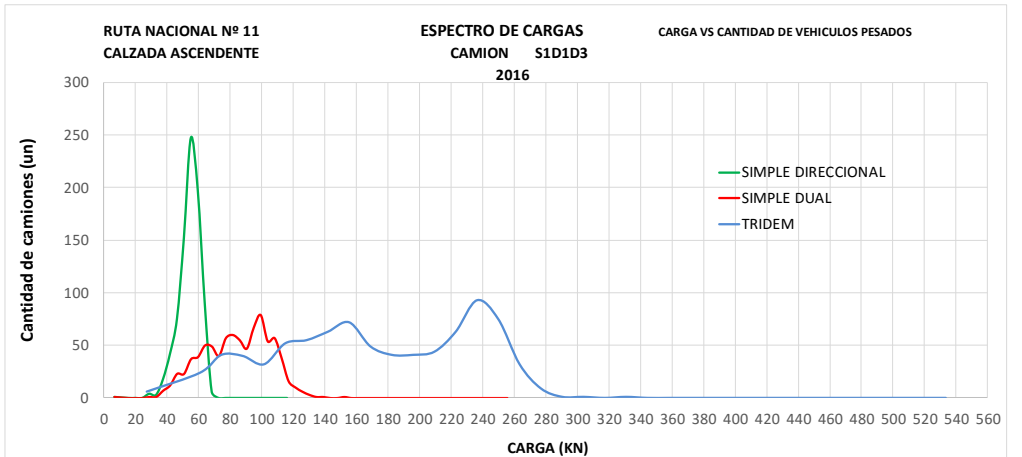
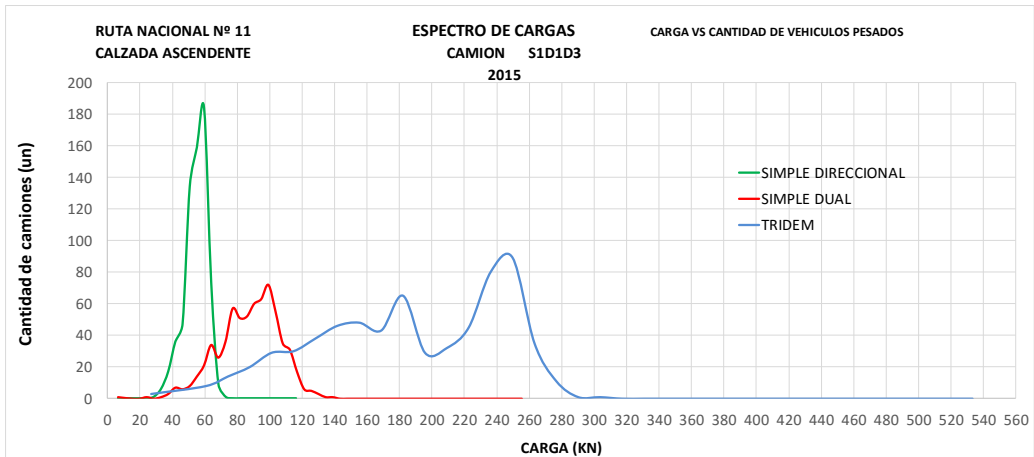
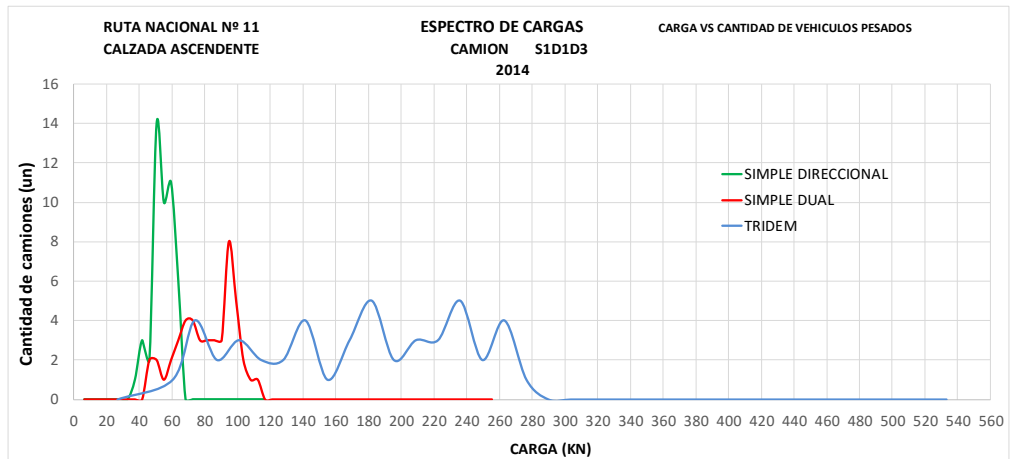
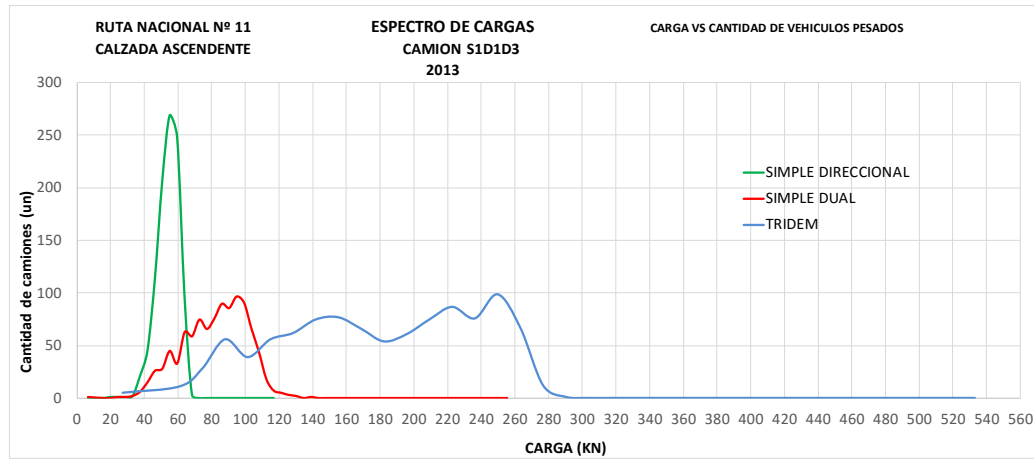


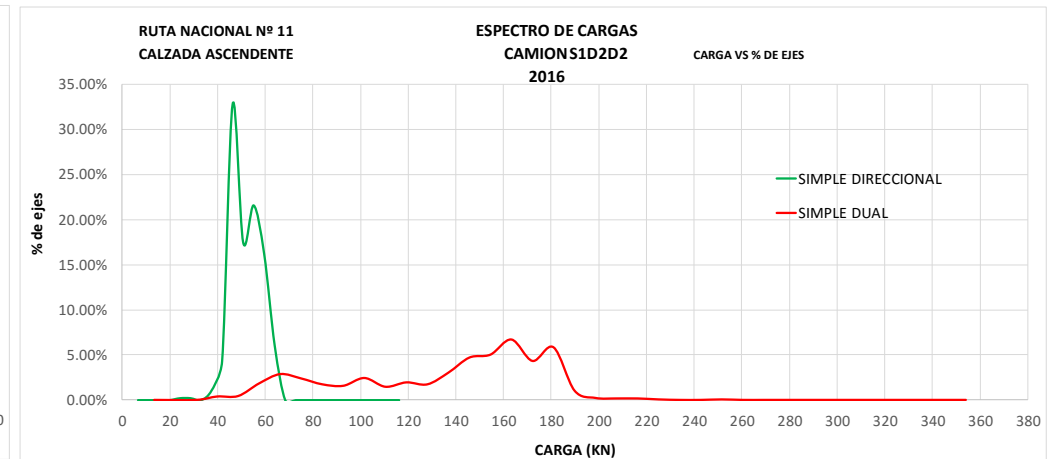
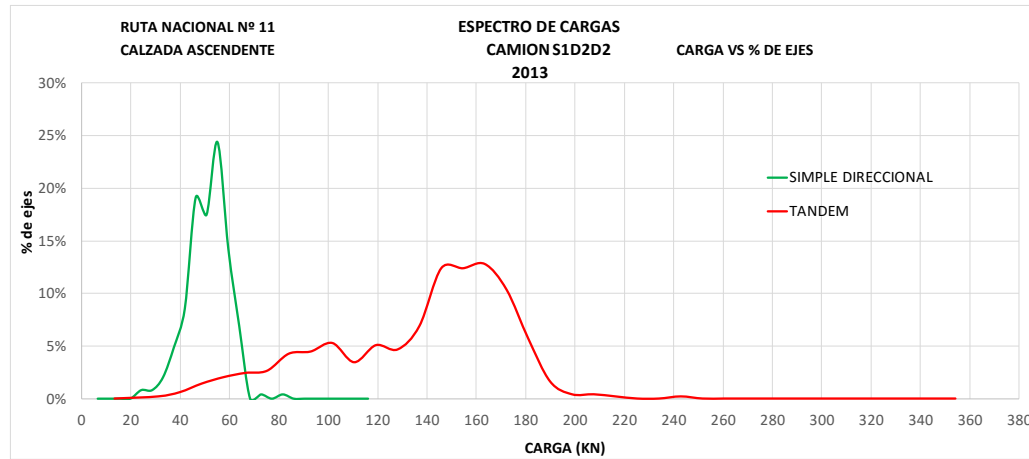


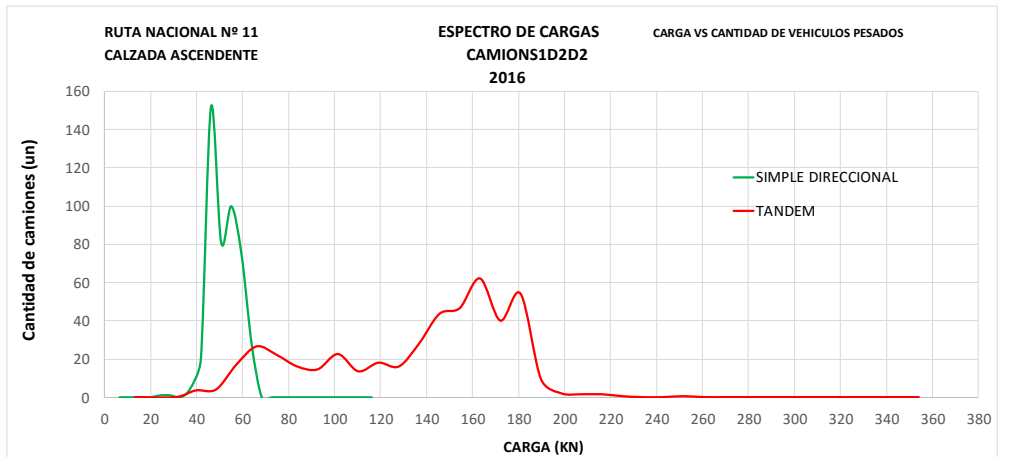
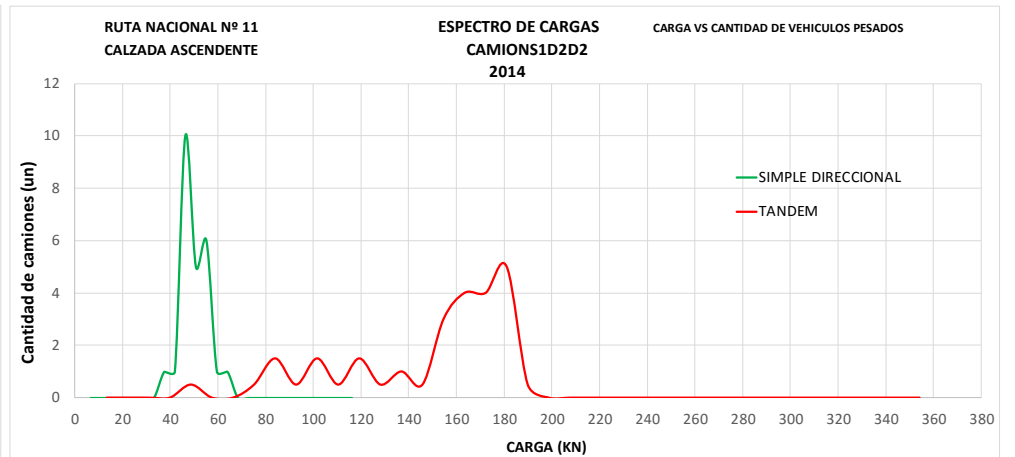
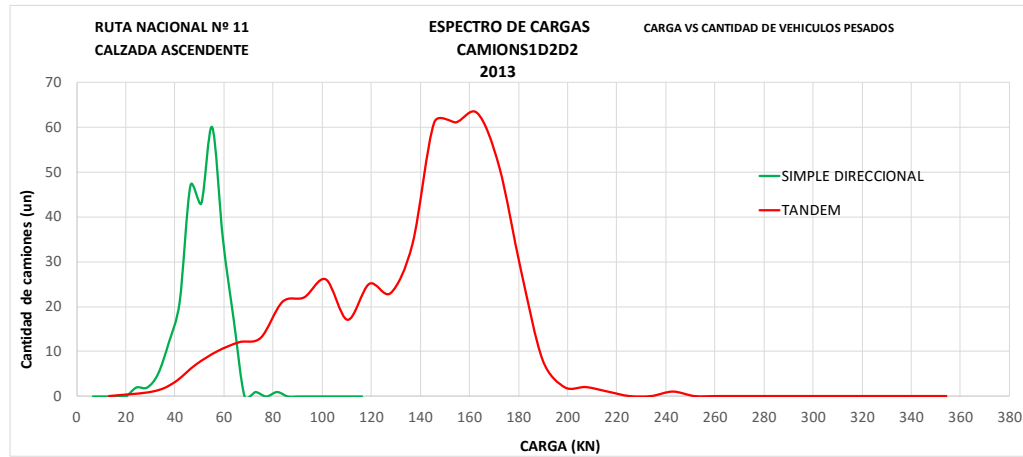


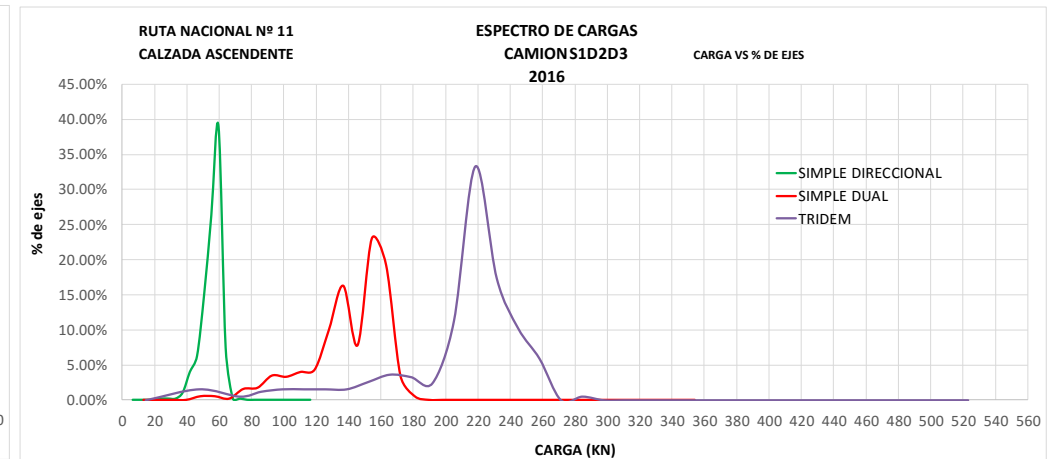
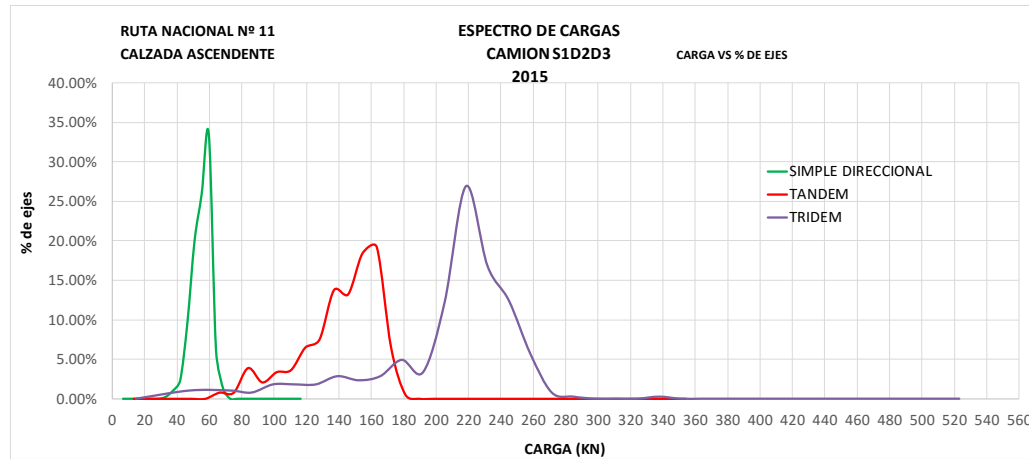
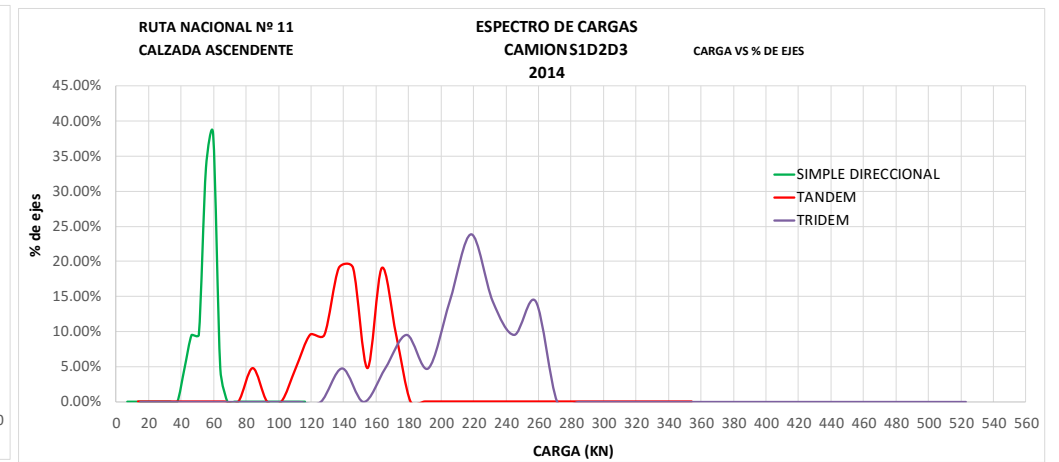
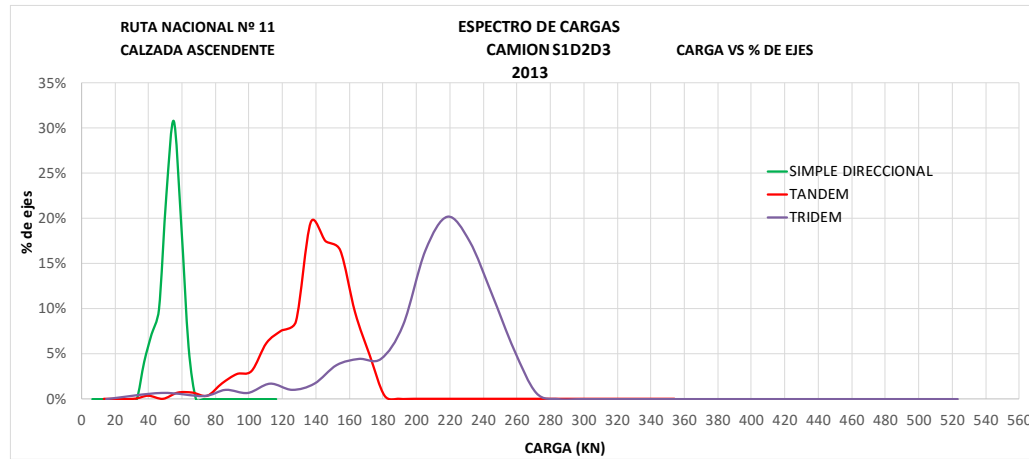


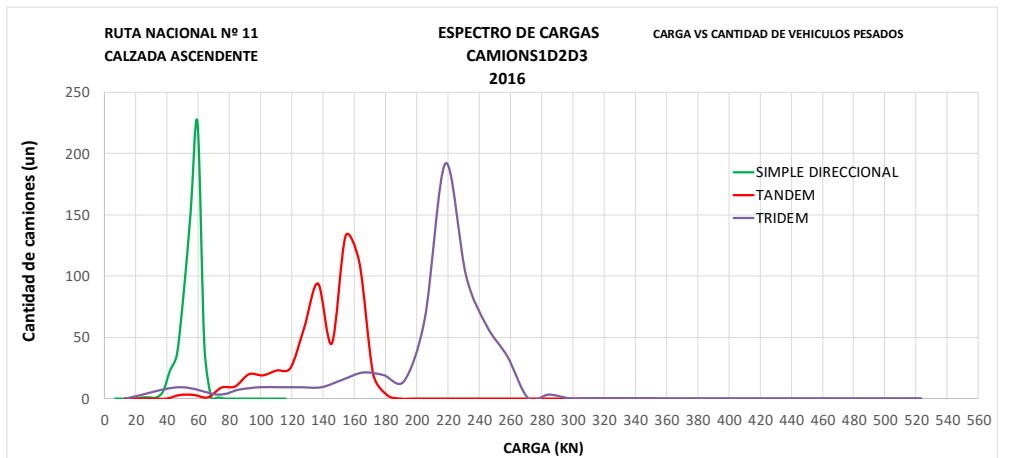
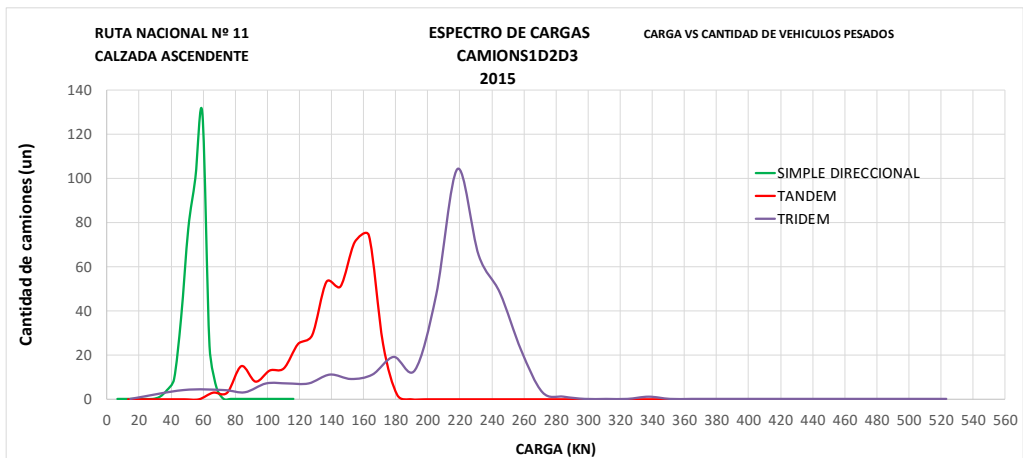
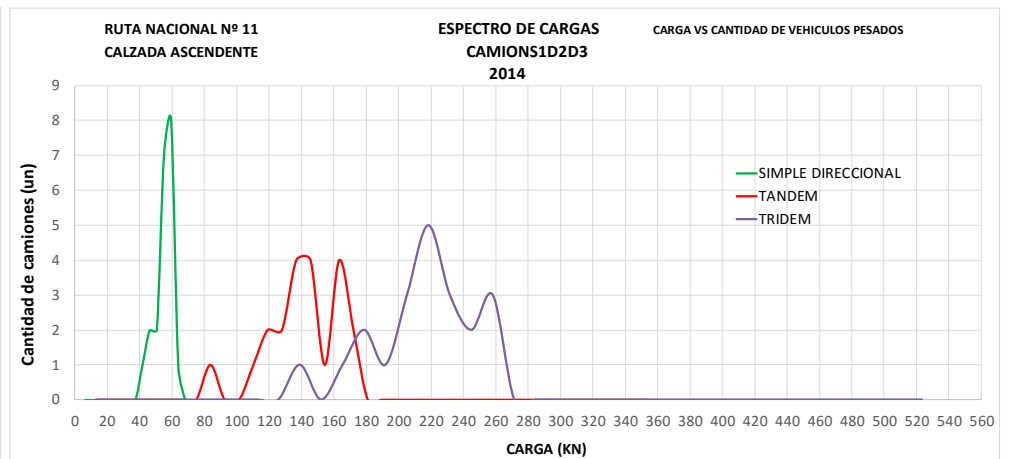
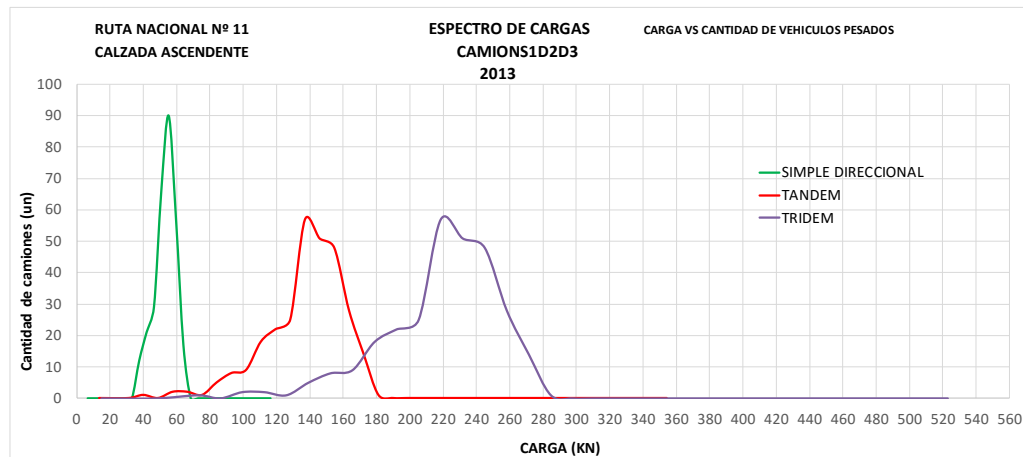


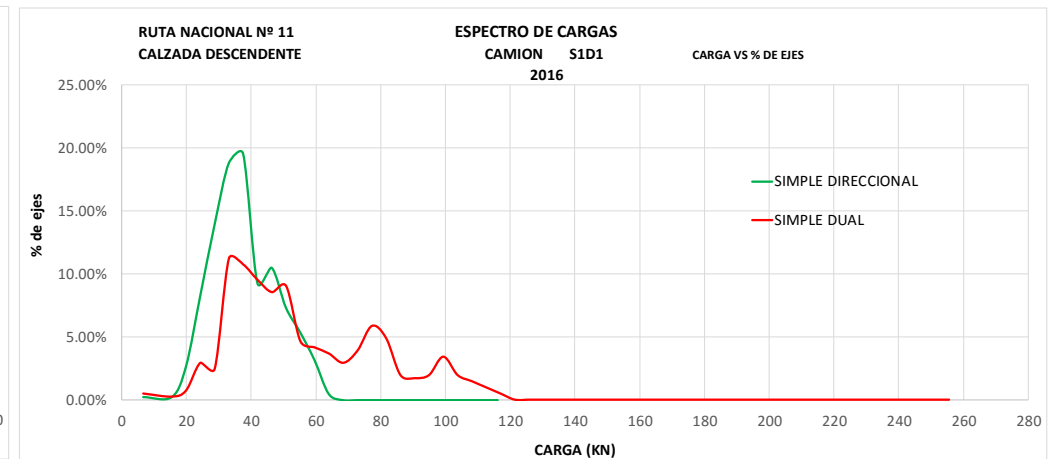
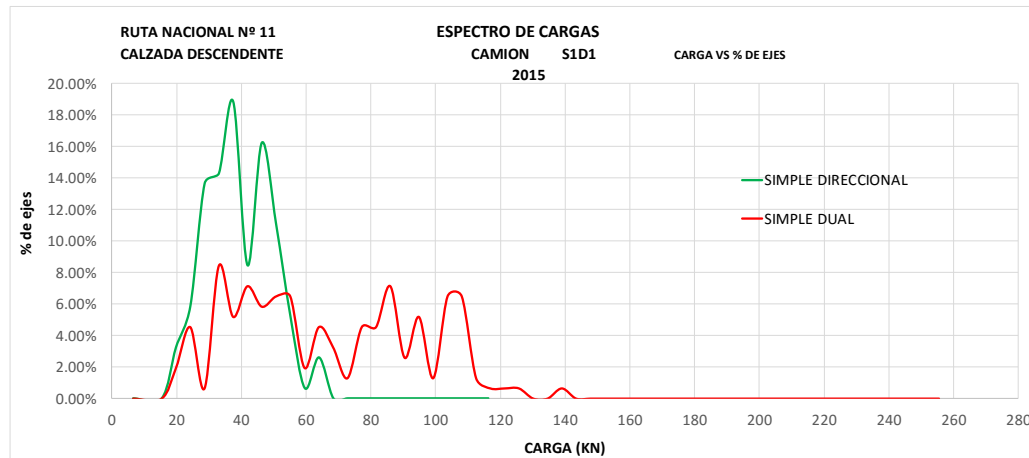
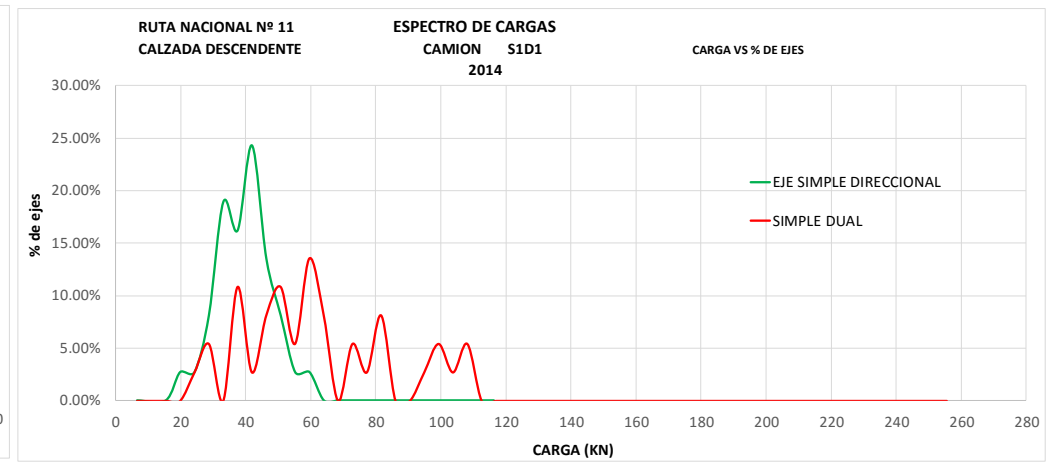
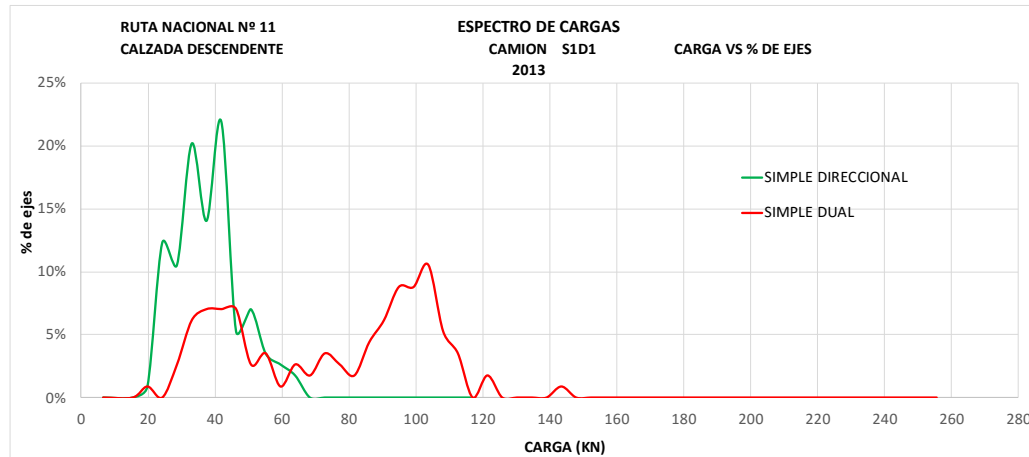


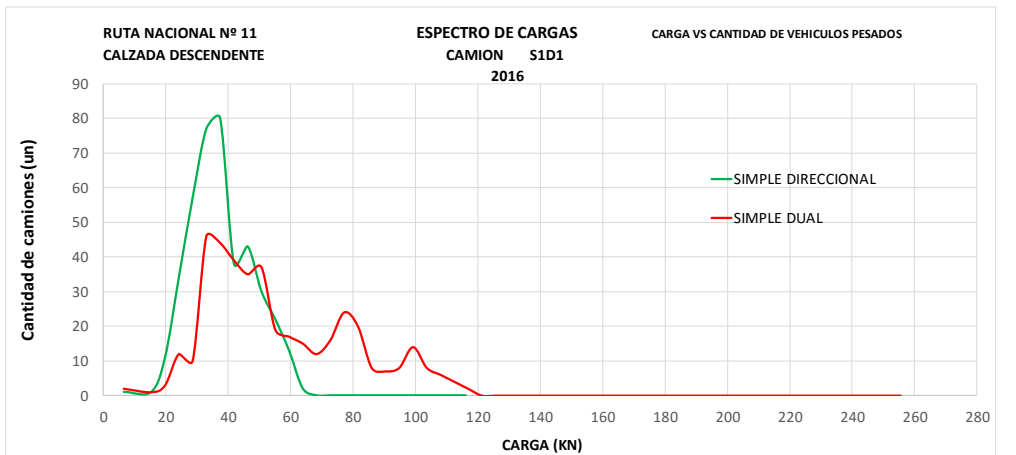
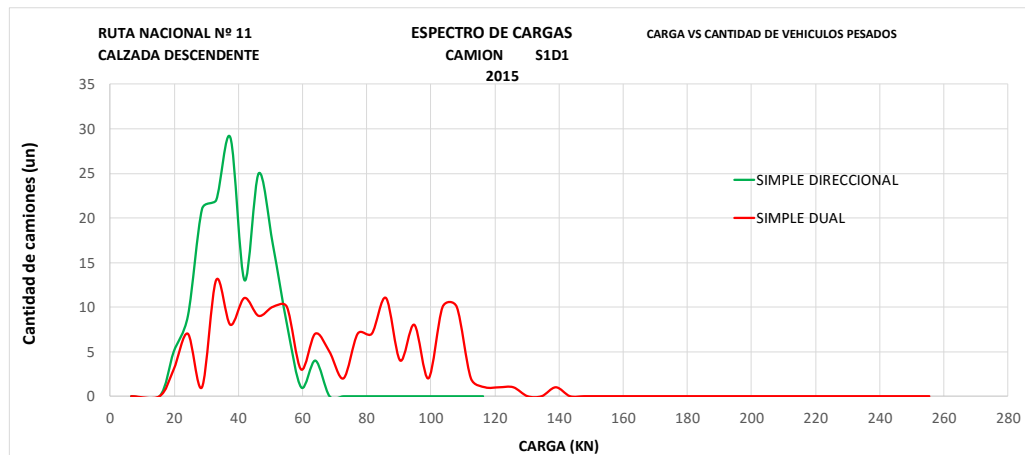
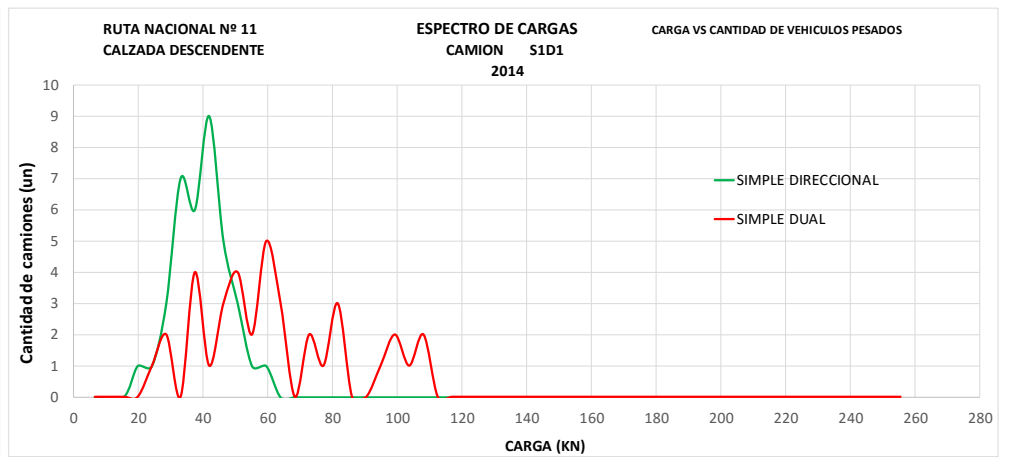
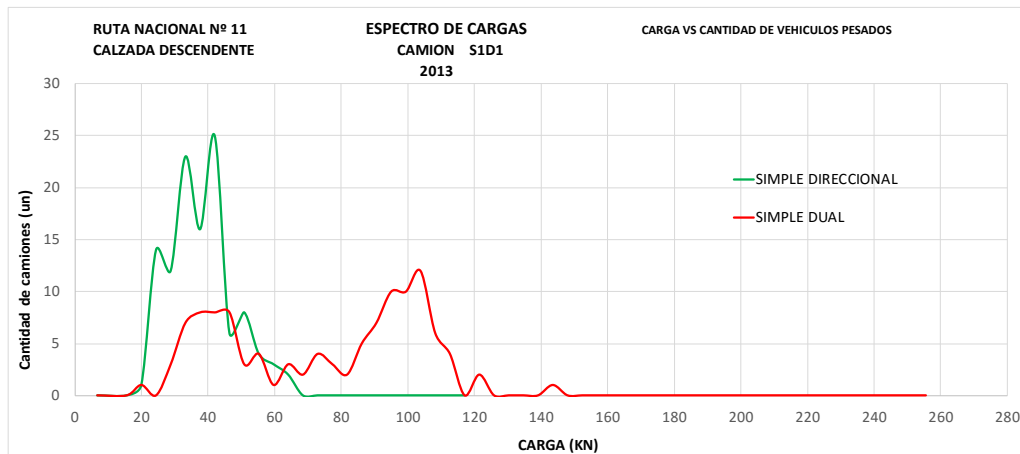


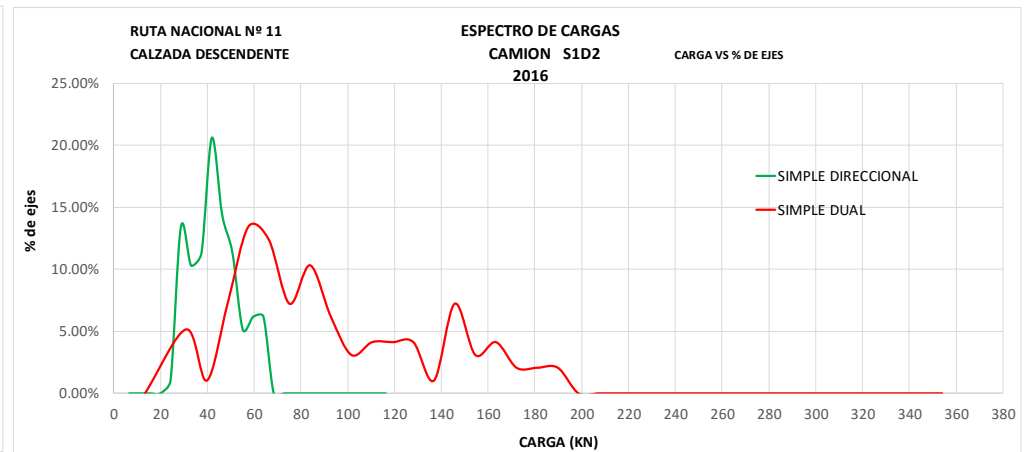
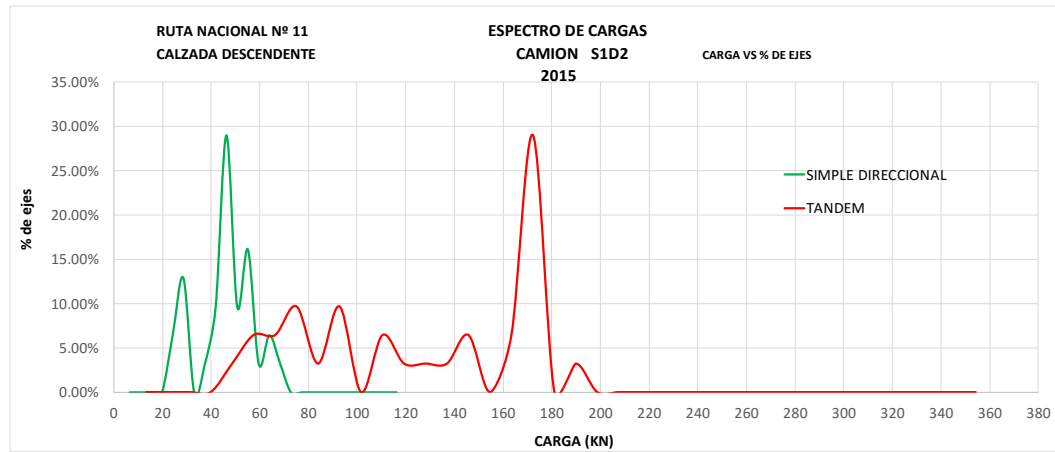
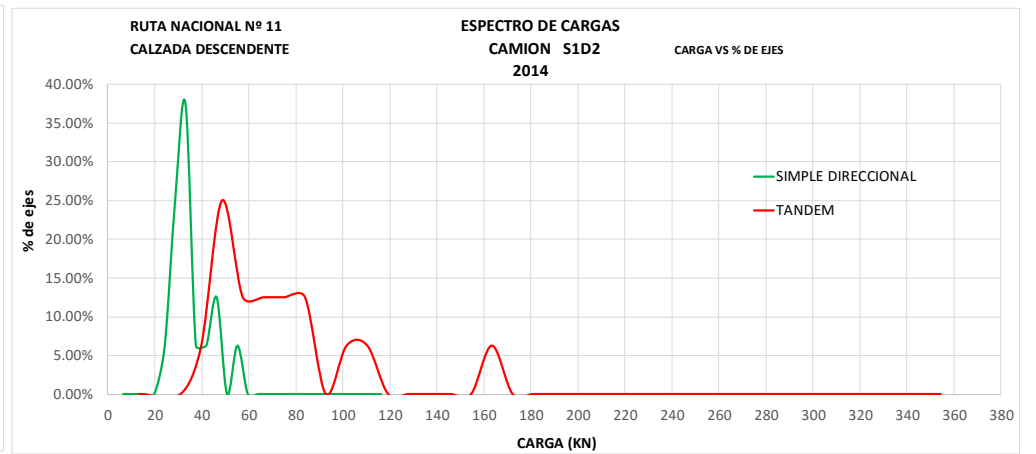
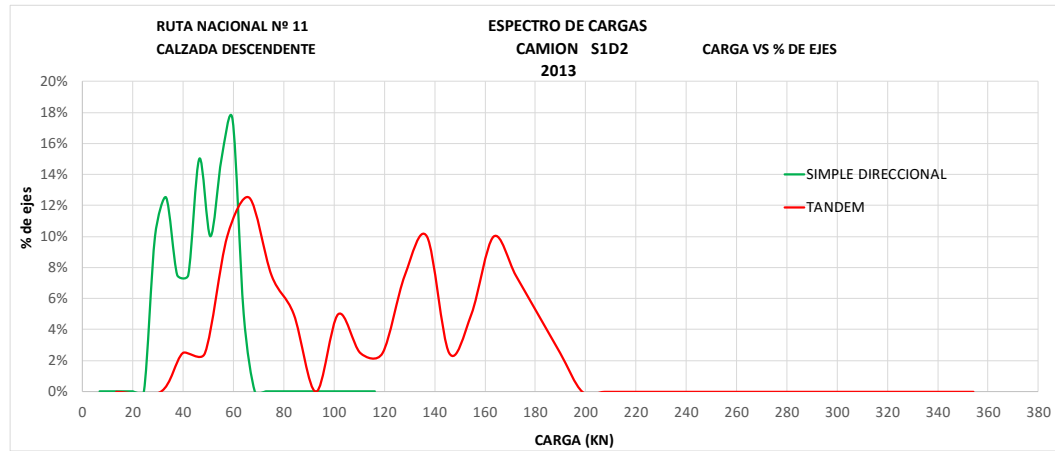


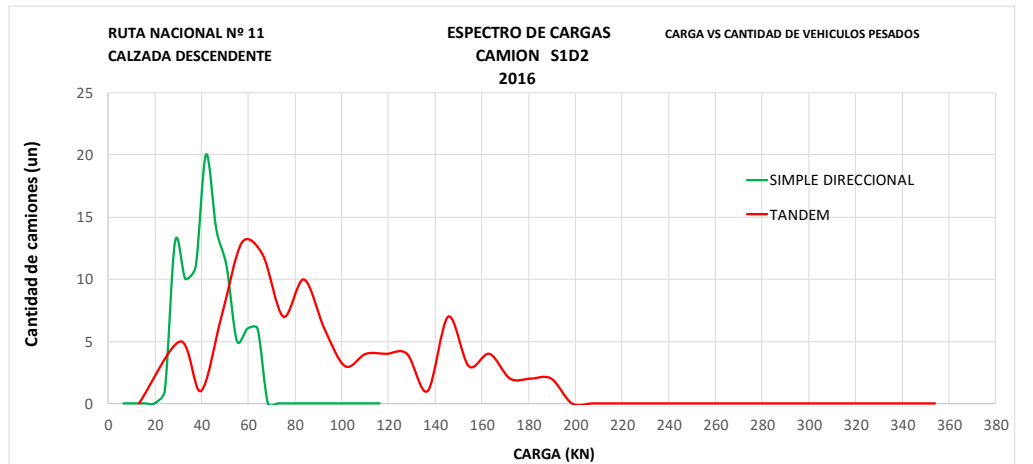
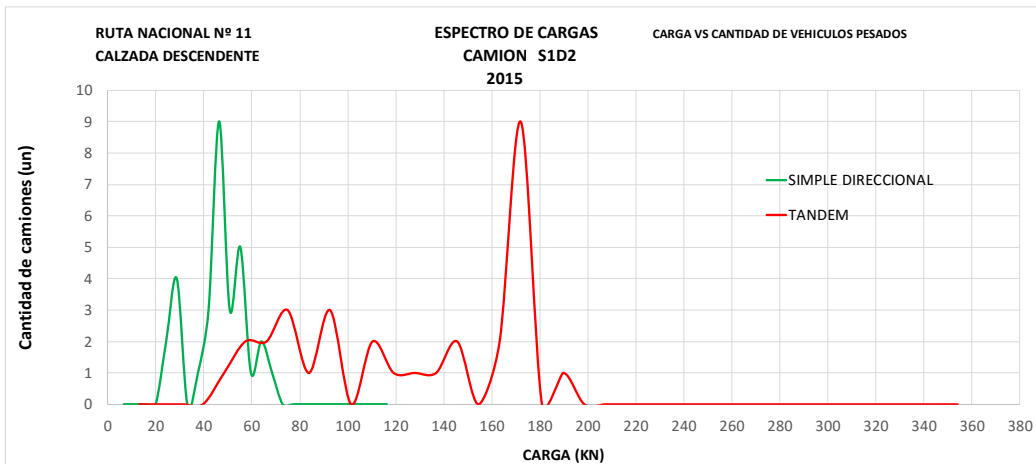
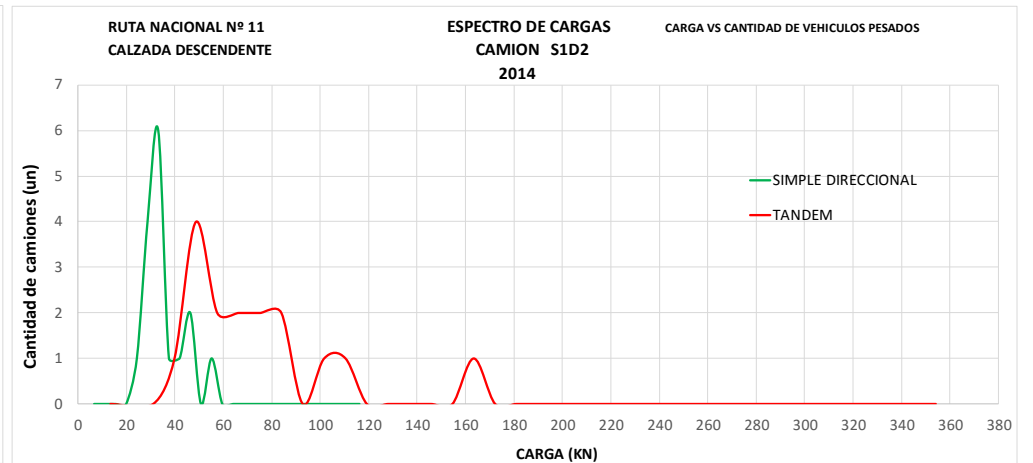
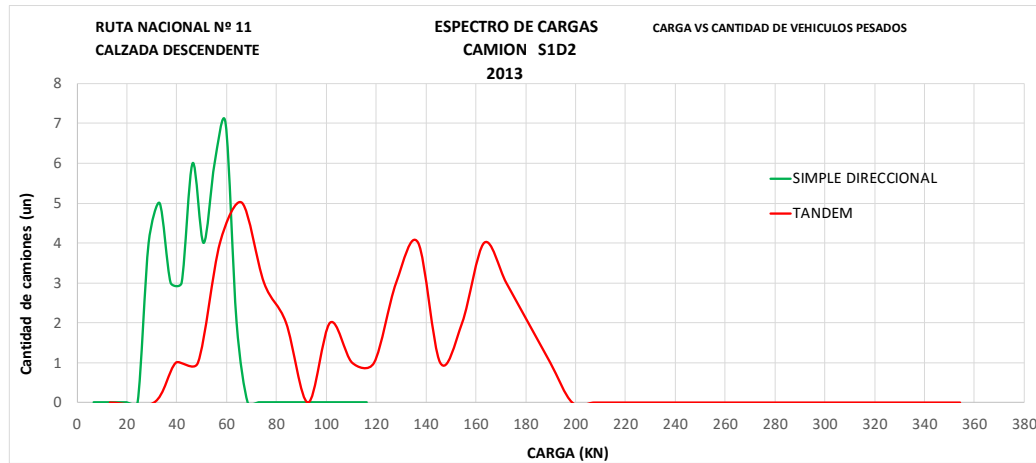


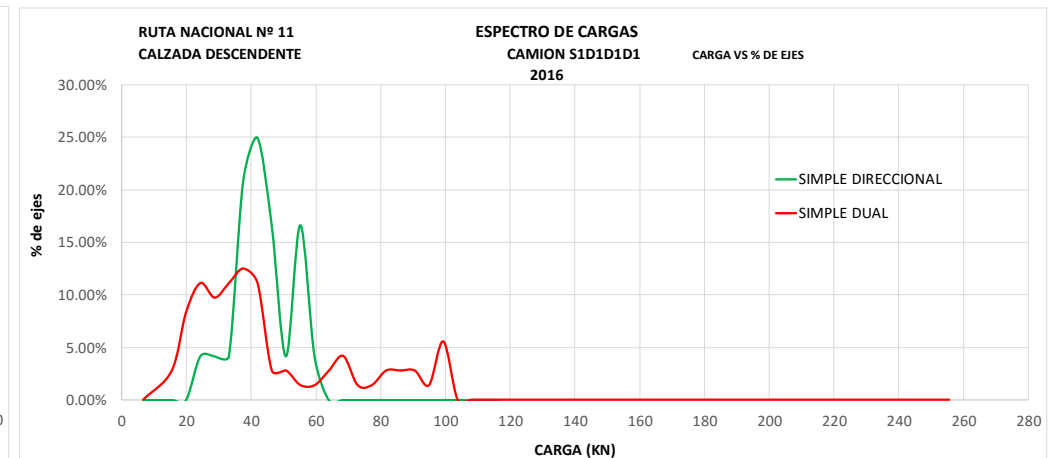
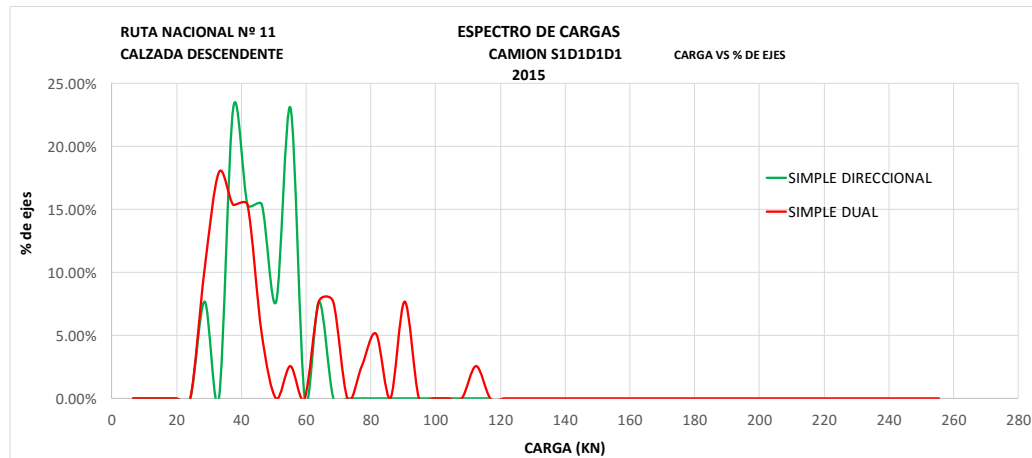
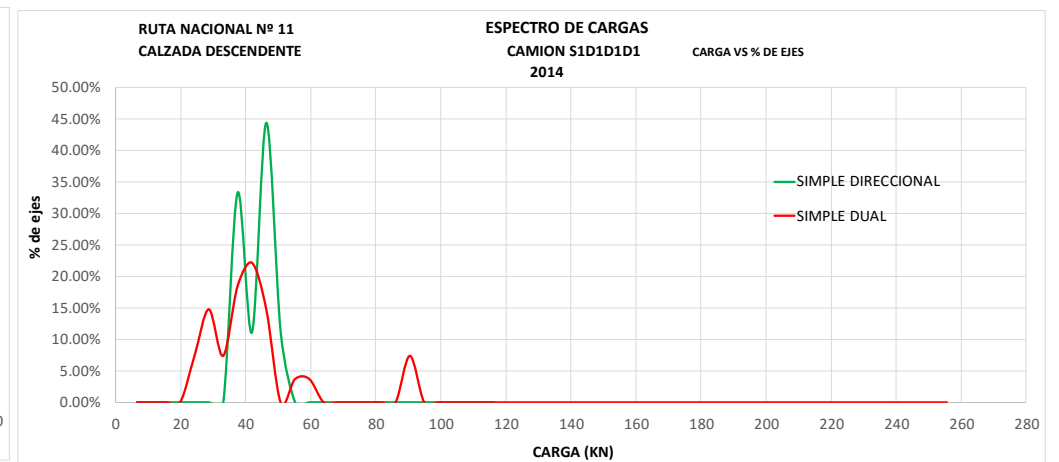
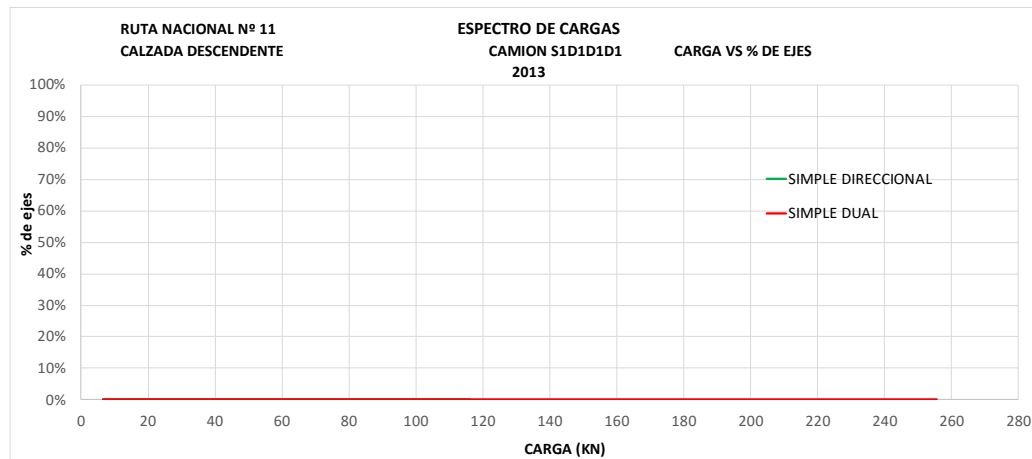


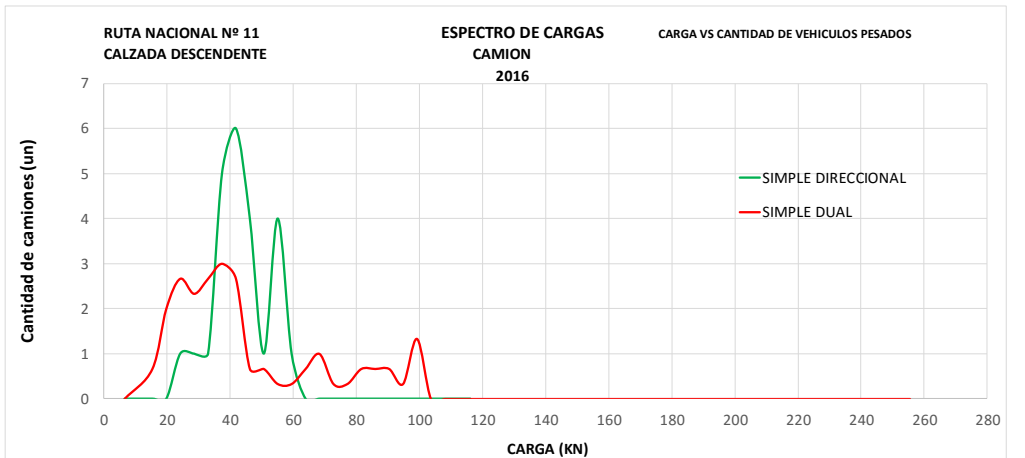
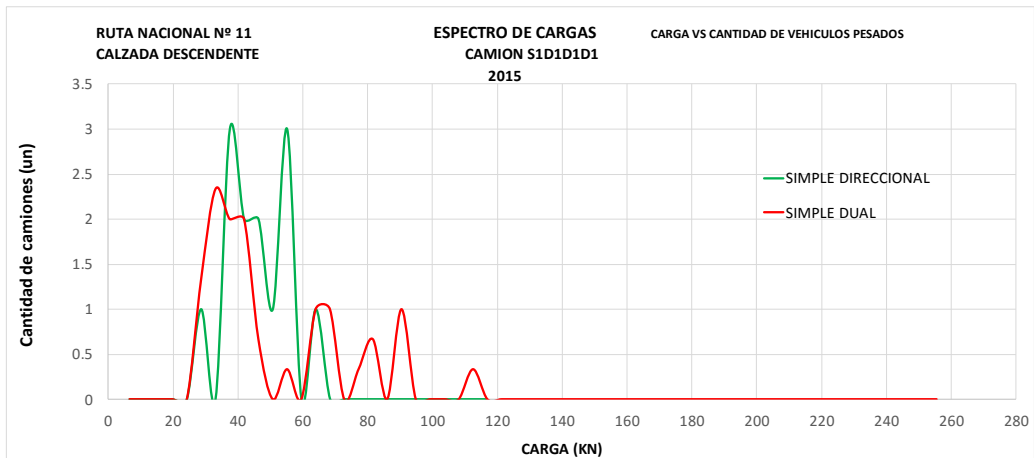
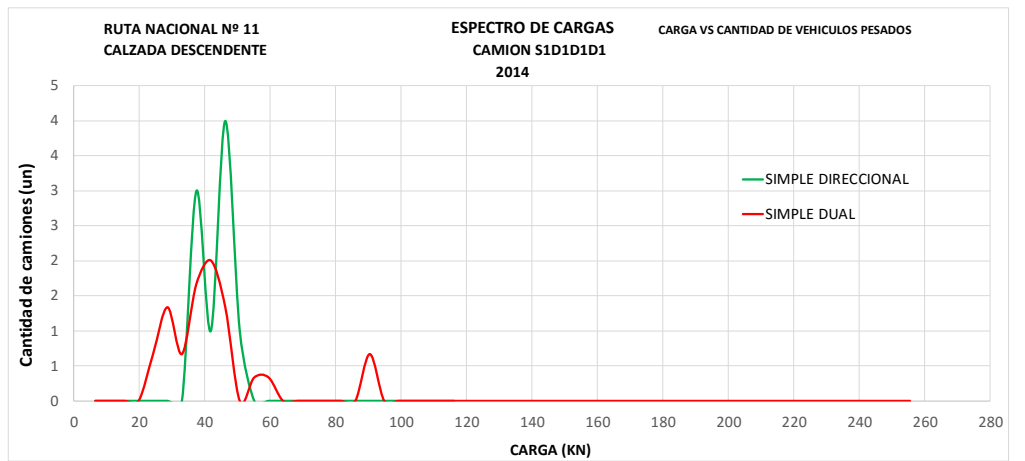
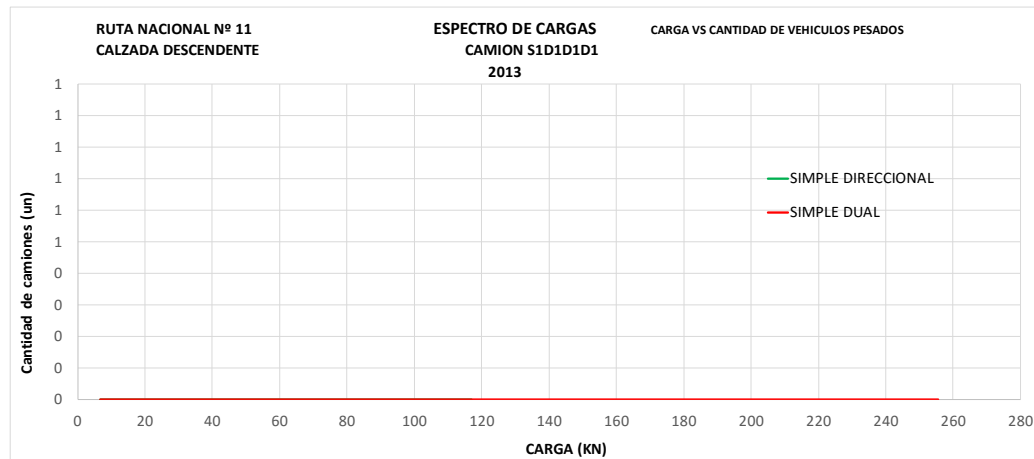


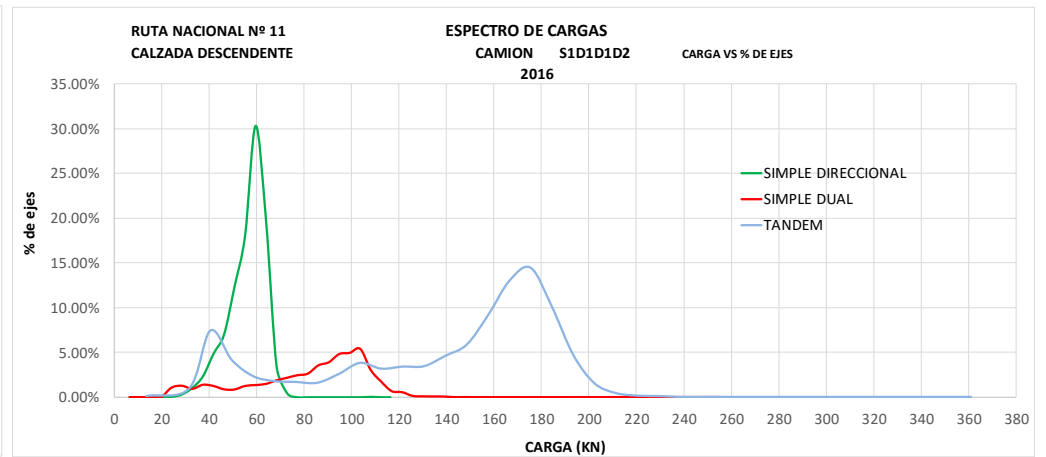
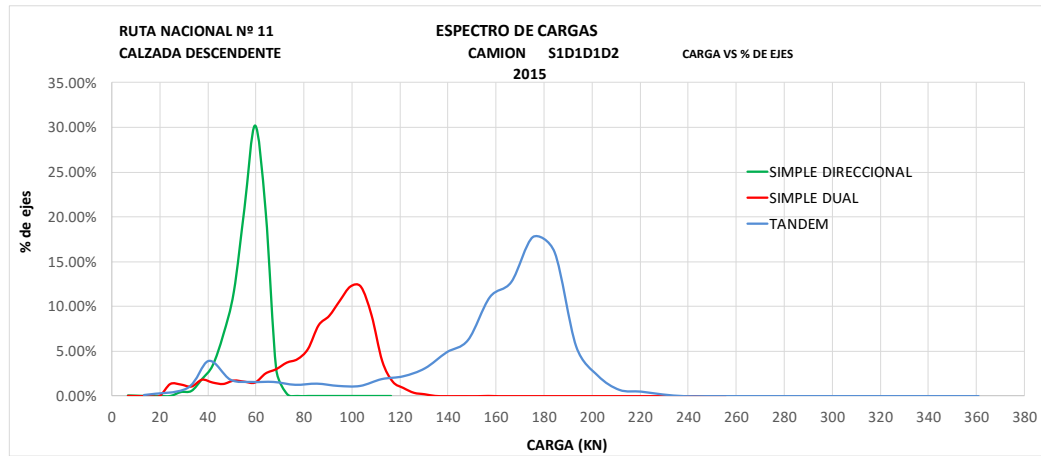
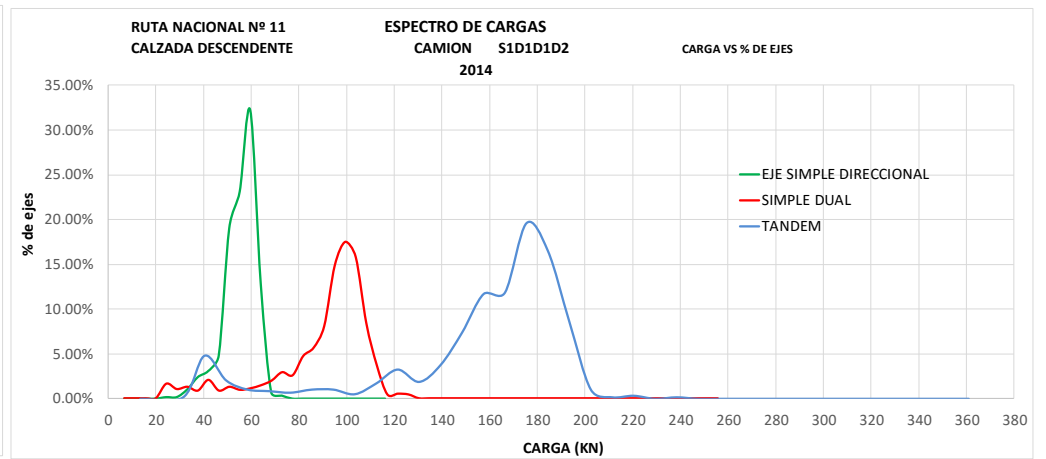


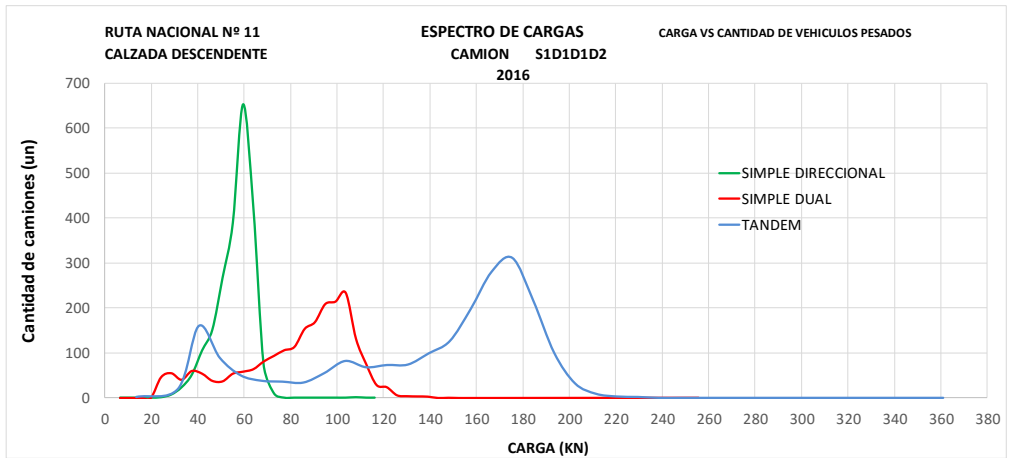
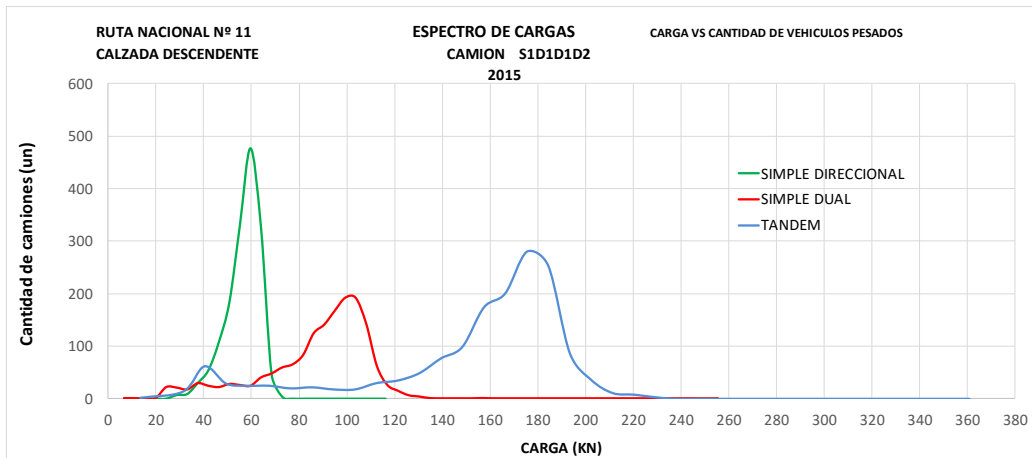
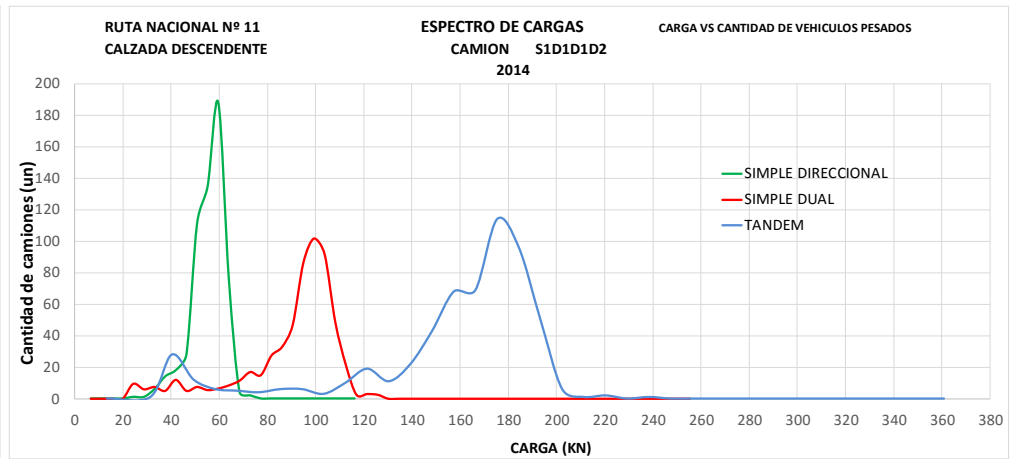
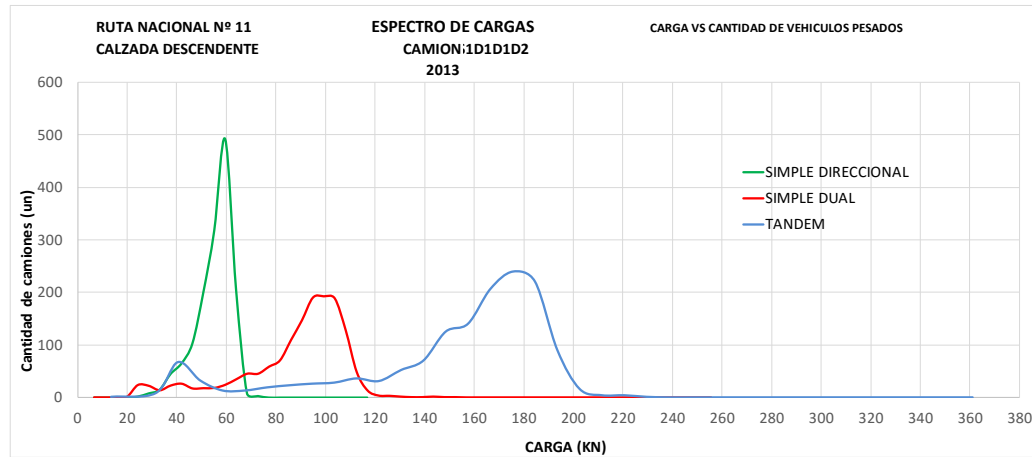


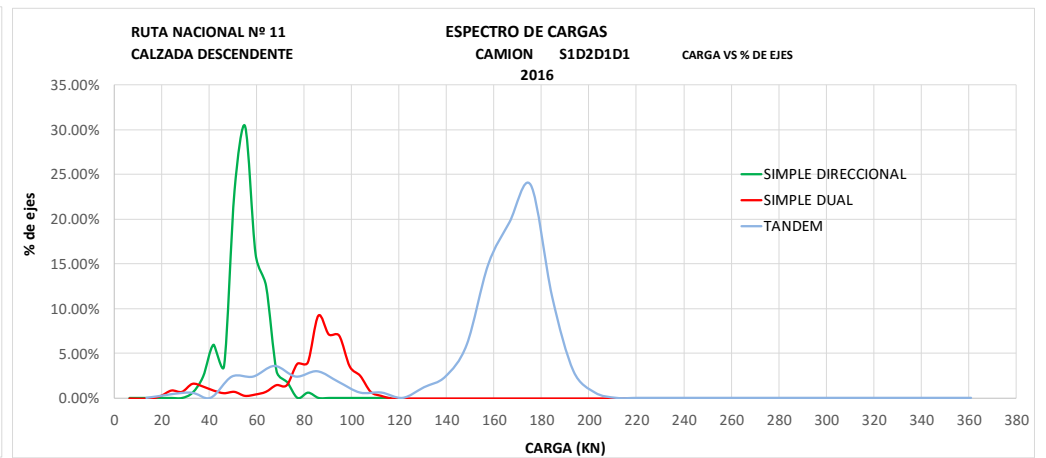
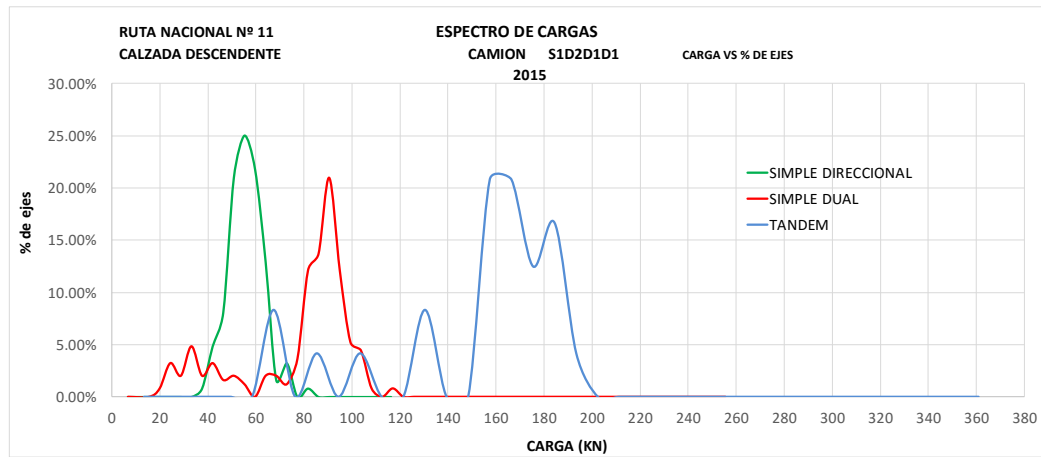


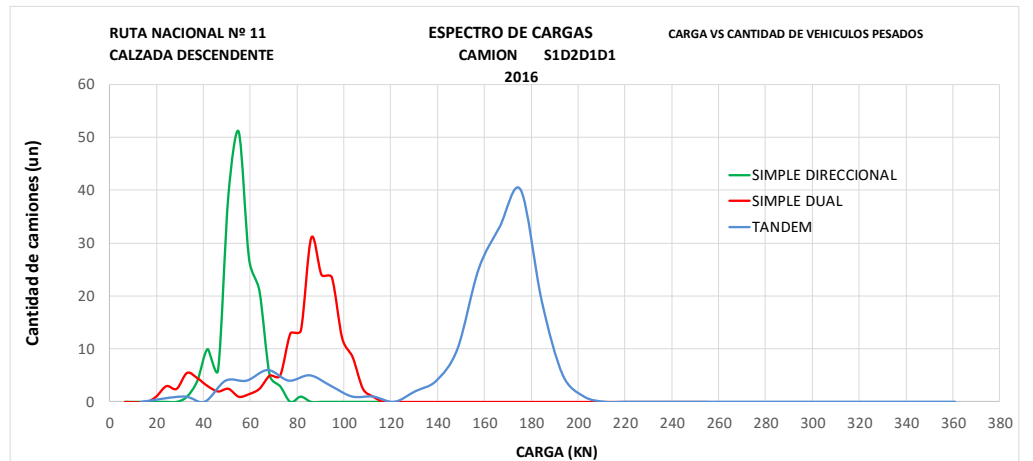
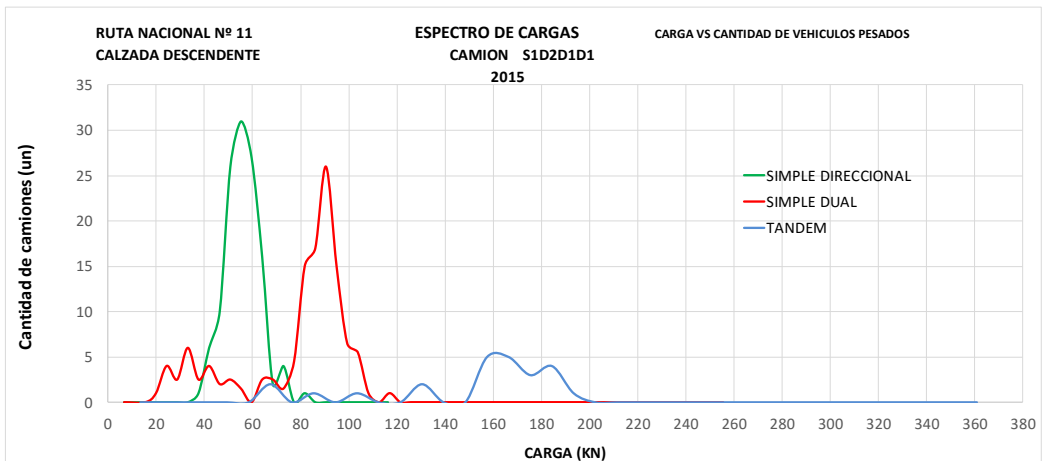
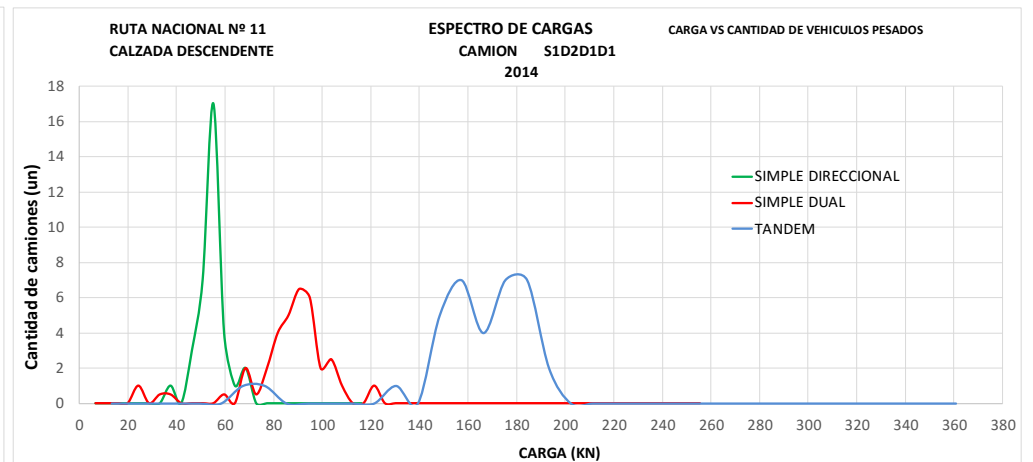


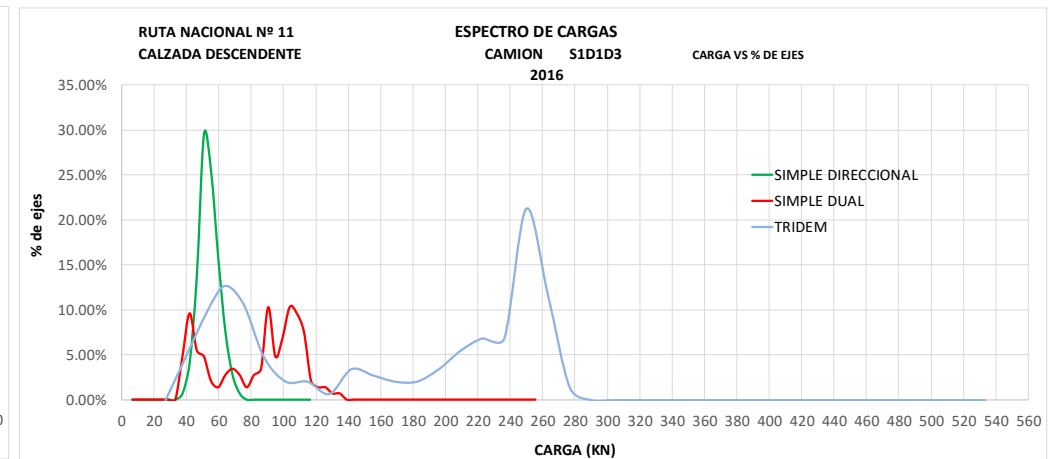
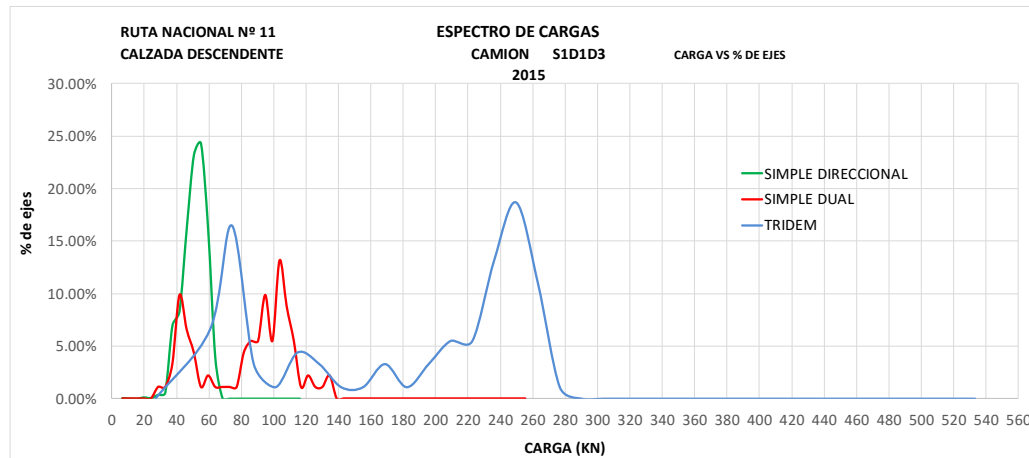
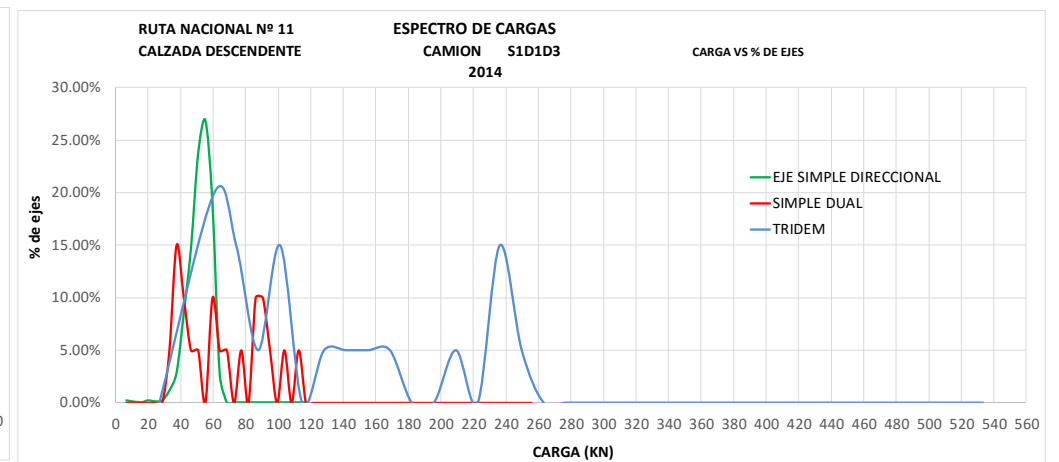


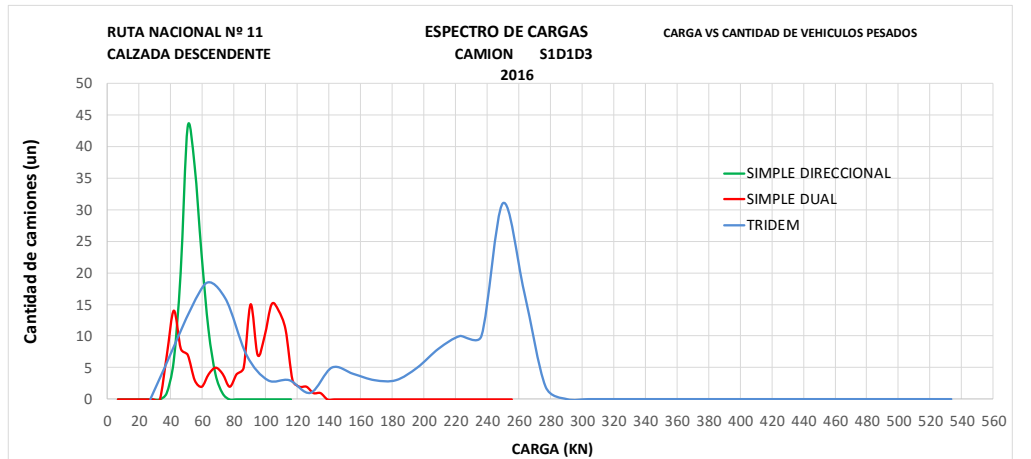
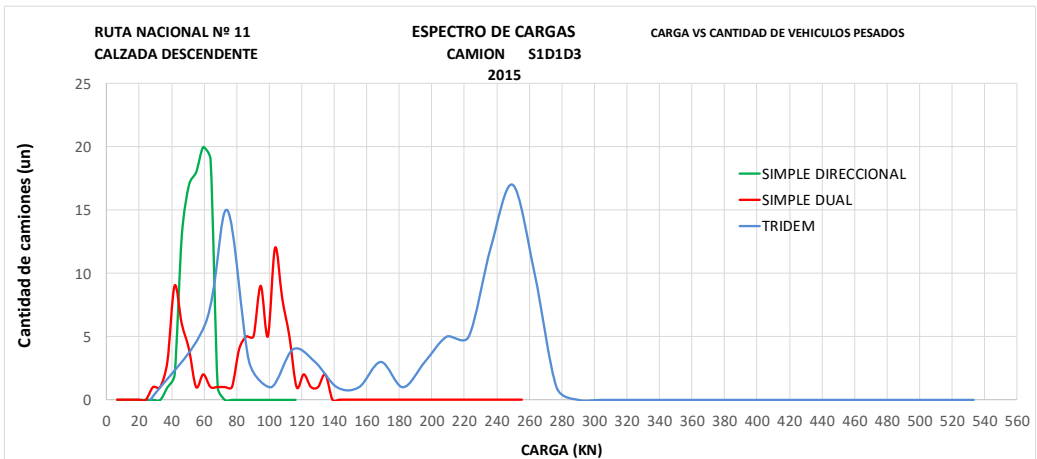
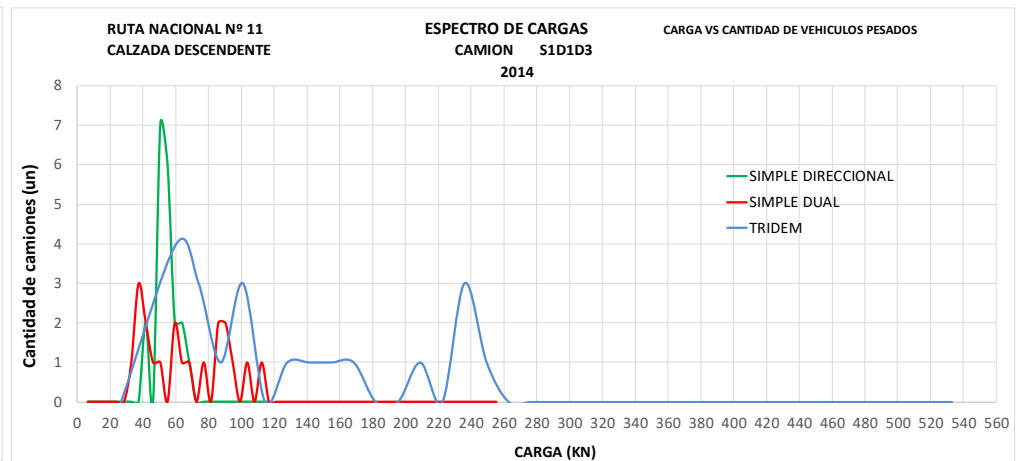
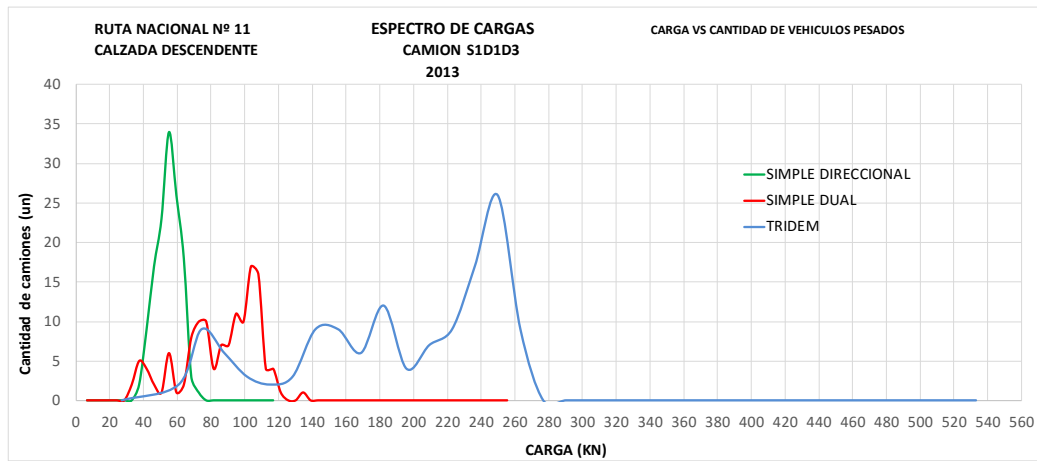


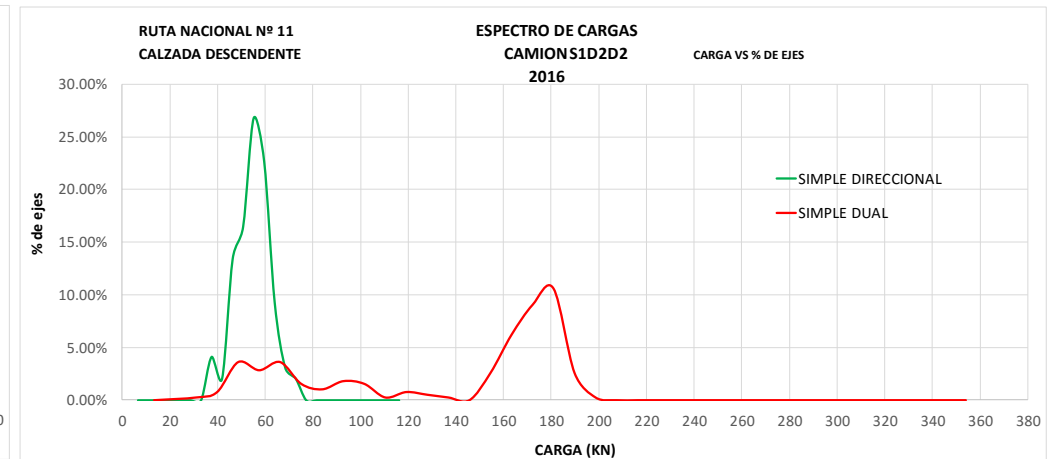
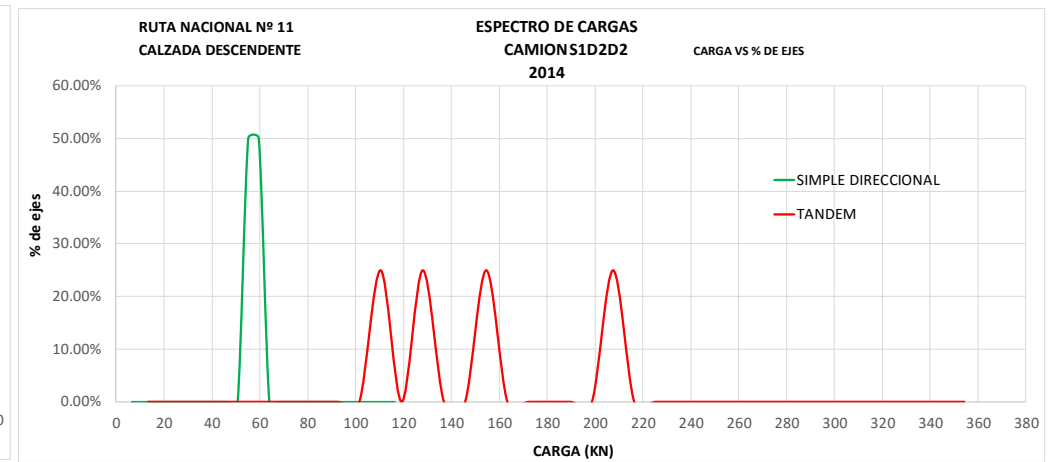
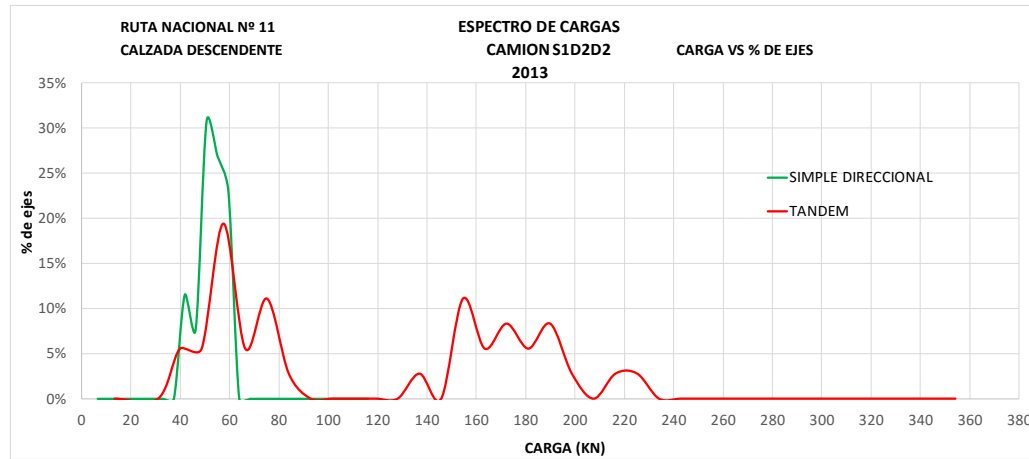


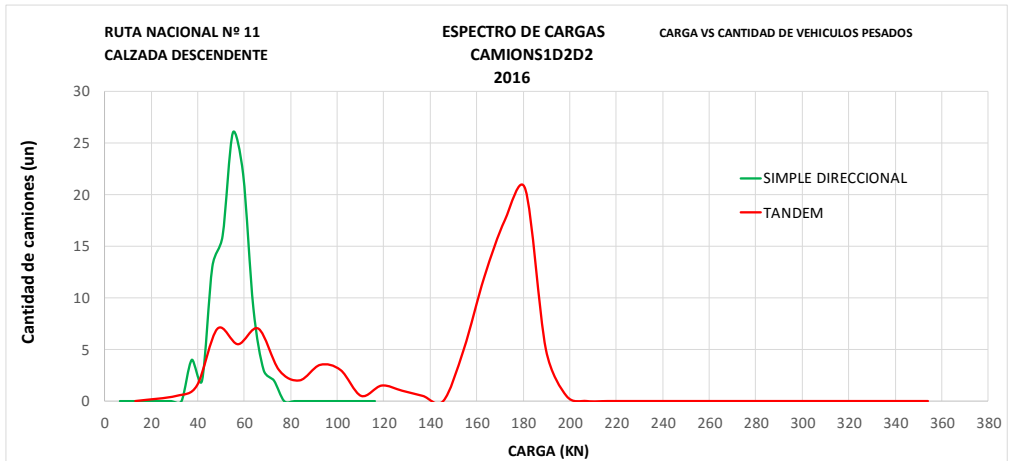
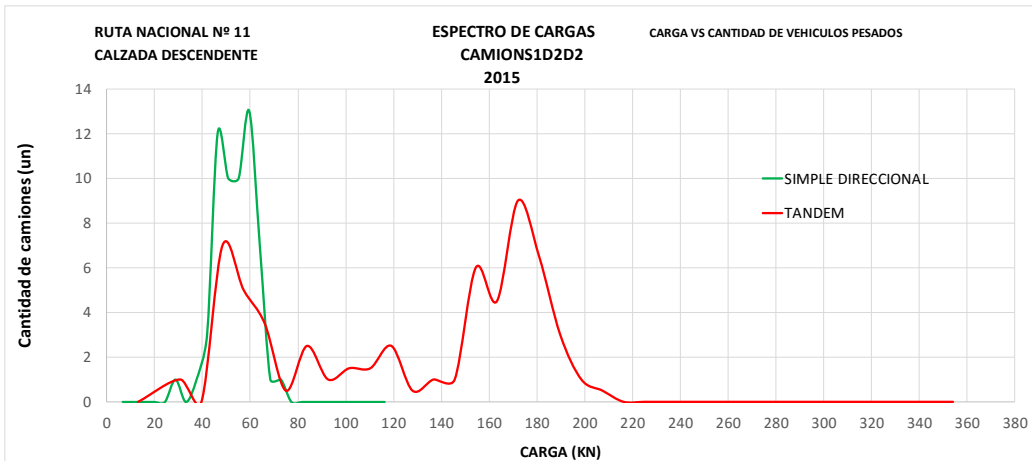
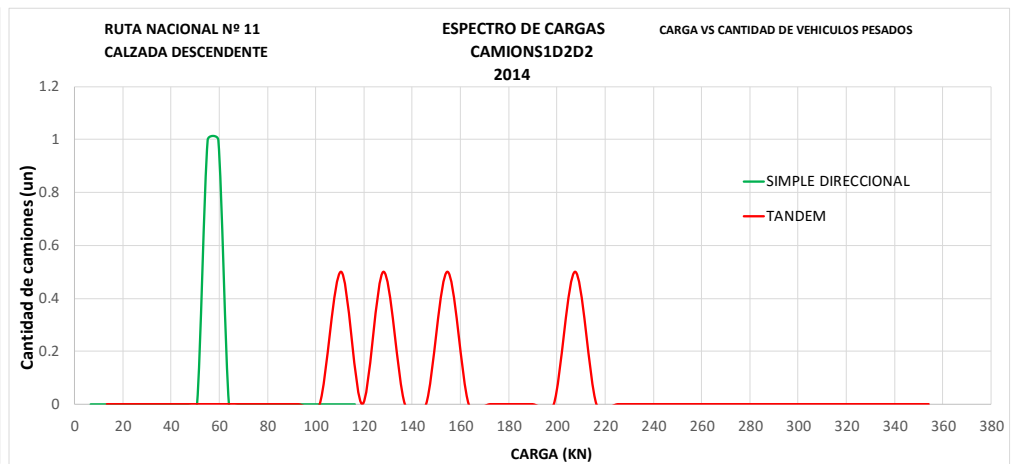
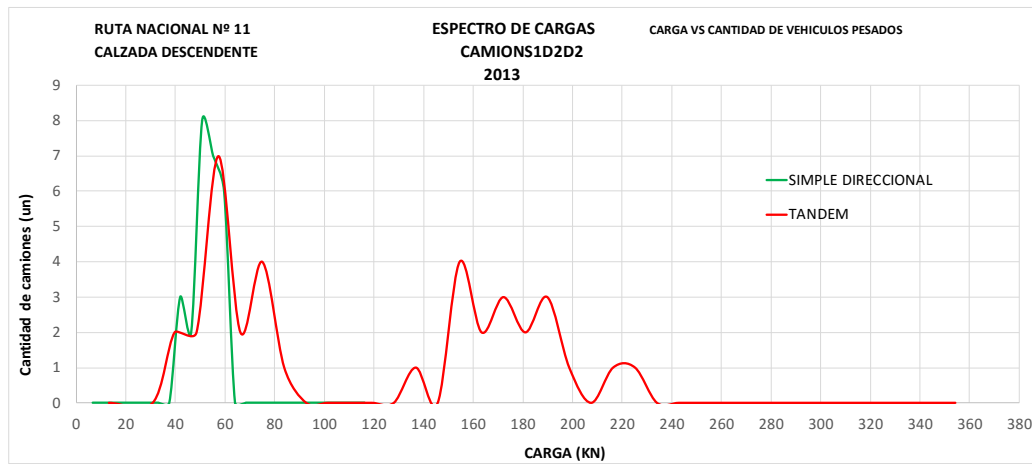


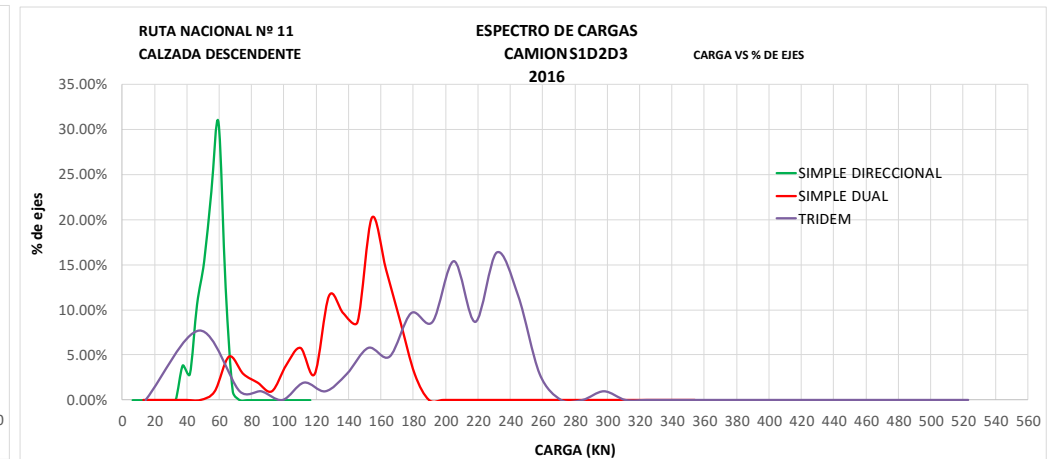
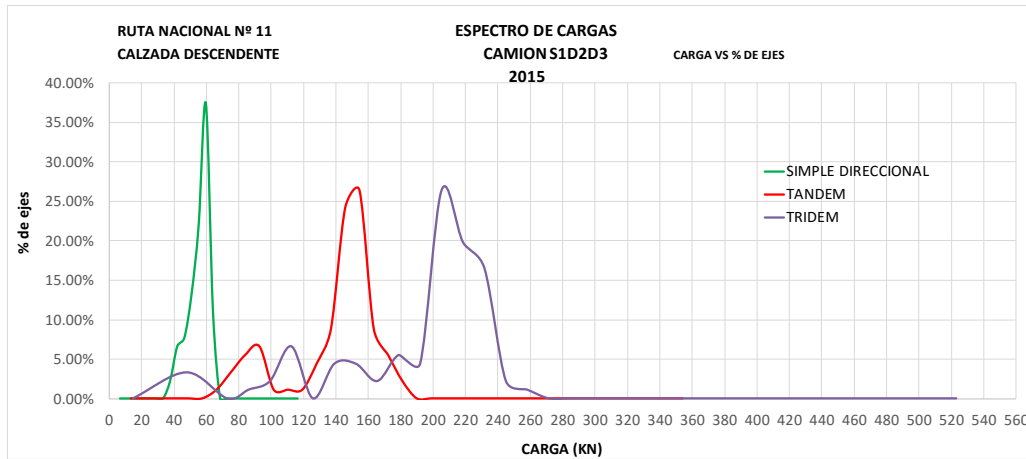
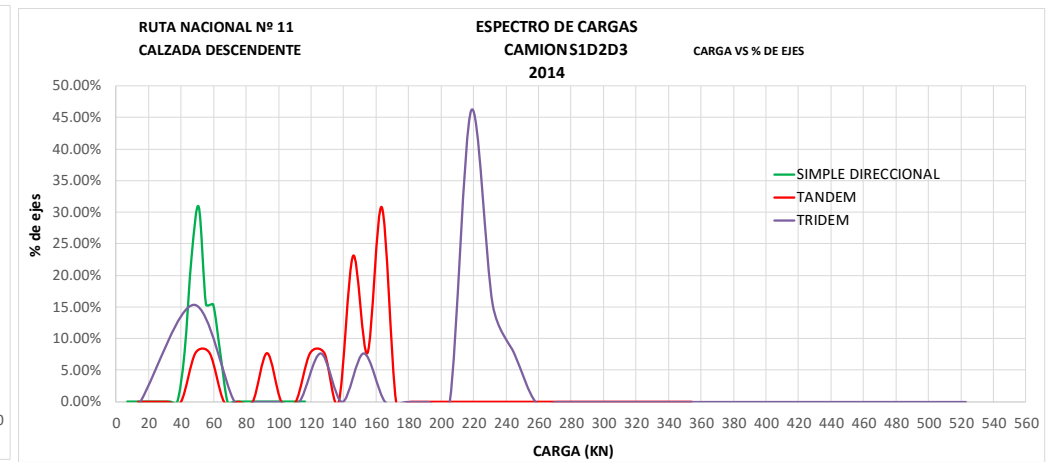
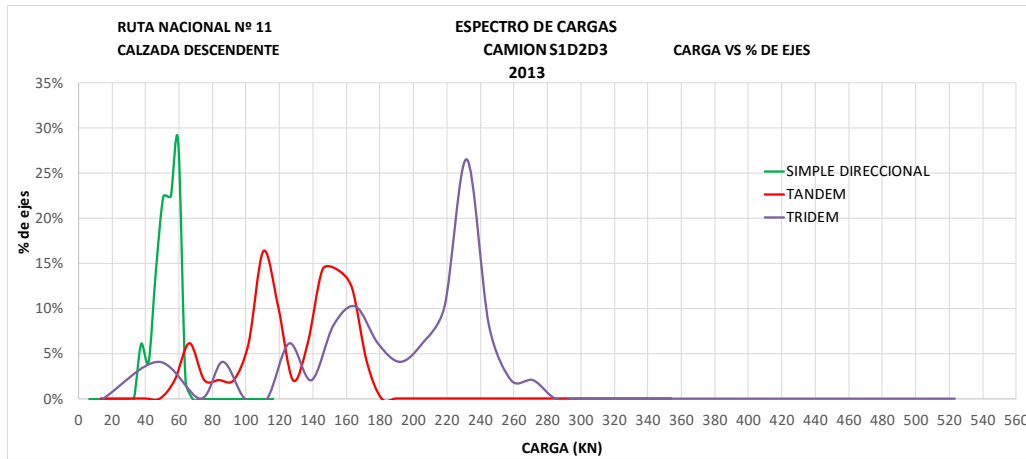


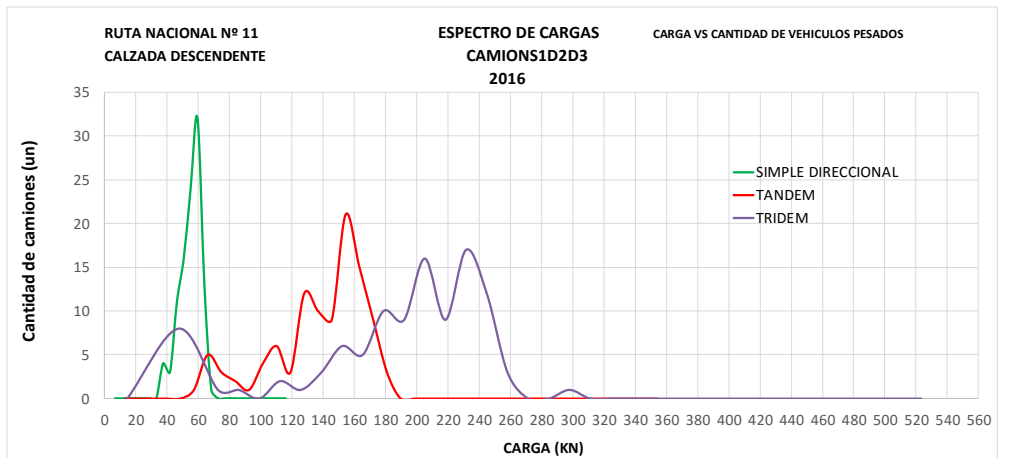
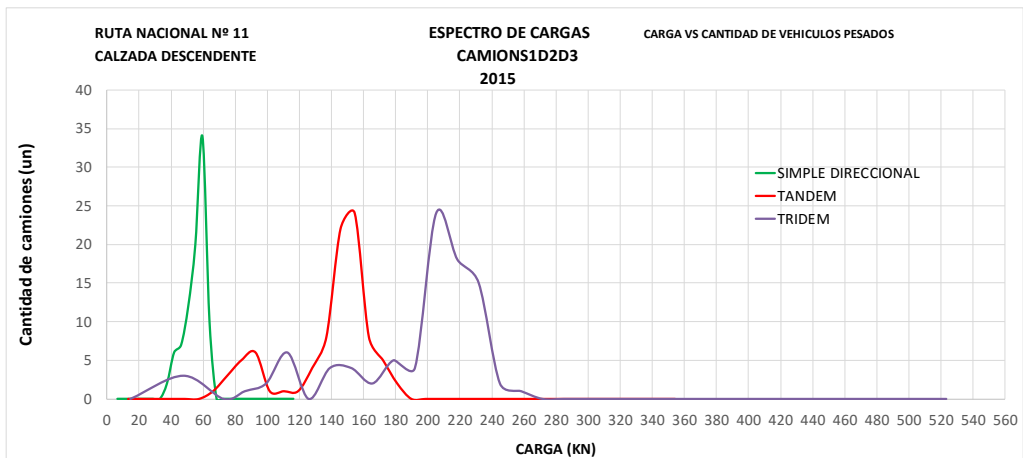
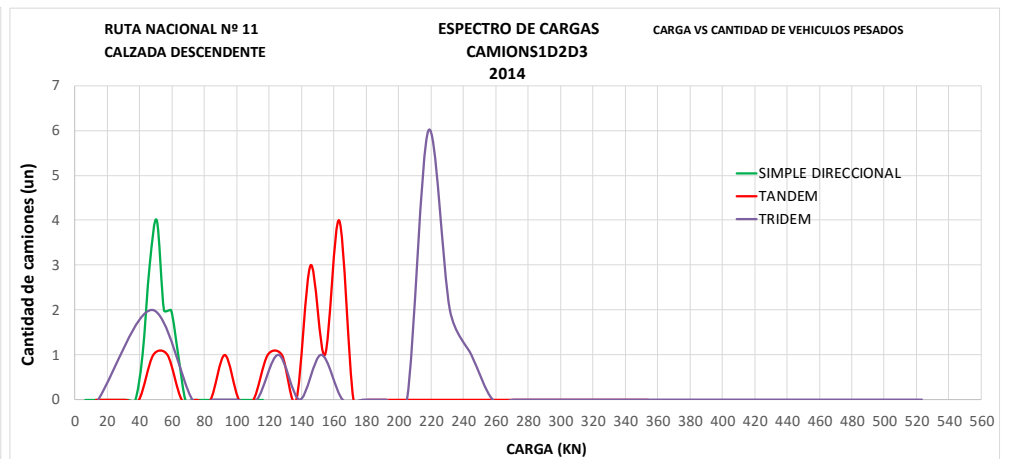
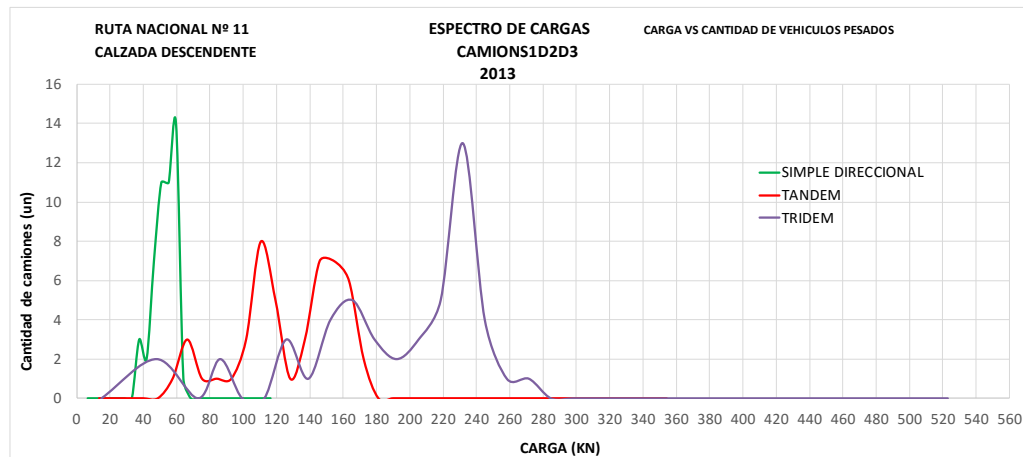












ANEXO II- VARIACIÓN MENSUAL FACTOR DE CAMIÓN
BALANZAS RN N° 168- “COLASTINÉ”
BALANZAS RN N° 9- “RÍO TALA”
BALANZAS RN N° 11- “MARGARITA BELÉN”

MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

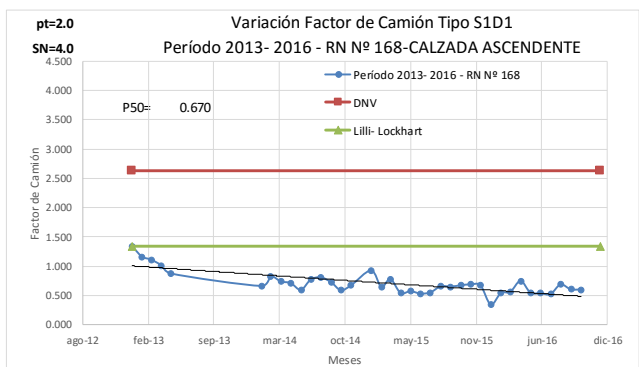
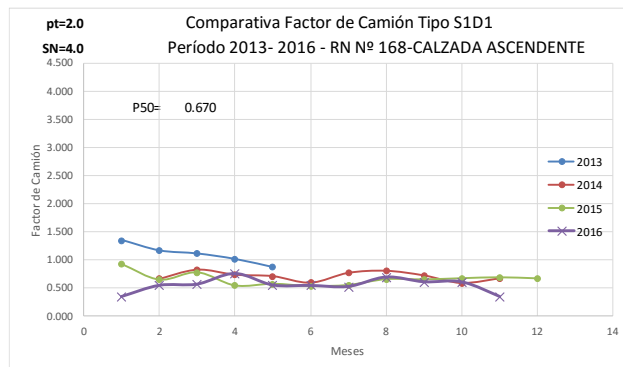
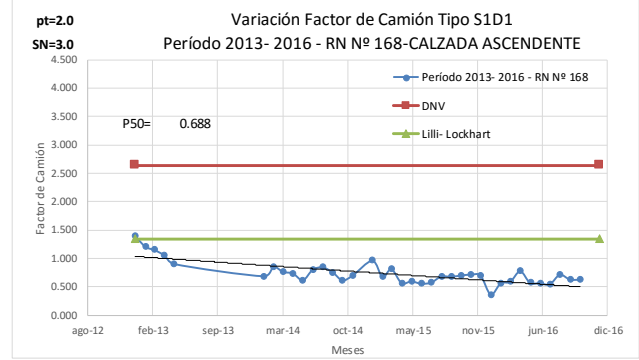
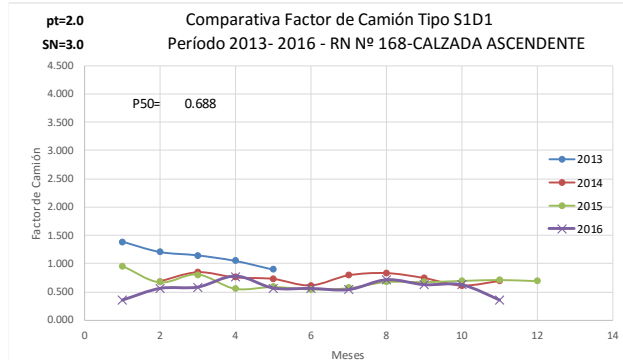
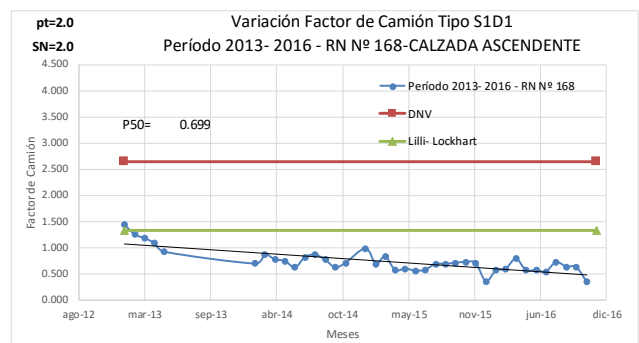
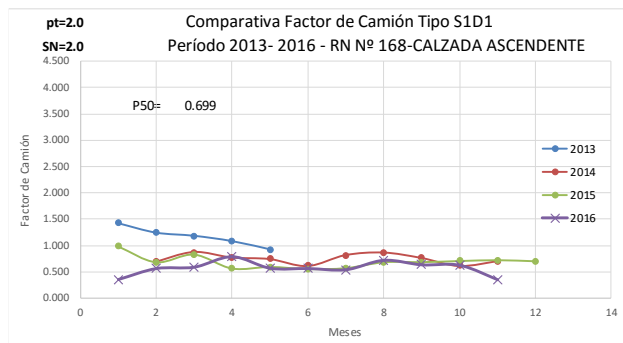
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1

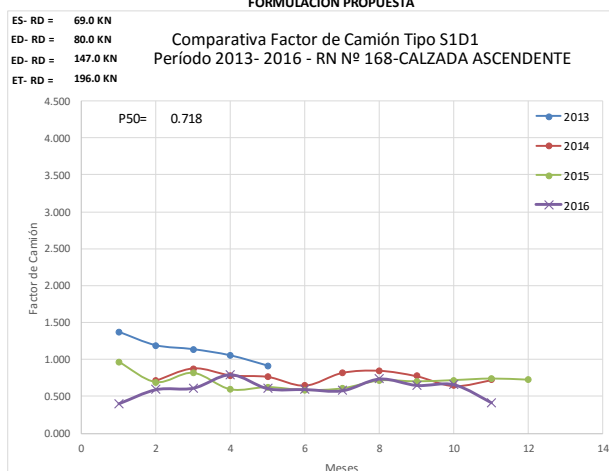
S1D1

CALZADA ASCENDENTE



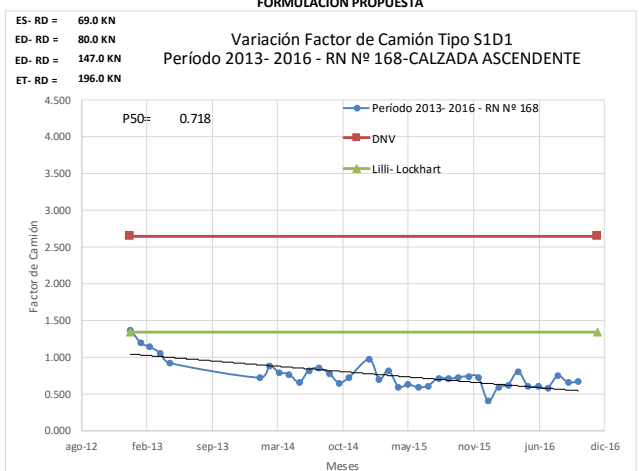
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

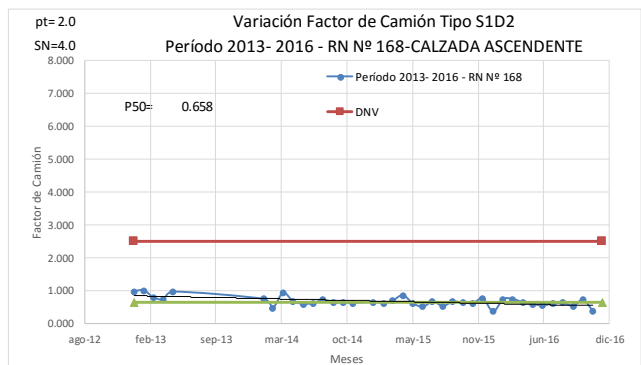
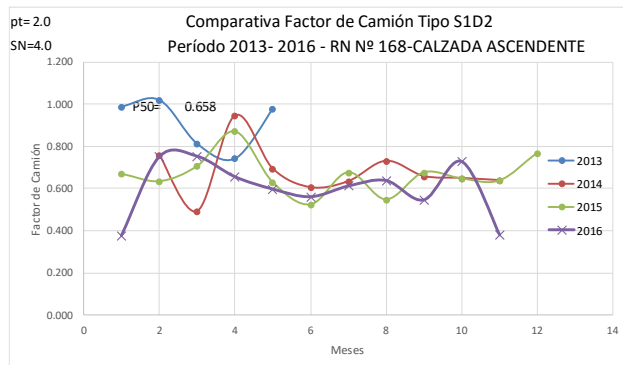
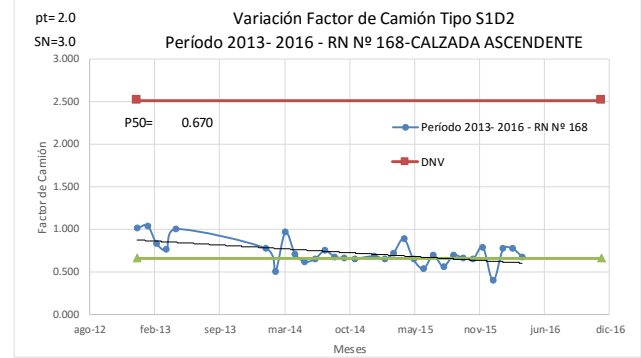
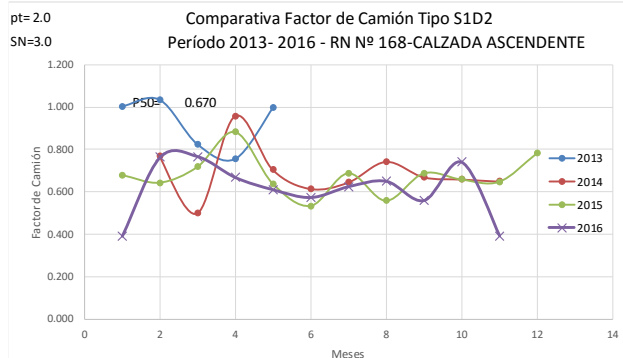
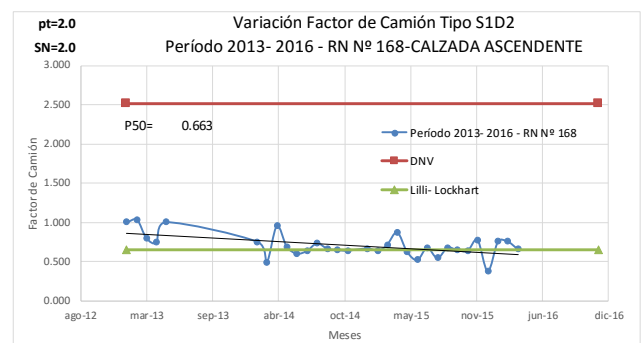
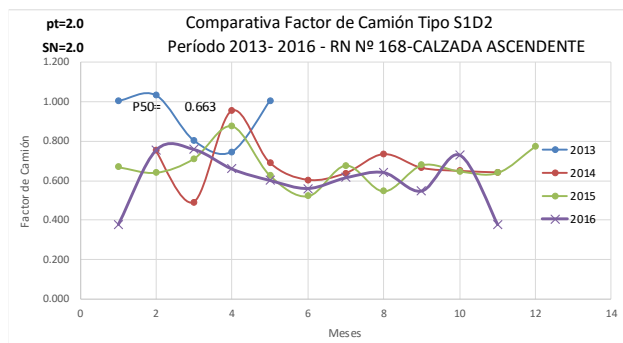
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D2

S1D2

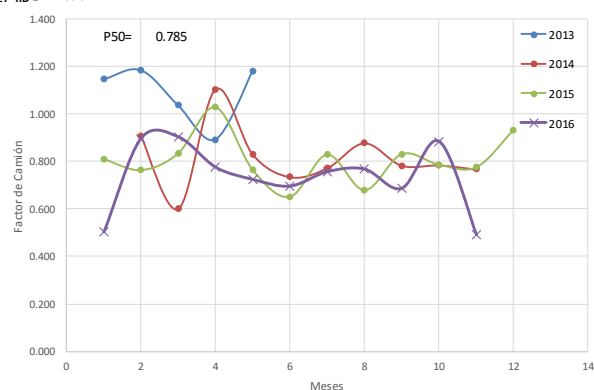
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

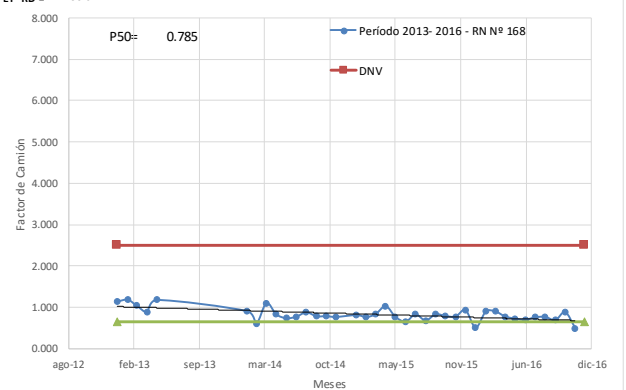
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

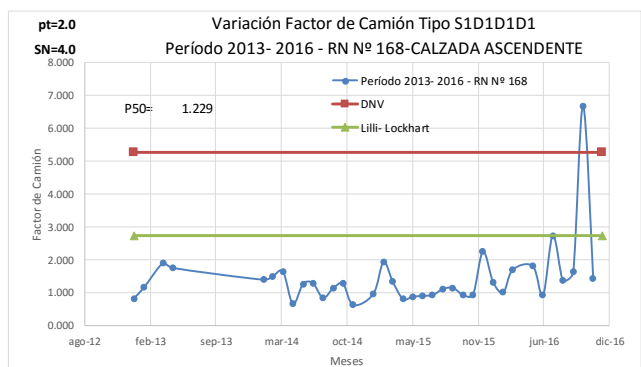
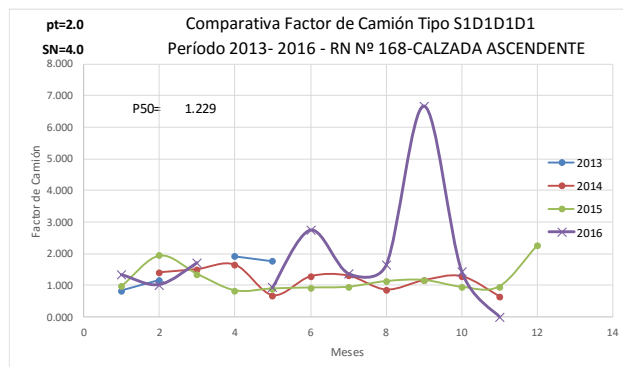
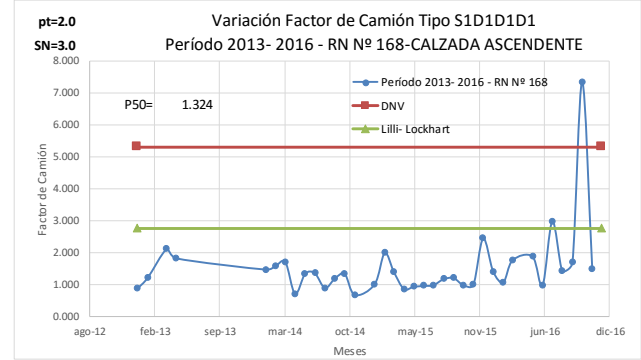
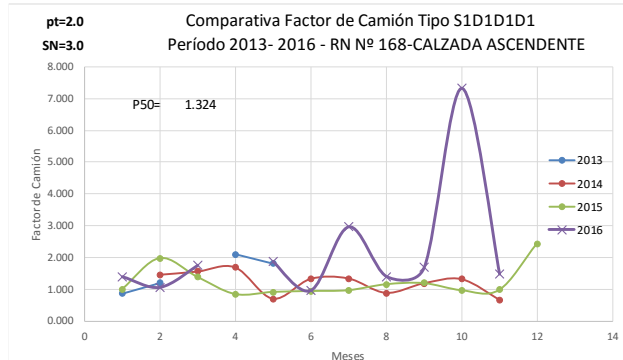
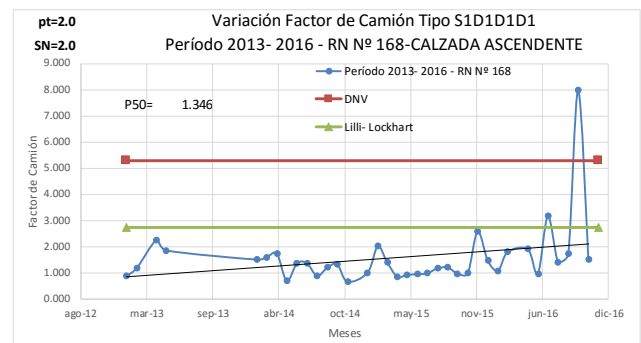
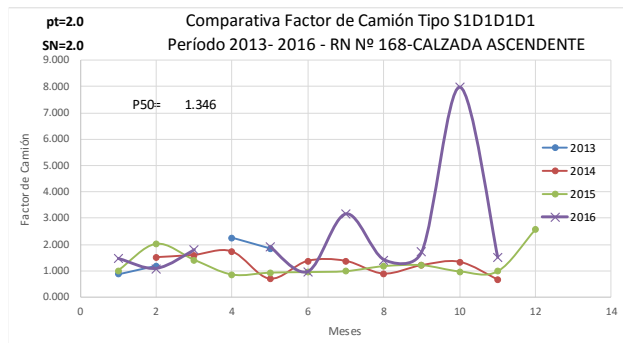
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1D1D1

S1D1D1D1

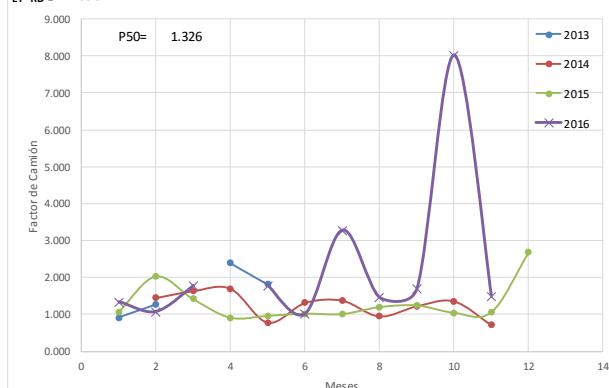
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

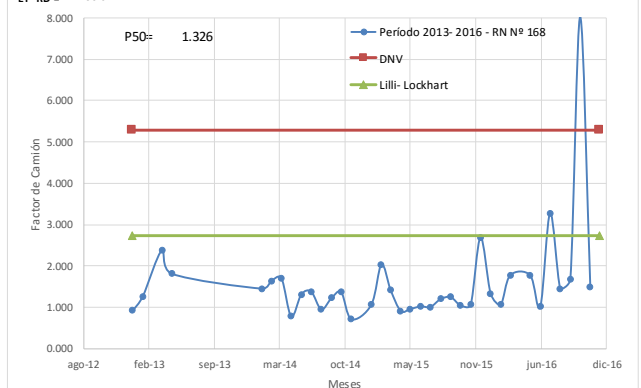
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

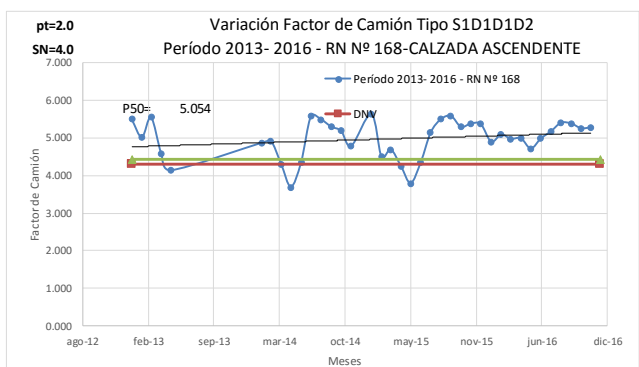
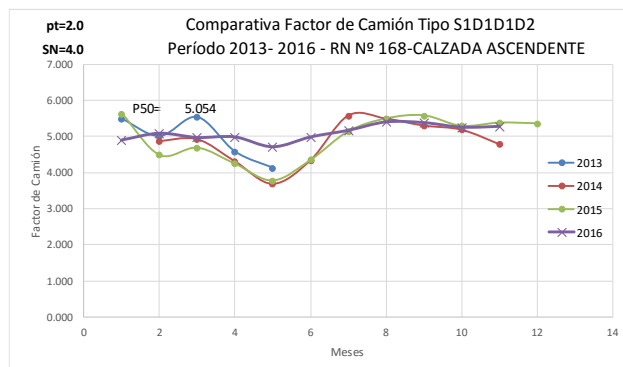
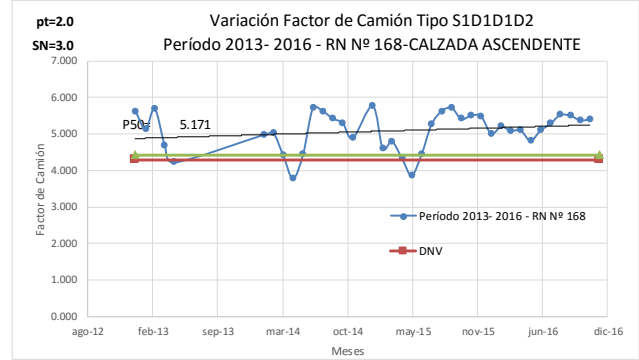
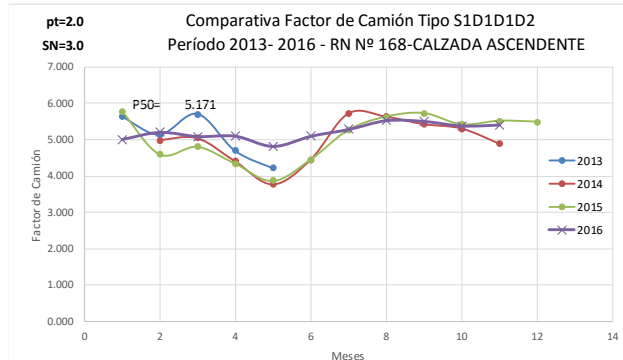
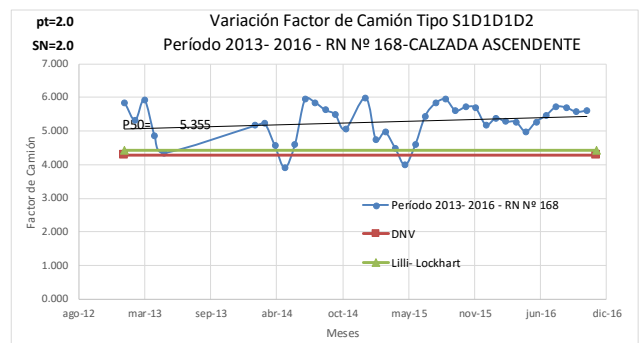
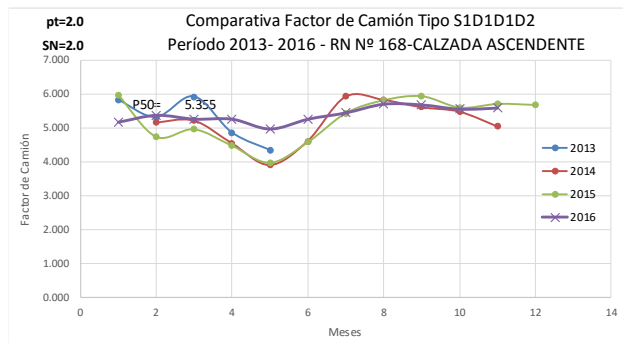
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1D1D2

S1D1D1D2

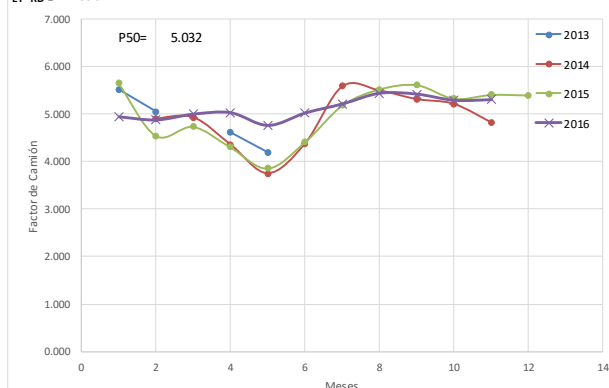
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

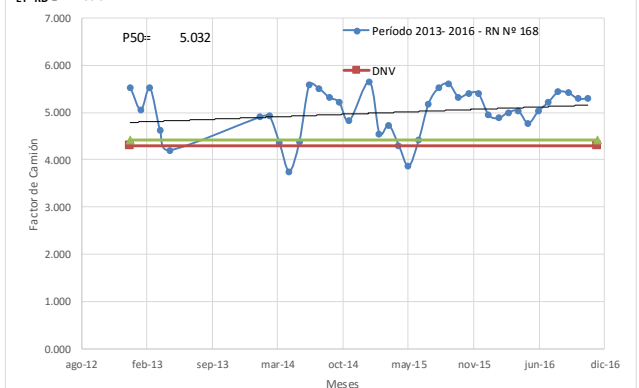
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

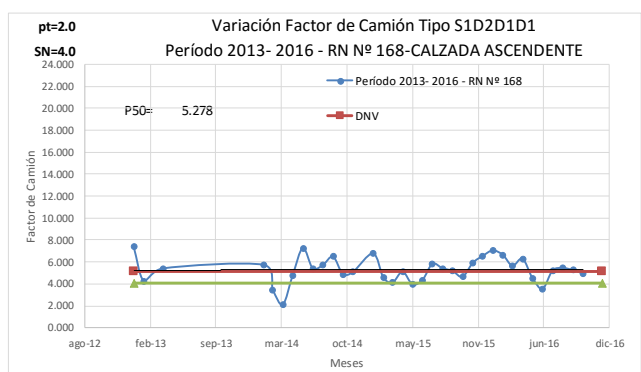
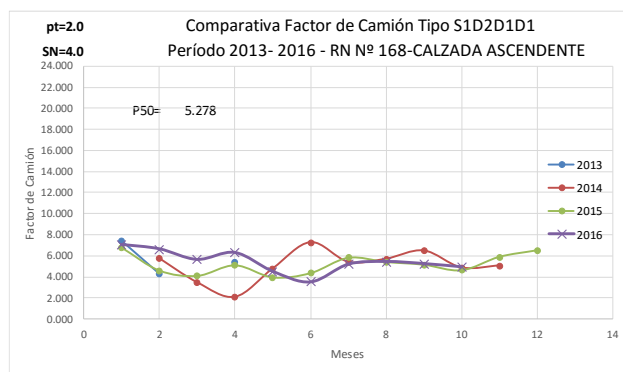
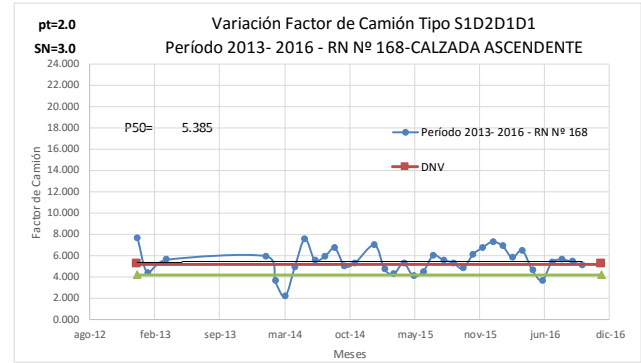
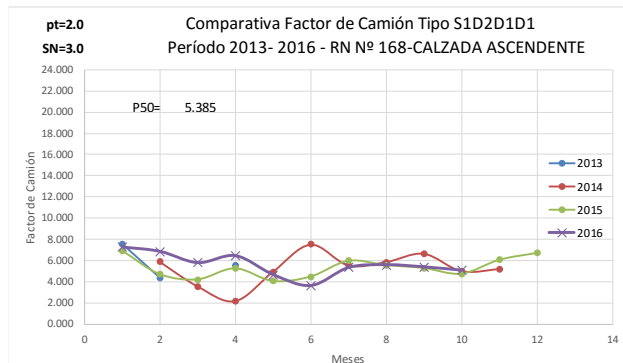
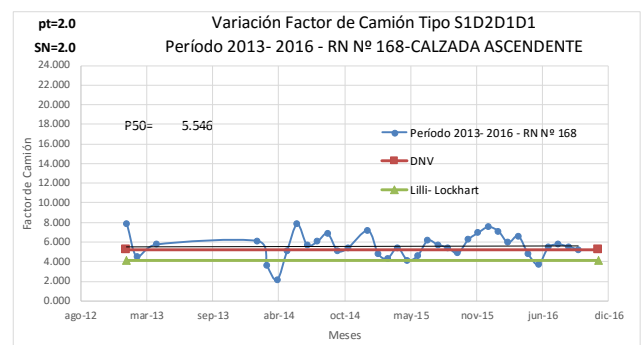
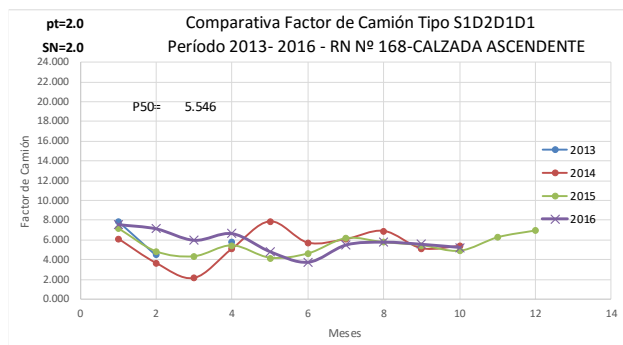
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D2D1D1

S1D2D1D1

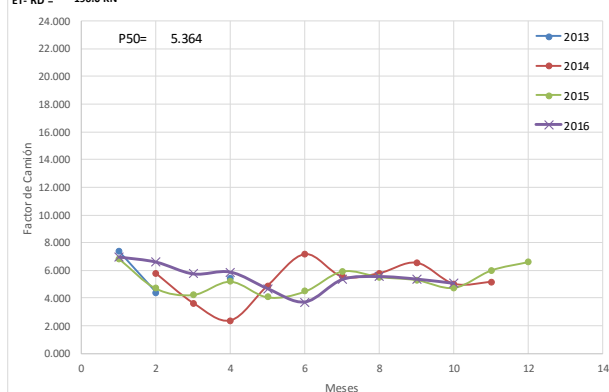
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

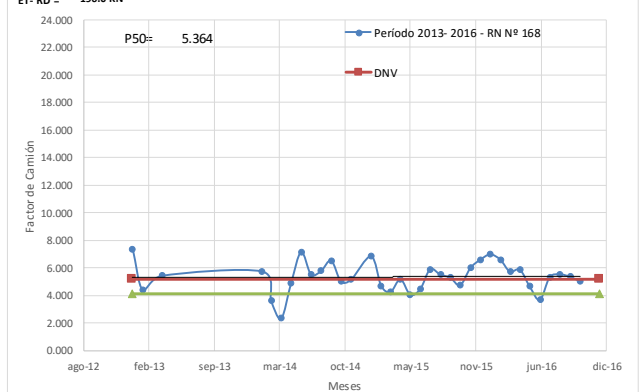
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



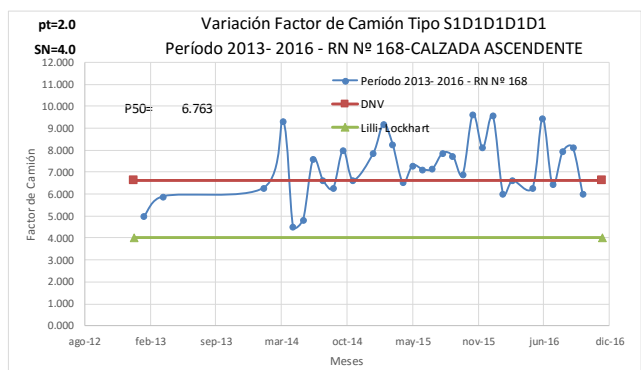
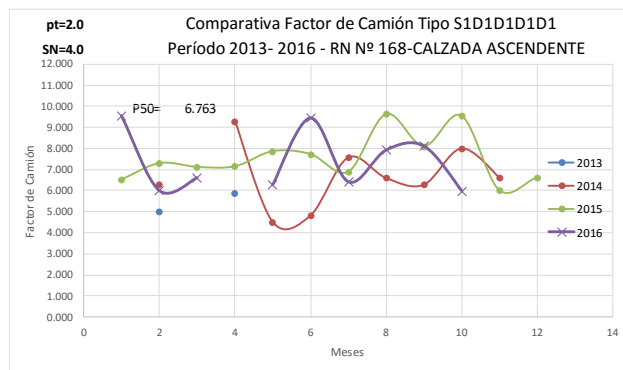
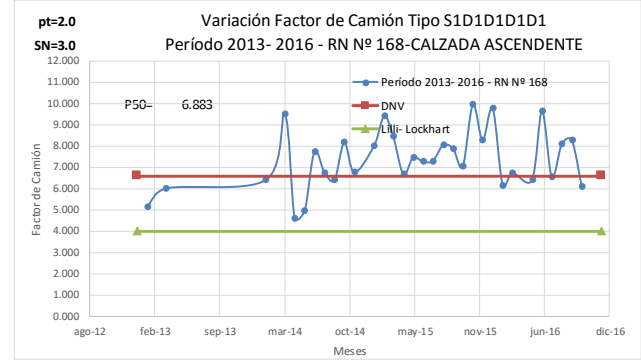
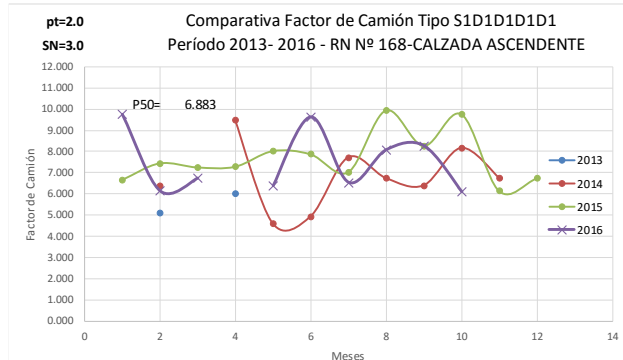
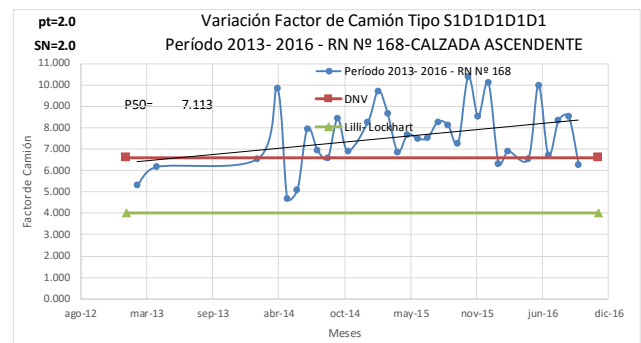
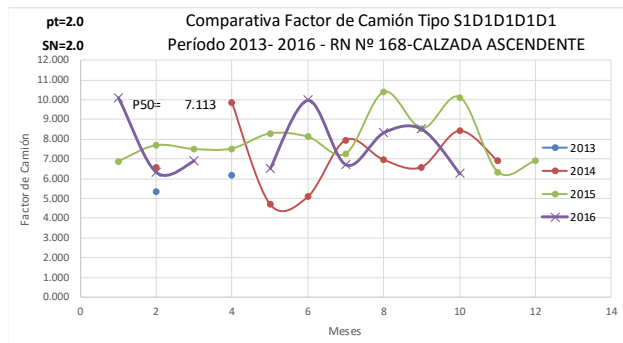
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

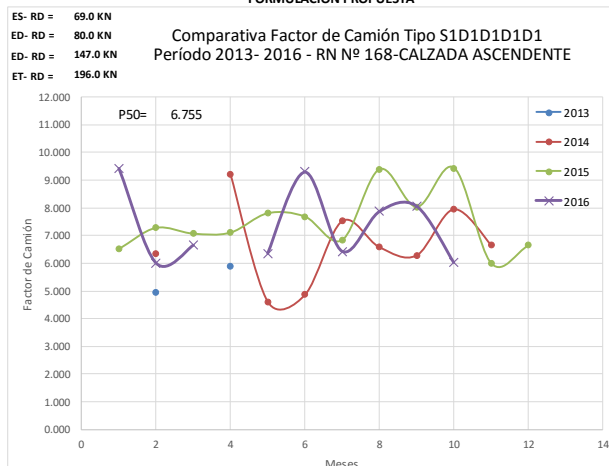
CAMION TIPO: S1D1D1D1D1

CALZADA ASCENDENTE



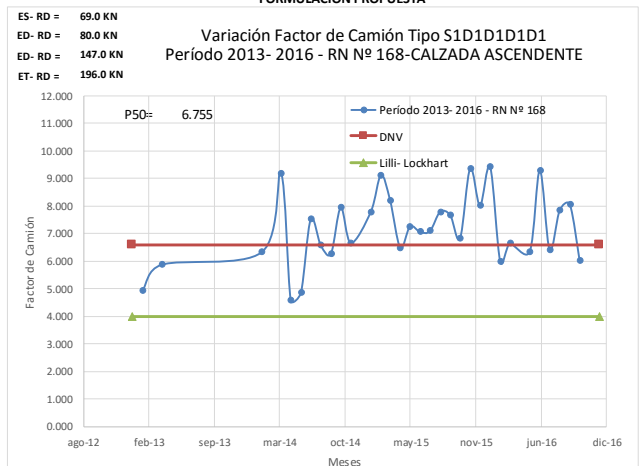
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

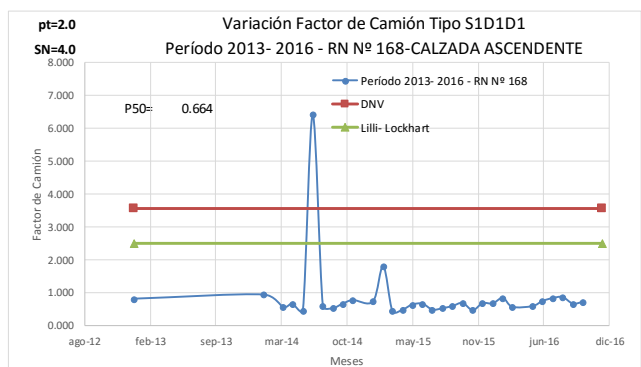
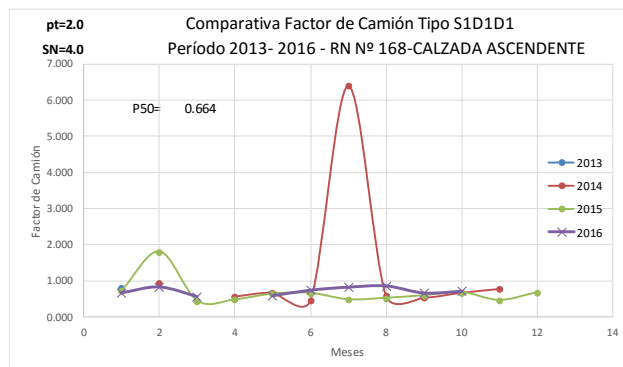
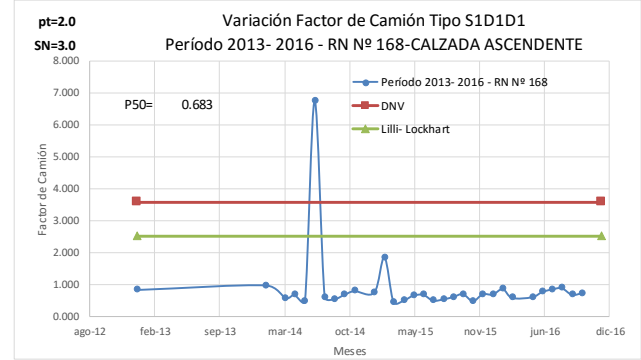
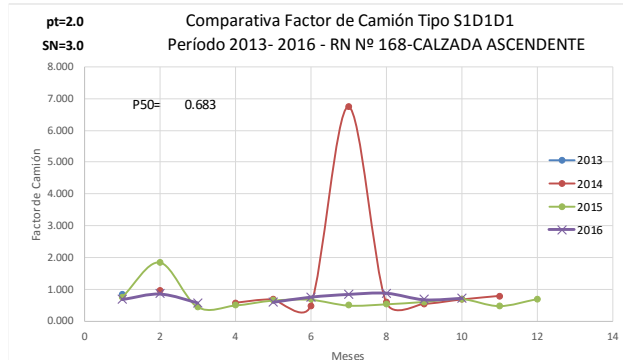
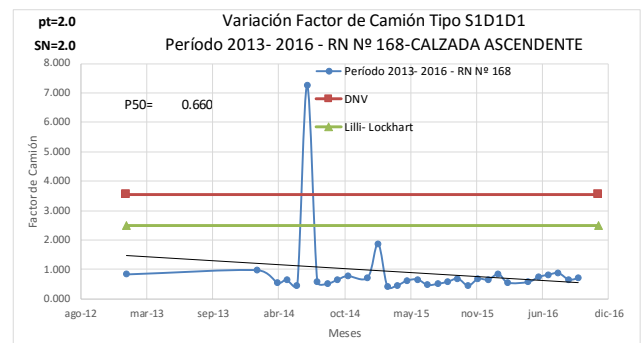
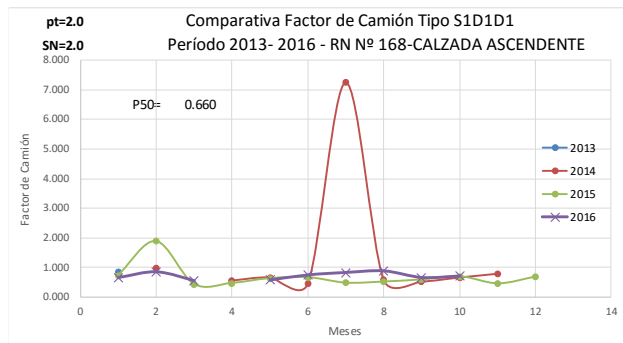
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1D1

S1D1D1

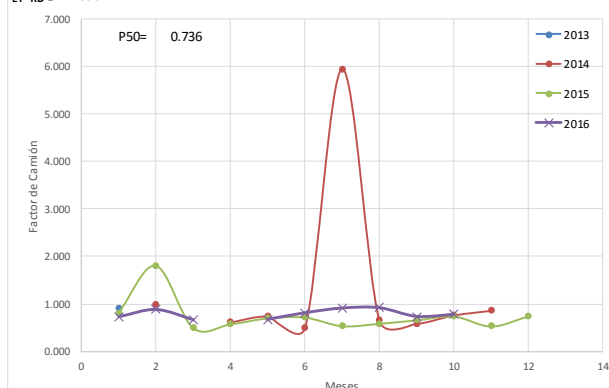
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

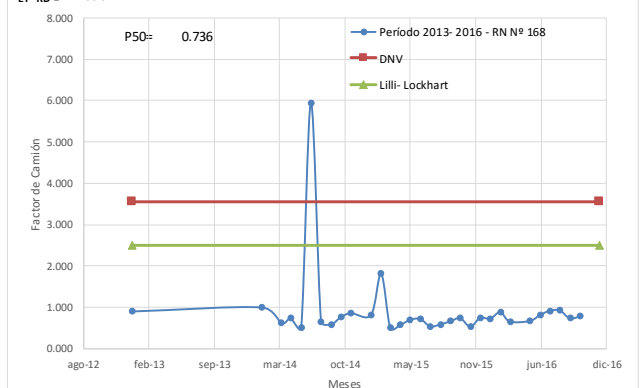
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

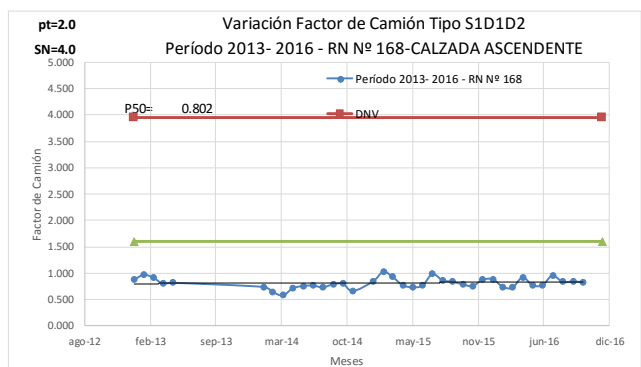
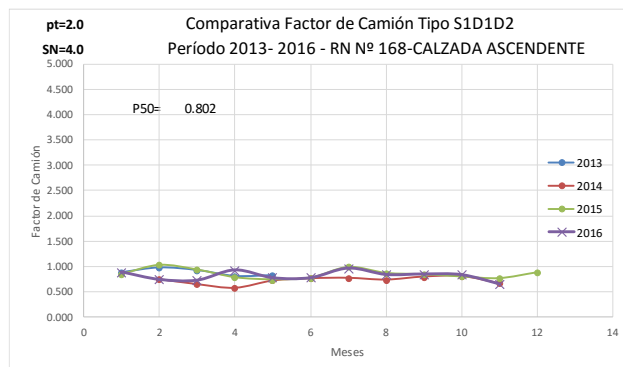
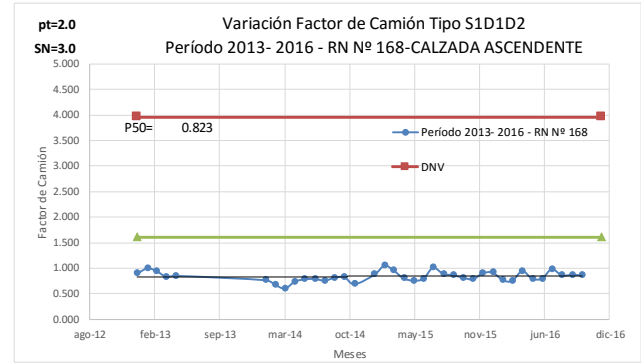
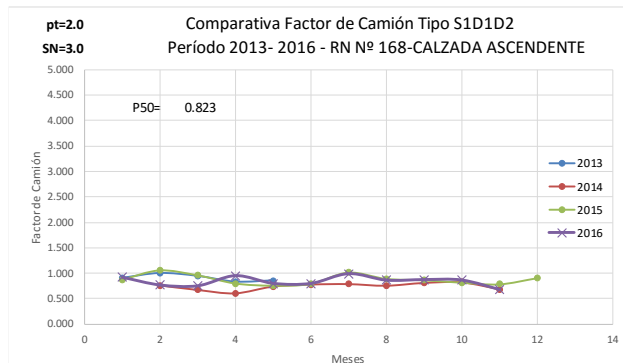
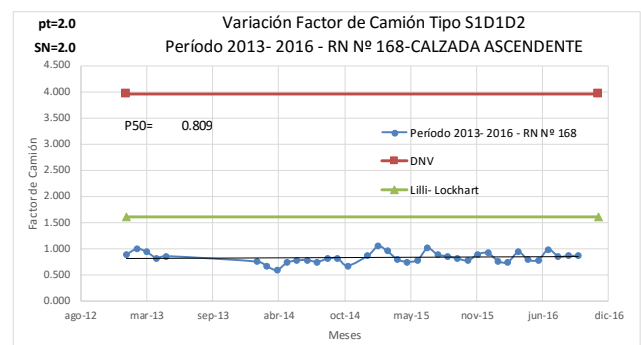
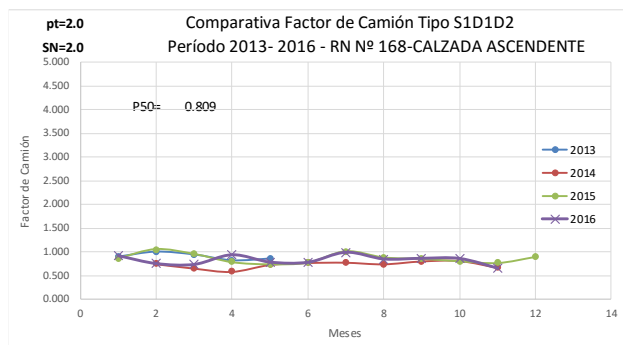
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1D2

S1D1D2

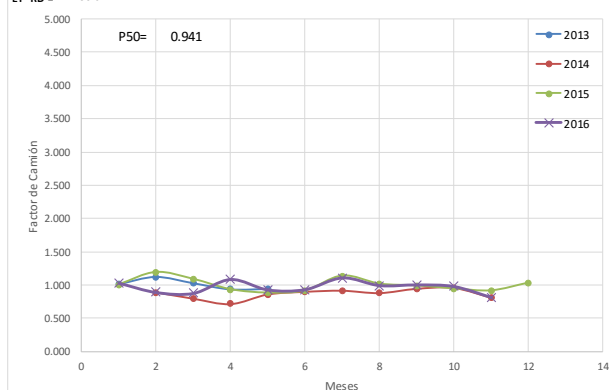
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

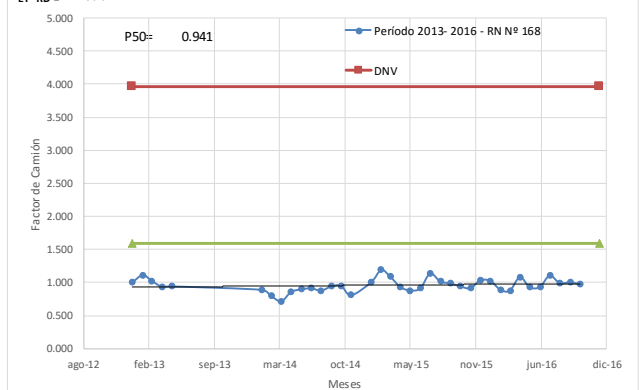
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

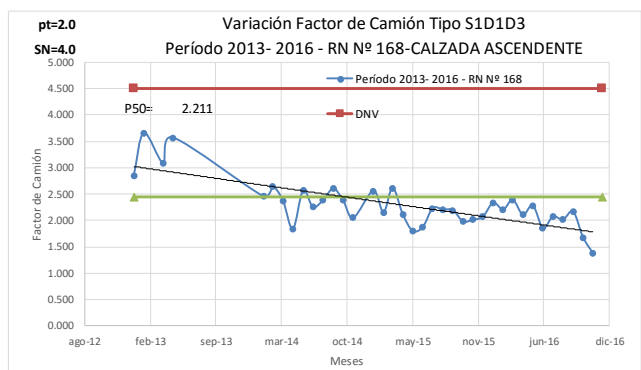
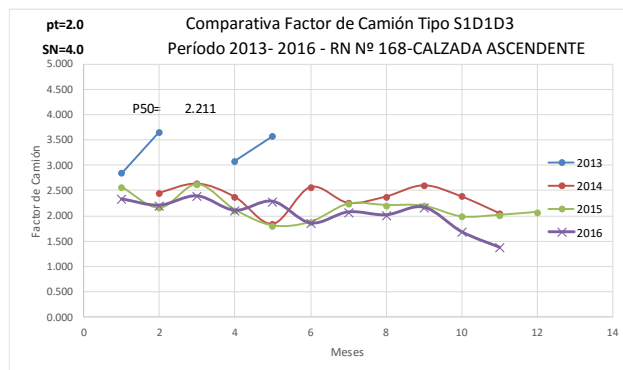
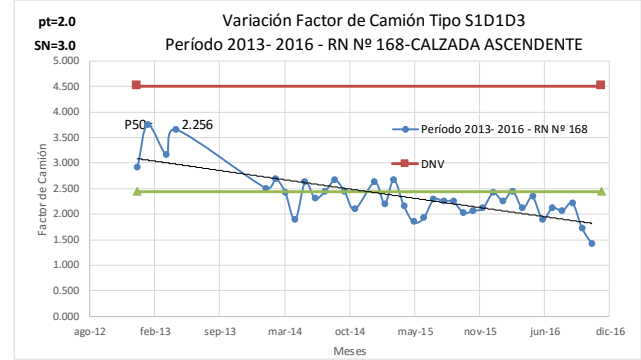
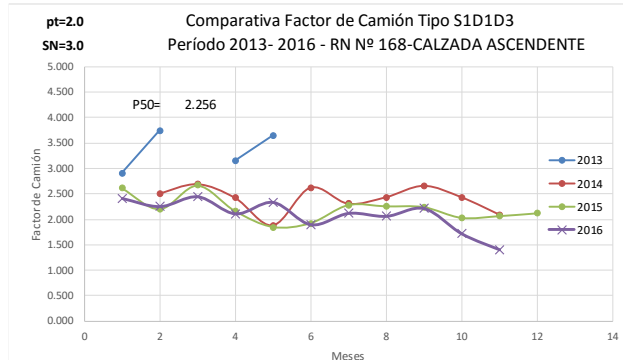
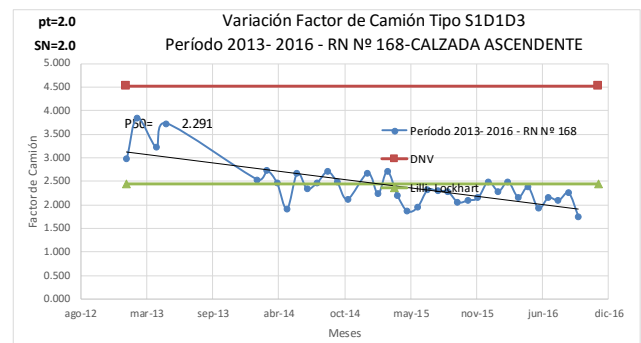
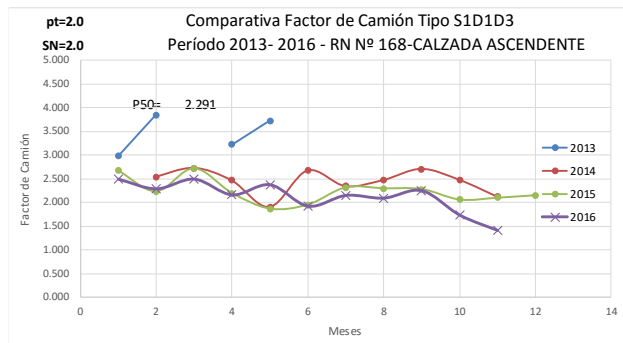
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1D3

S1D1D3

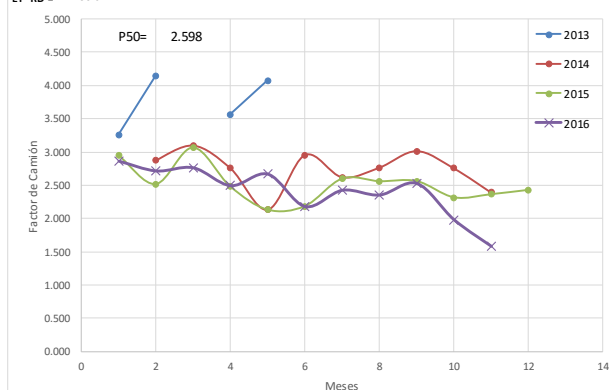
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

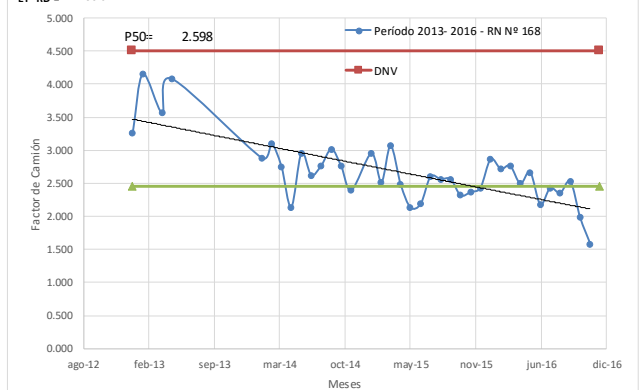
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

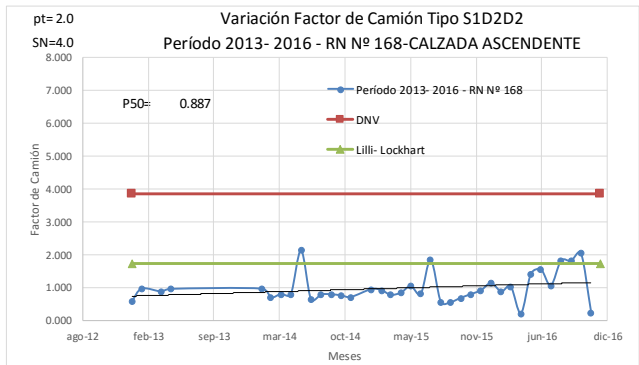
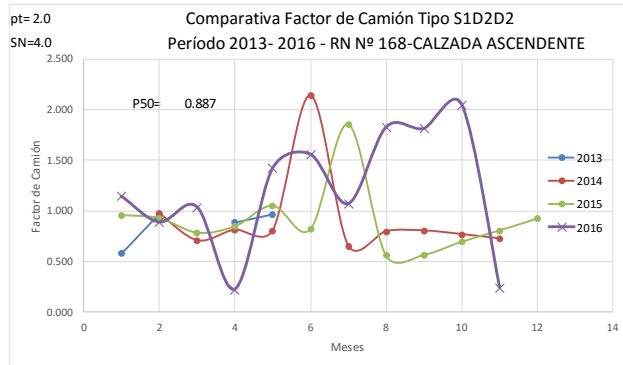
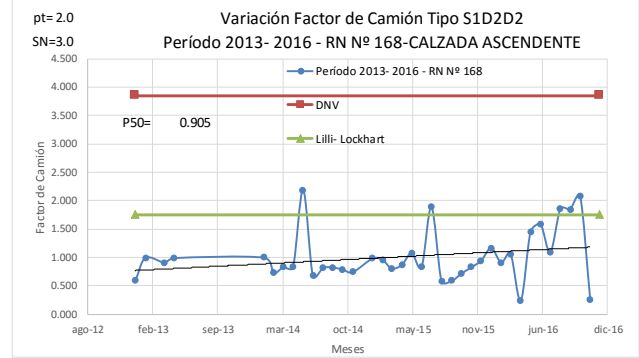
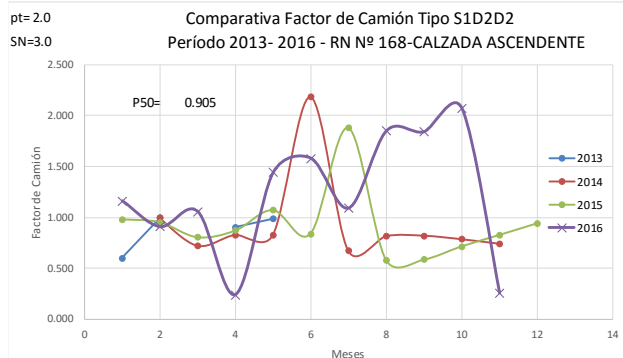
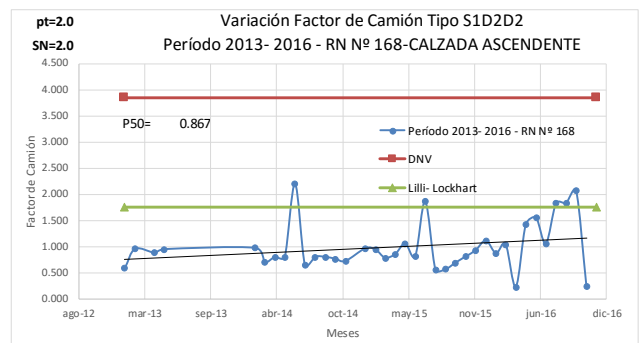
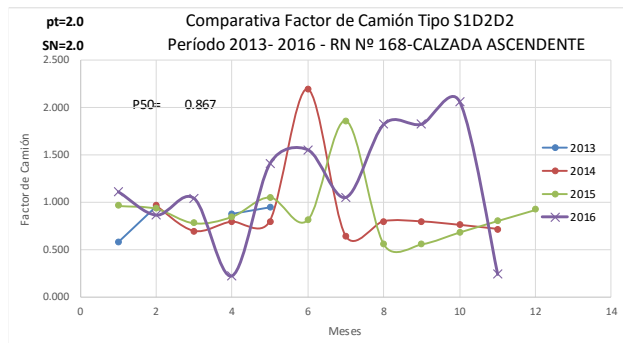
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D2D2

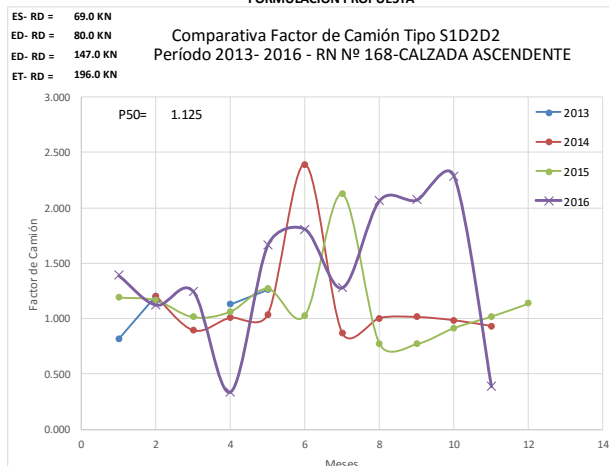
S1D2D2

CALZADA ASCENDENTE



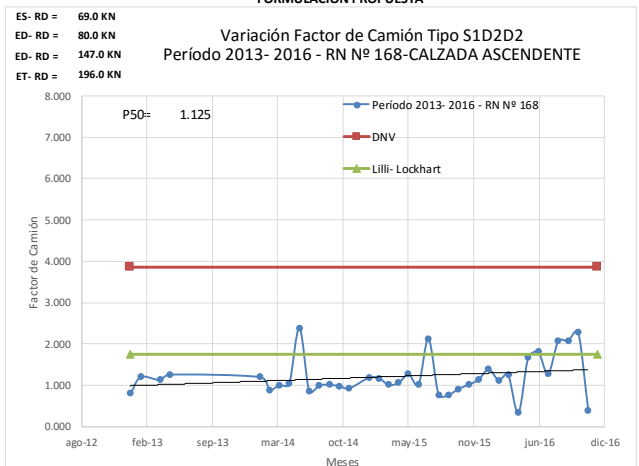
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



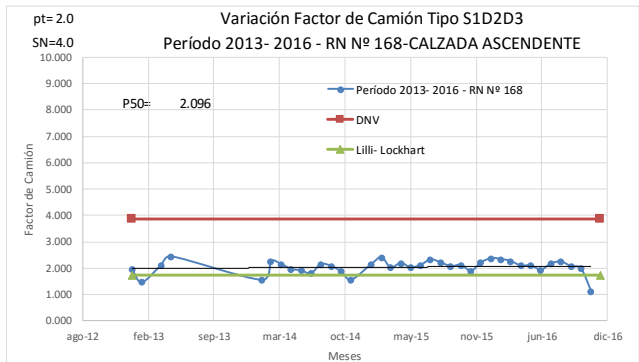
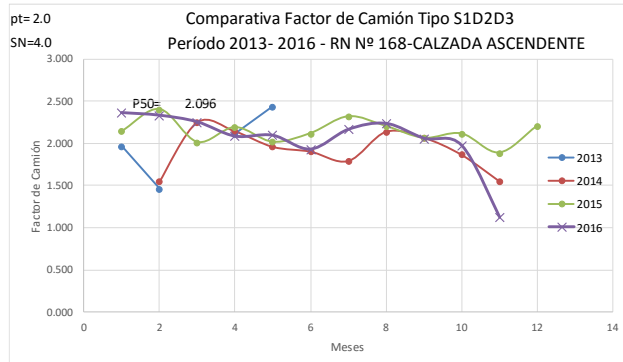
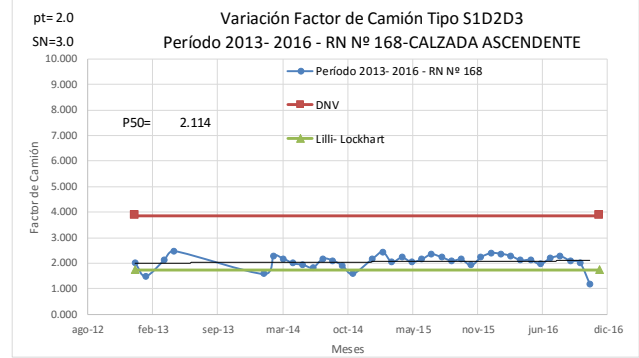
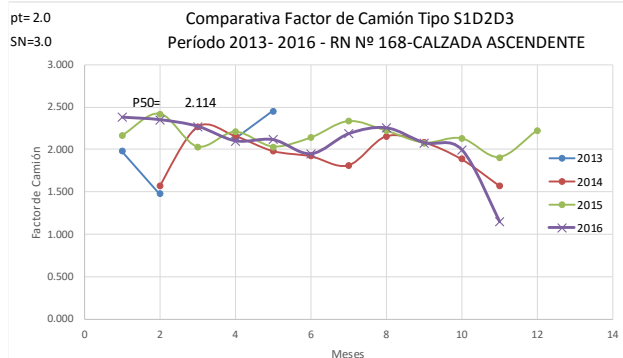
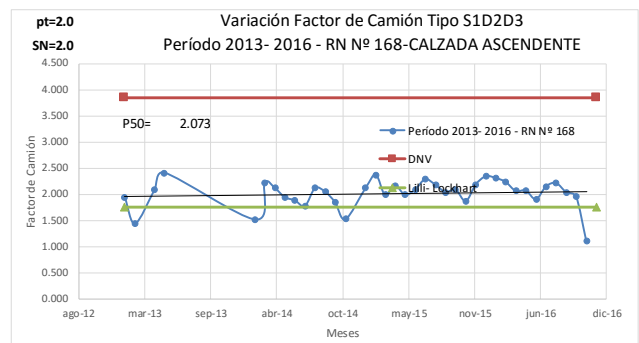
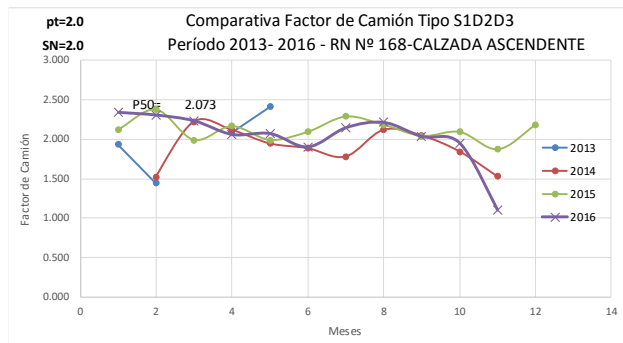
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

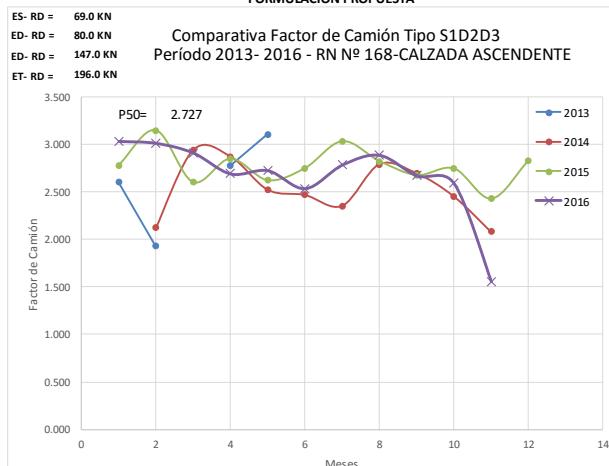
CAMION TIPO: S1D2D3

CALZADA ASCENDENTE



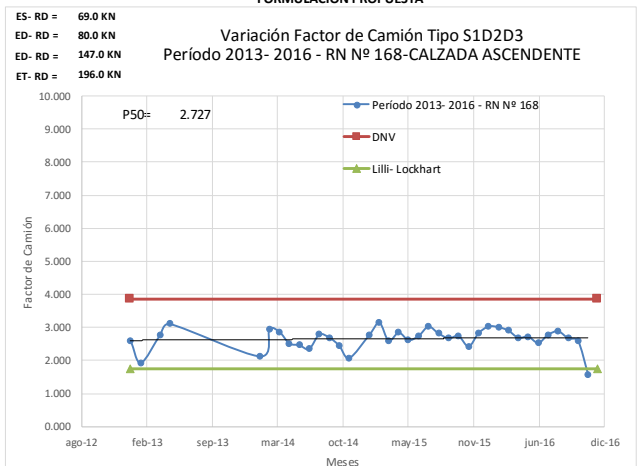
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

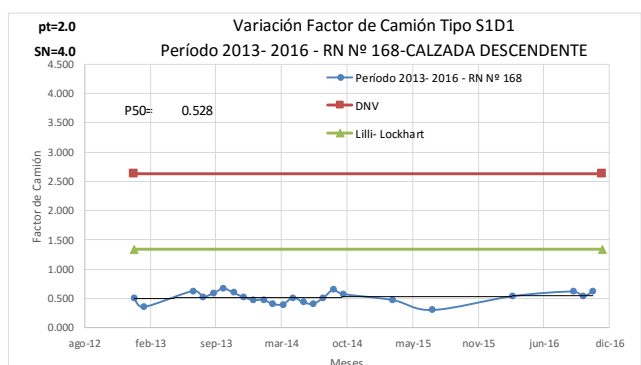
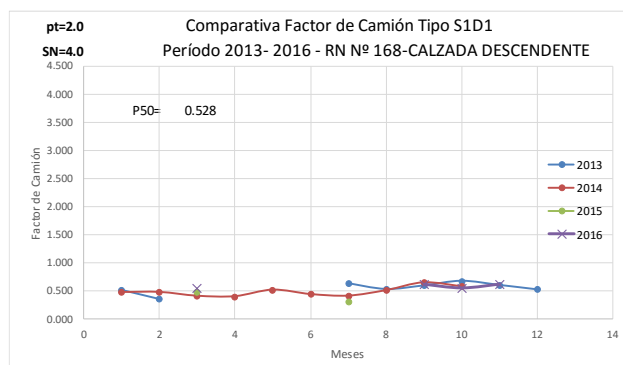
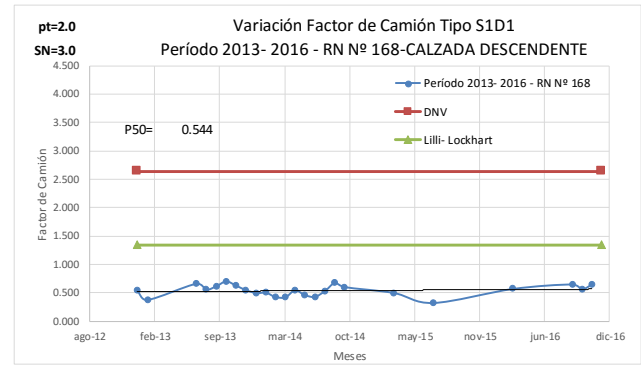
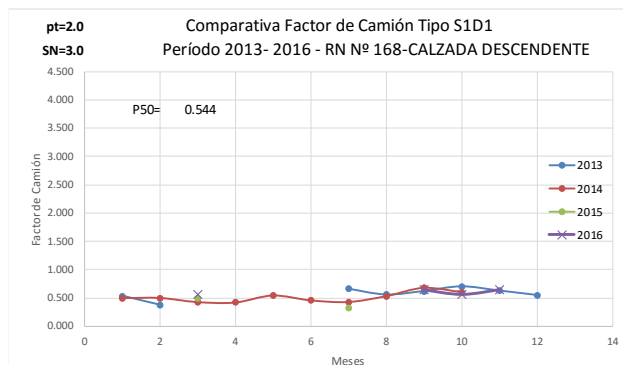
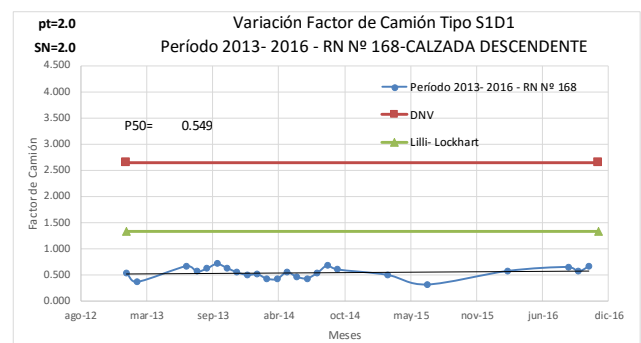
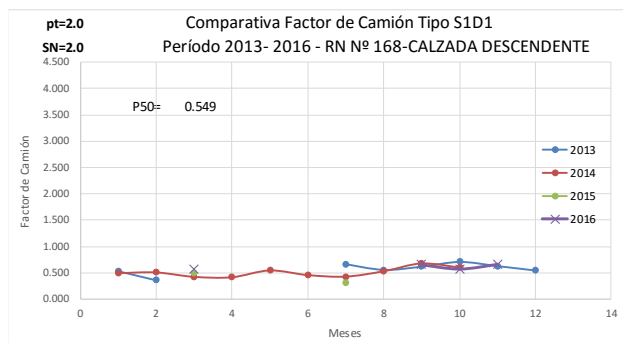
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1

S1D1

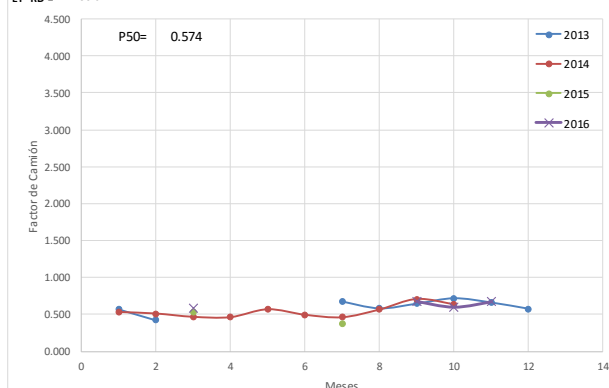
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

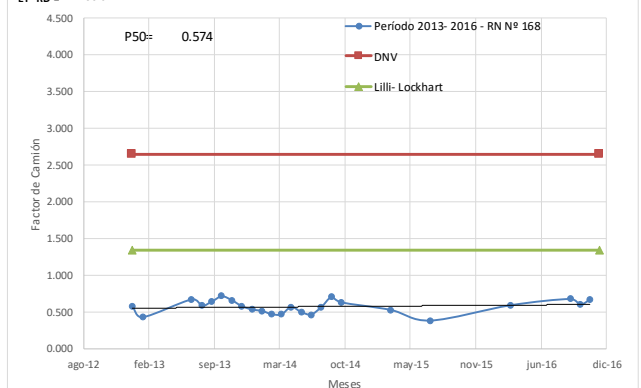
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

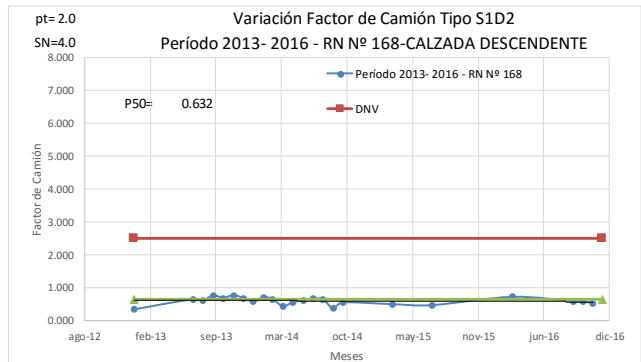
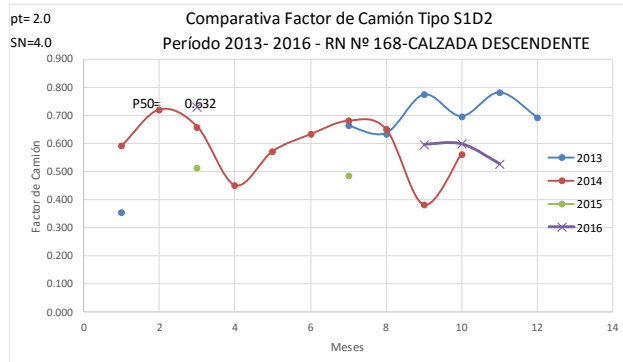
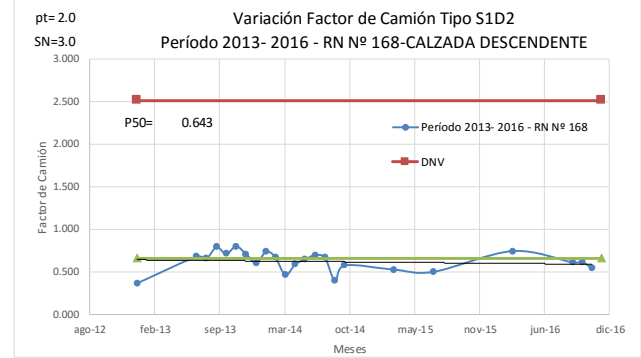
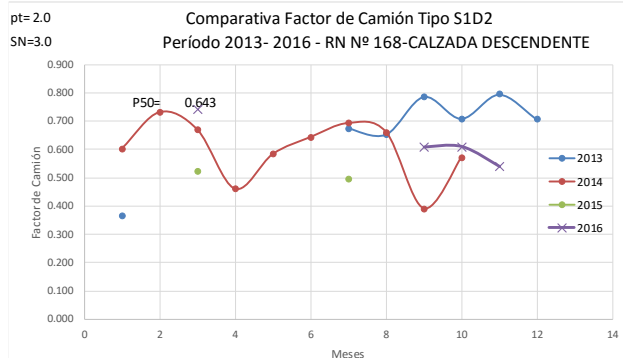
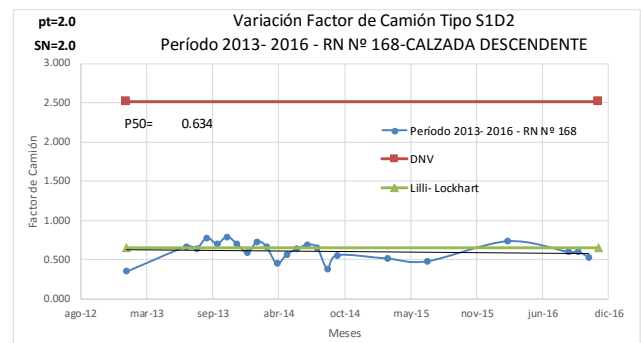
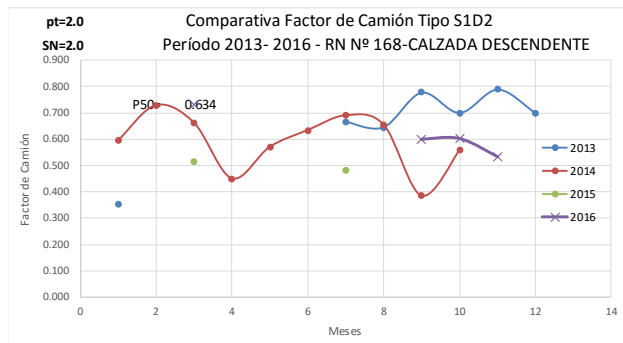
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D2

S1D2

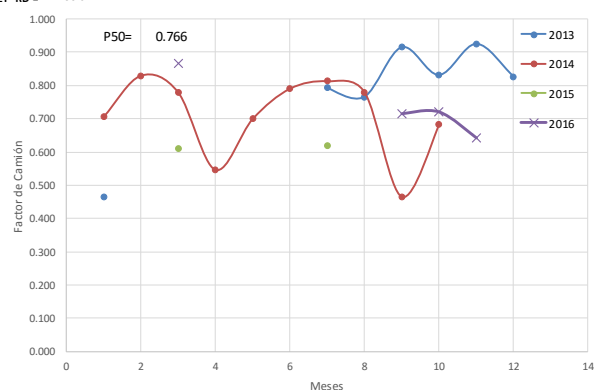
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

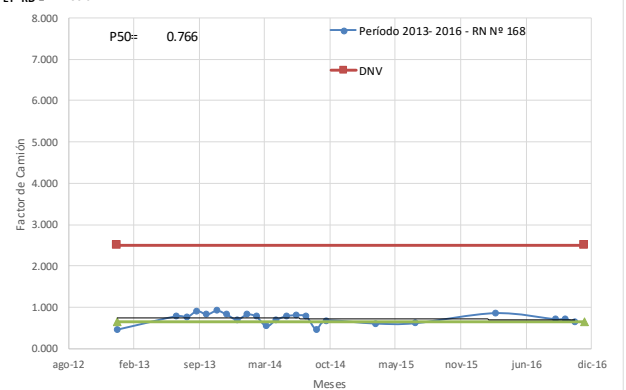
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

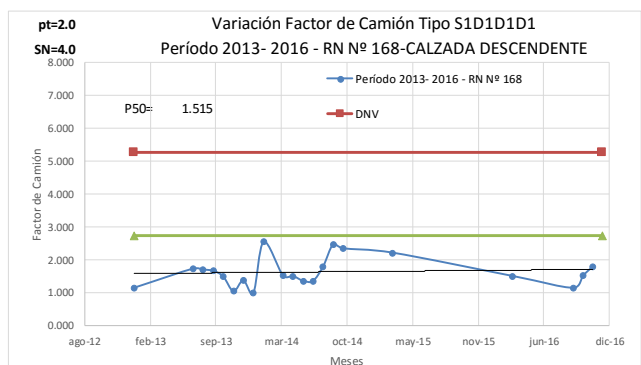
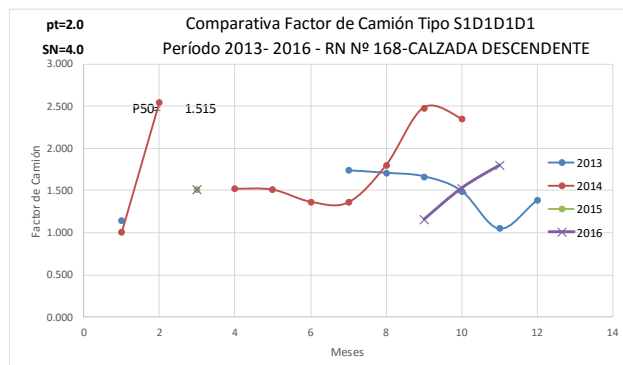
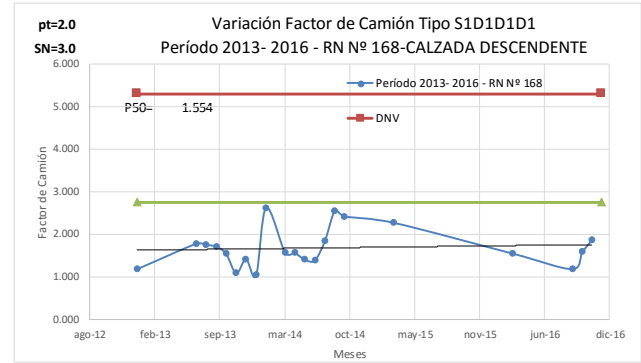
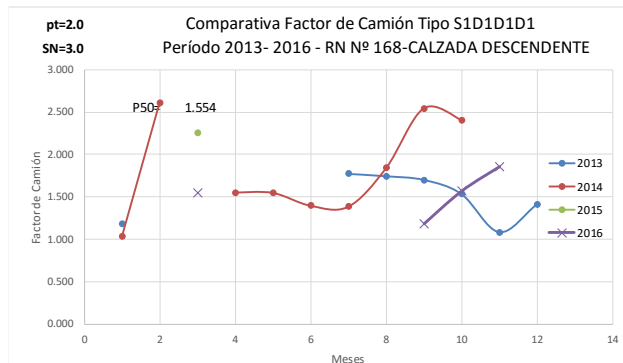
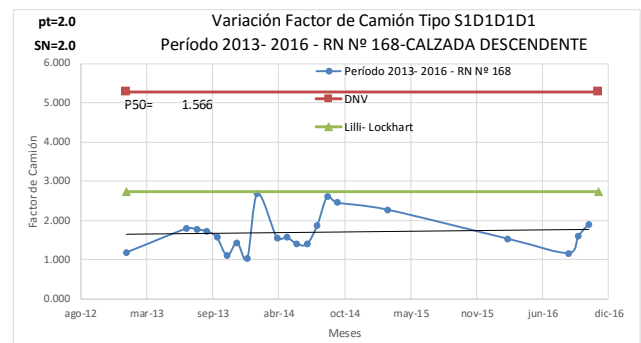
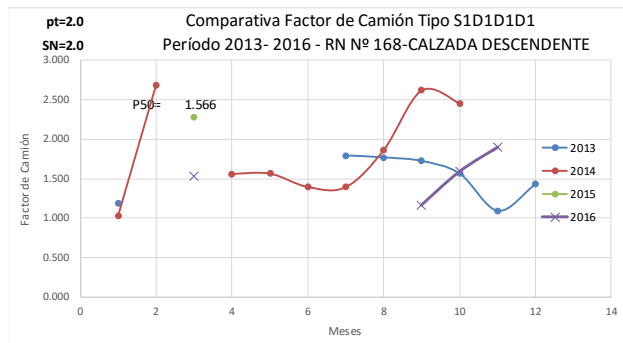
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1D1D1

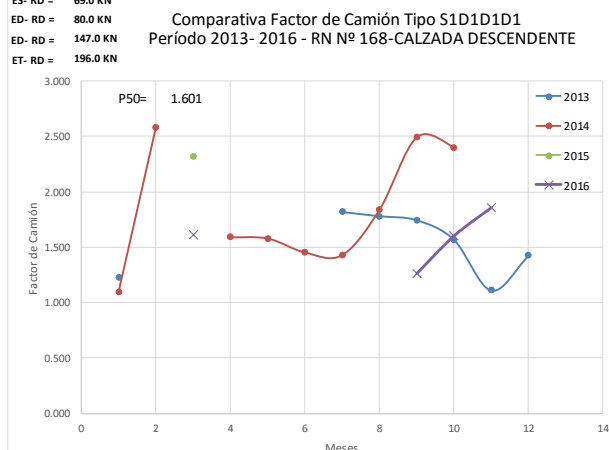
S1D1D1D1

CALZADA DESCENDENTE



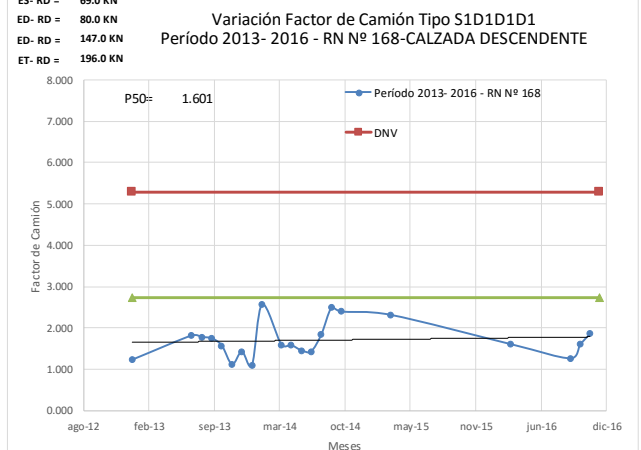
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
 ED- RD = 80.0 KN
 ED- RD = 147.0 KN
 ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
 ED- RD = 80.0 KN
 ED- RD = 147.0 KN
 ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

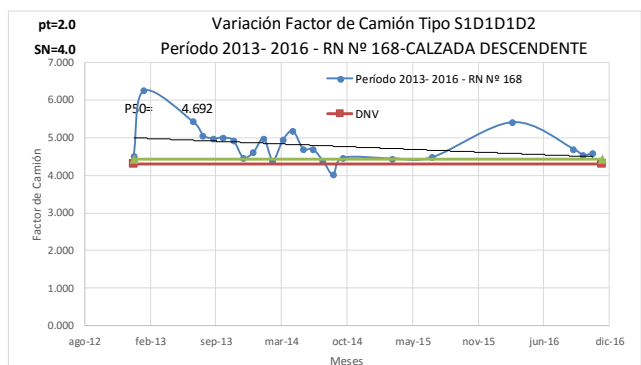
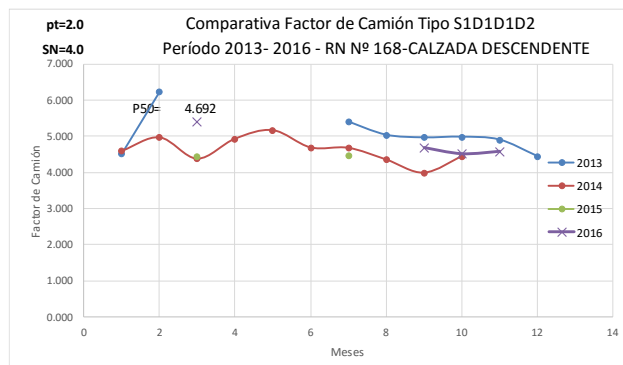
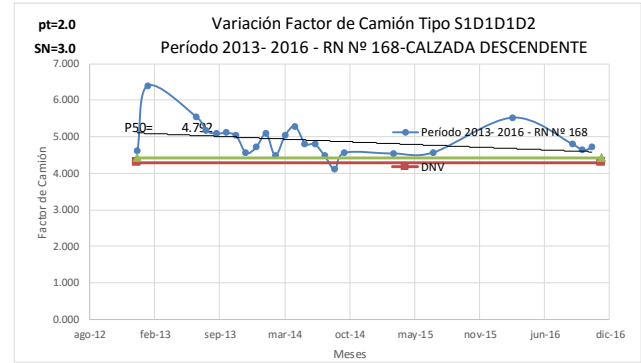
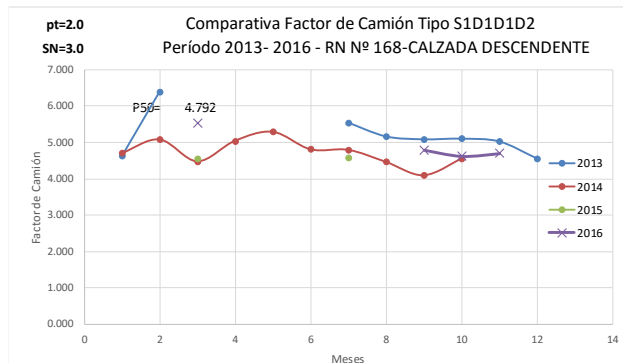
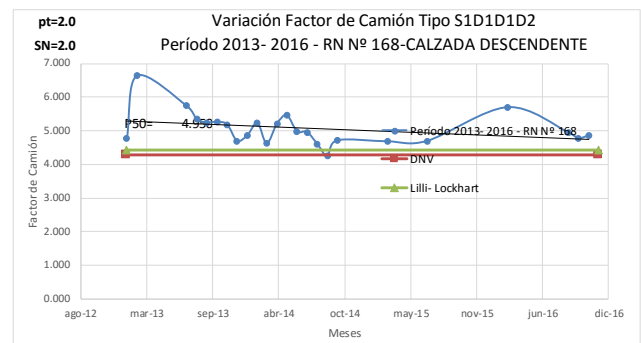
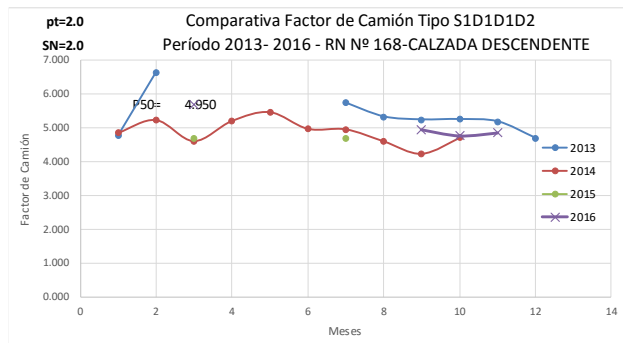
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1D1D2

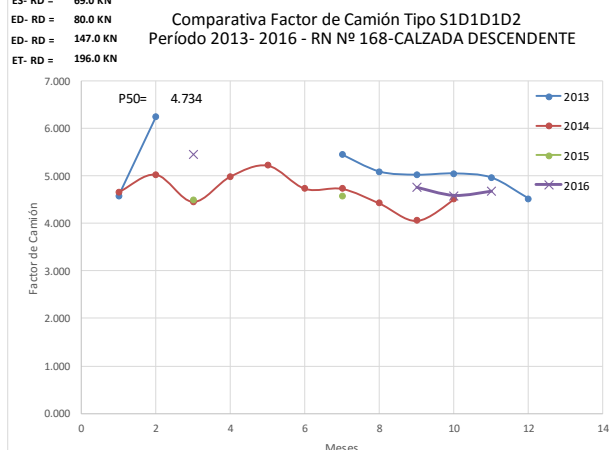
S1D1D1D2

CALZADA DESCENDENTE



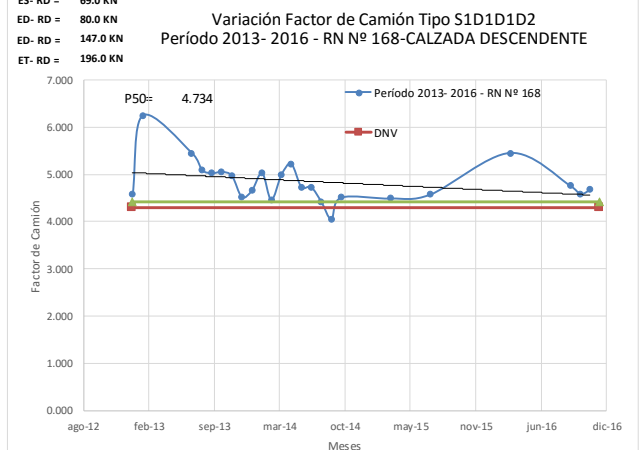
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

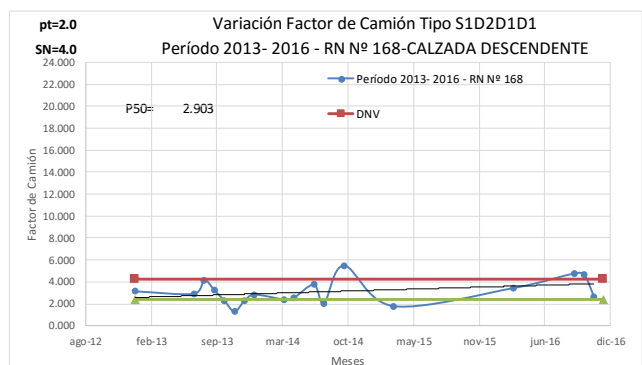
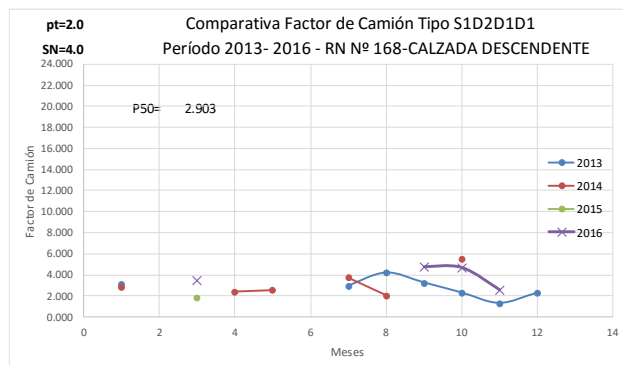
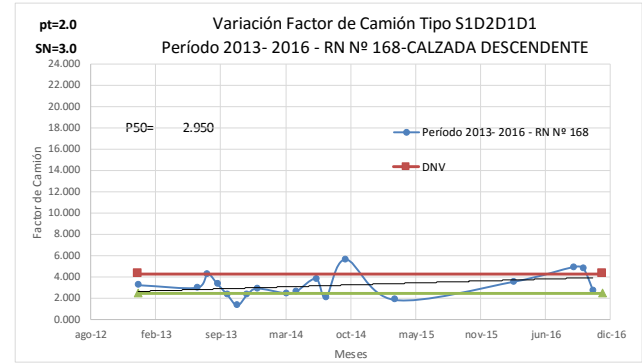
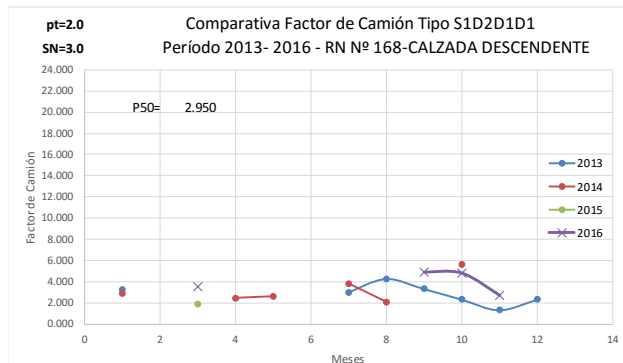
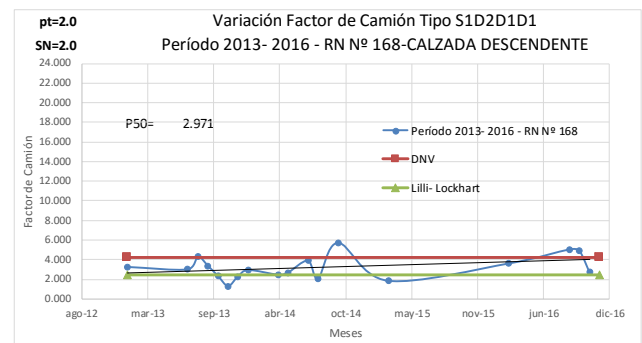
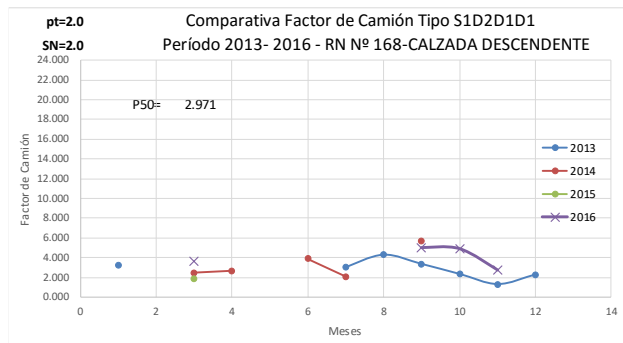
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D2D1D1

S1D2D1D1

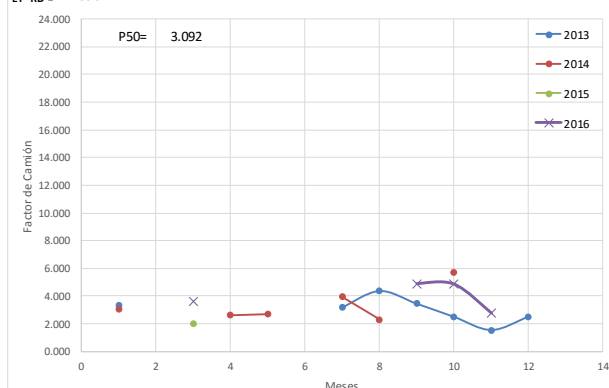
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

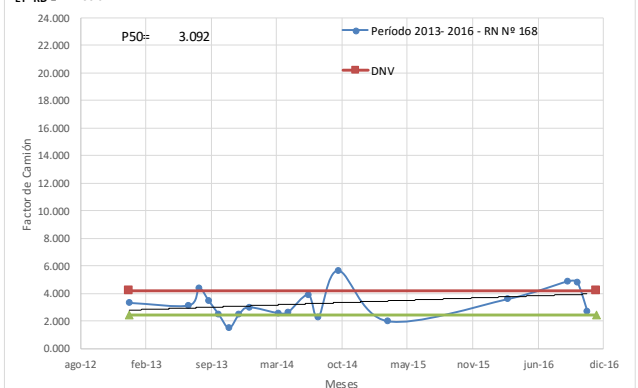
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



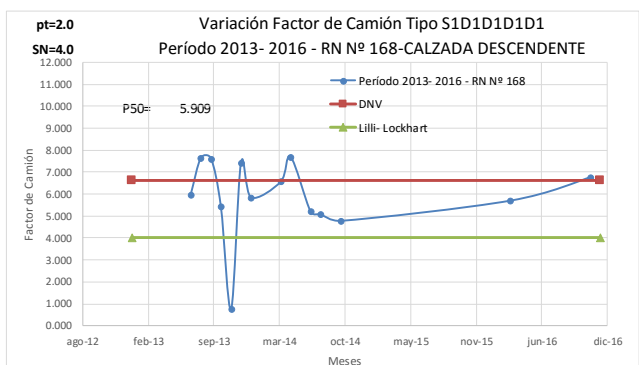
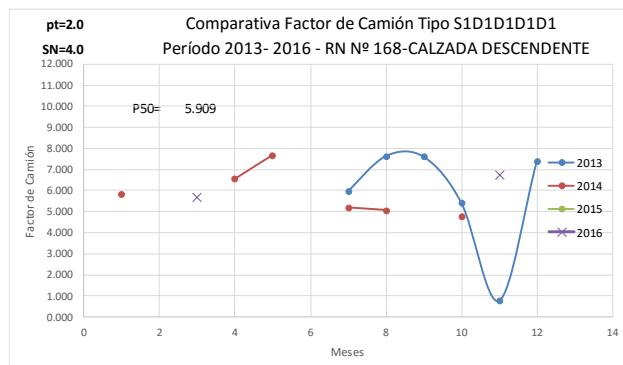
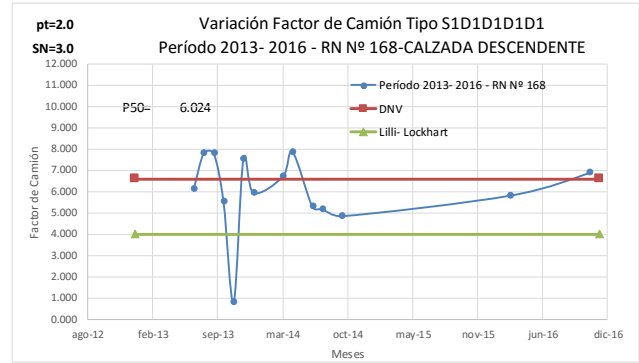
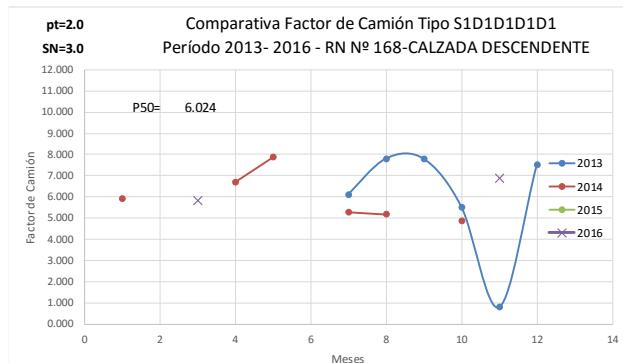
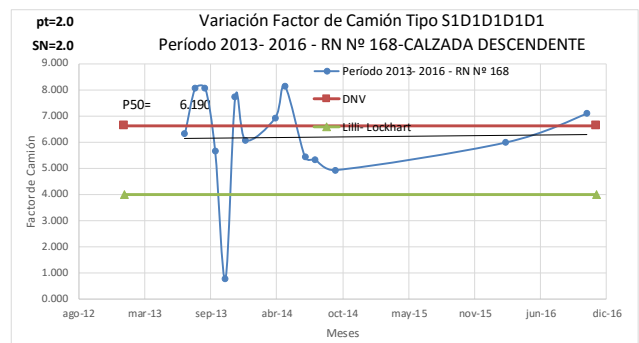
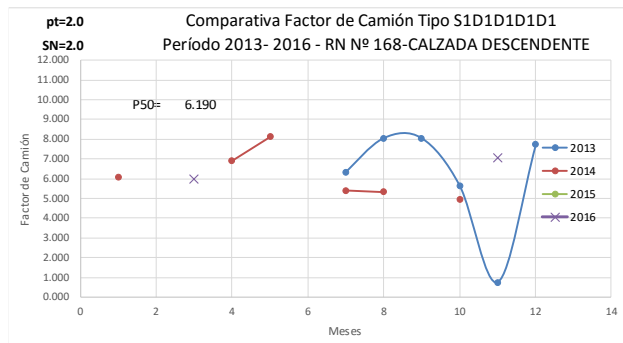
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

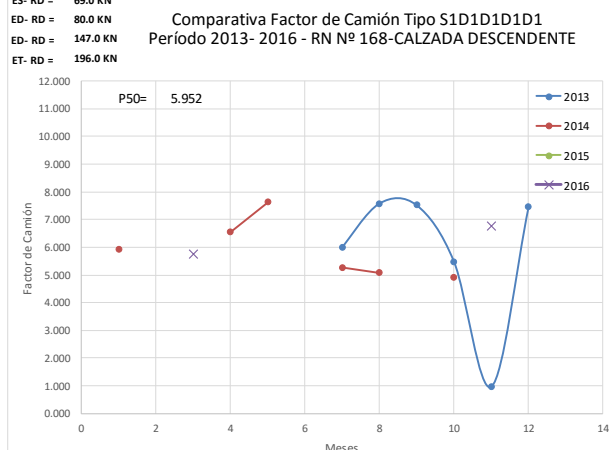
CAMION TIPO: S1D1D1D1D1

CALZADA DESCENDENTE



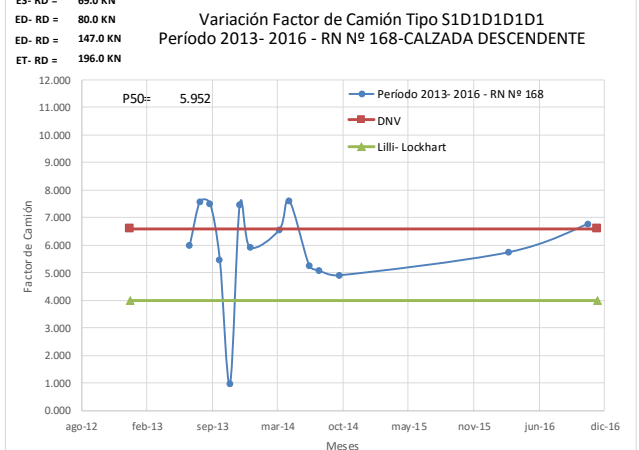
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



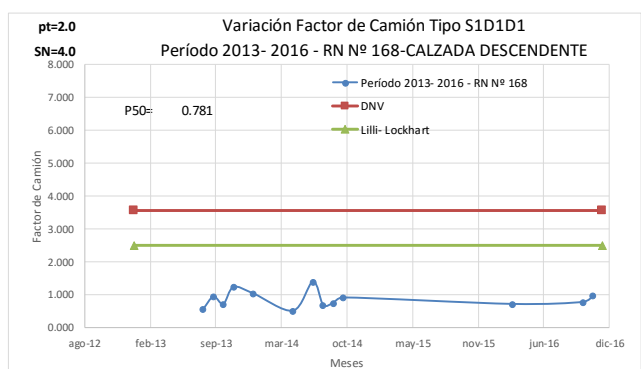
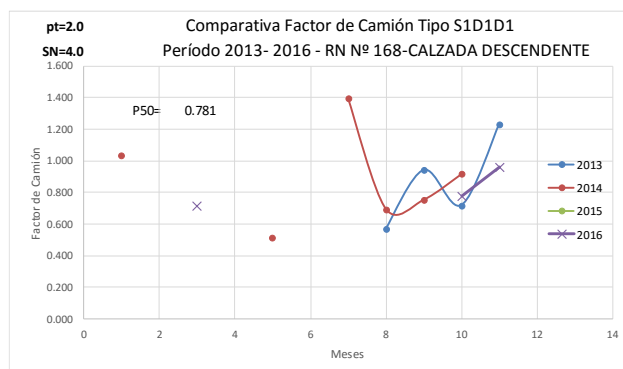
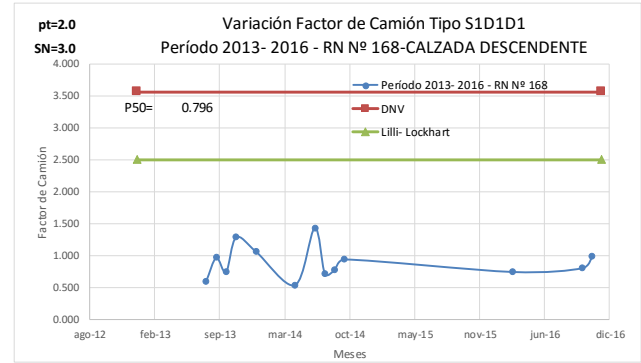
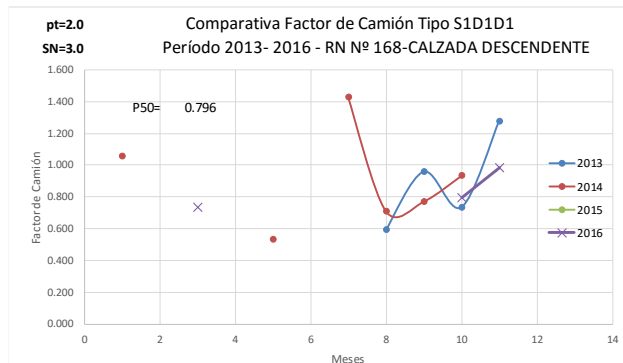
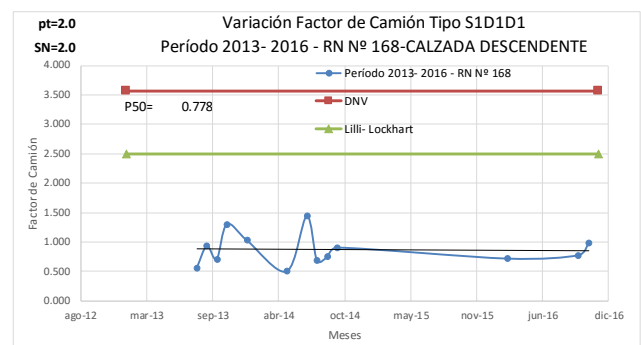
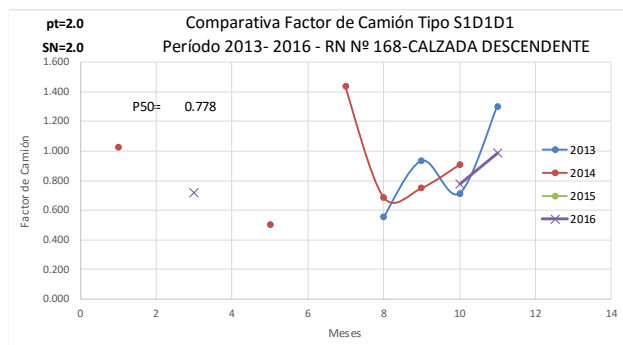
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

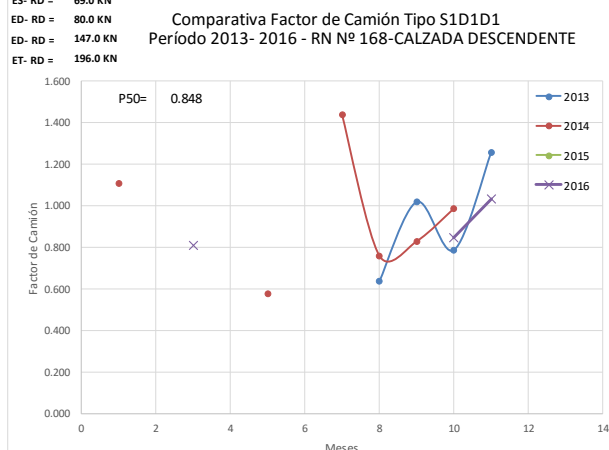
CAMION TIPO: S1D1D1

CALZADA DESCENDENTE



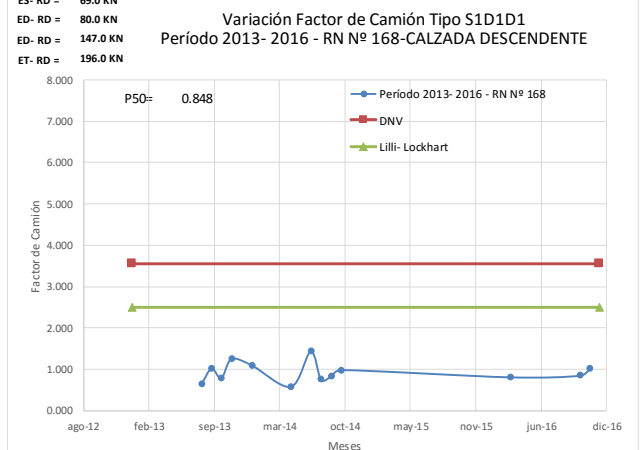
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

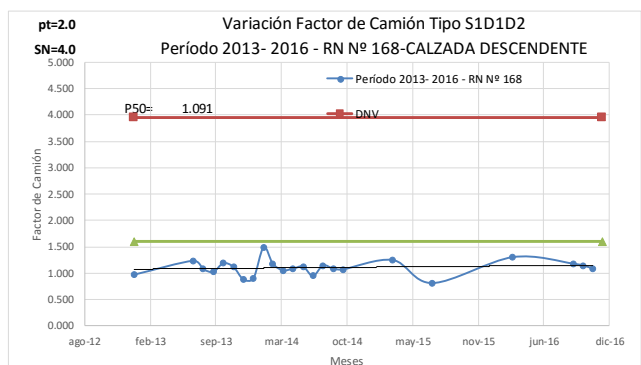
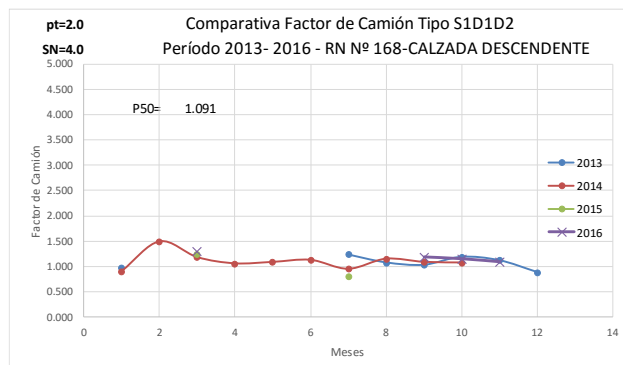
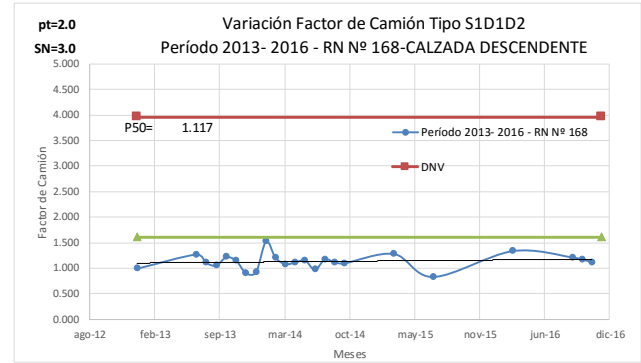
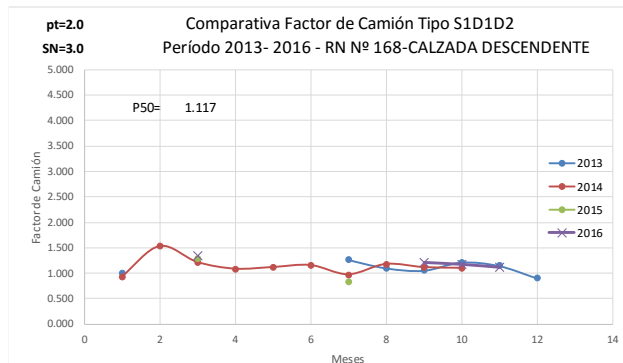
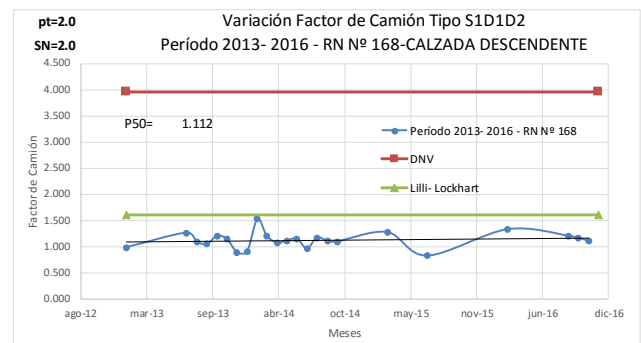
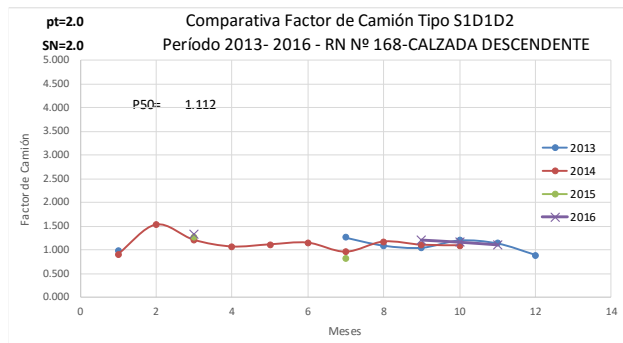
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D1D2

S1D1D2

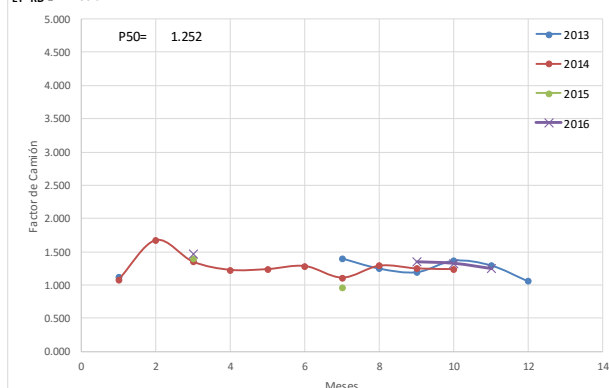
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

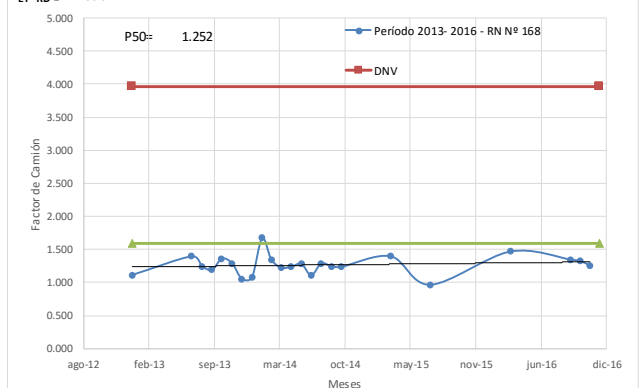
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



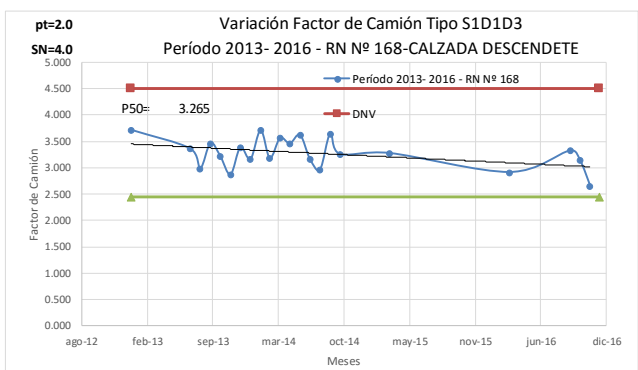
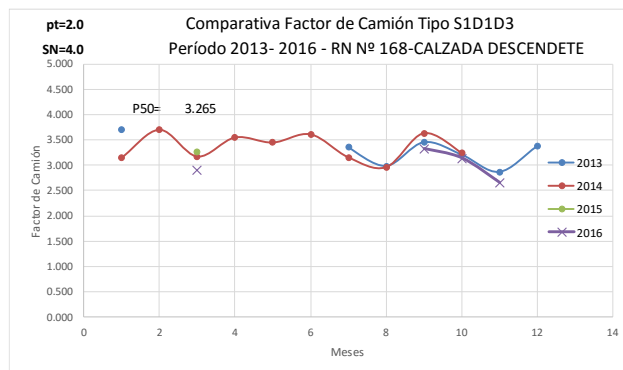
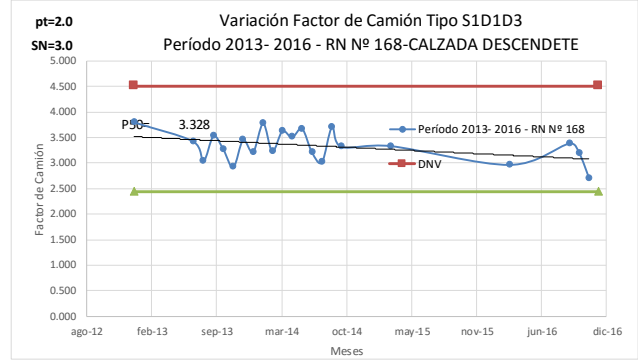
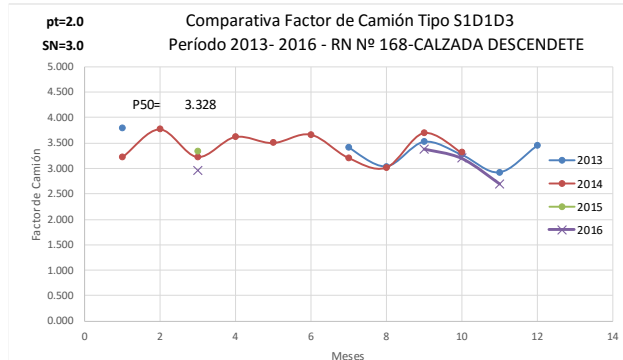
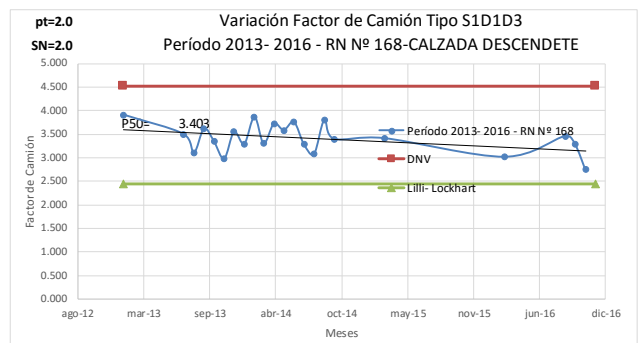
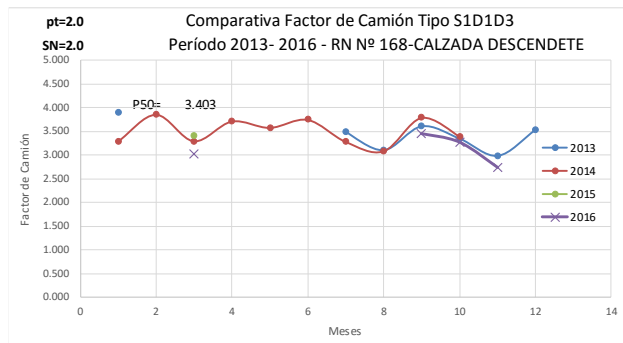
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

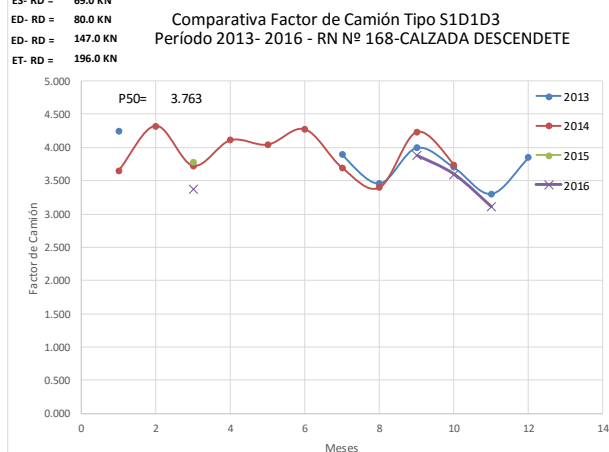
CAMION TIPO: S1D1D3

CALZADA DESCENDETE



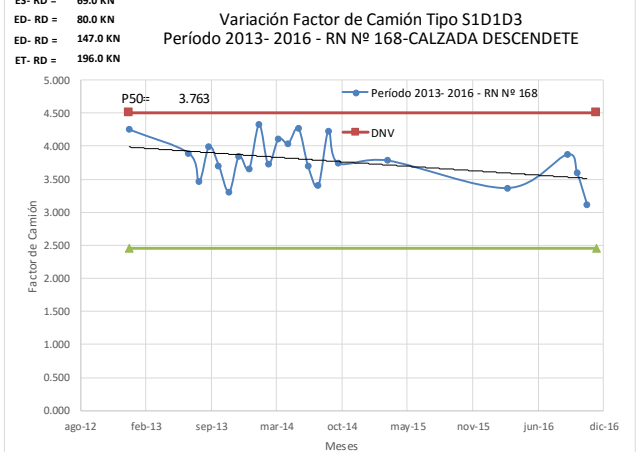
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



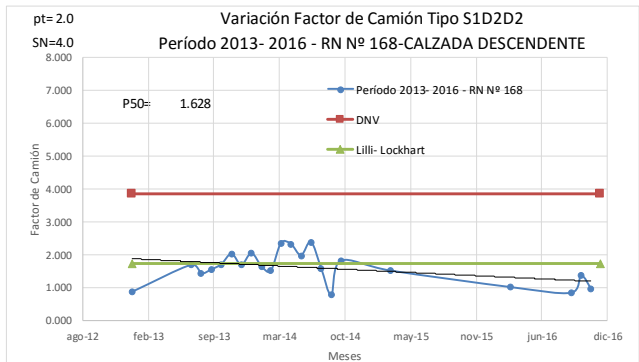
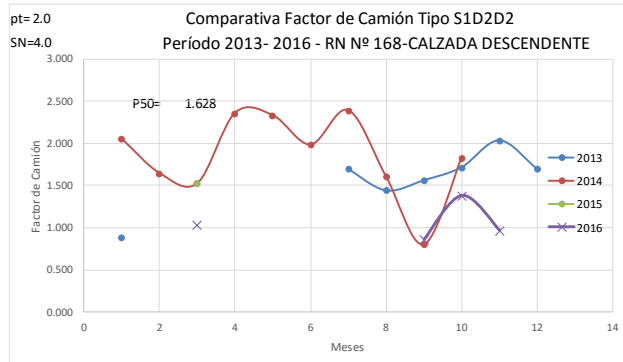
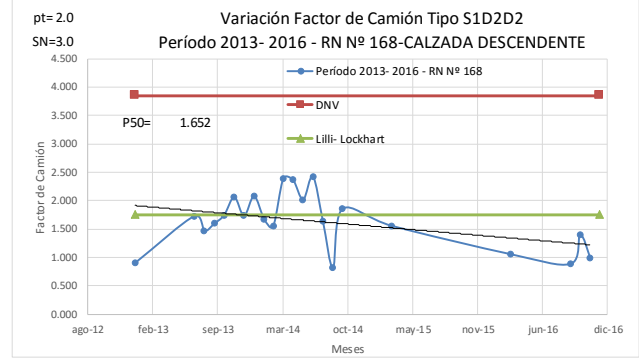
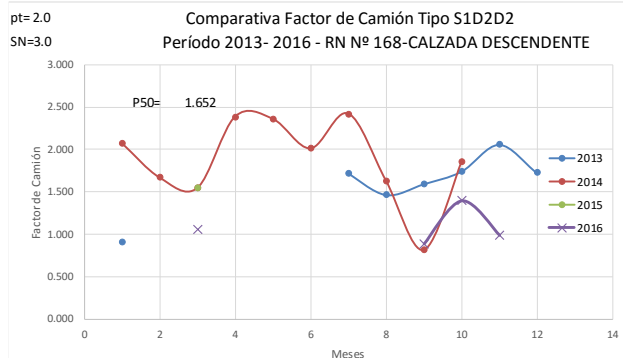
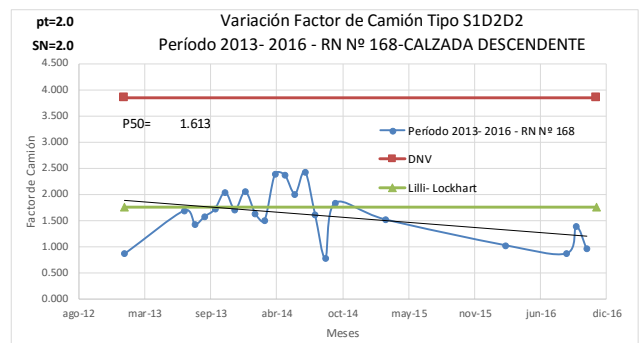
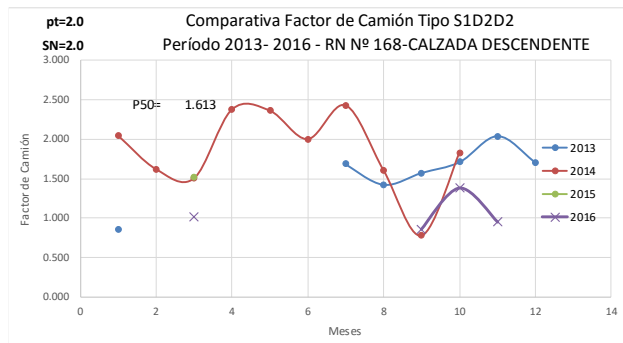
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

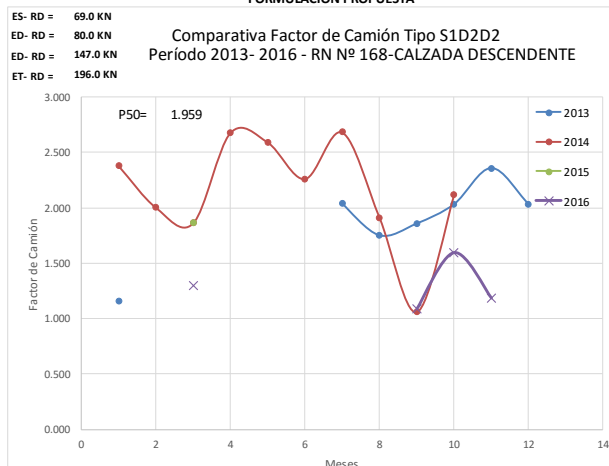
CAMION TIPO: S1D2D2

CALZADA DESCENDENTE



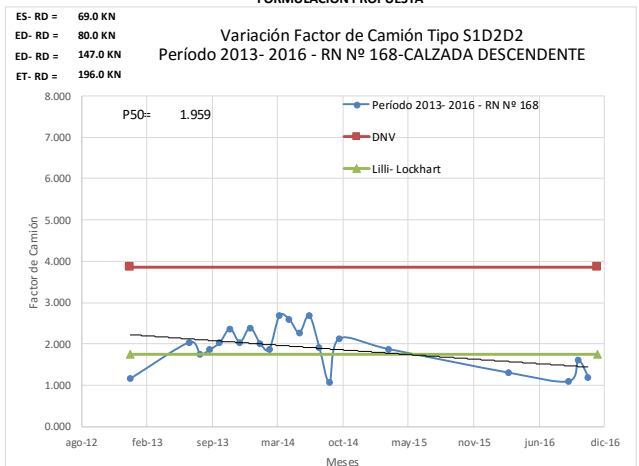
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

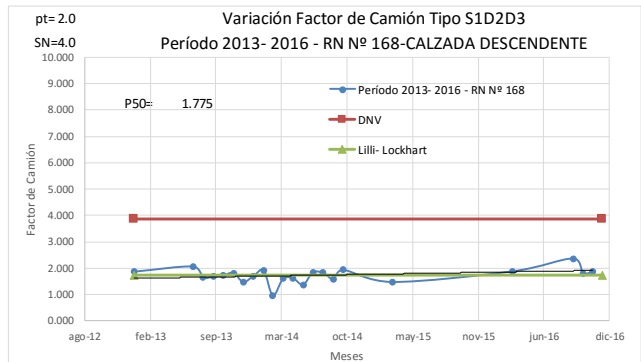
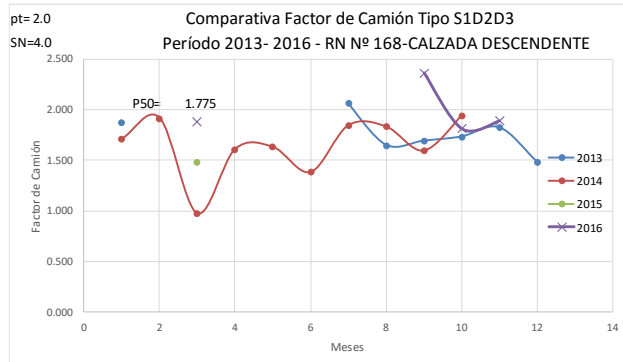
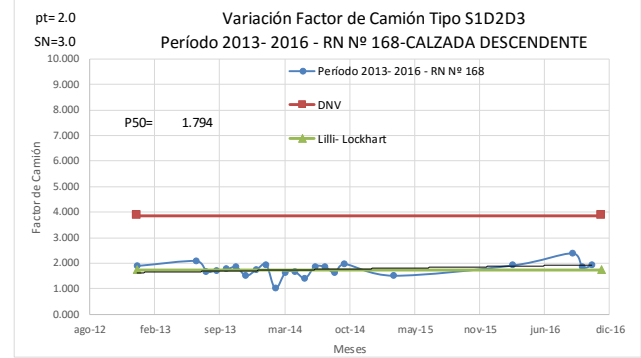
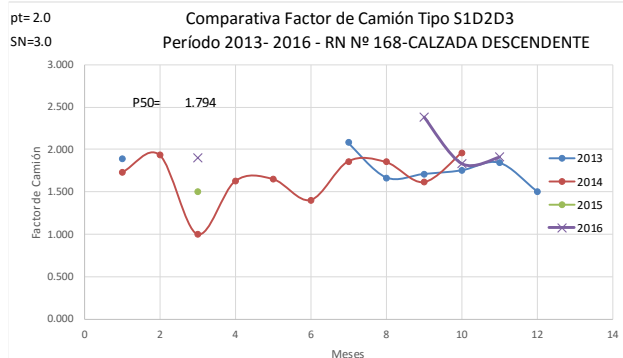
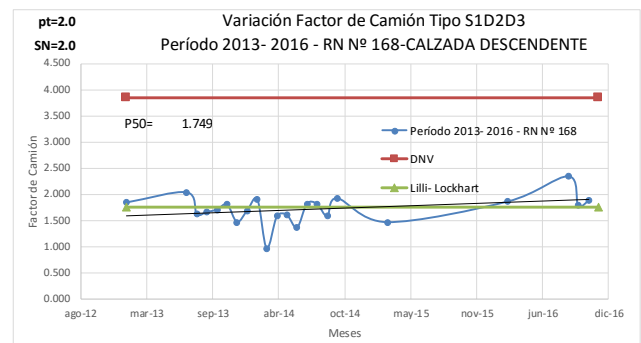
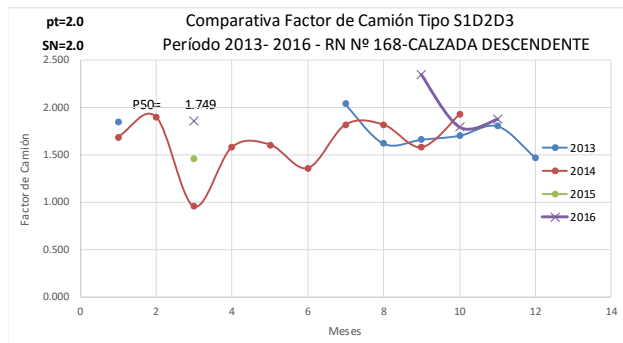
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 168

CAMION TIPO: S1D2D3

S1D2D3

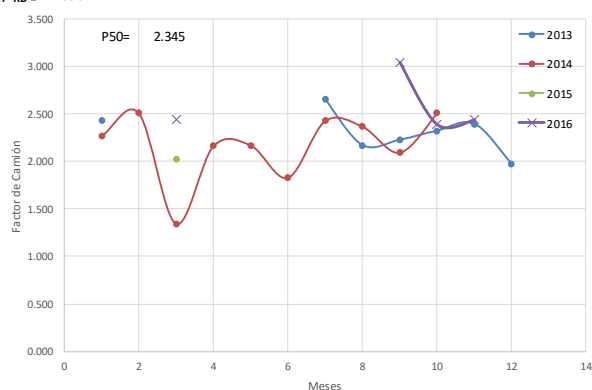
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

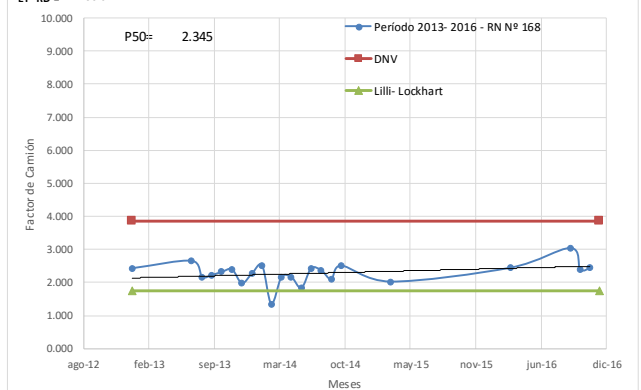
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 168-CALZADA DESCENDENTE



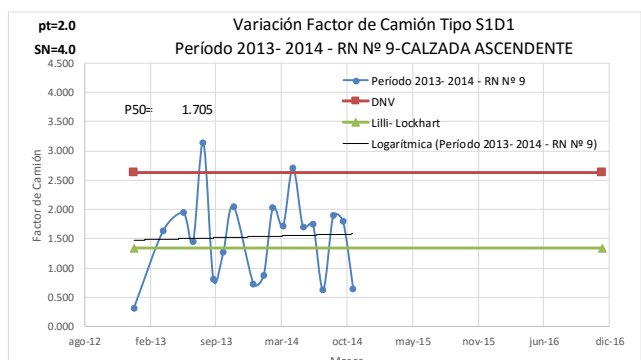
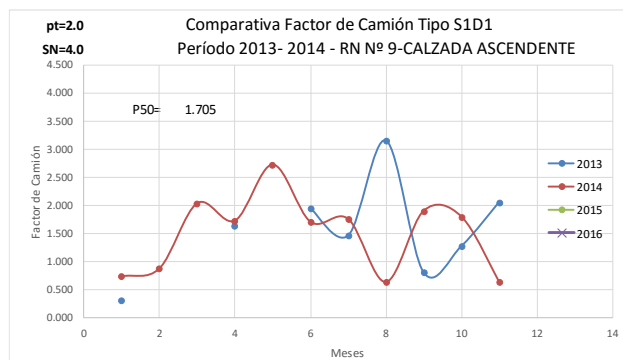
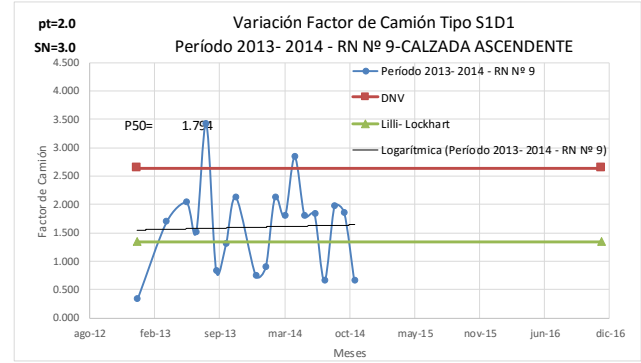
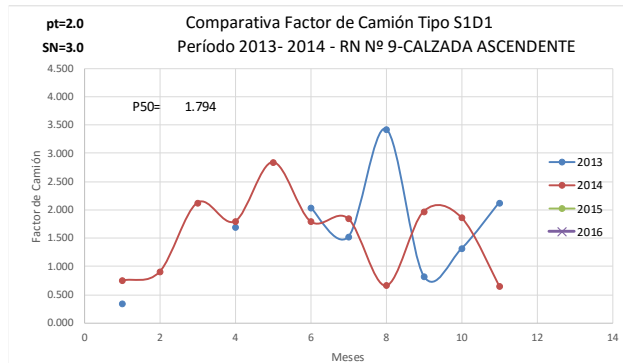
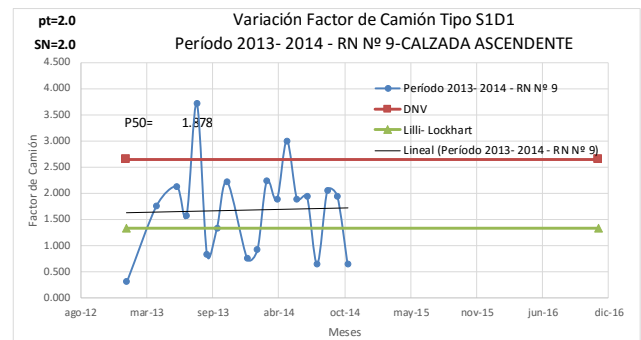
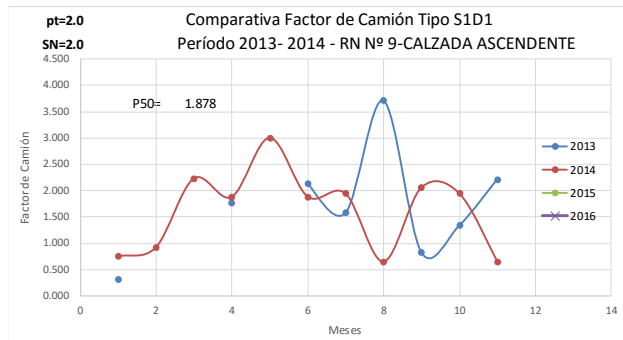
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Periodo 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D1

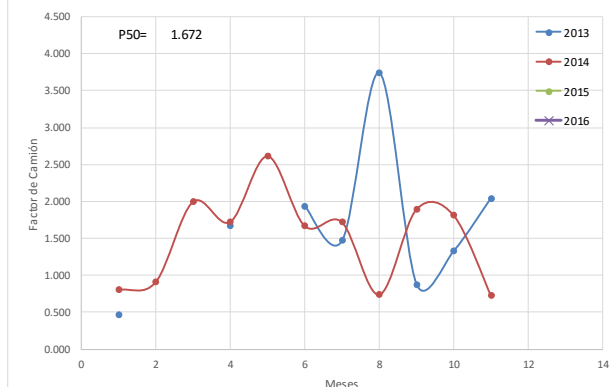
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

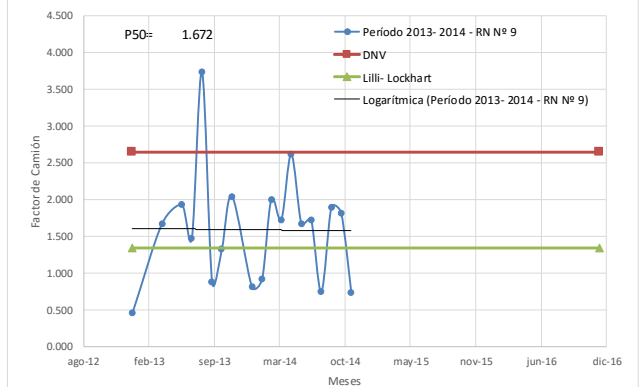
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

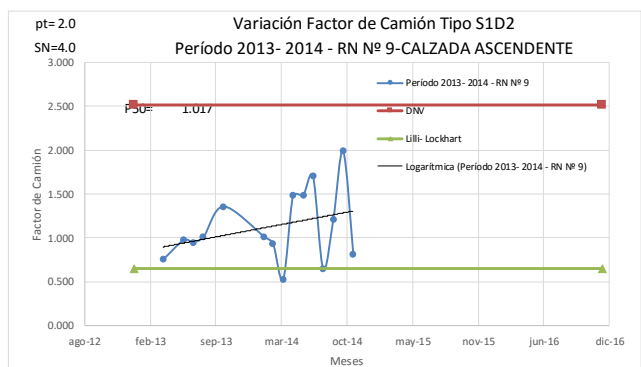
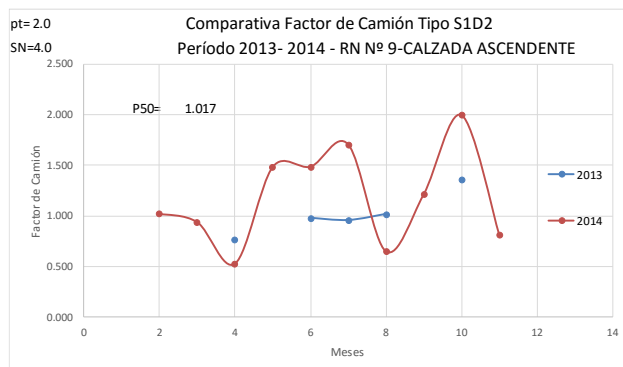
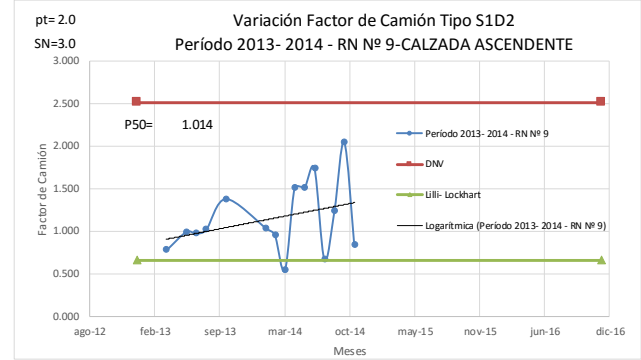
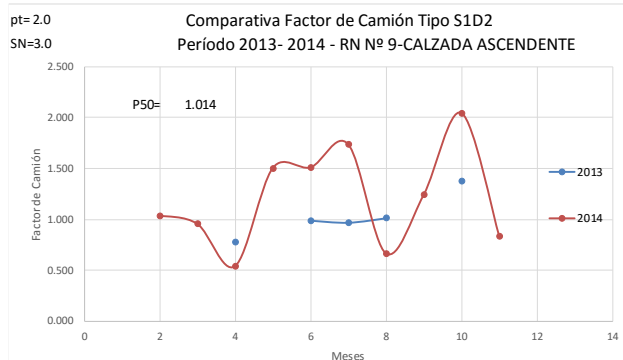
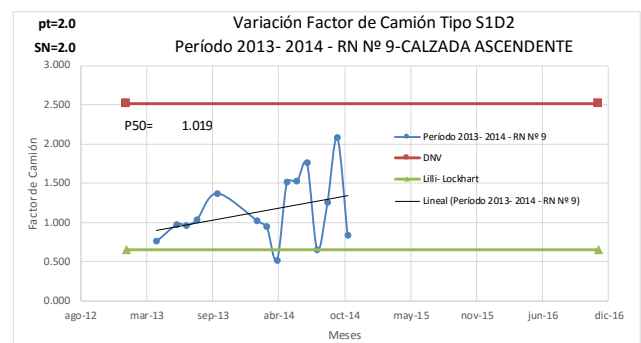
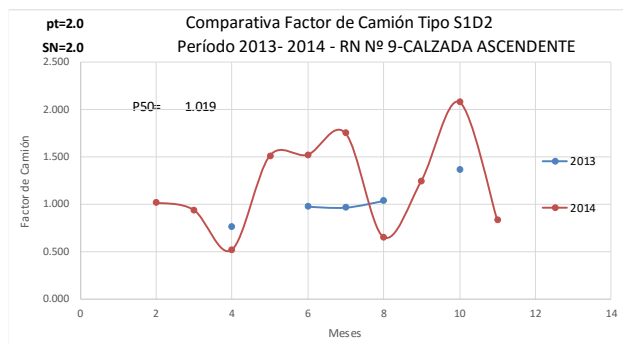
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D2

S1D2

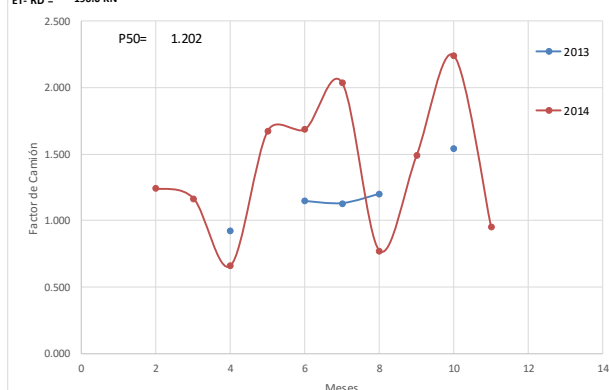
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

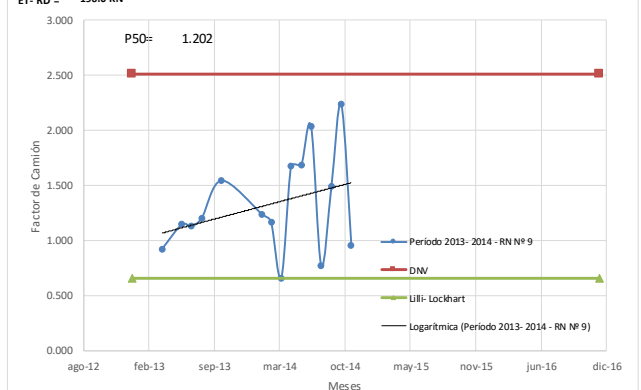
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

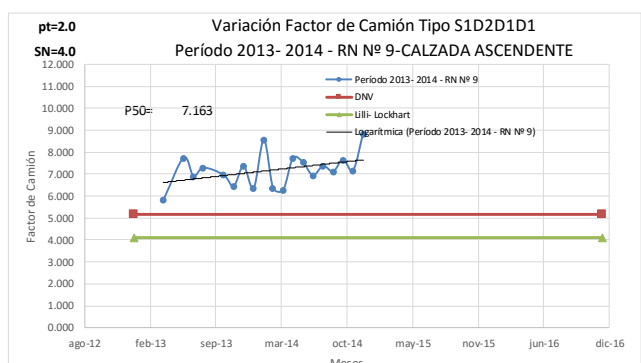
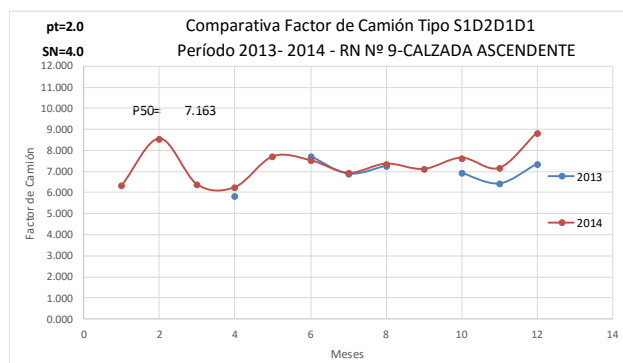
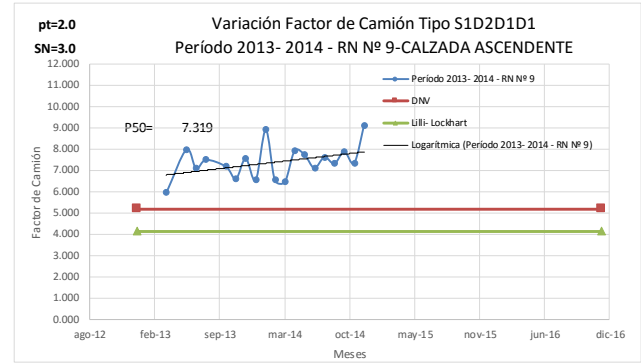
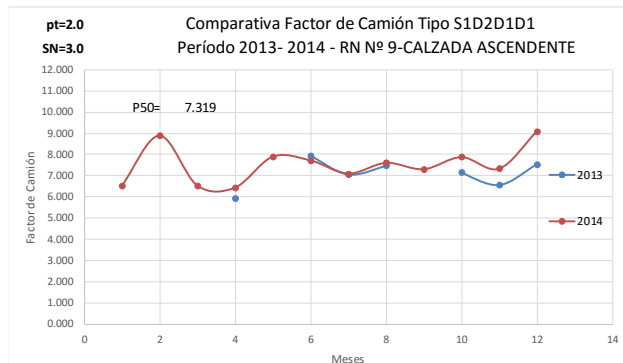
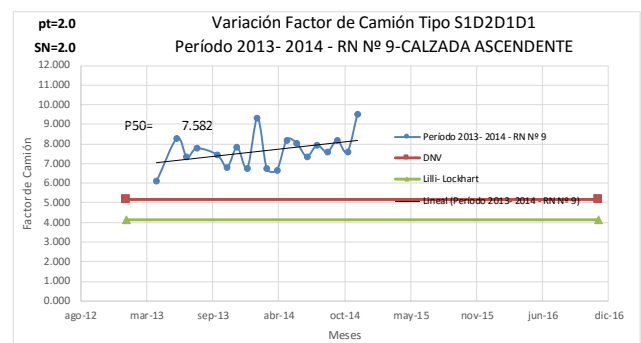
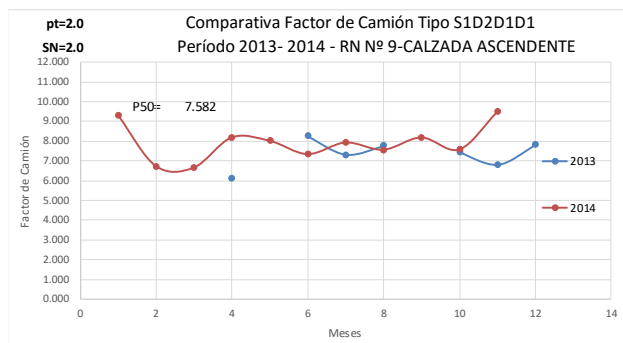
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO:

S1D2D1D1

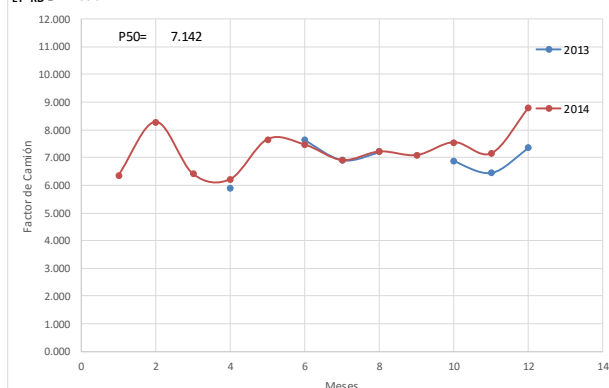
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

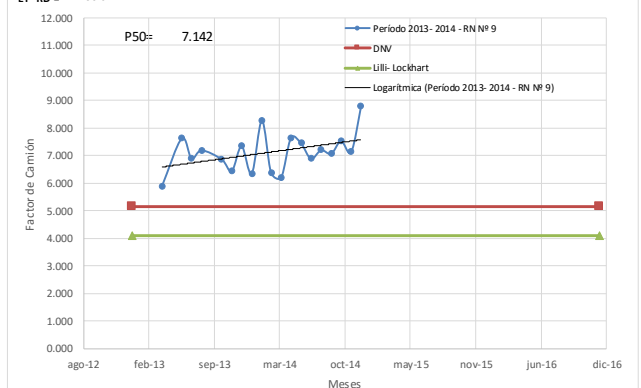
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

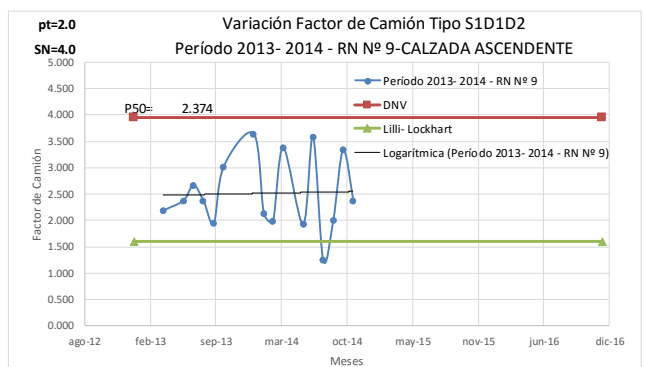
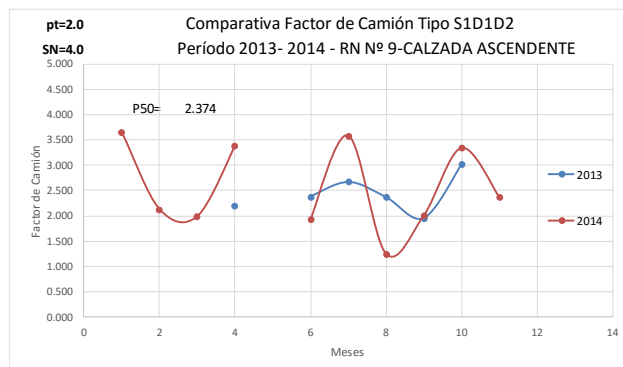
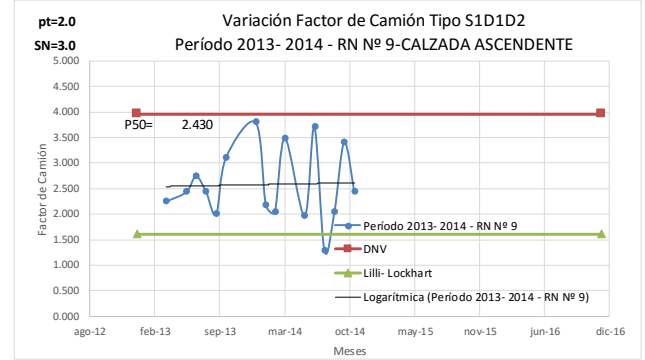
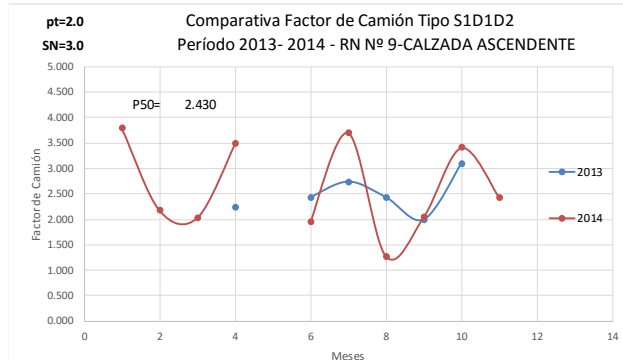
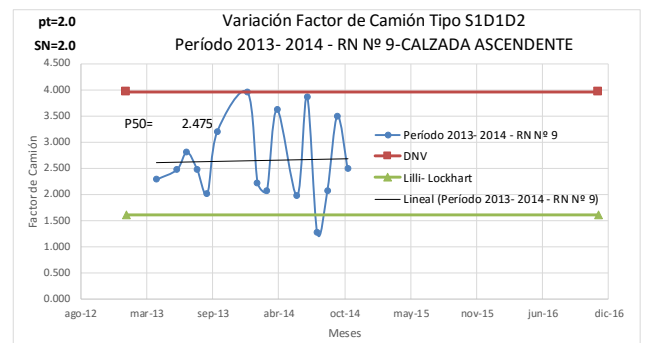
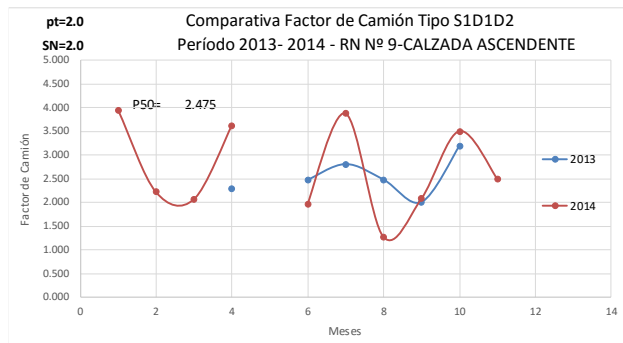
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D1D2

S1D1D2

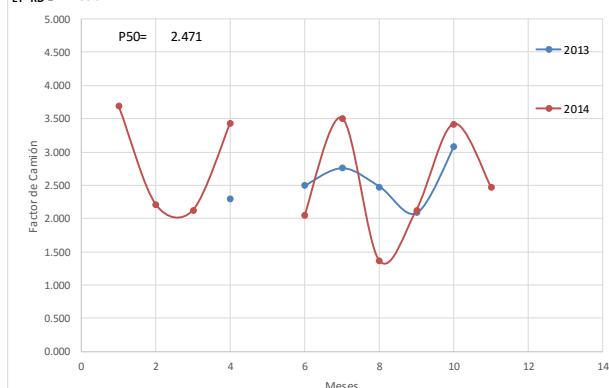
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

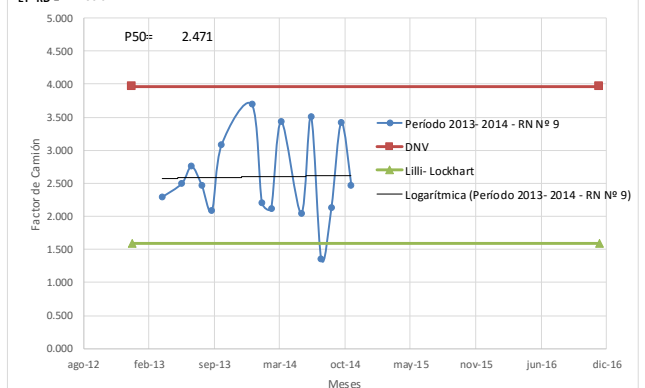
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



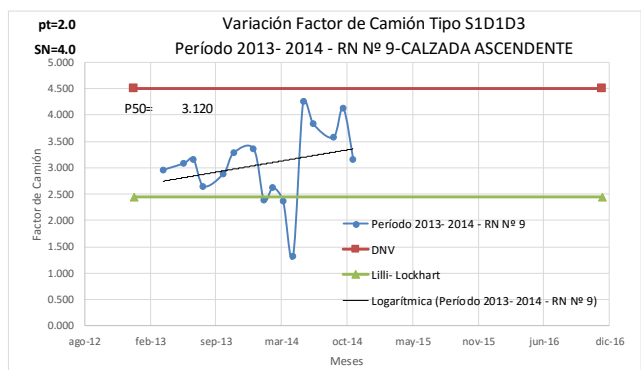
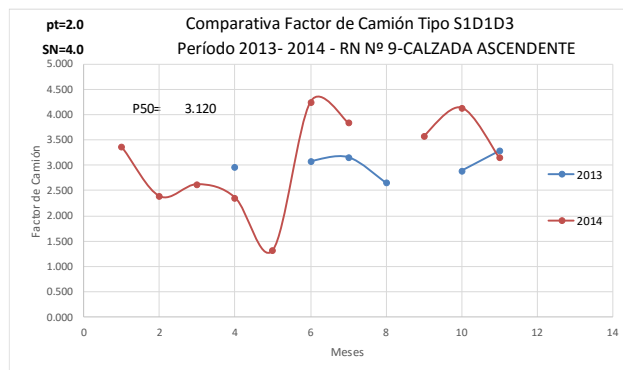
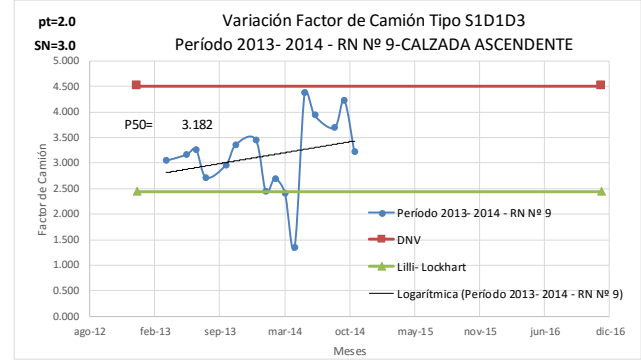
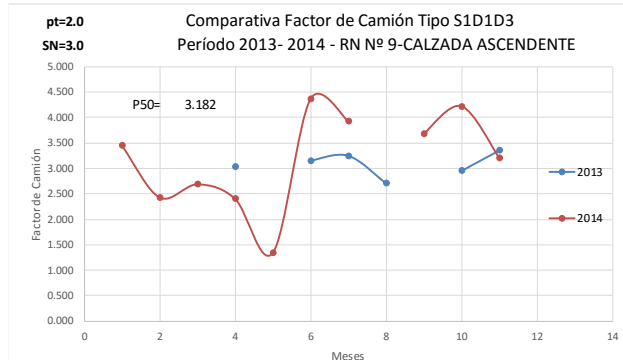
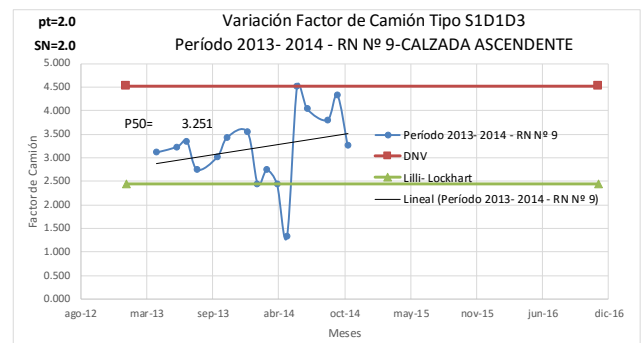
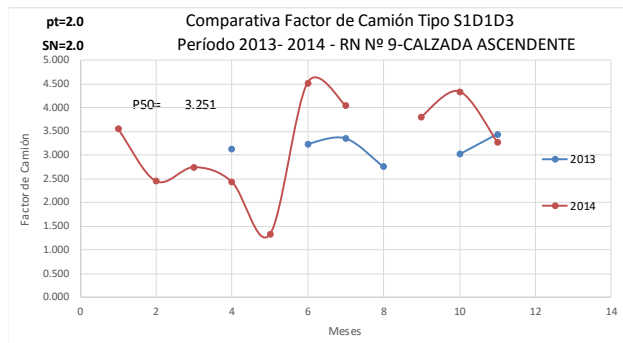
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D1D3

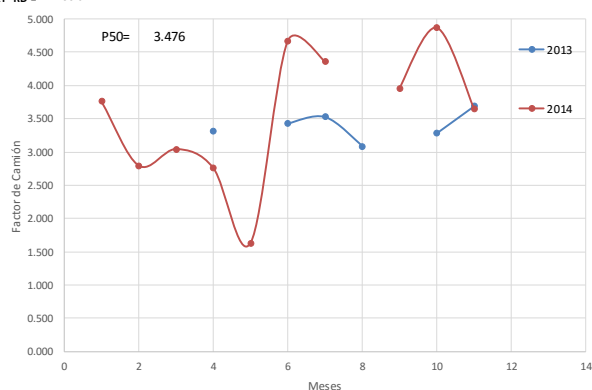
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

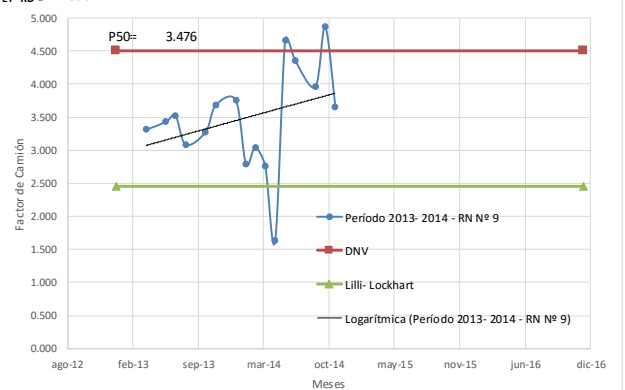
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D3
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D3
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

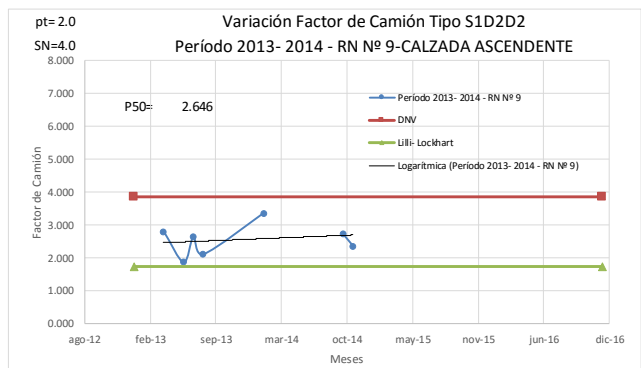
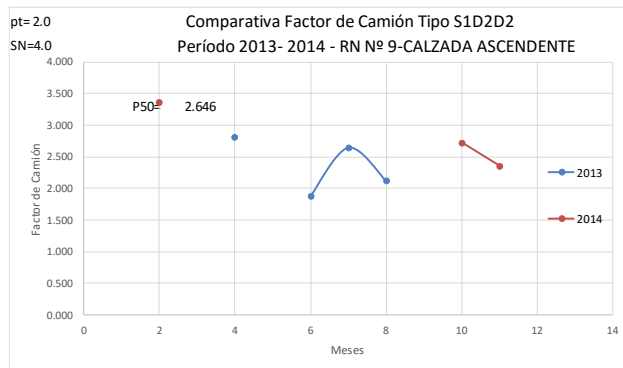
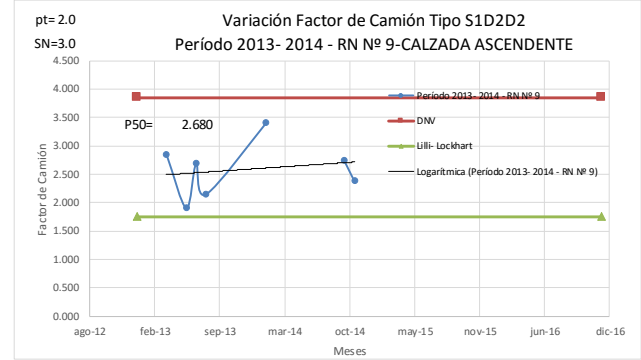
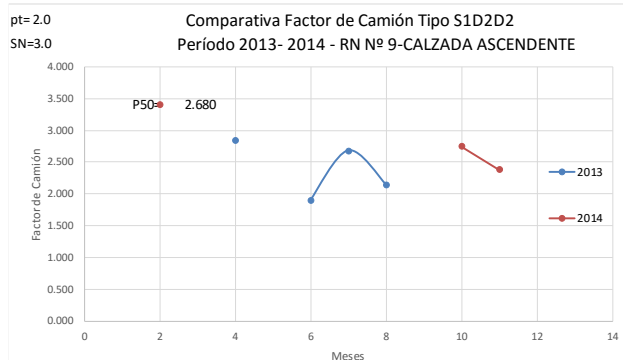
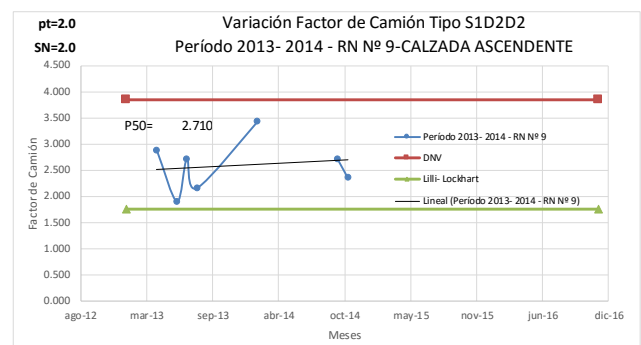
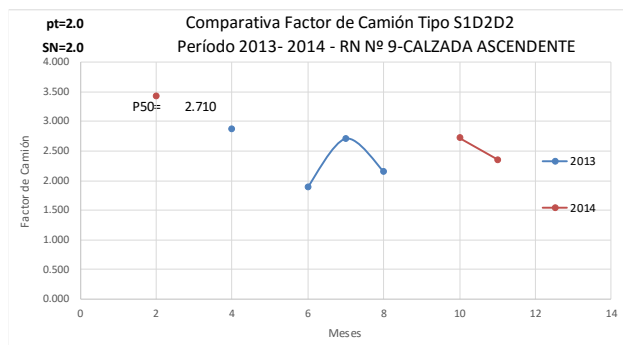
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D2D2

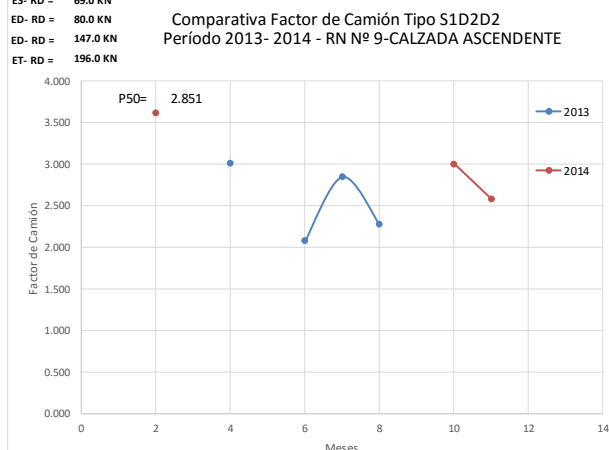
S1D2D2

CALZADA ASCENDENTE



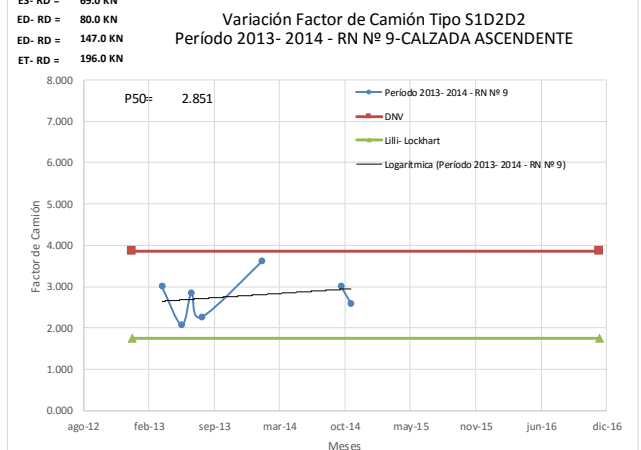
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

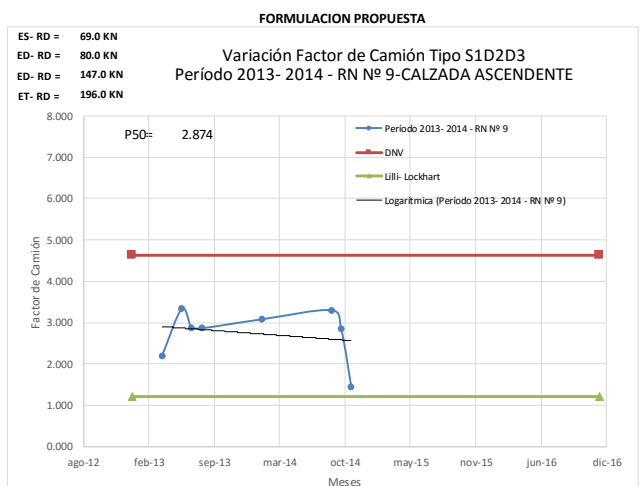
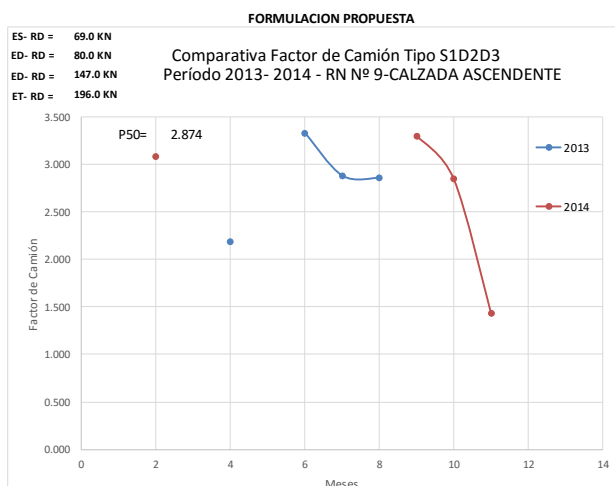
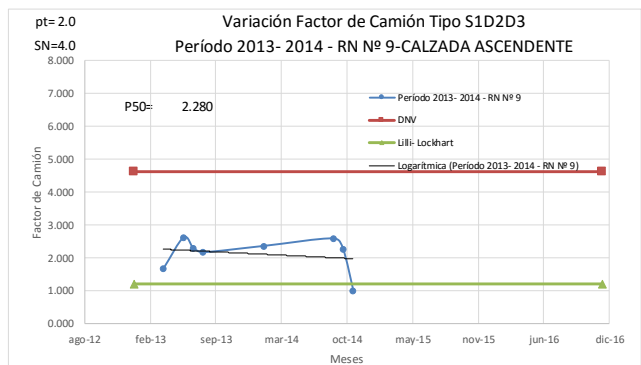
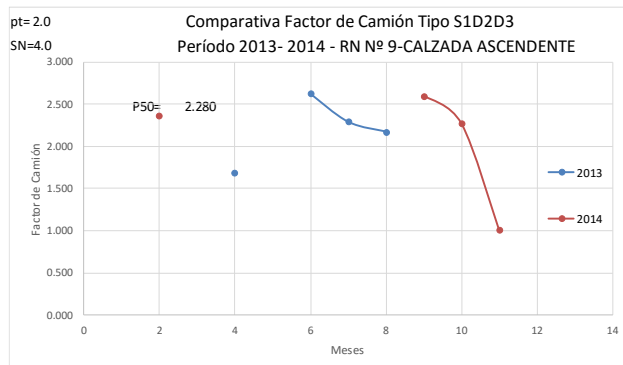
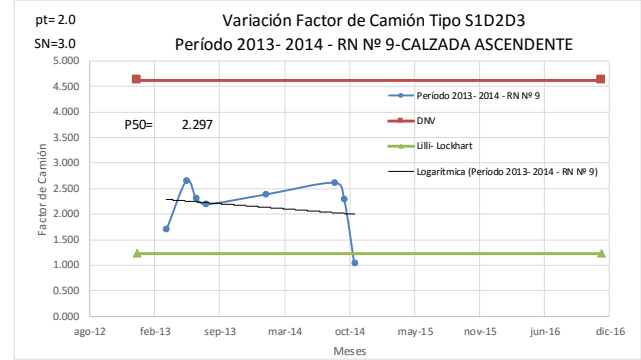
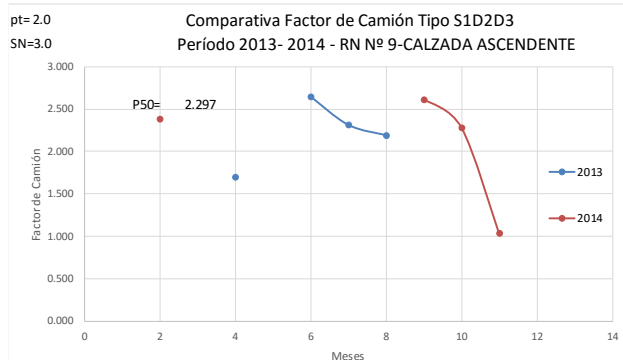
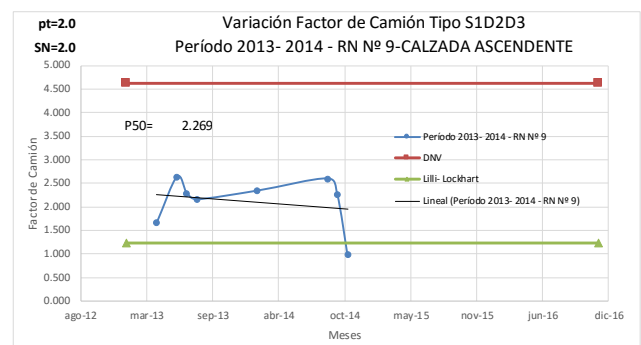
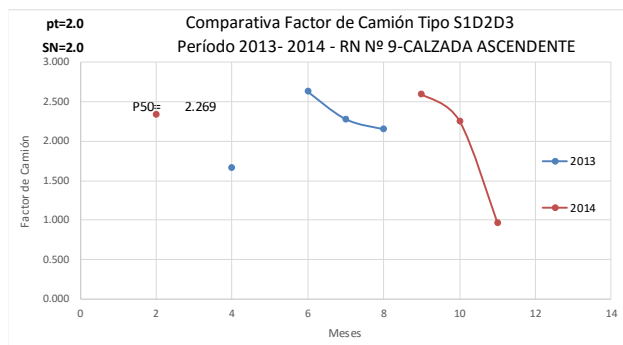
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D2D3

S1D2D3

CALZADA ASCENDENTE



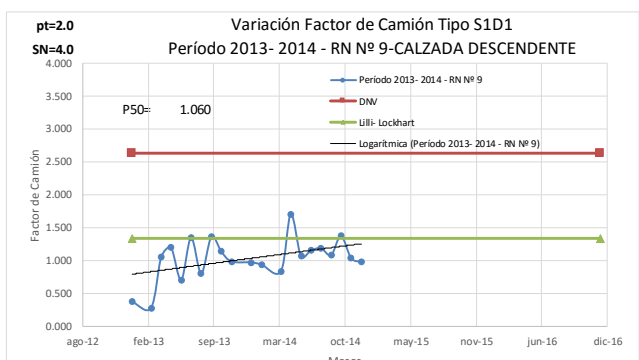
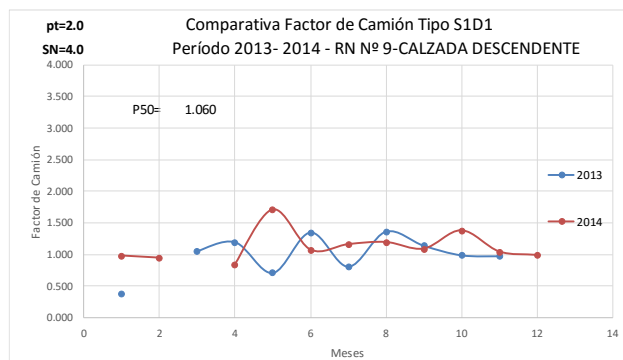
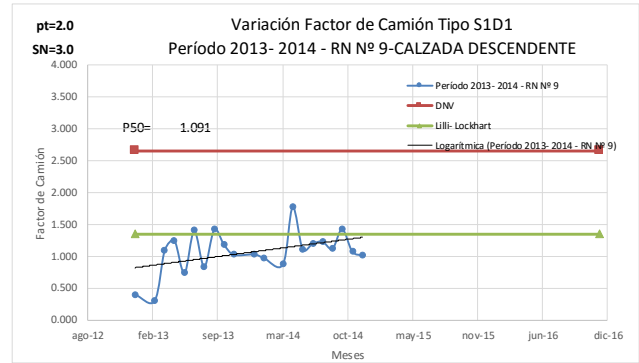
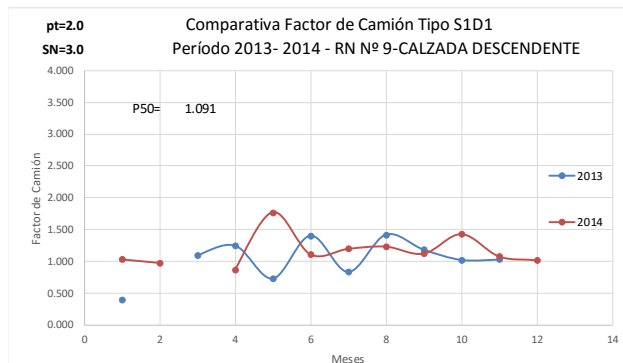
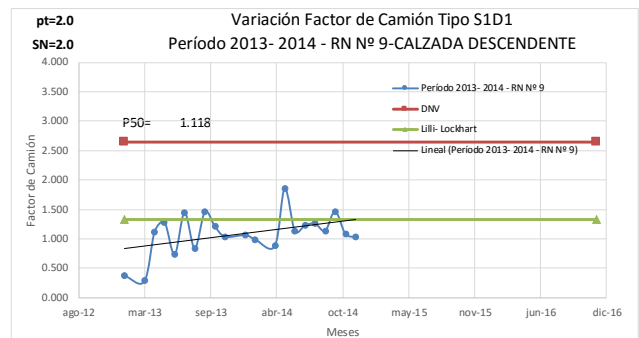
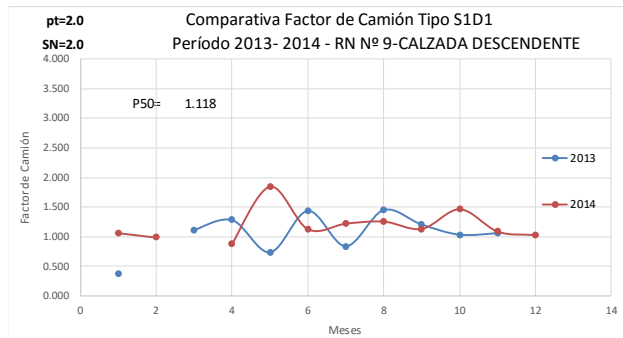
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Periodo 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D1

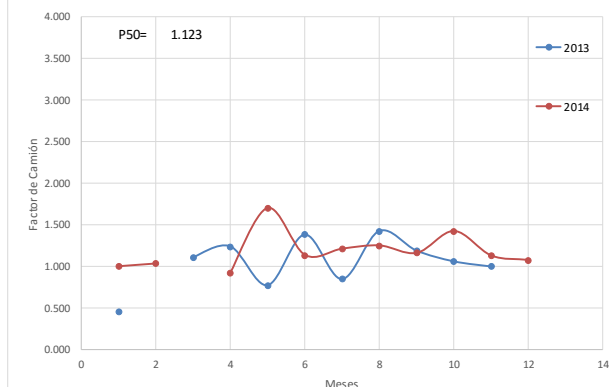
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
 ED- RD = 80.0 KN
 ET- RD = 147.0 KN
 ET- RD = 196.0 KN

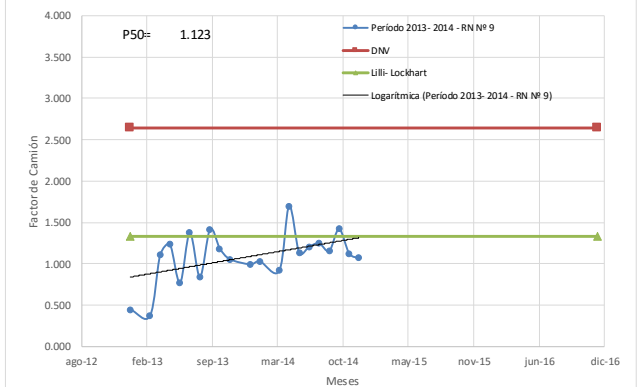
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1
Periodo 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
 ED- RD = 80.0 KN
 ET- RD = 147.0 KN
 ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1
Periodo 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

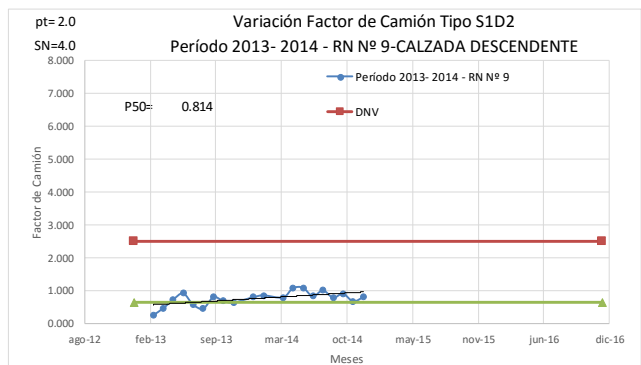
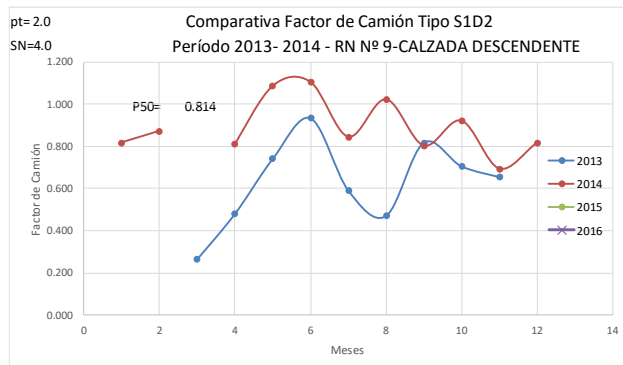
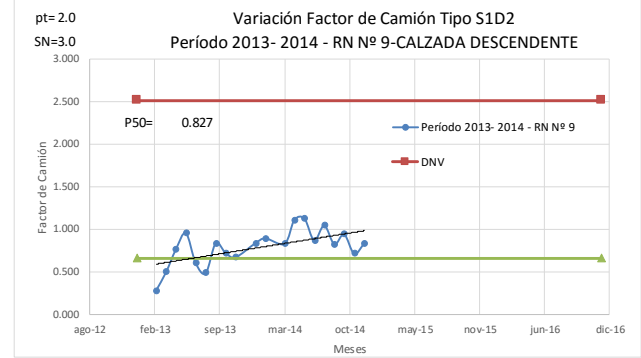
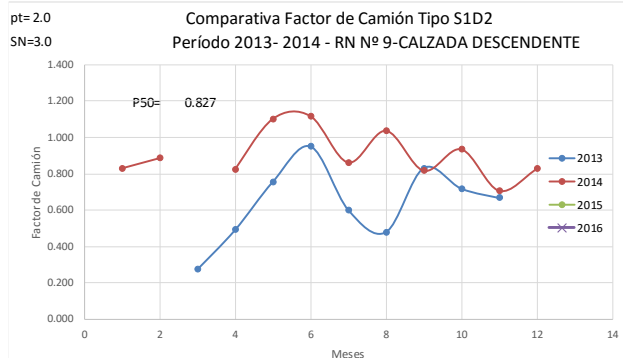
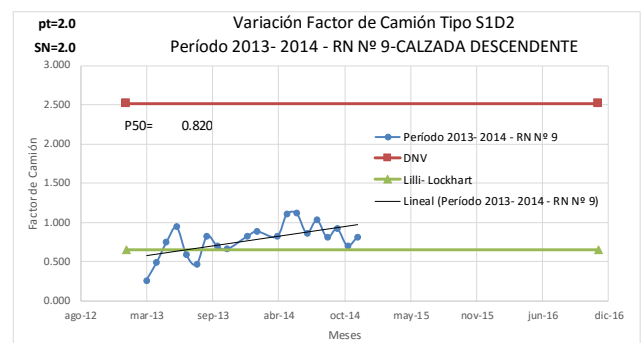
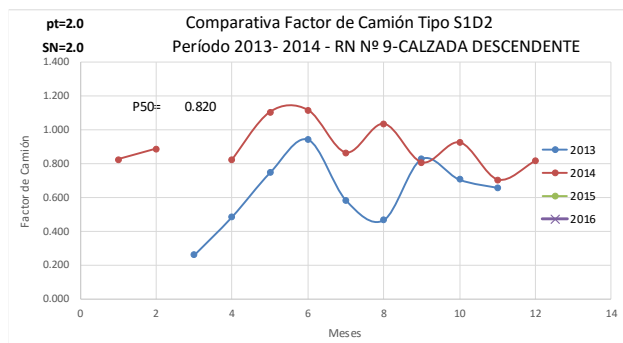
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D2

S1D2

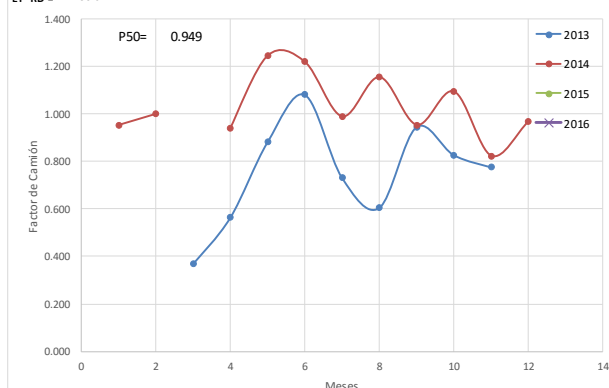
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

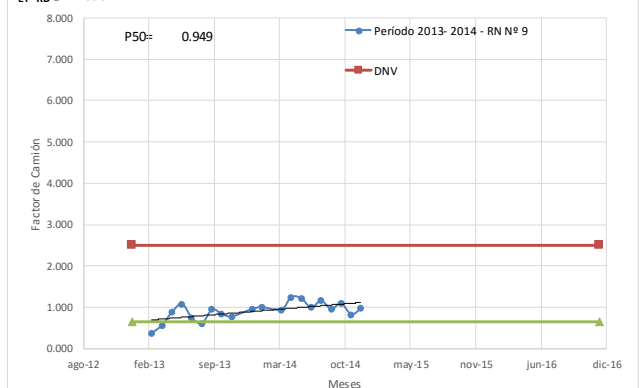
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

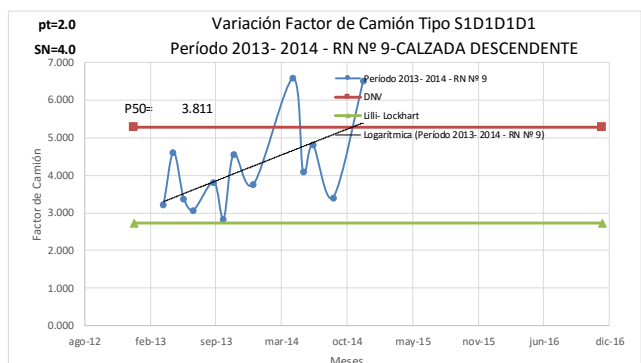
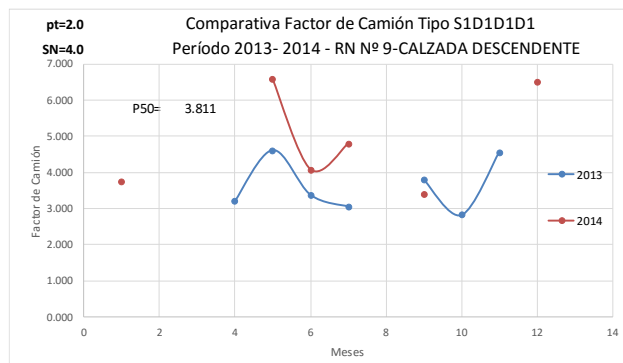
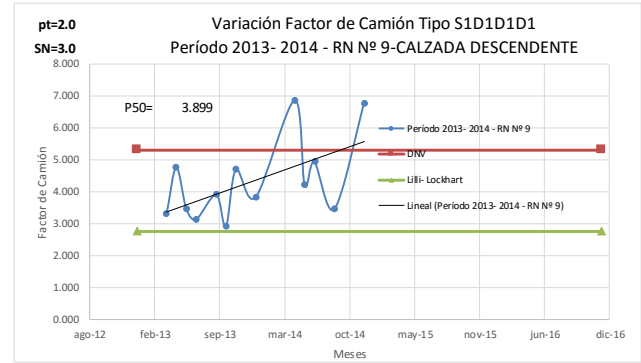
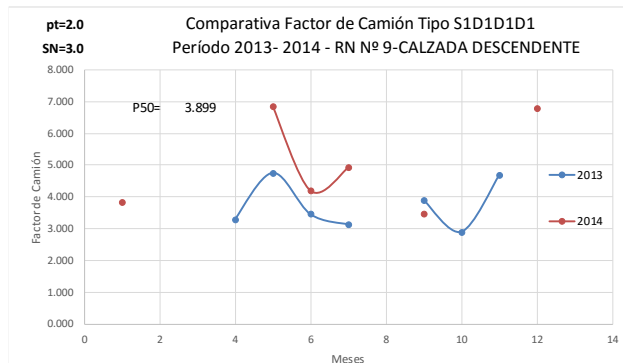
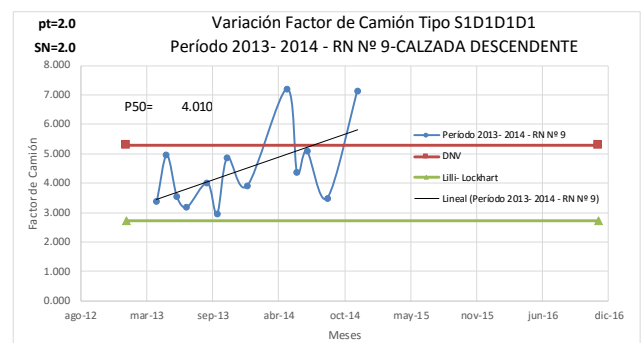
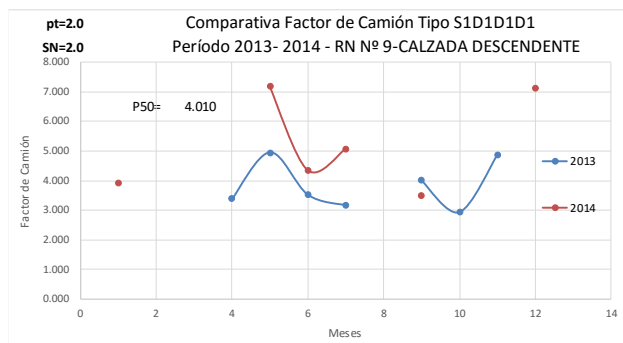
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO:

S1D1D1D1

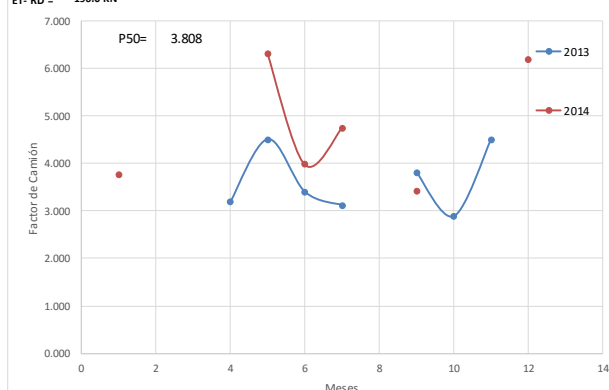
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

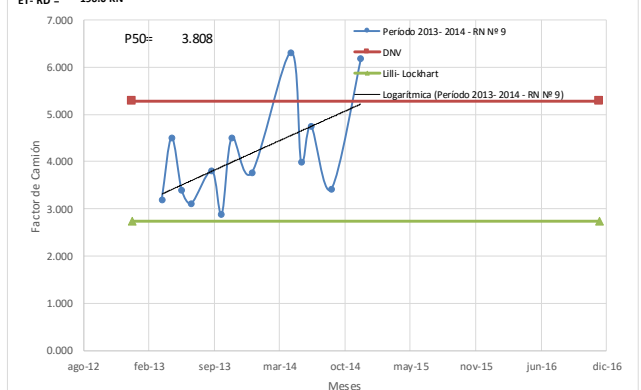
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

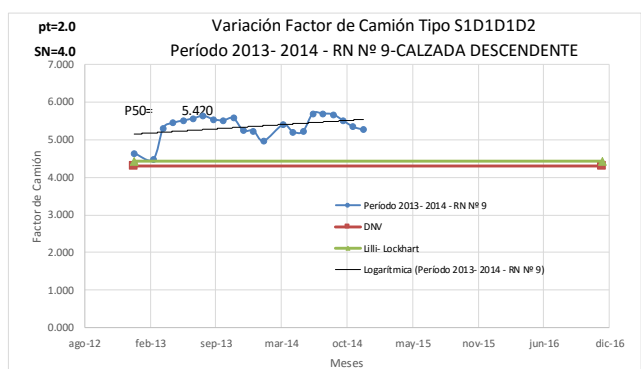
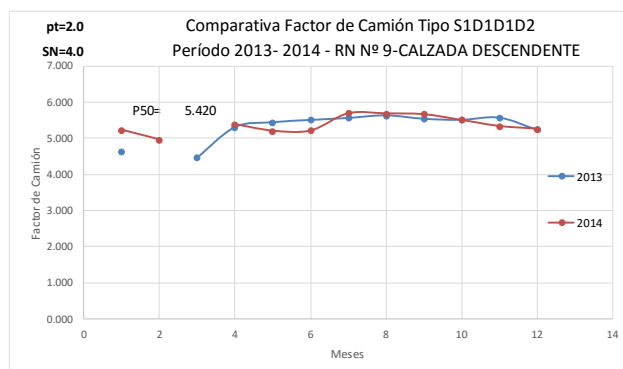
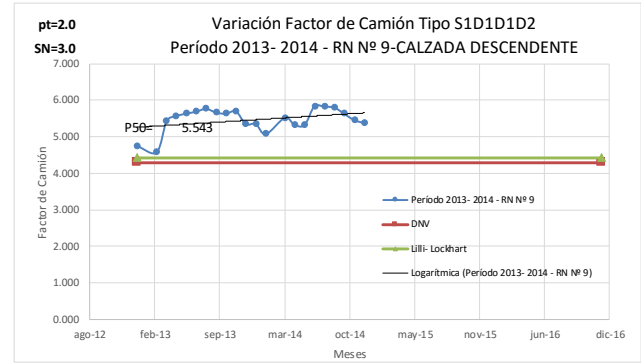
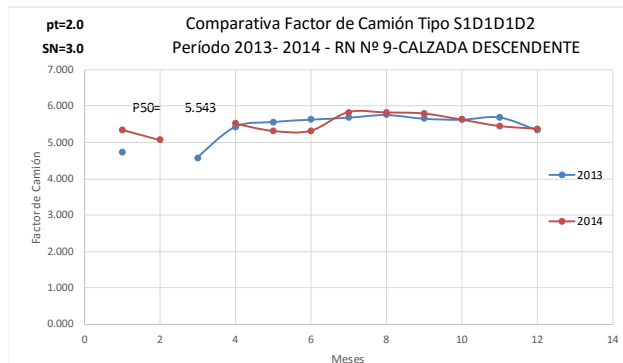
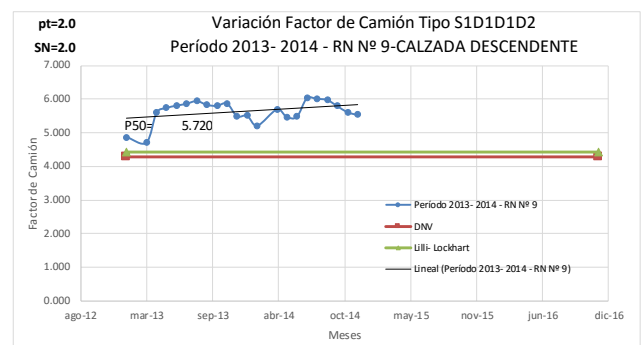
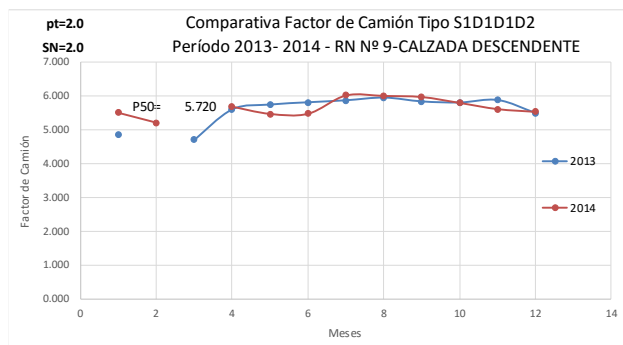
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

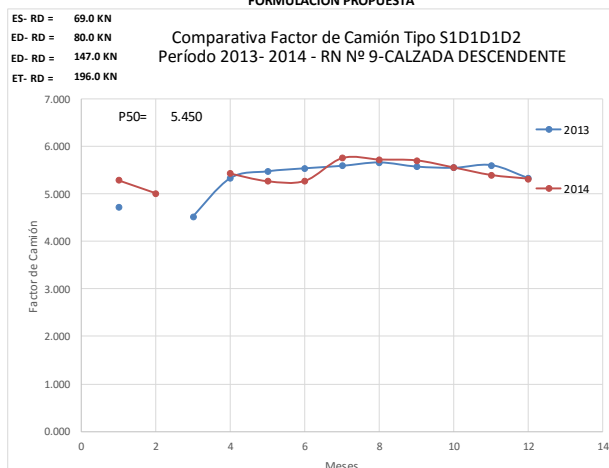
CAMION TIPO: S1D1D1D2

S1D1D1D2

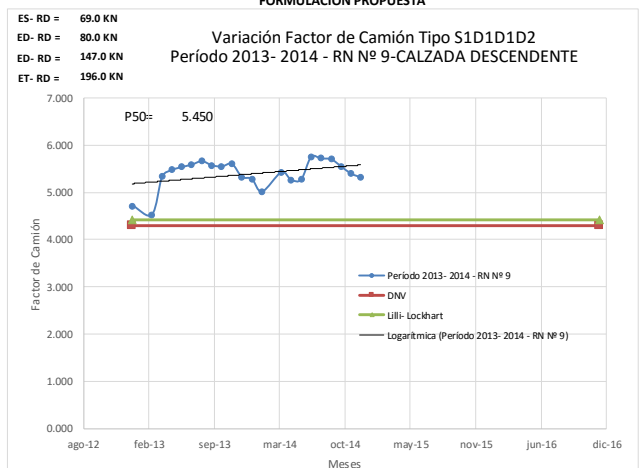
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA



FORMULACION PROPUESTA



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

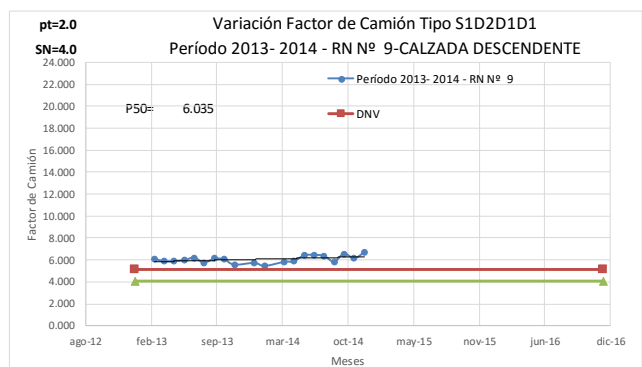
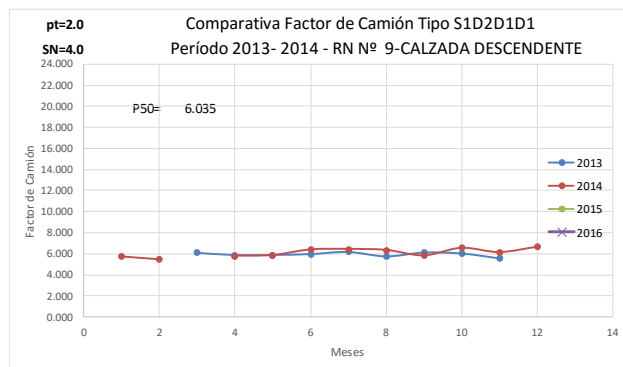
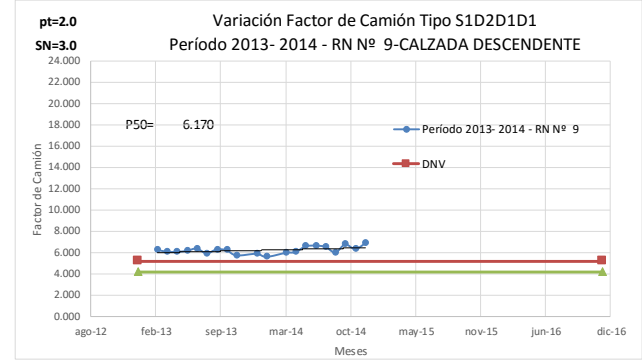
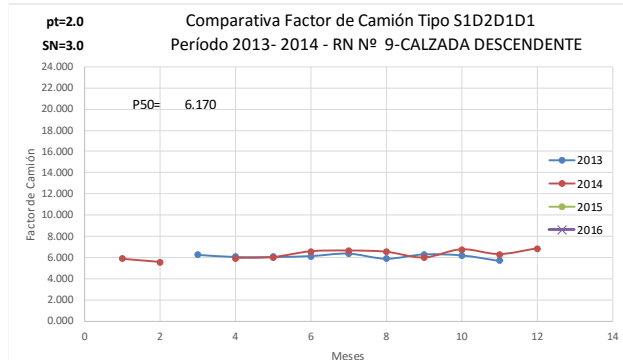
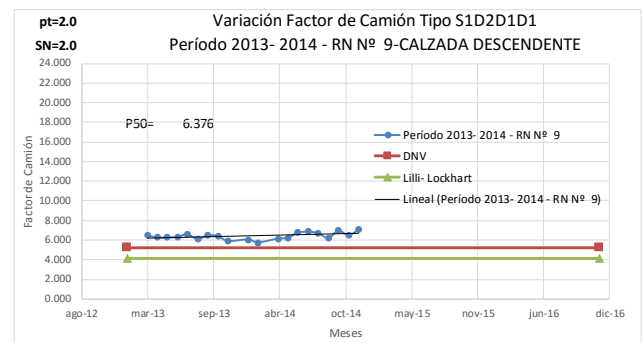
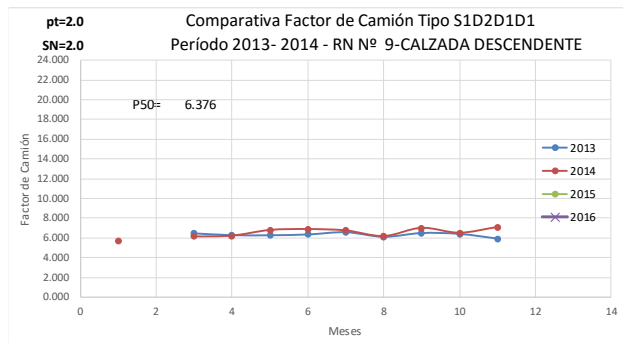
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO:

S1D2D1D1

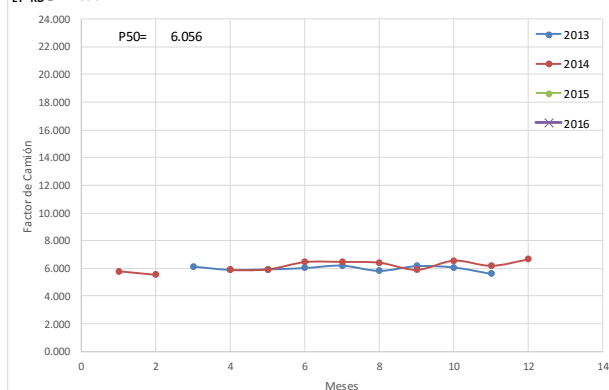
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

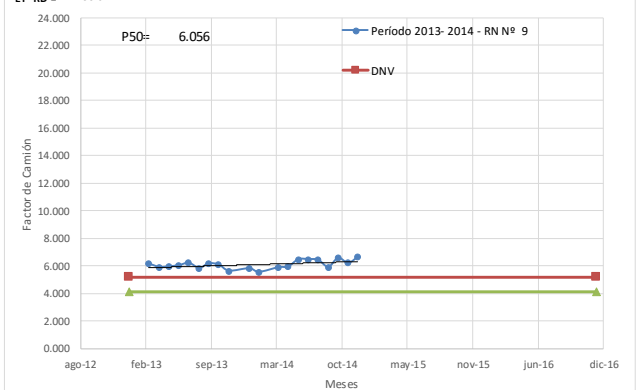
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

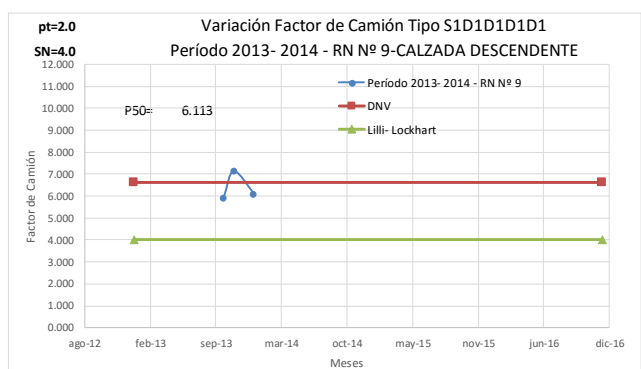
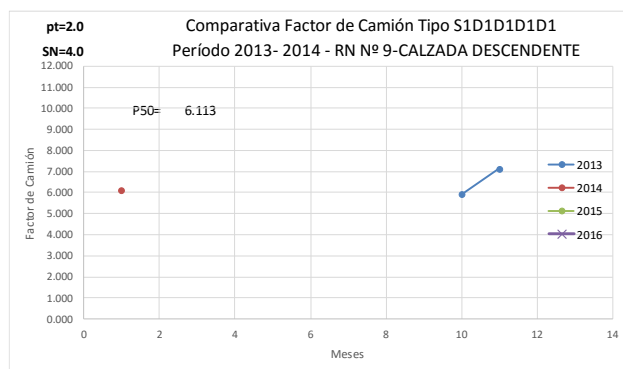
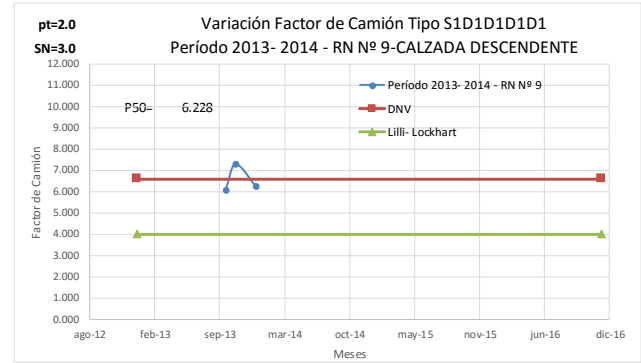
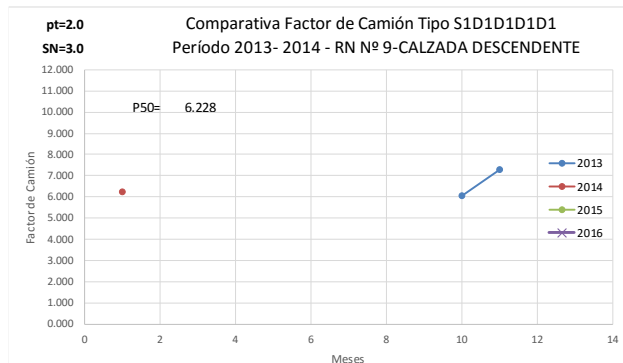
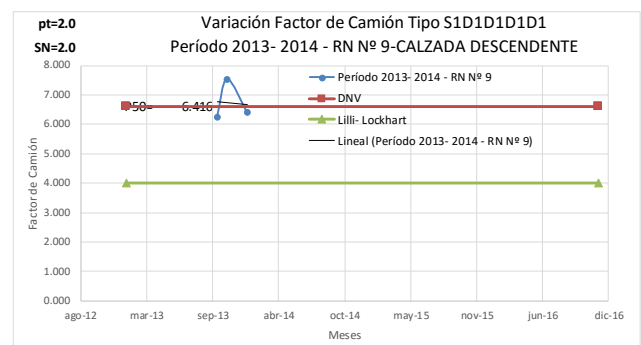
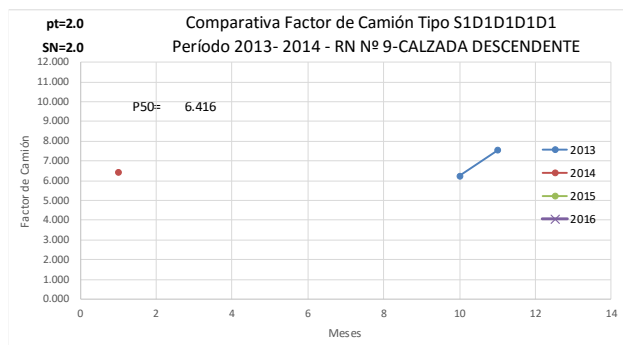
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D1D1D1D1

S1D1D1D1D1

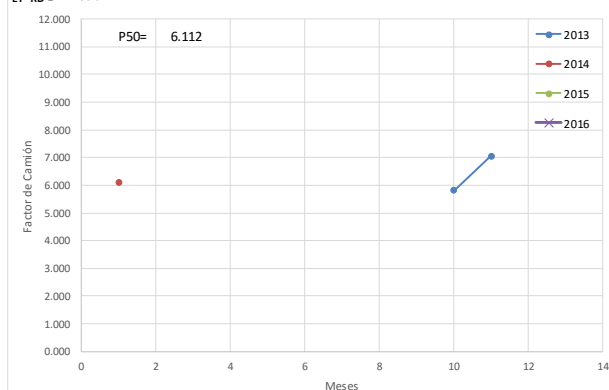
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

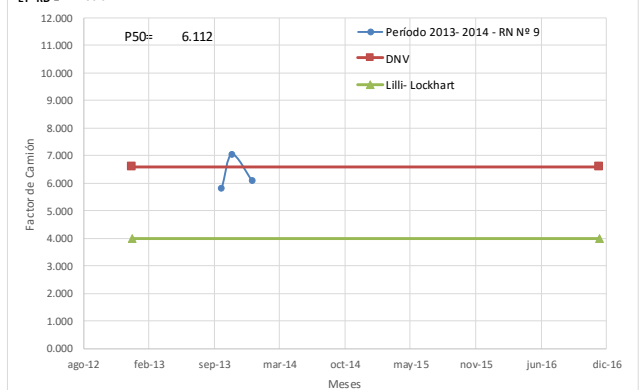
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D1D1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D1D1D1
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

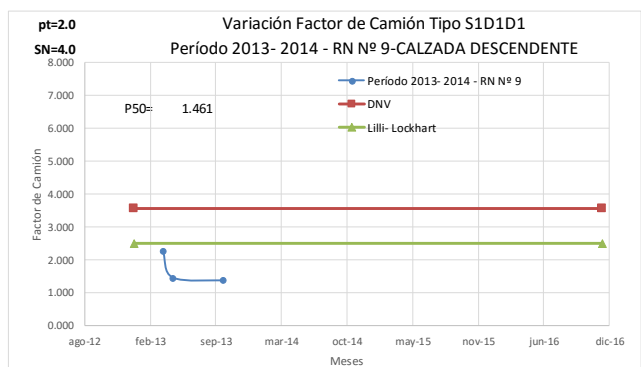
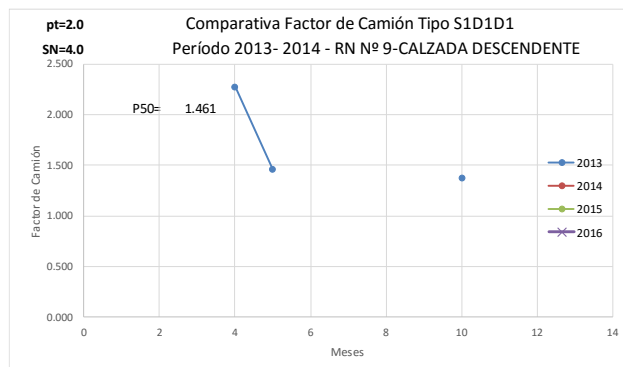
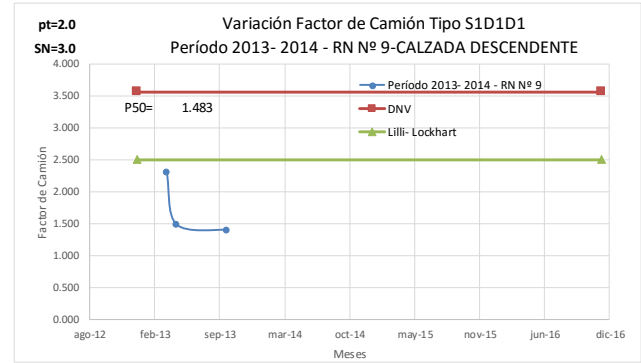
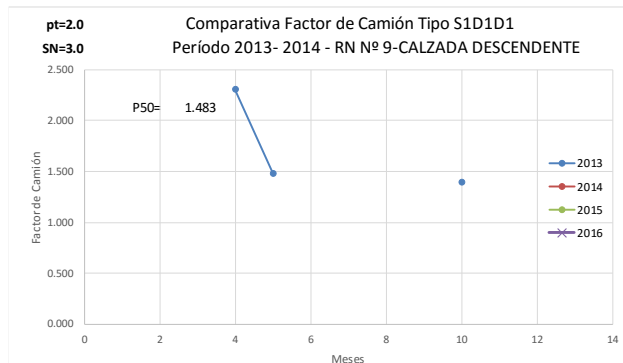
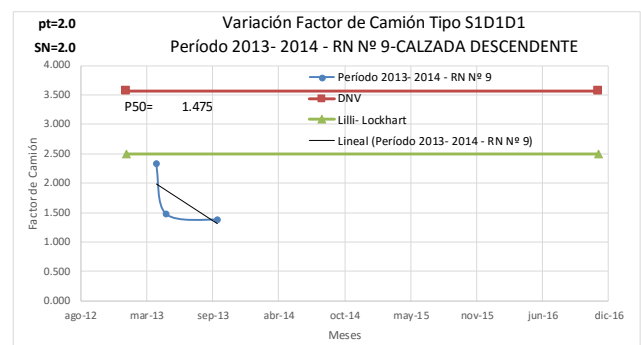
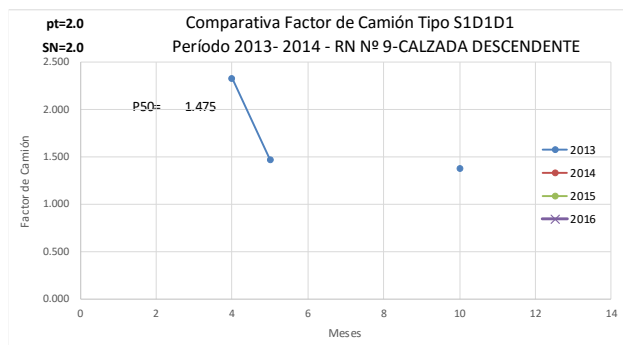
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D1D1

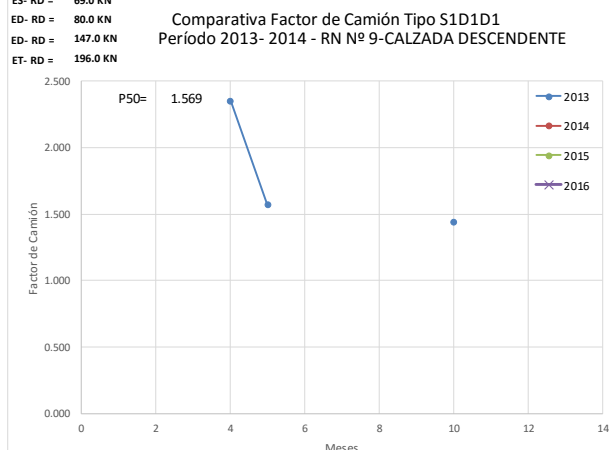
S1D1D1

CALZADA DESCENDENTE



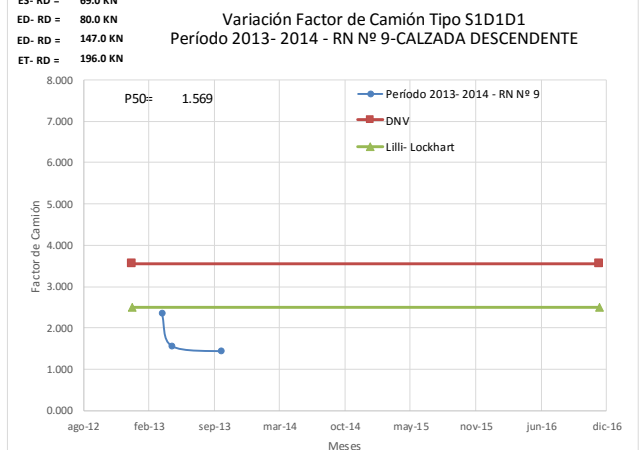
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

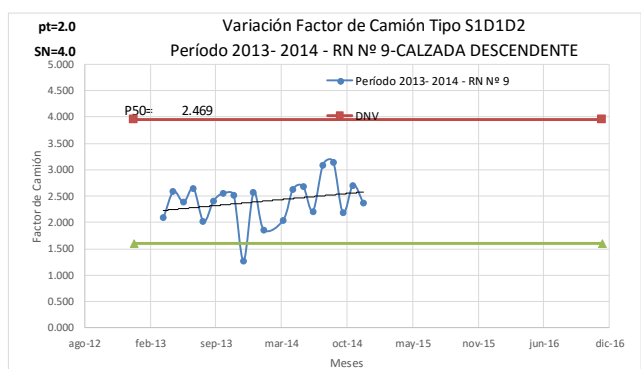
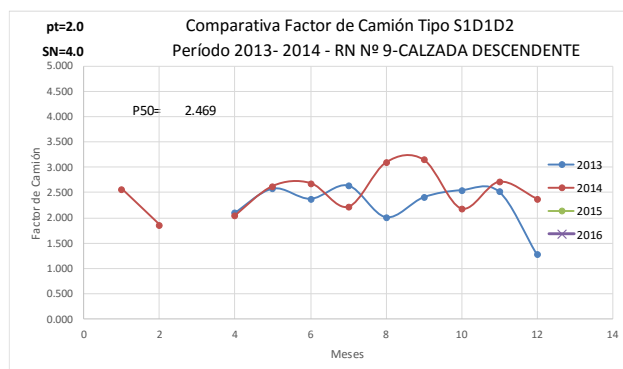
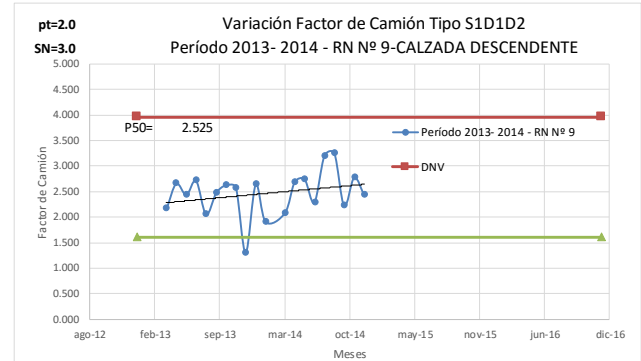
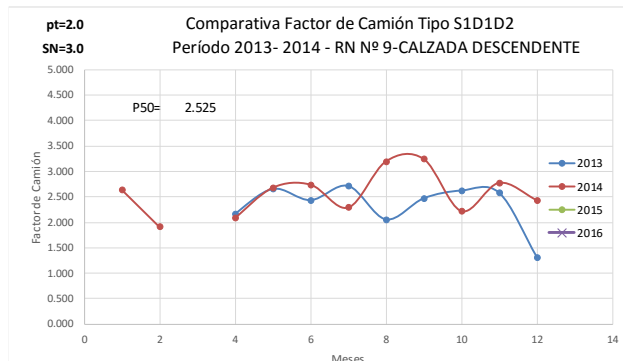
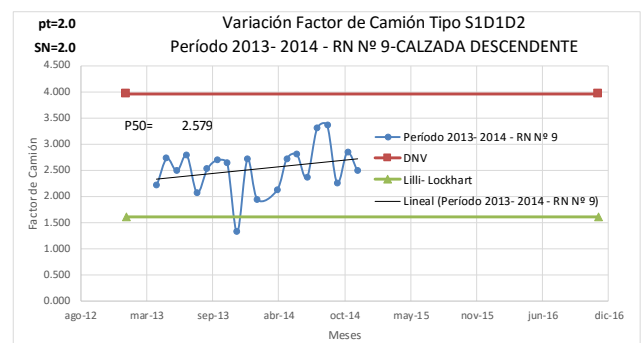
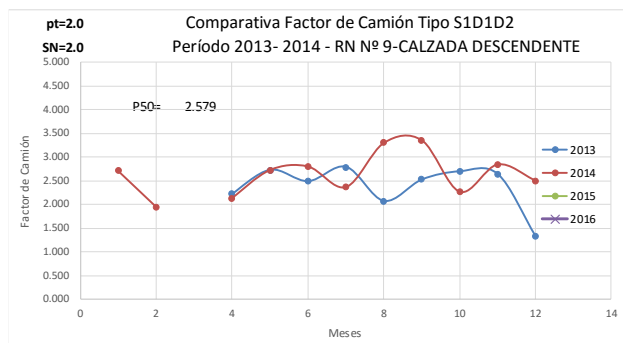
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO:

S1D1D2

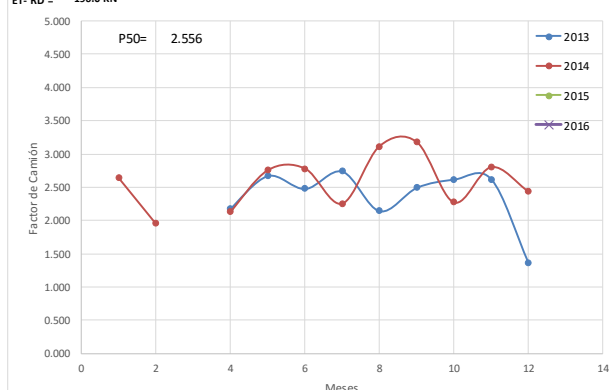
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

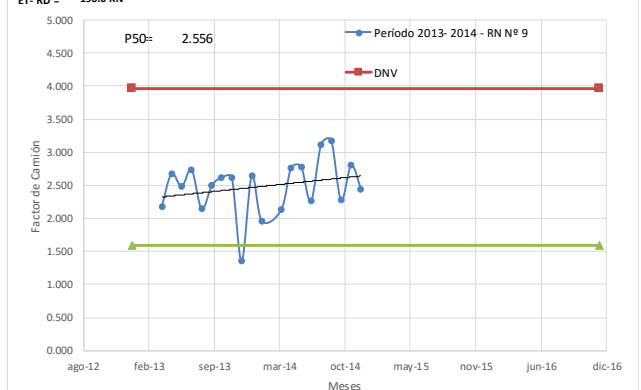
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

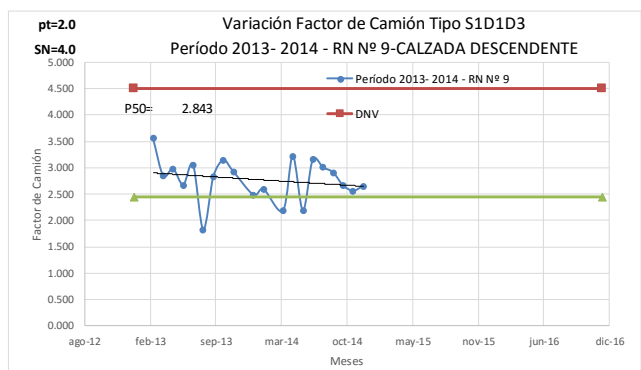
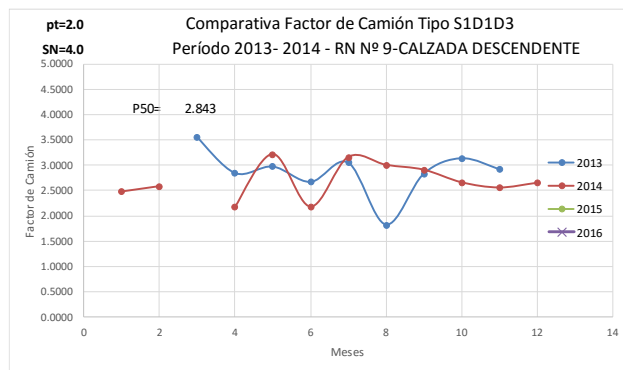
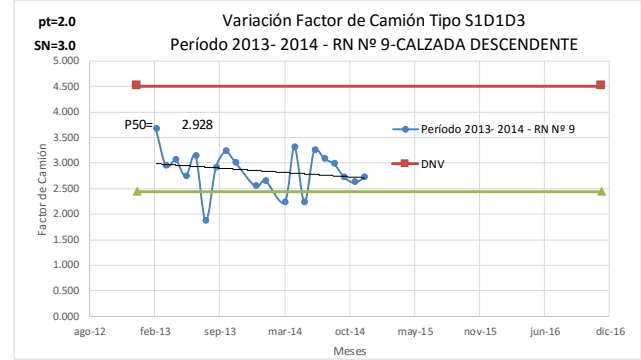
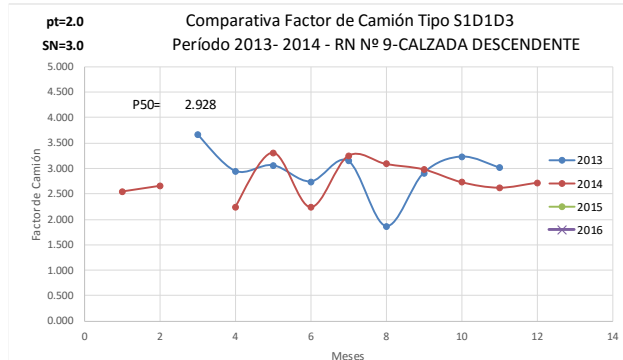
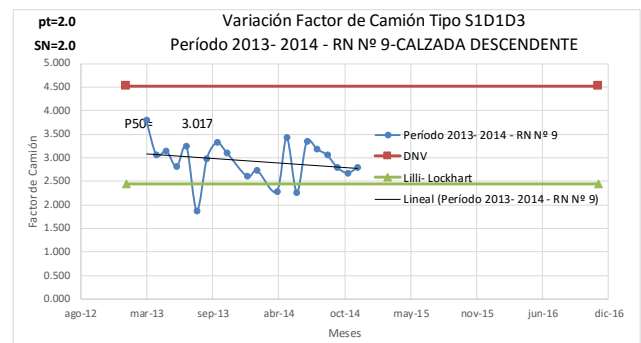
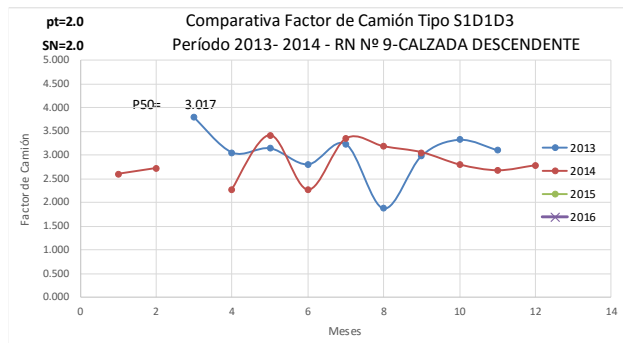
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D1D3

S1D1D3

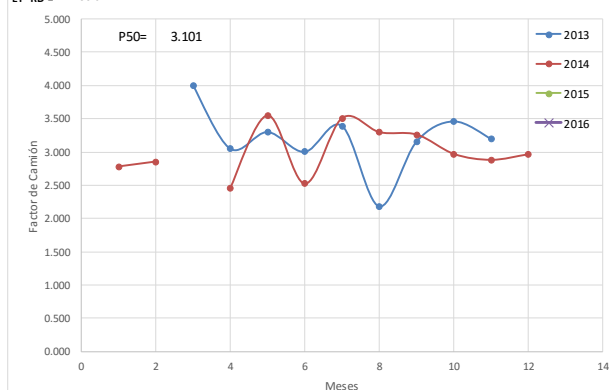
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

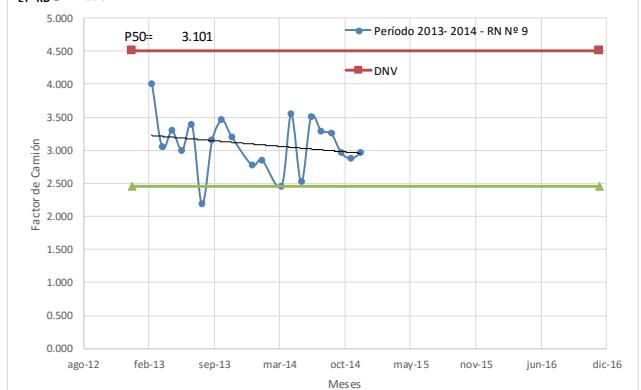
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D3
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D3
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

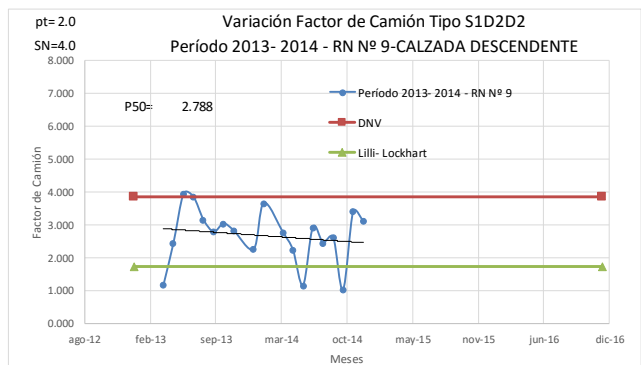
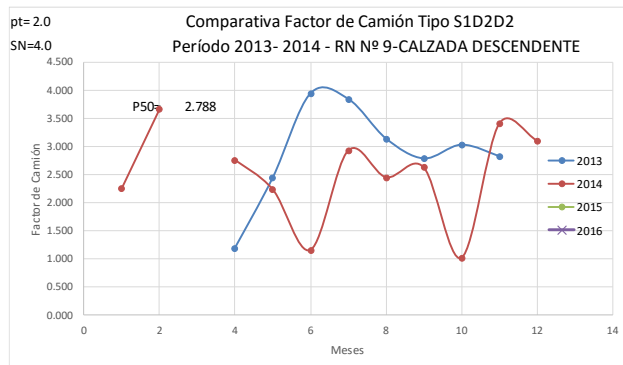
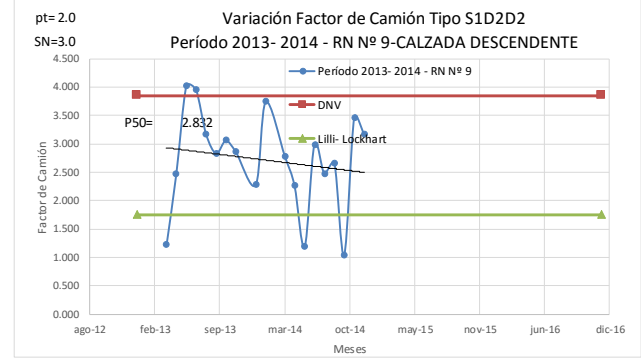
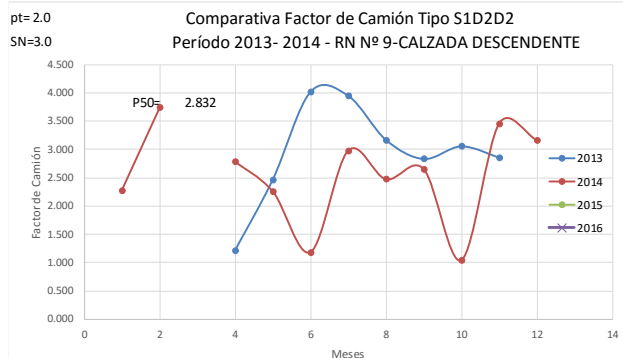
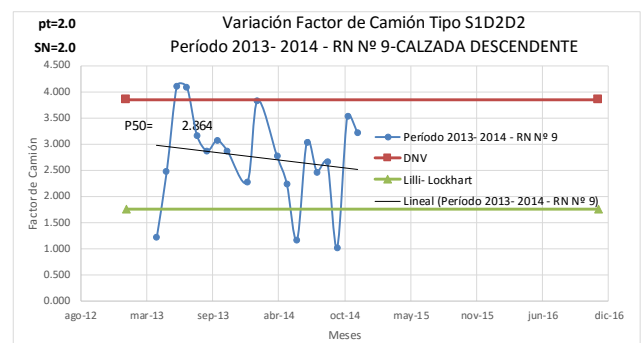
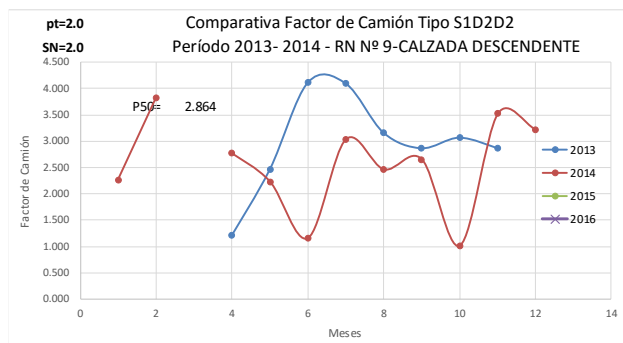
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D2D2

S1D2D2

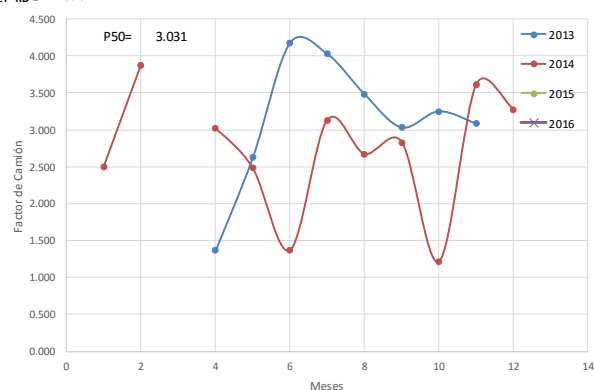
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

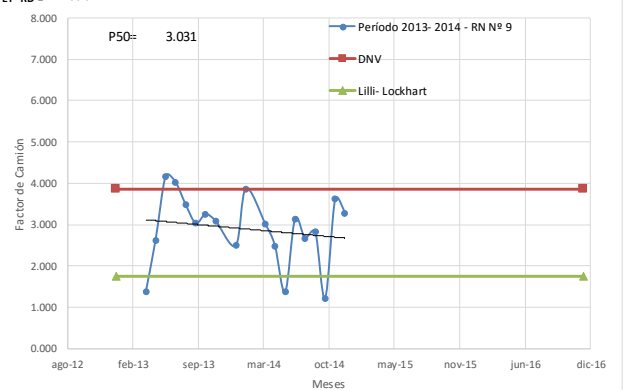
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D2
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

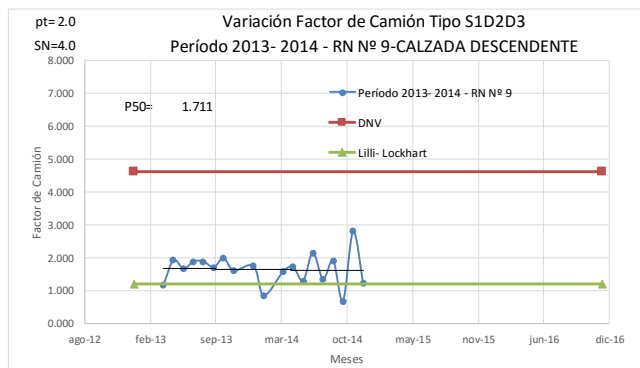
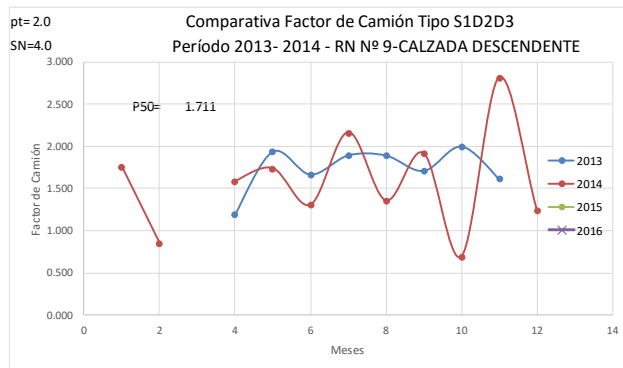
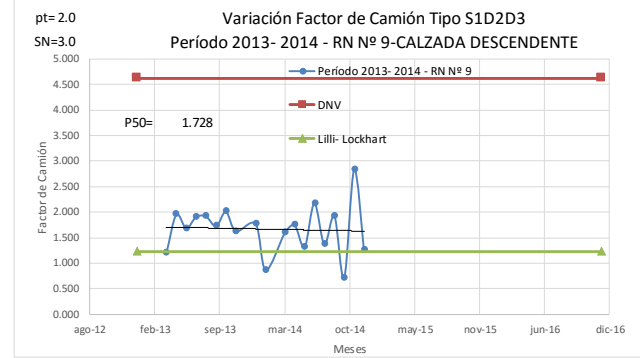
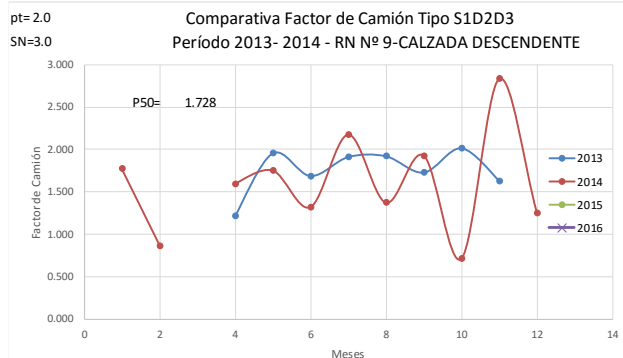
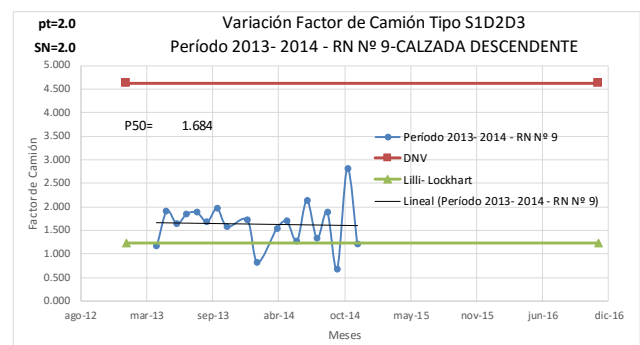
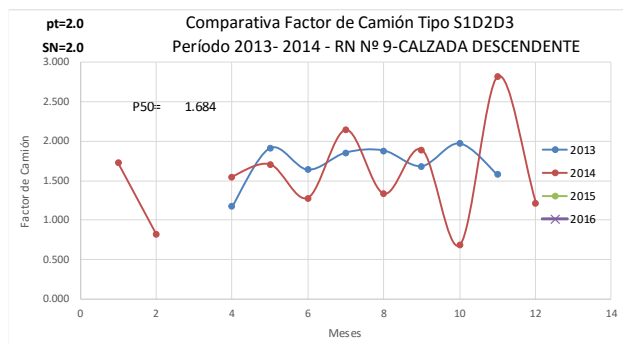
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2014 - RN Nº 9

CAMION TIPO: S1D2D3

S1D2D3

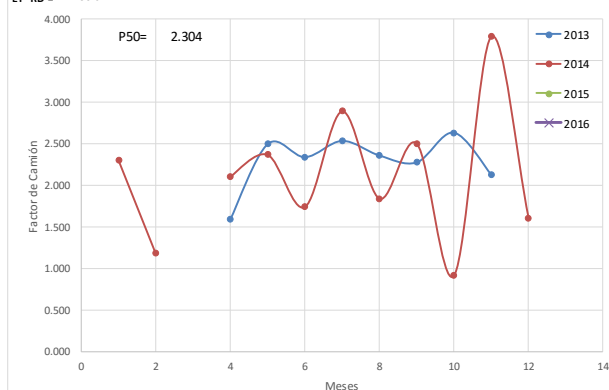
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

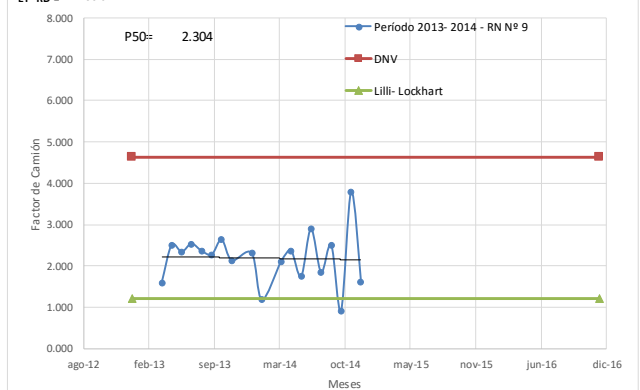
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D3
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D3
Período 2013- 2014 - RN Nº 9-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

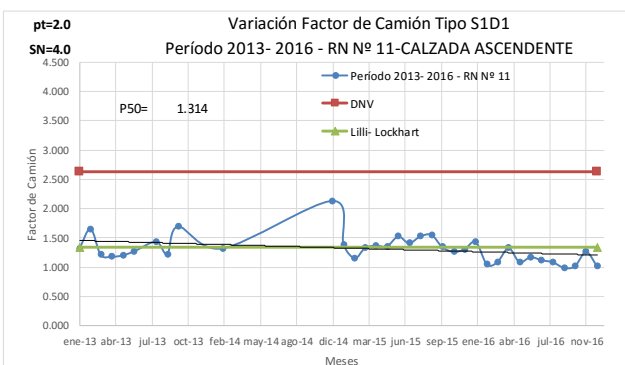
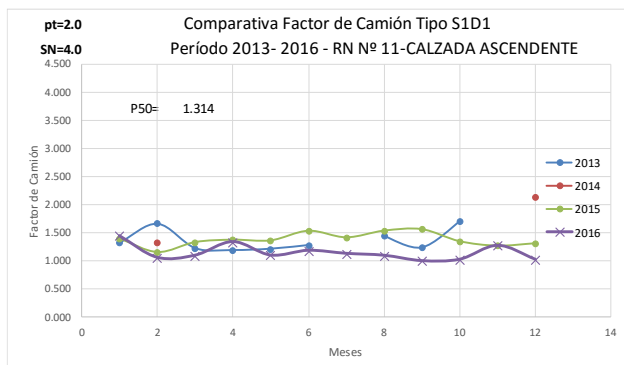
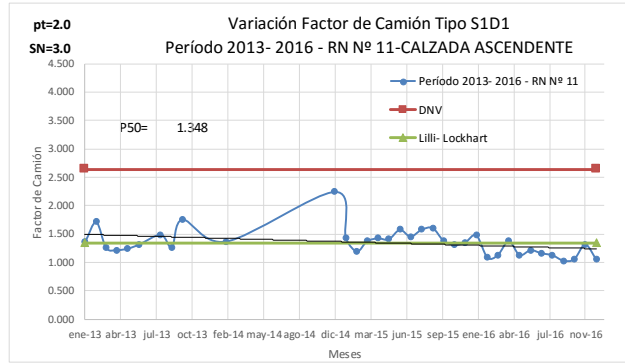
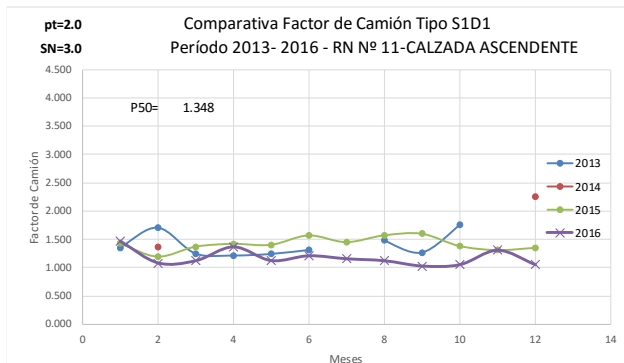
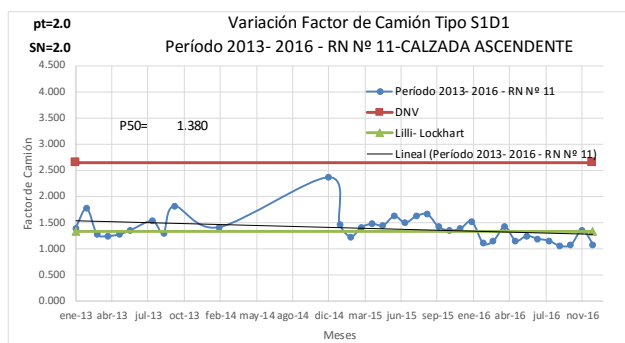
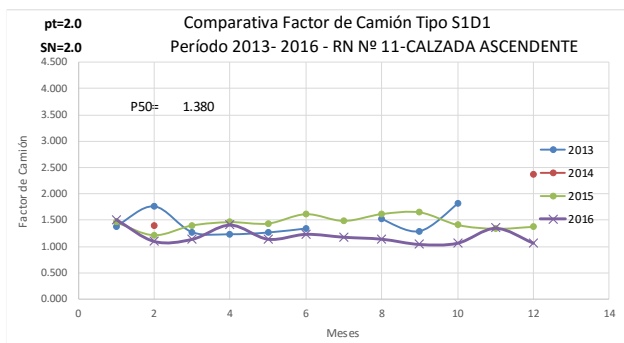
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D1

S1D1

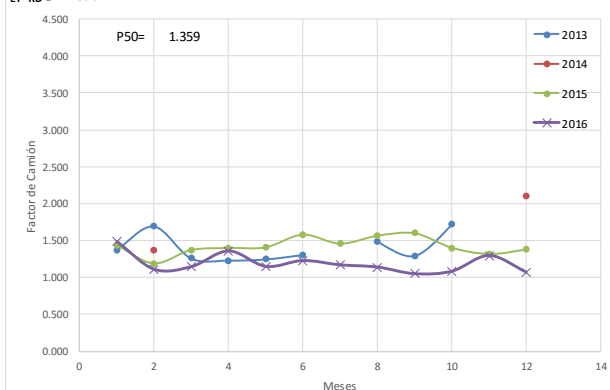
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

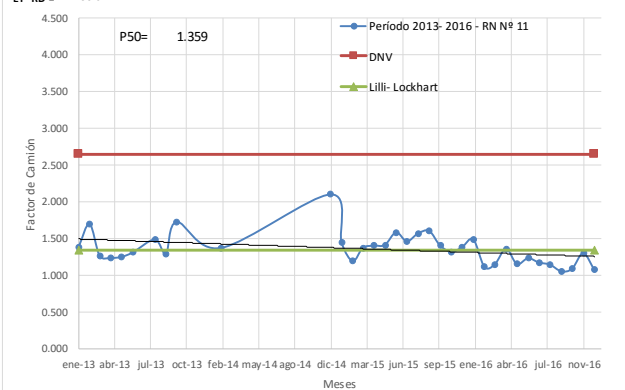
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

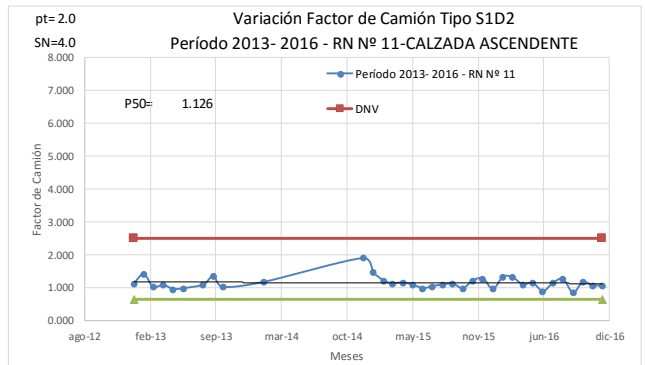
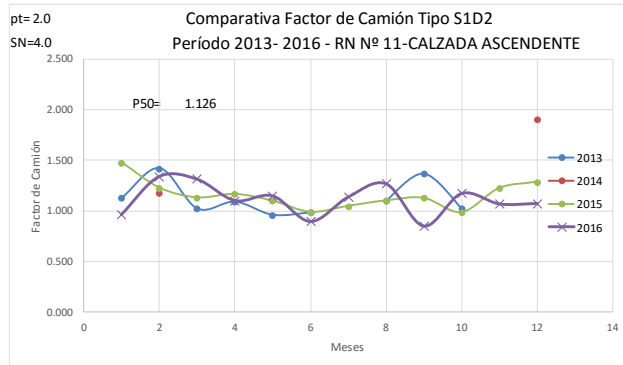
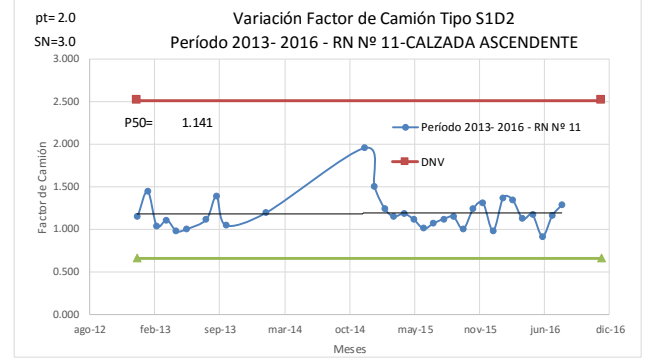
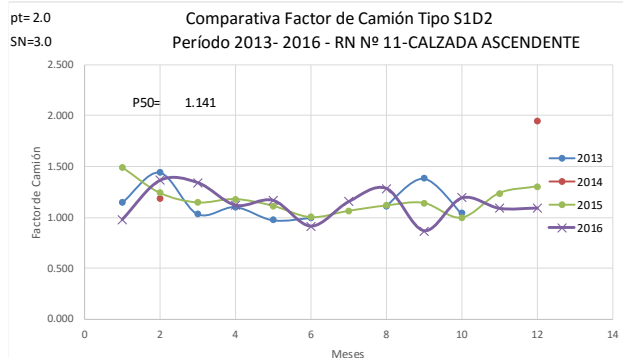
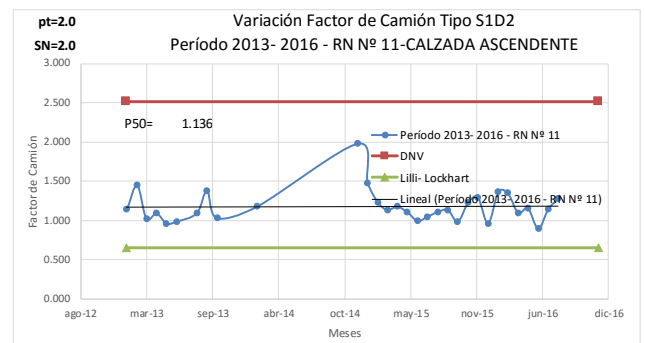
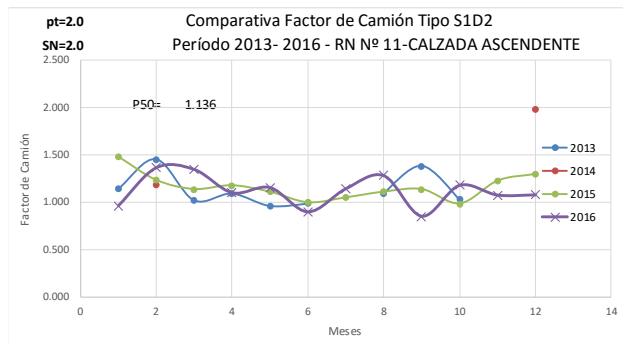
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D2

S1D2

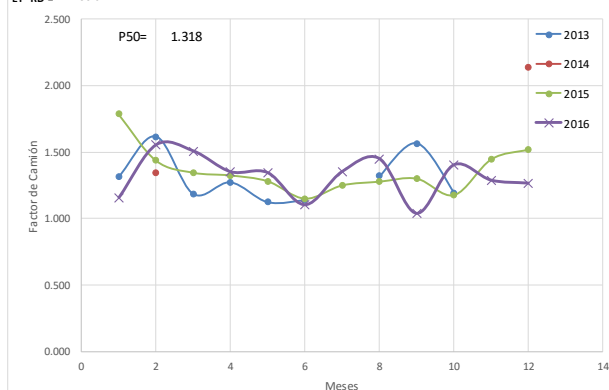
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

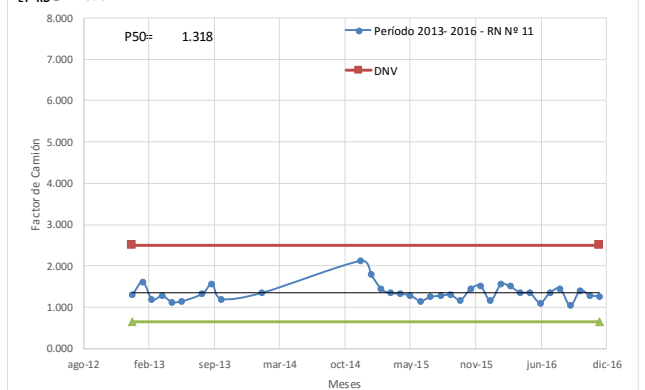
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

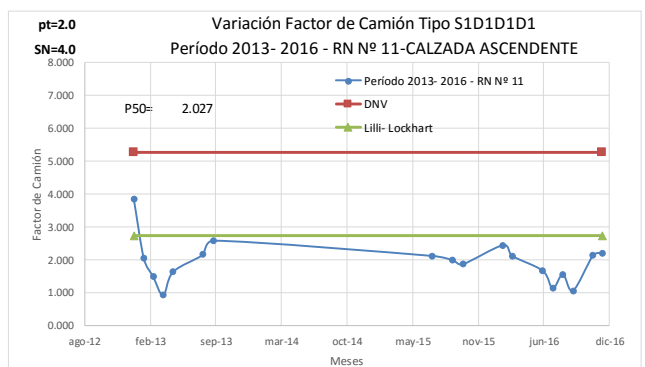
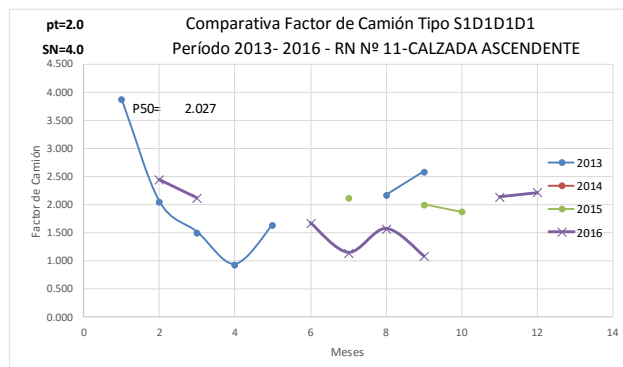
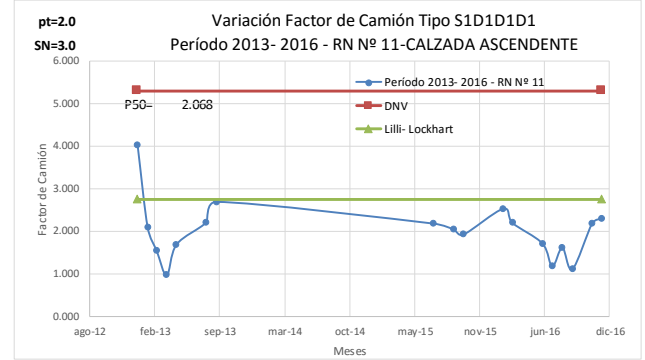
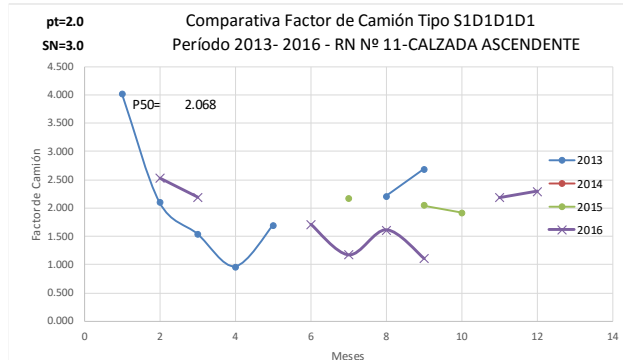
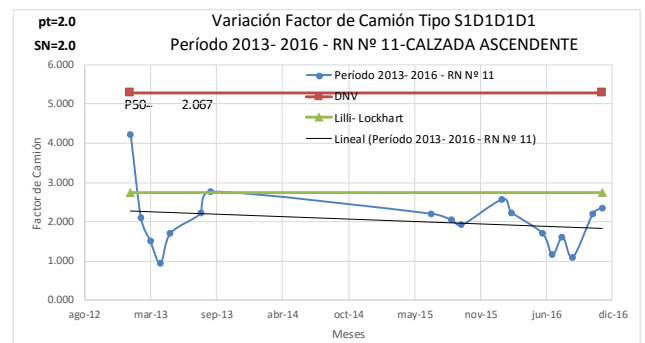
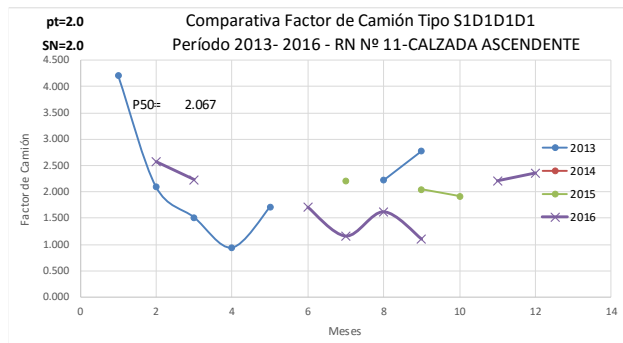
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D1D1D1

S1D1D1D1

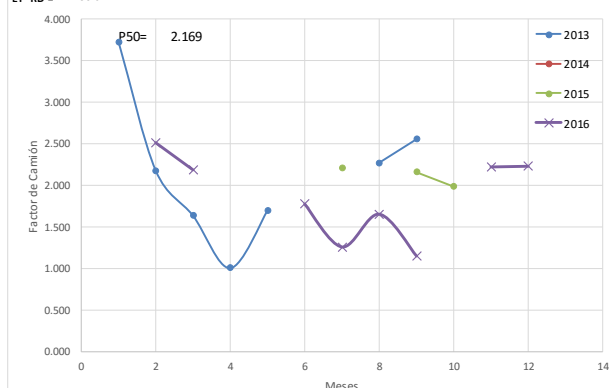
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

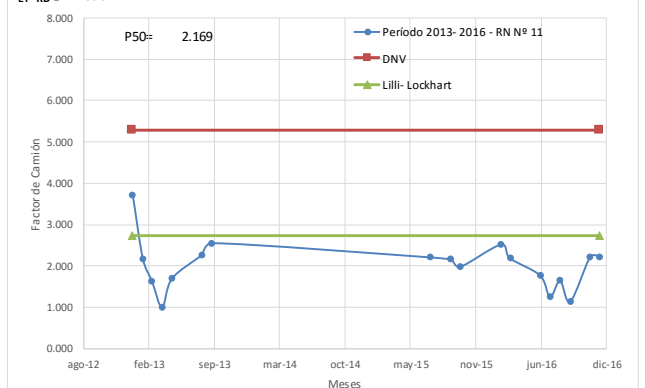
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

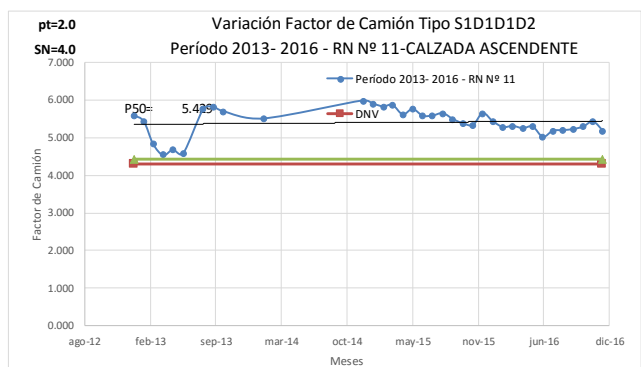
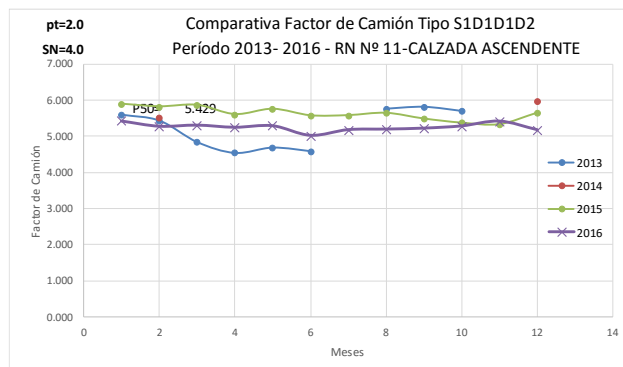
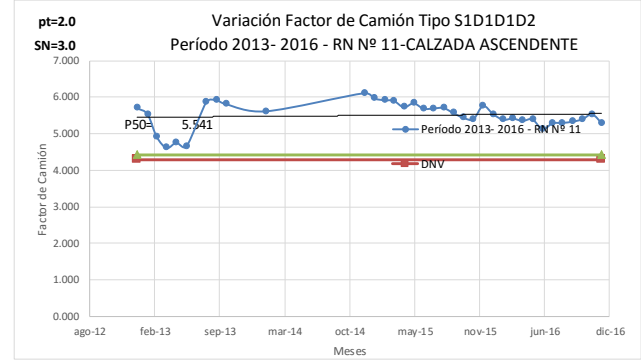
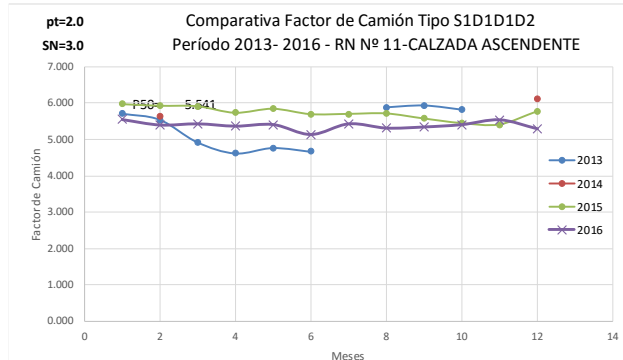
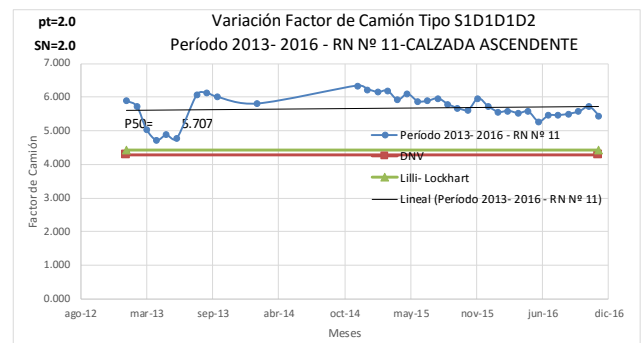
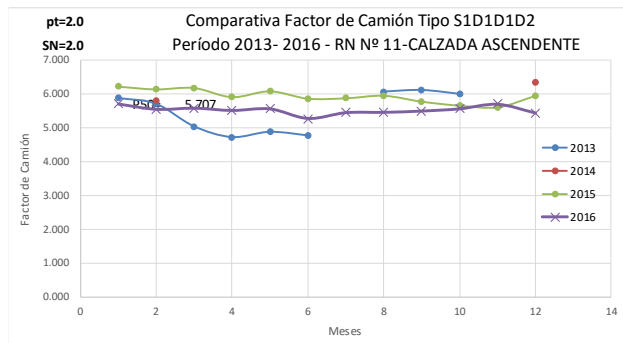
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D1D1D2

S1D1D1D2

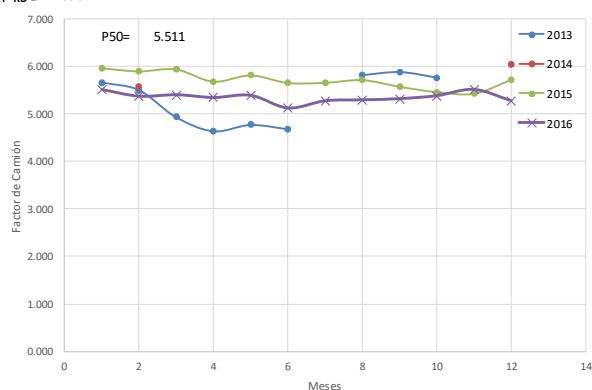
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

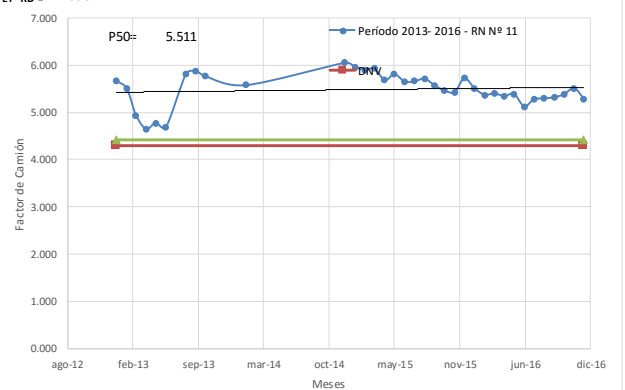
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

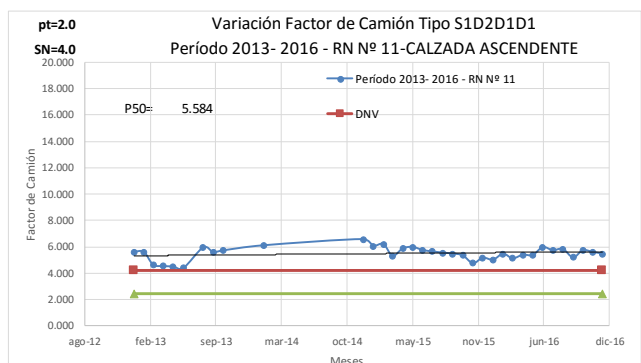
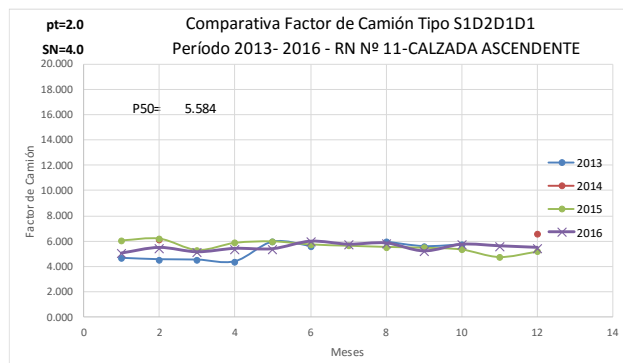
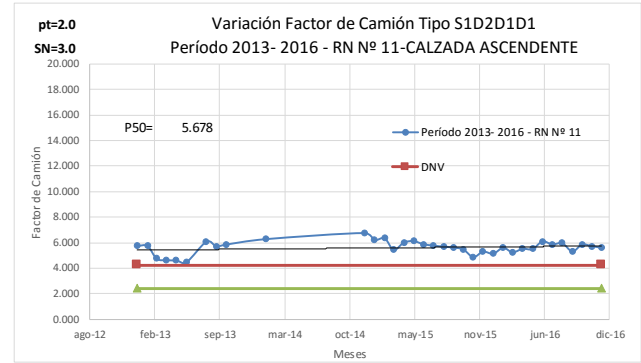
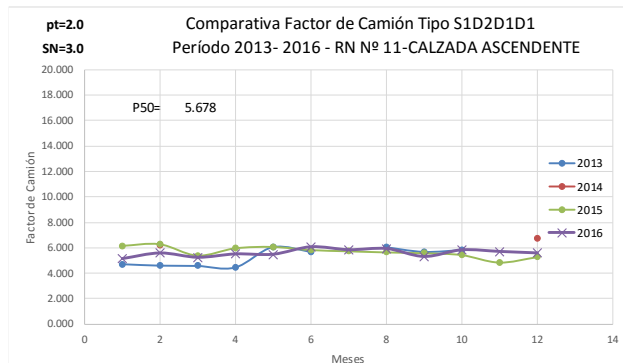
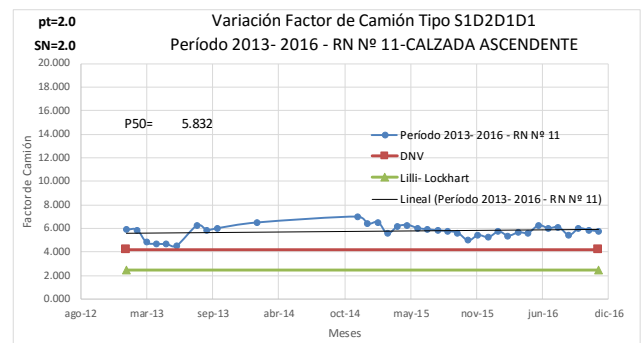
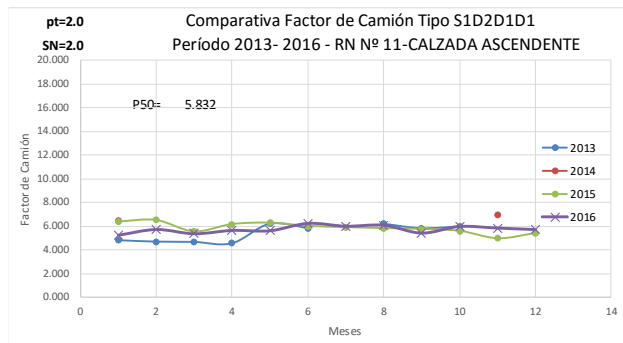
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO:

S1D2D1D1

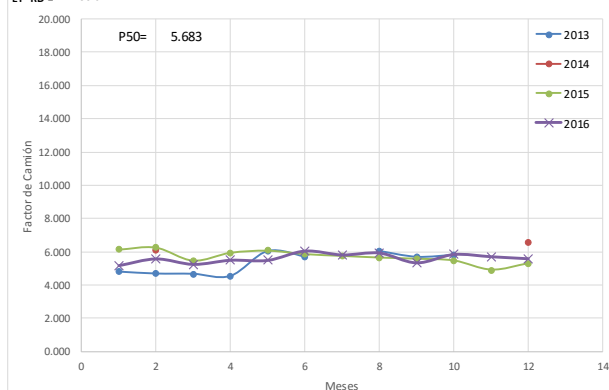
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

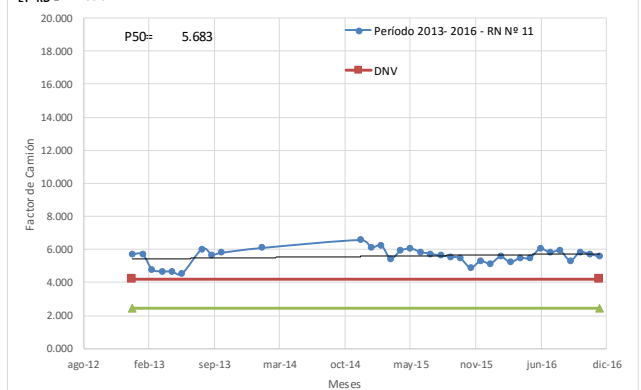
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

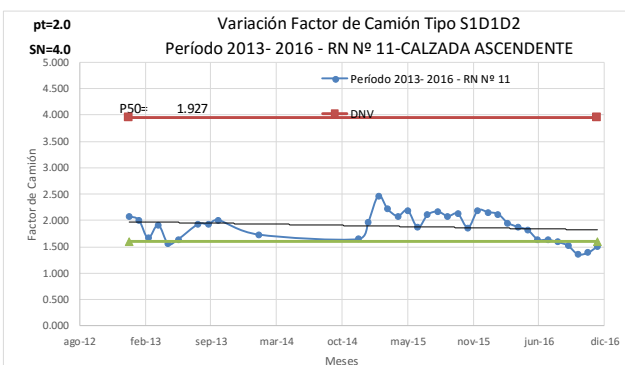
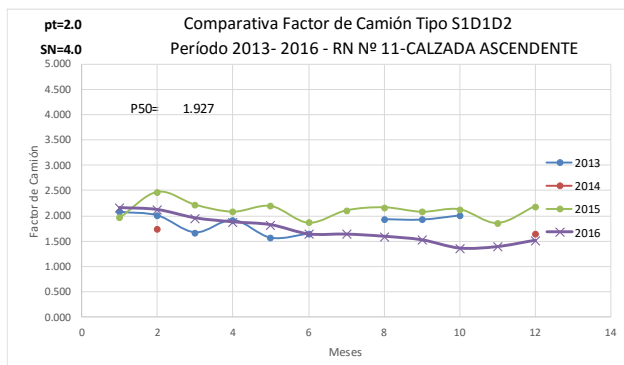
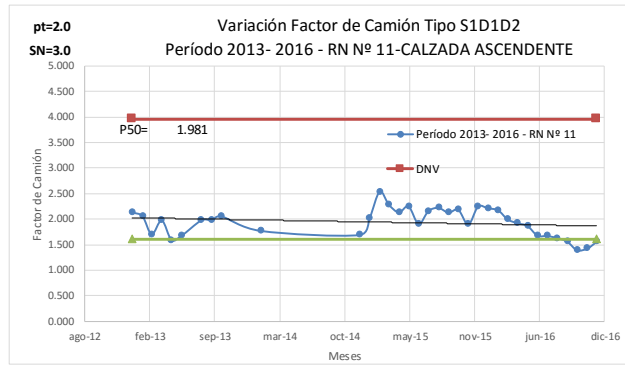
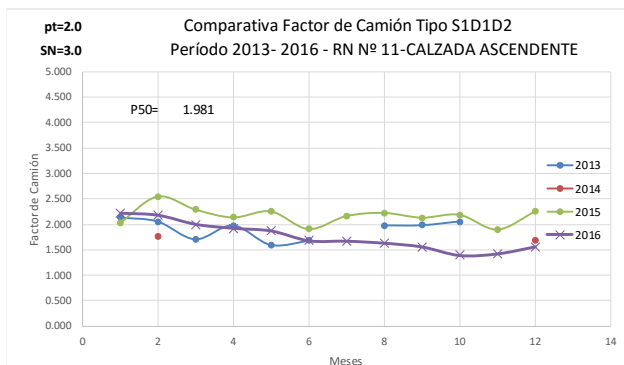
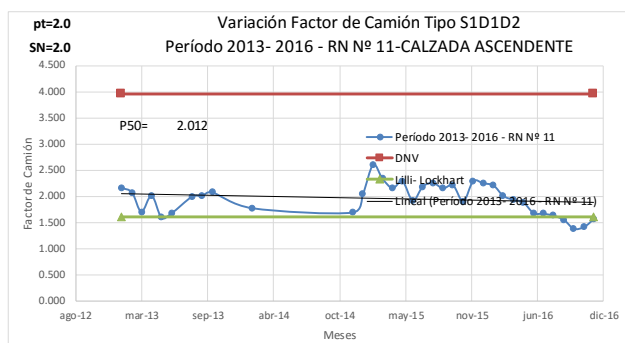
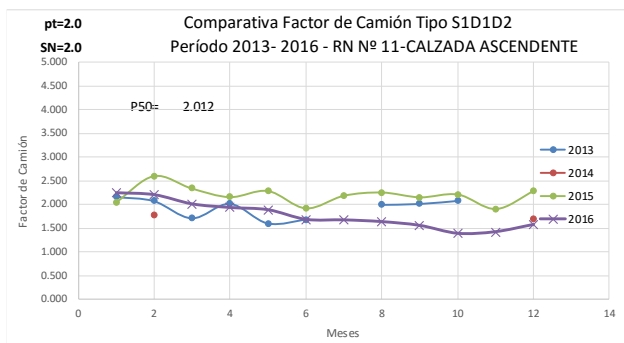
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D1D2

S1D1D2

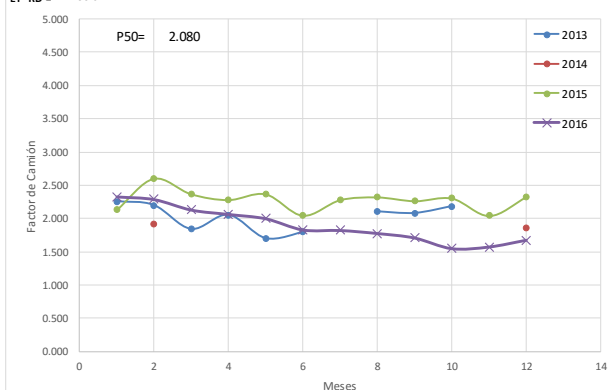
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

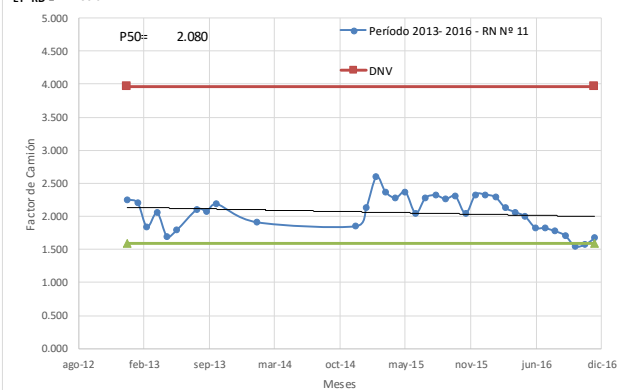
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

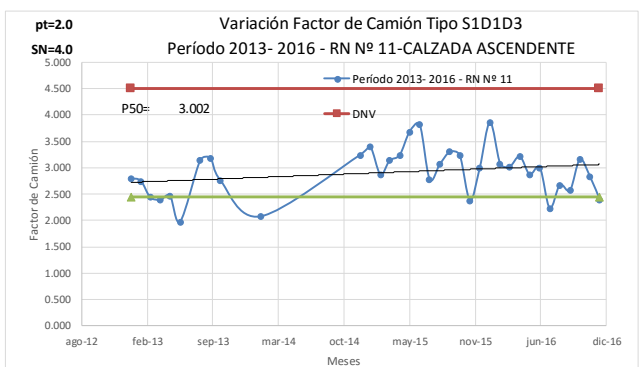
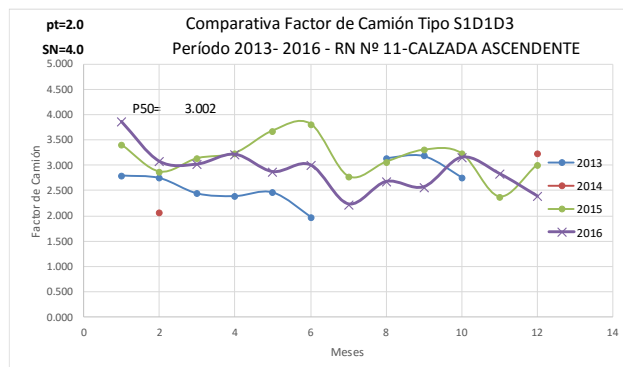
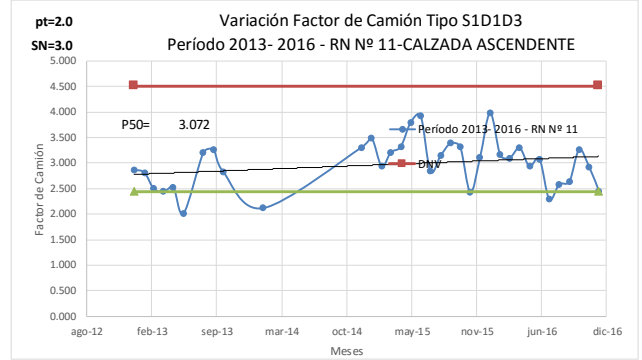
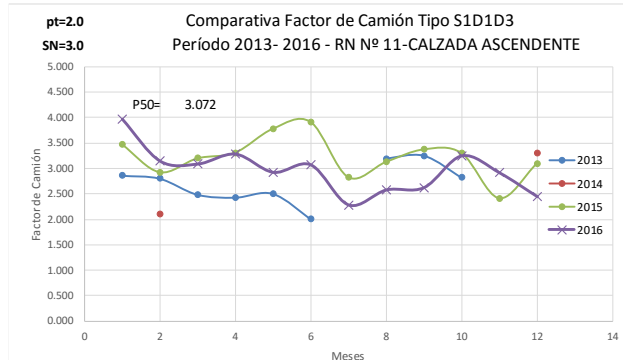
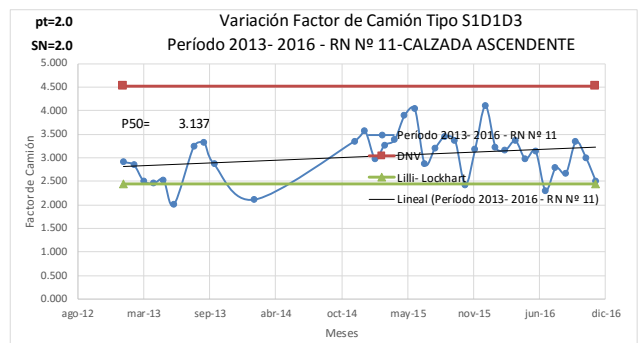
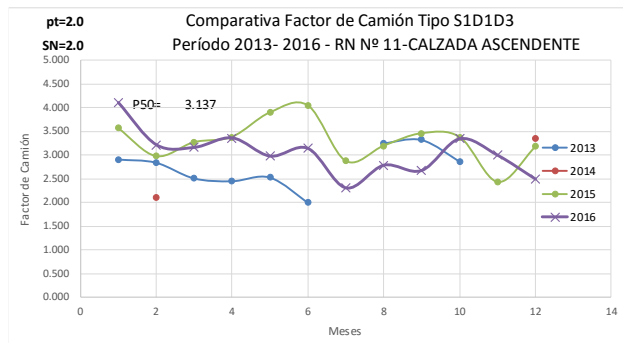
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D1D3

S1D1D3

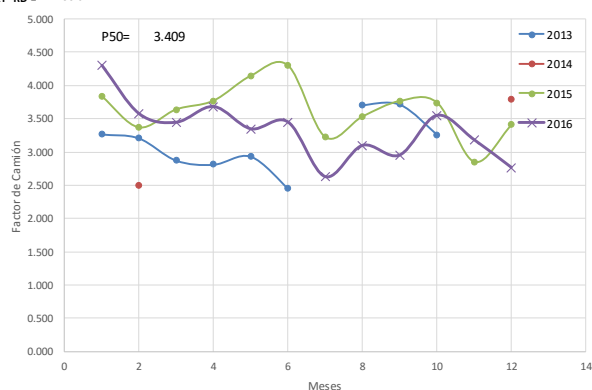
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

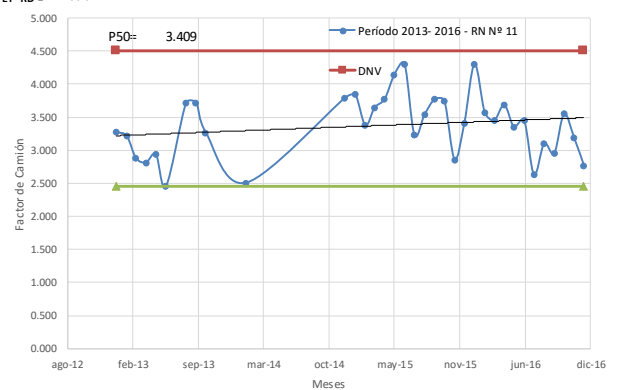
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



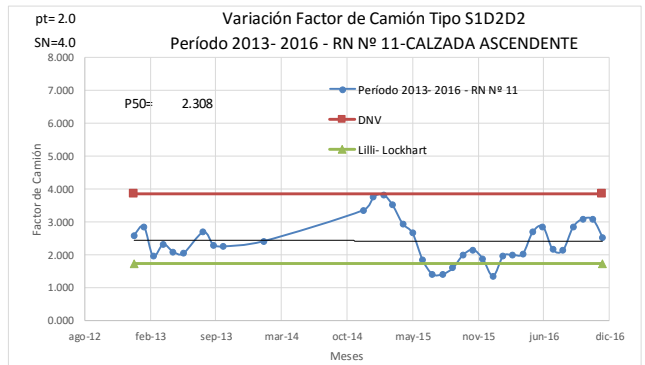
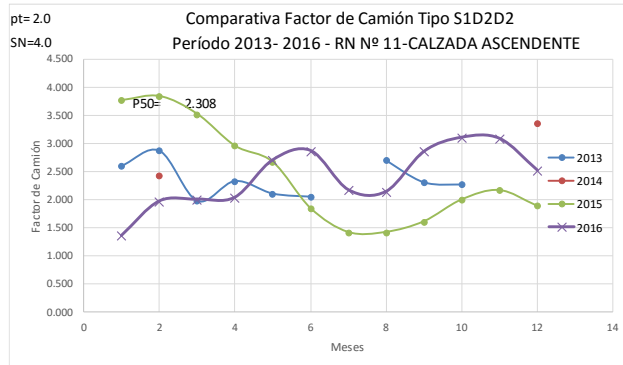
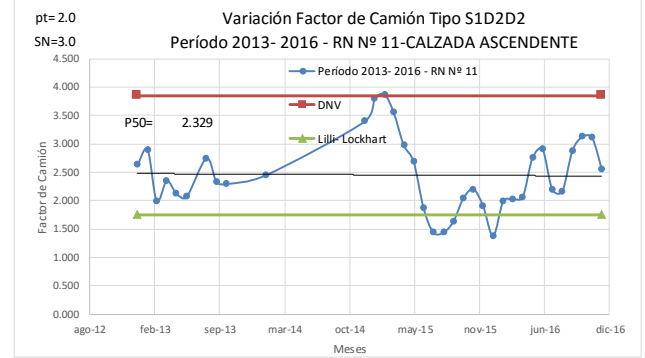
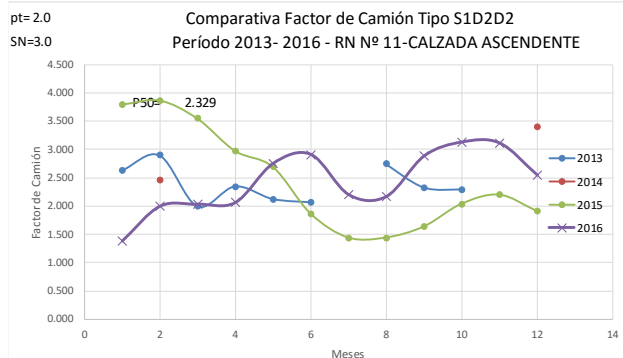
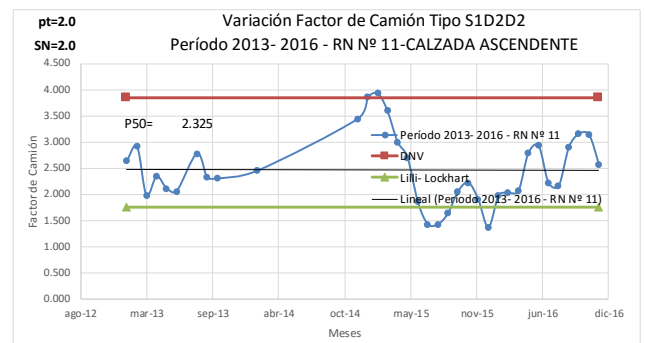
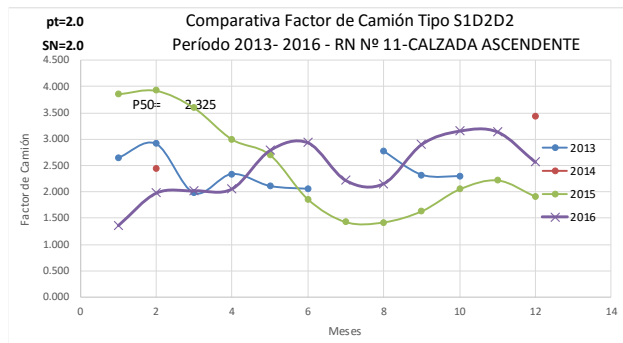
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D2D2

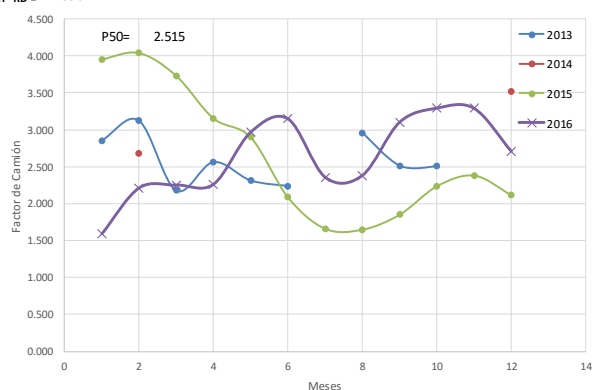
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

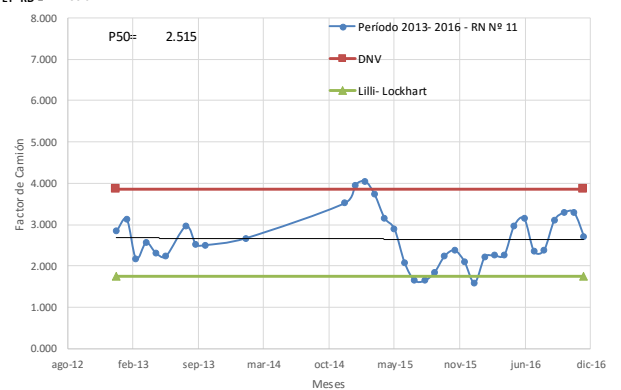
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



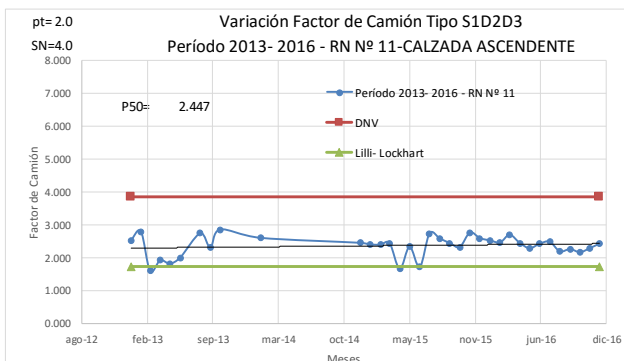
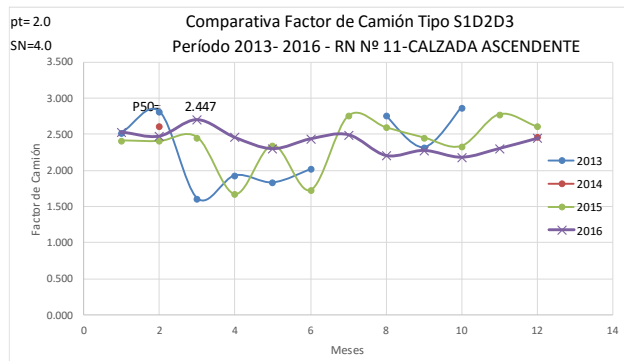
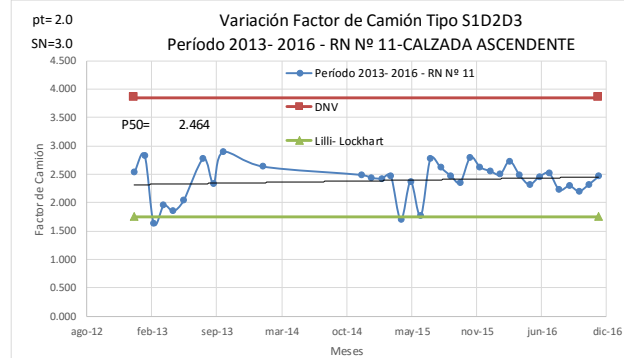
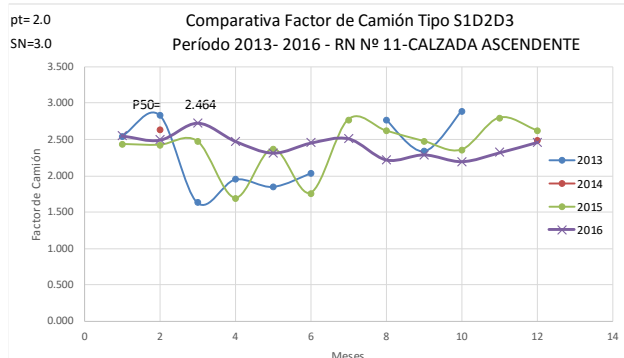
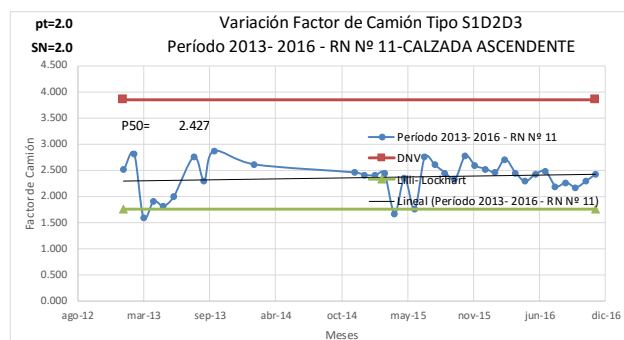
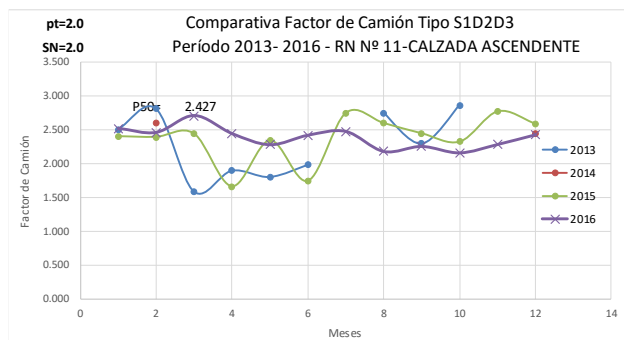
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D2D3

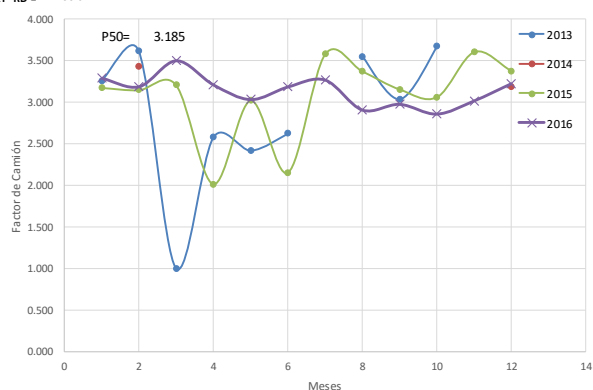
CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

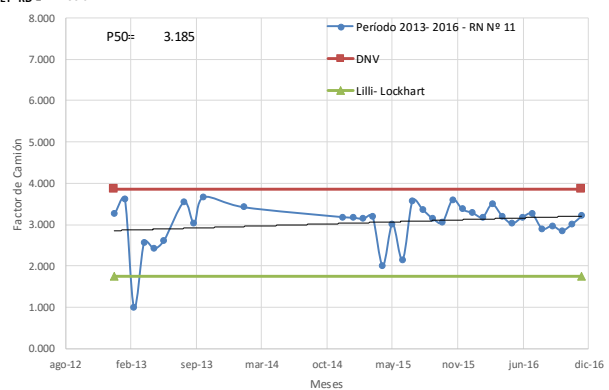
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA ASCENDENTE



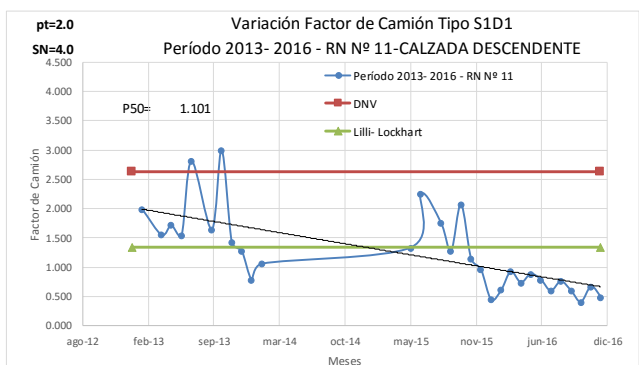
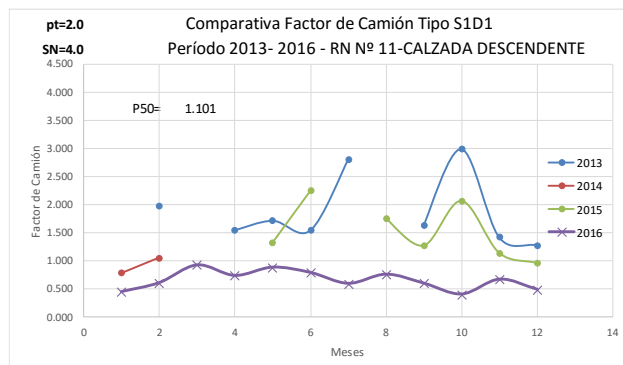
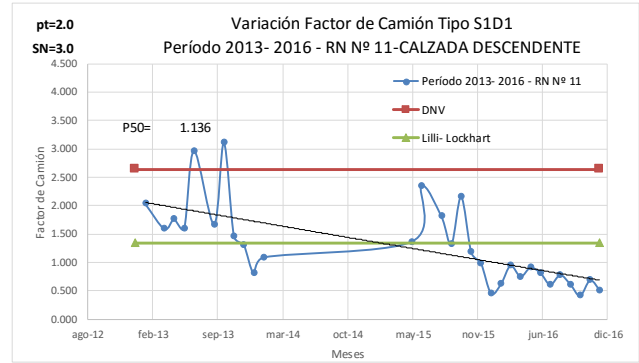
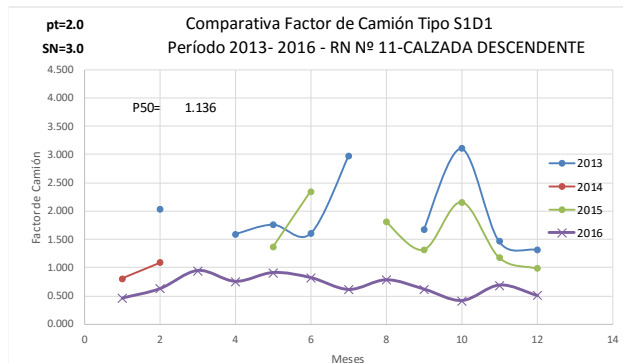
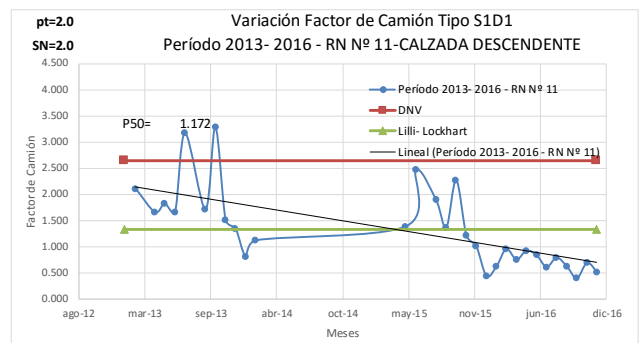
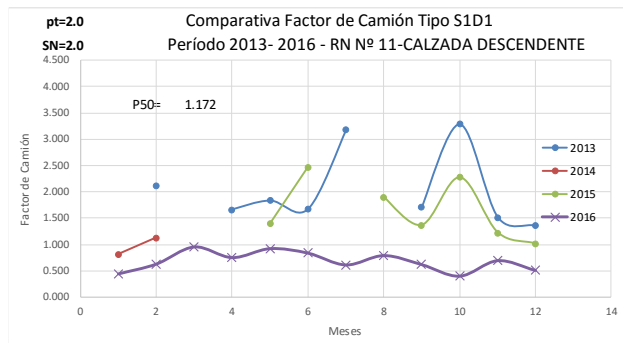
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D1

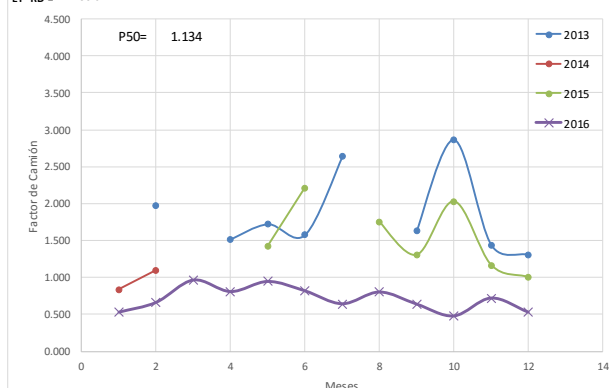
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

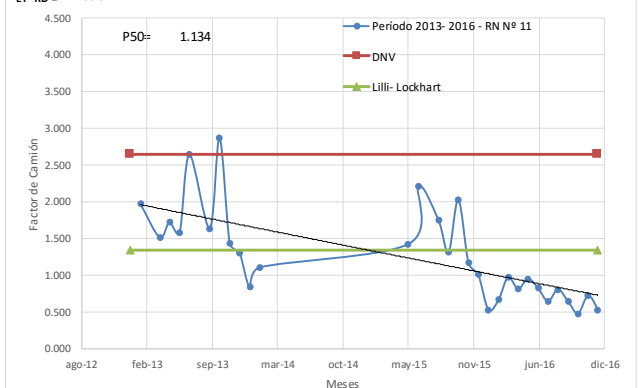
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

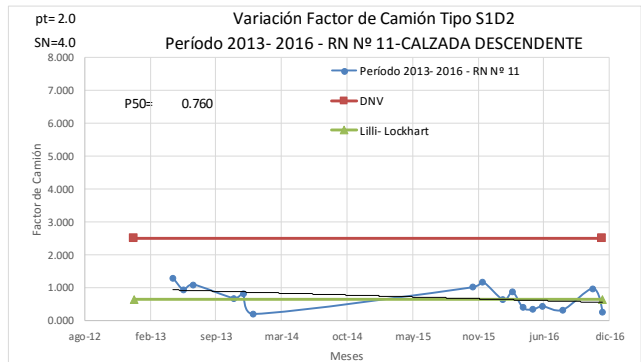
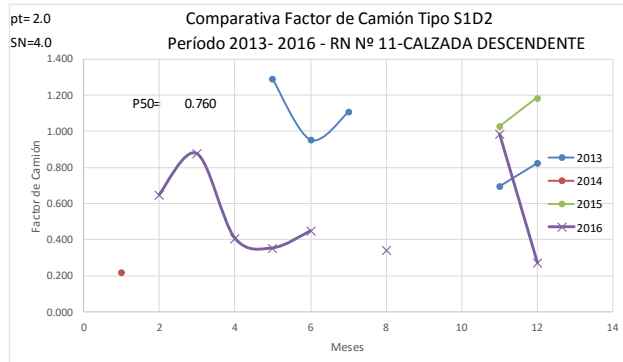
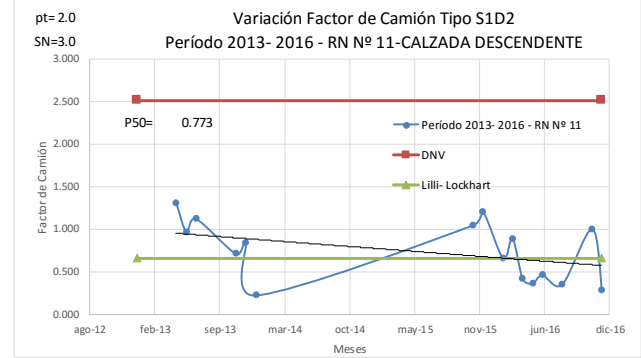
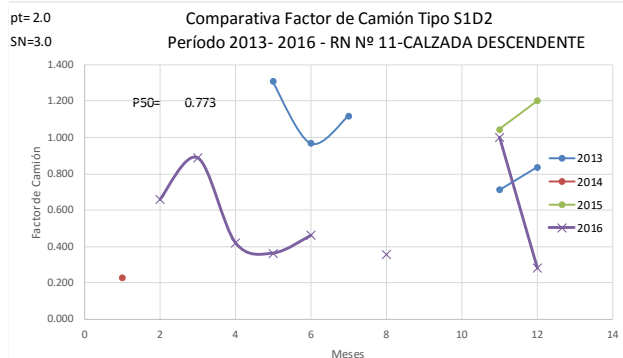
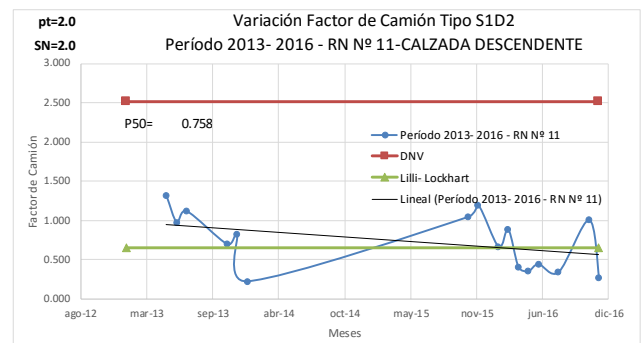
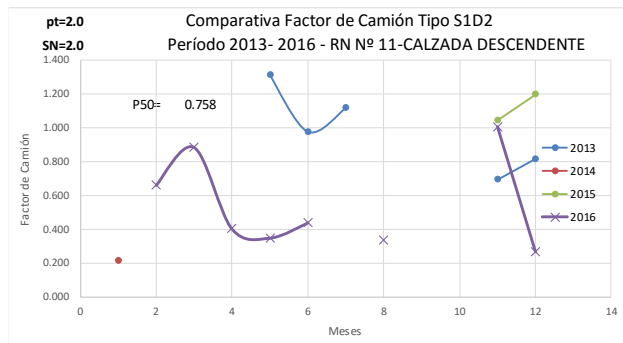
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D2

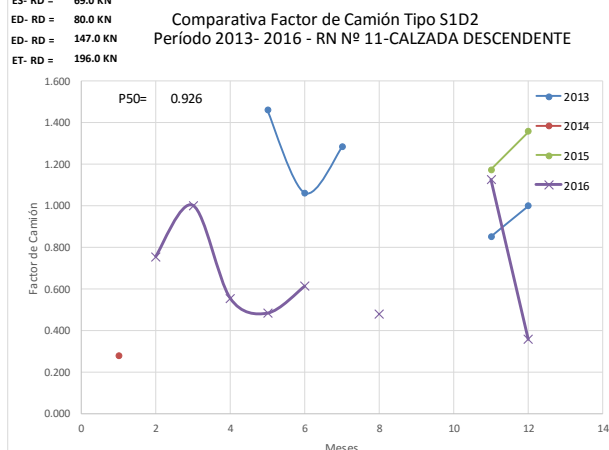
S1D2

CALZADA DESCENDENTE



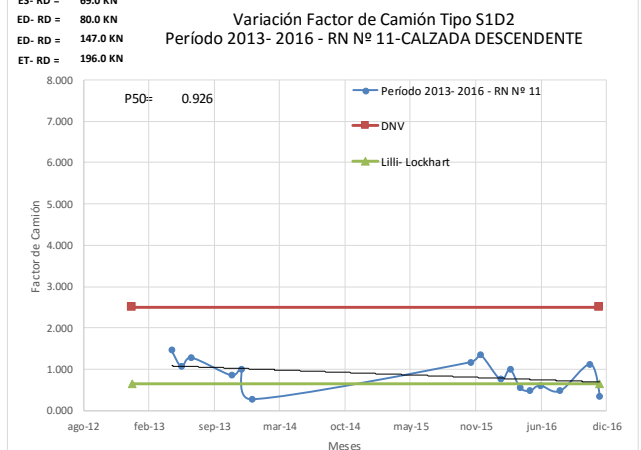
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

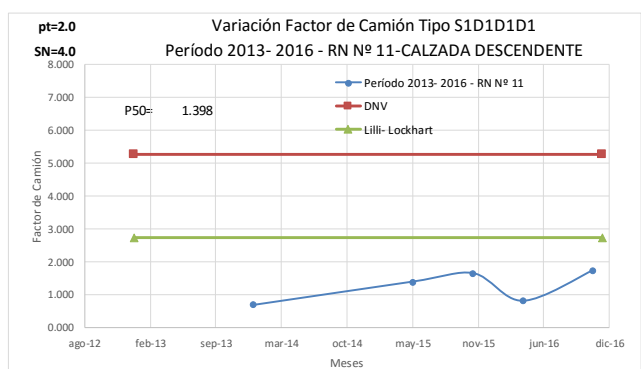
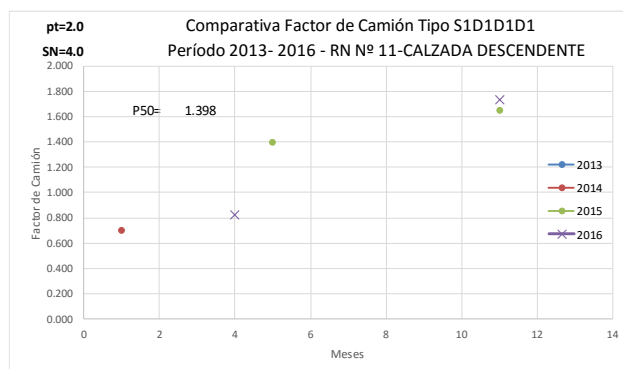
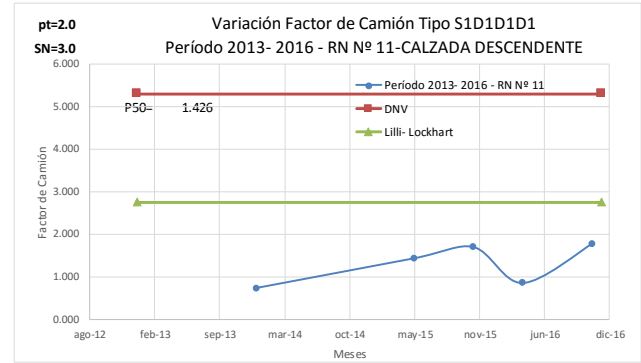
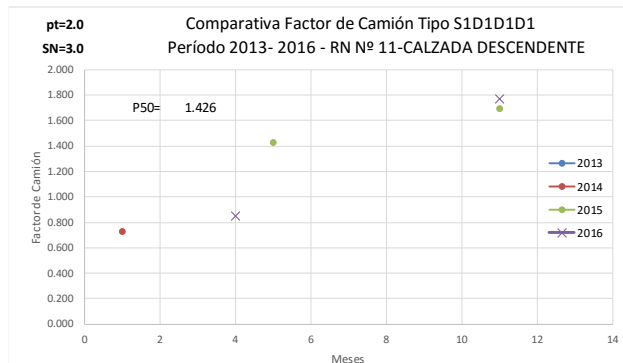
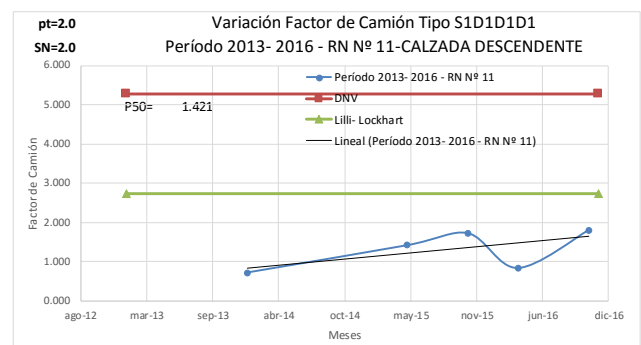
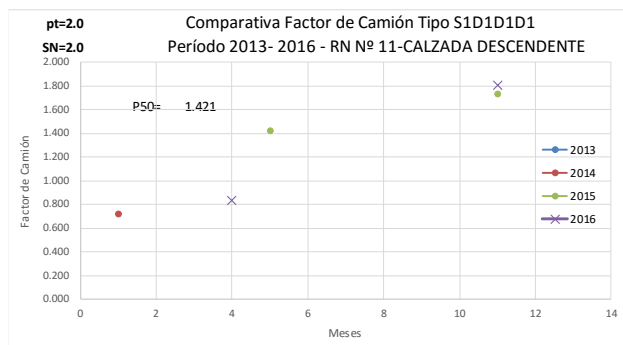
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D1D1D1

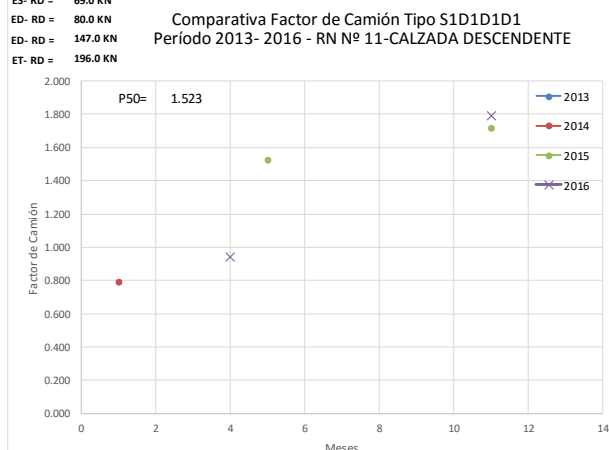
S1D1D1D1

CALZADA DESCENDENTE



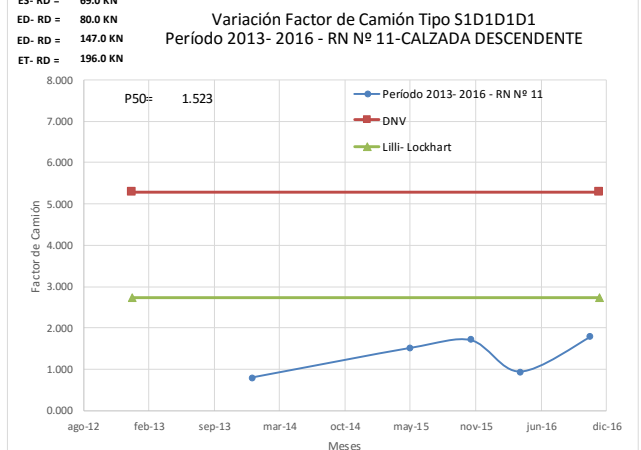
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



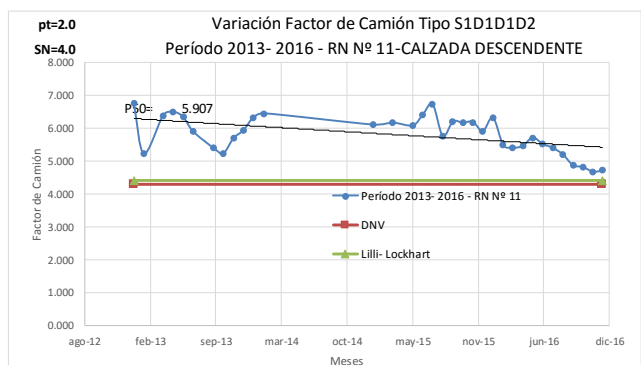
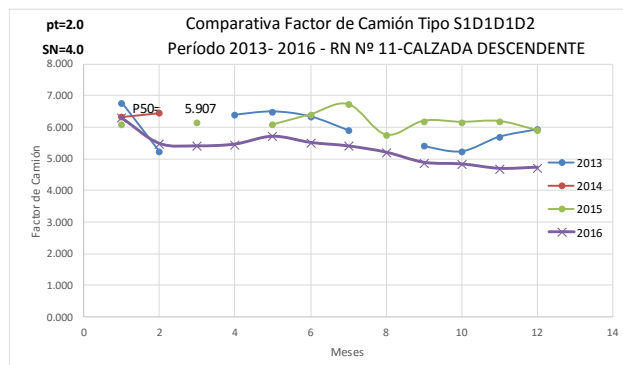
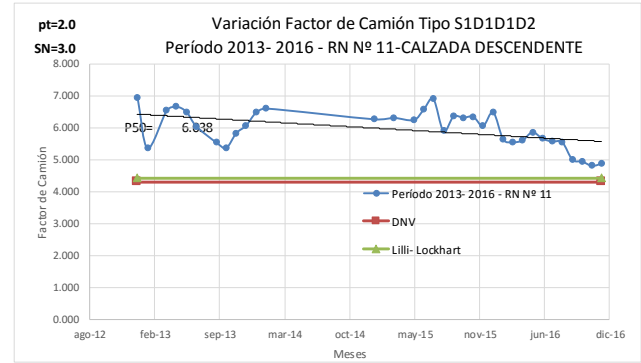
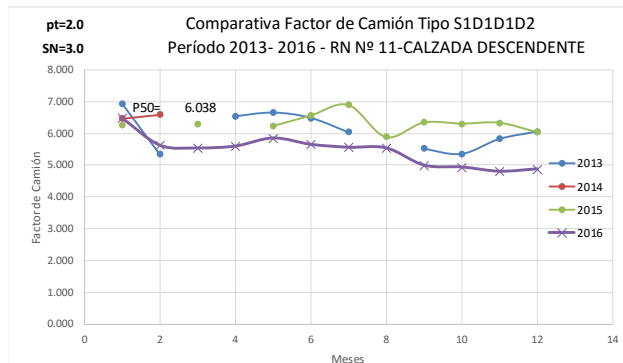
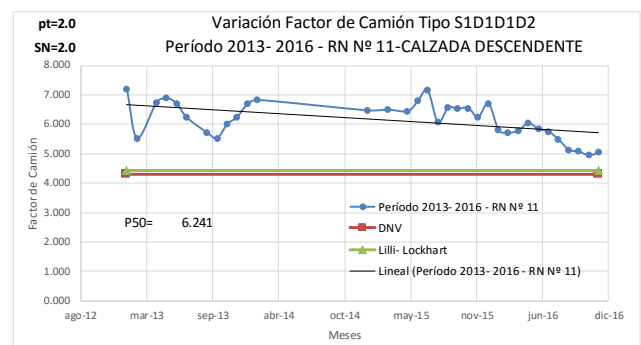
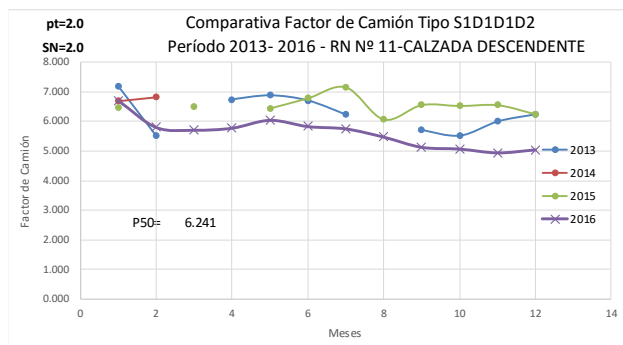
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D1D1D2

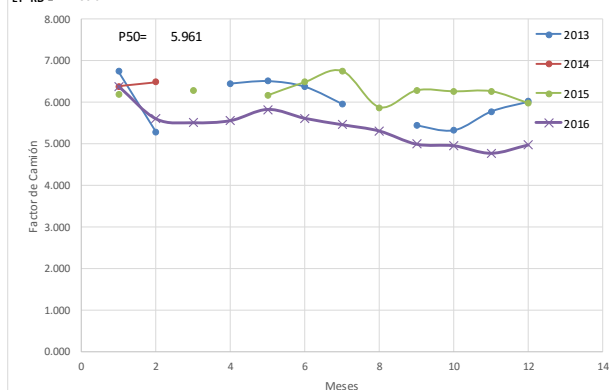
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

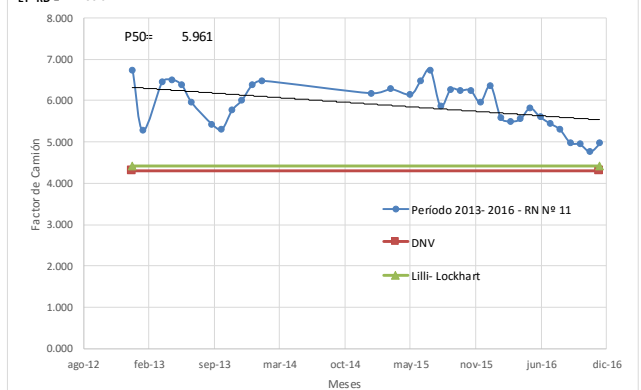
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

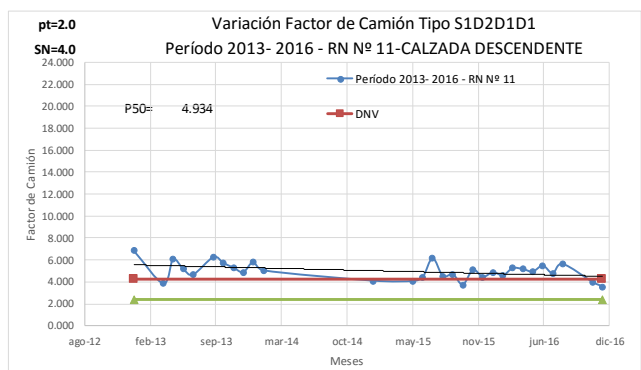
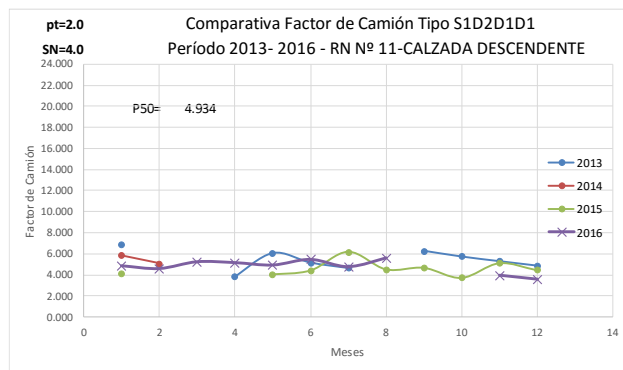
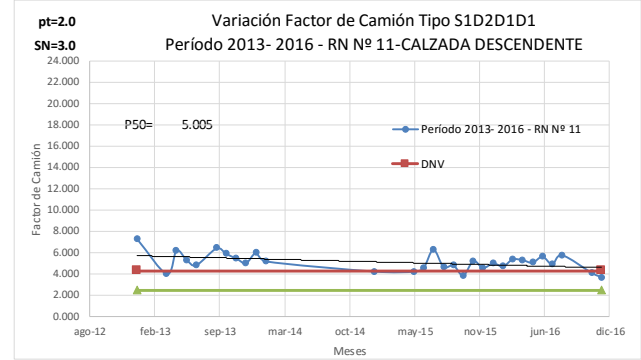
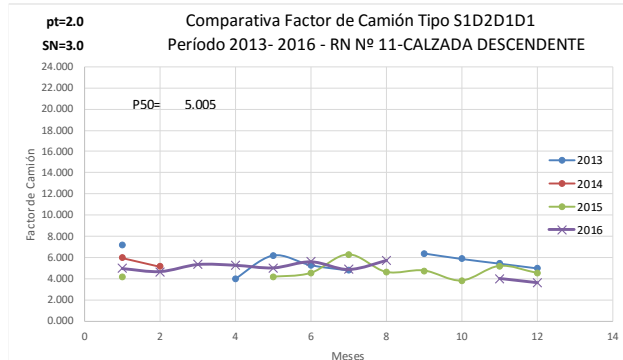
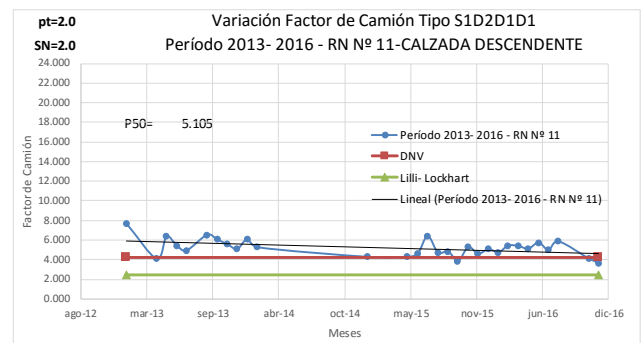
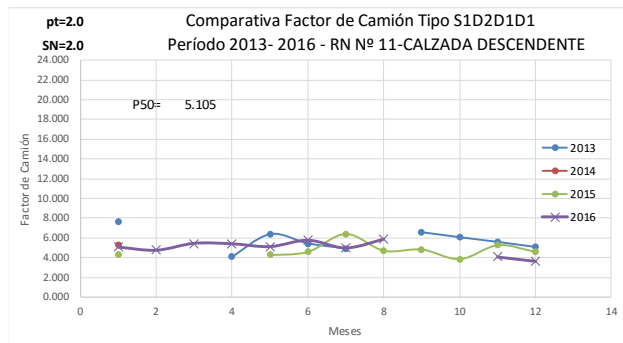
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D2D1D1

S1D2D1D1

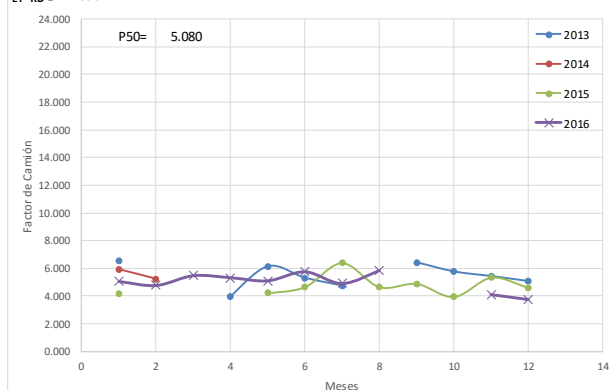
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

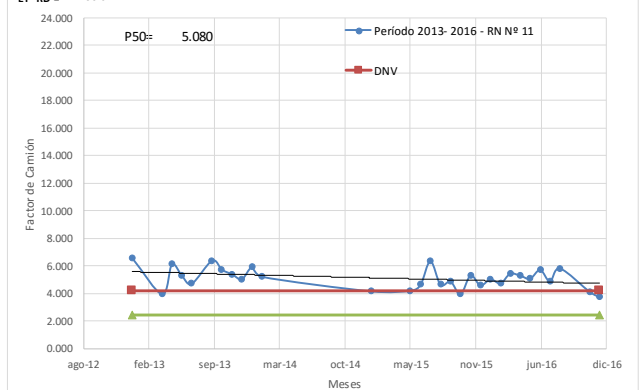
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D1D1
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



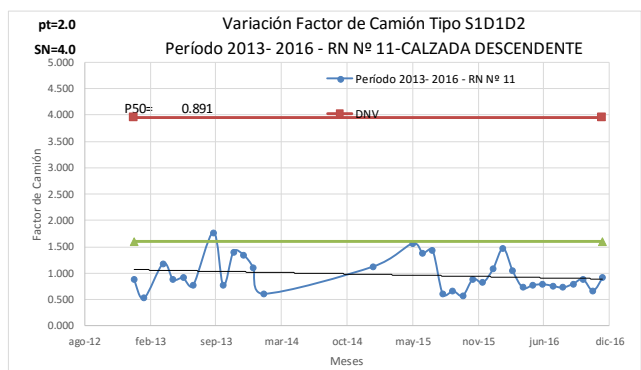
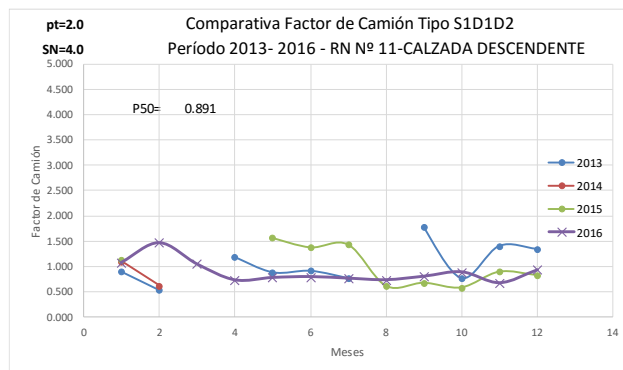
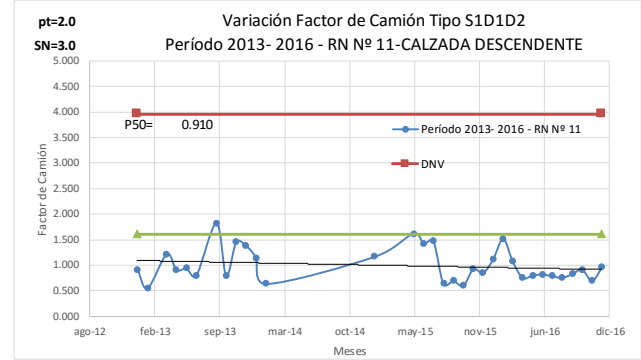
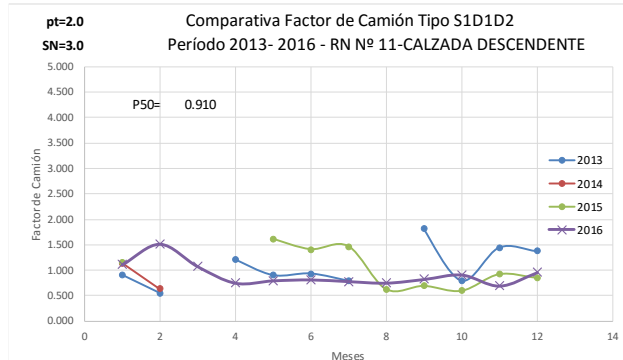
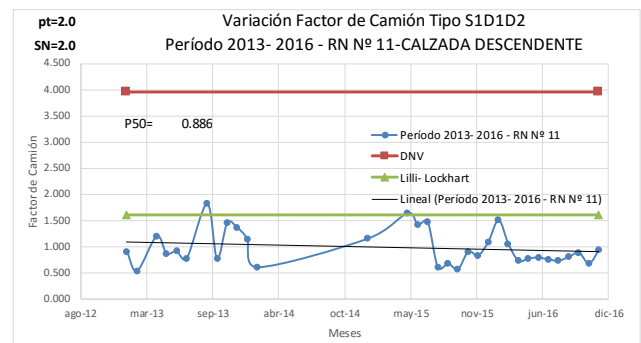
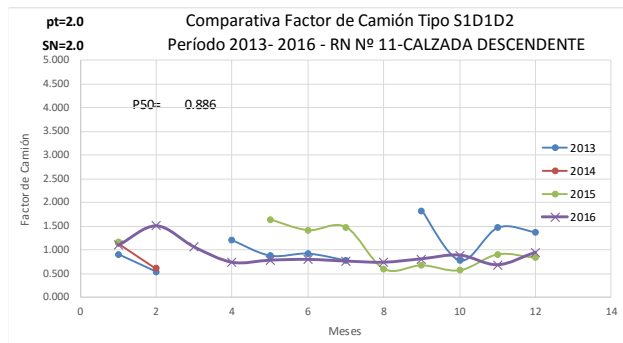
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D1D2

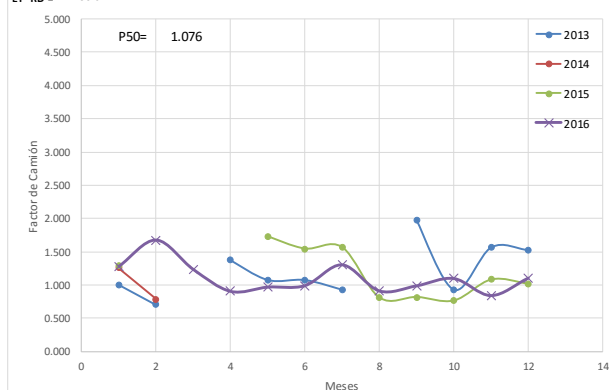
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

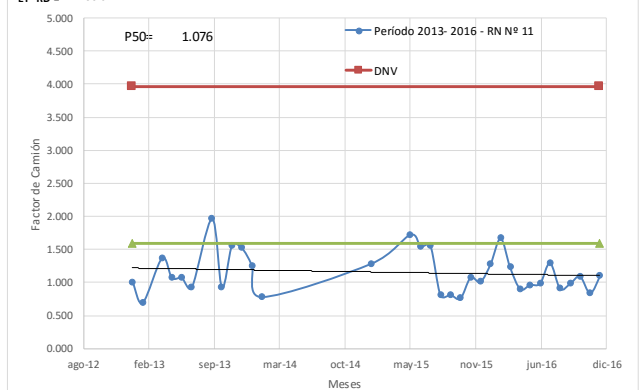
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D1D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



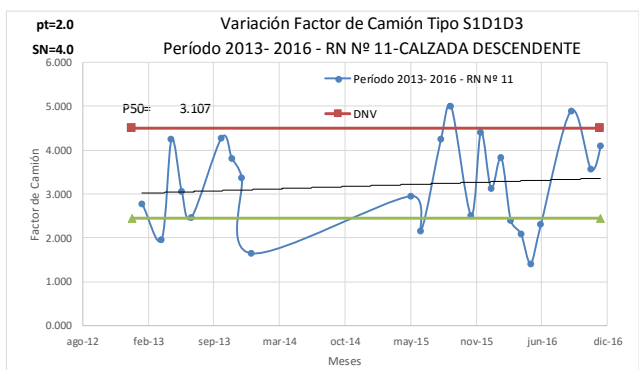
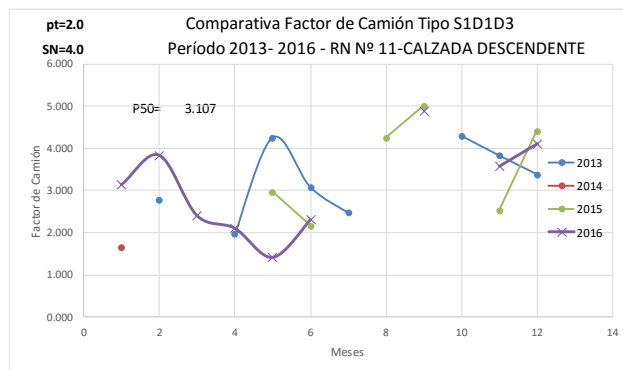
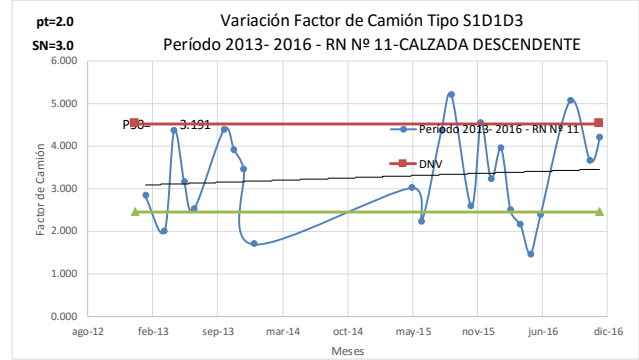
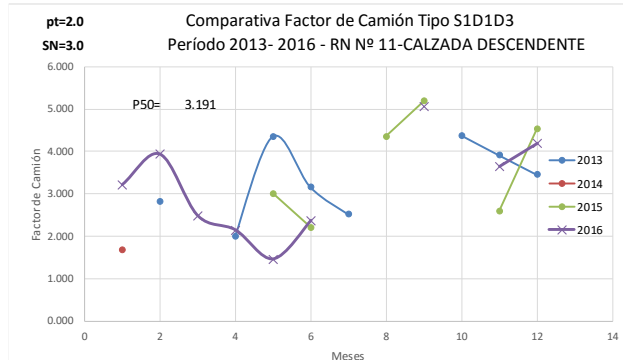
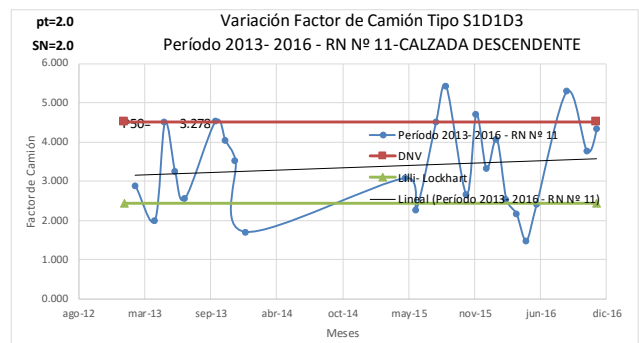
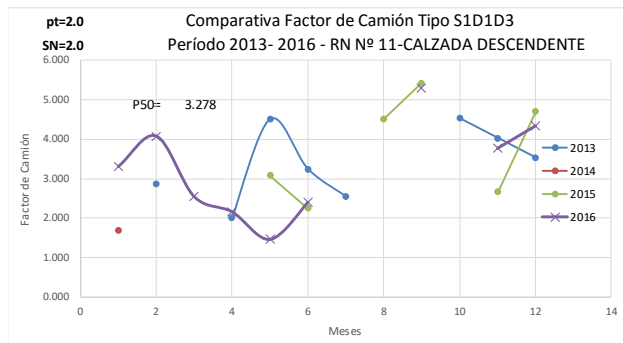
MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

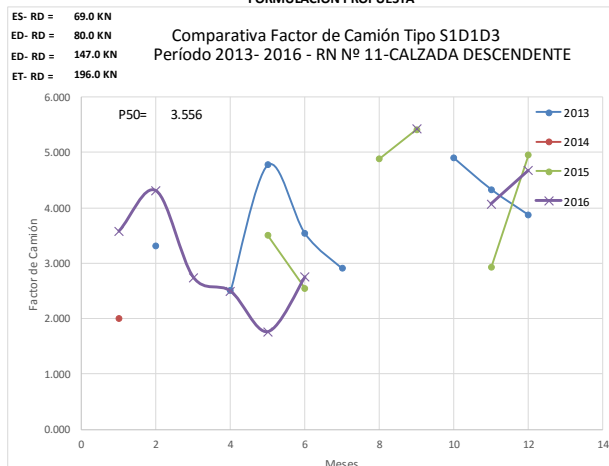
CAMION TIPO: S1D1D3

CALZADA DESCENDENTE



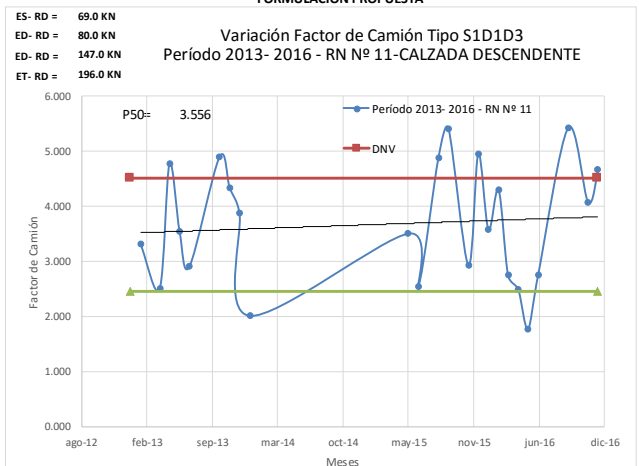
FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

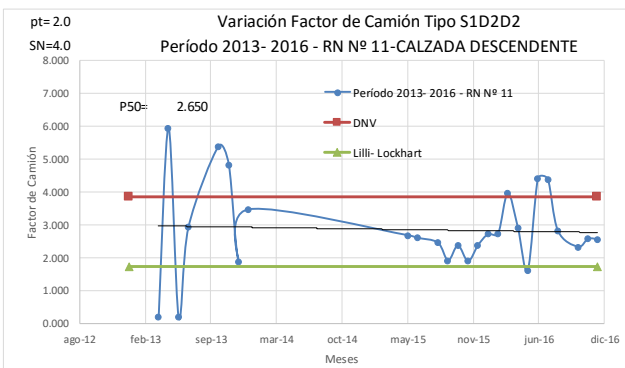
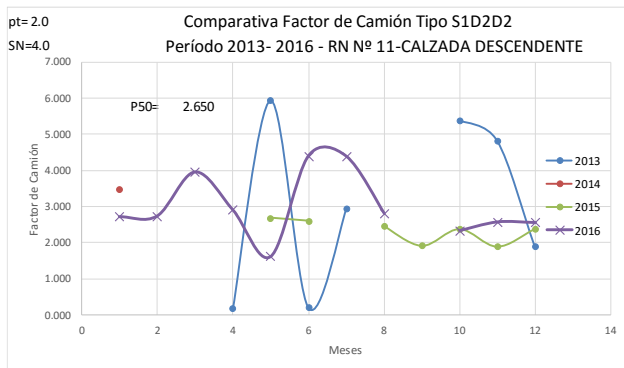
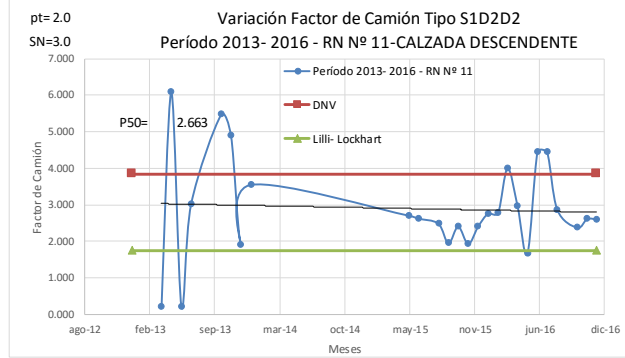
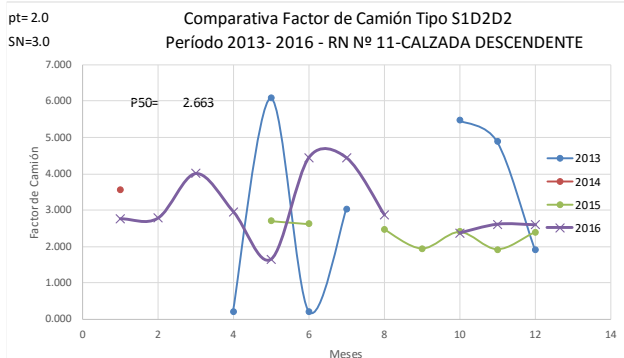
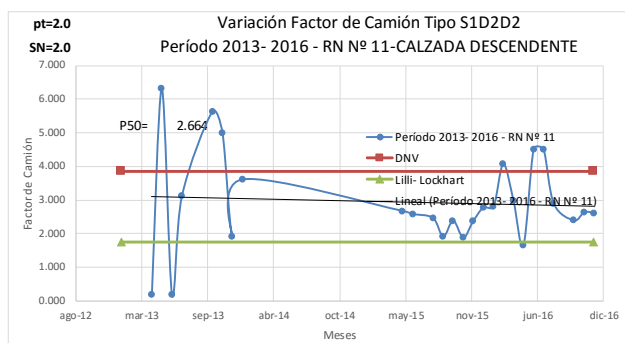
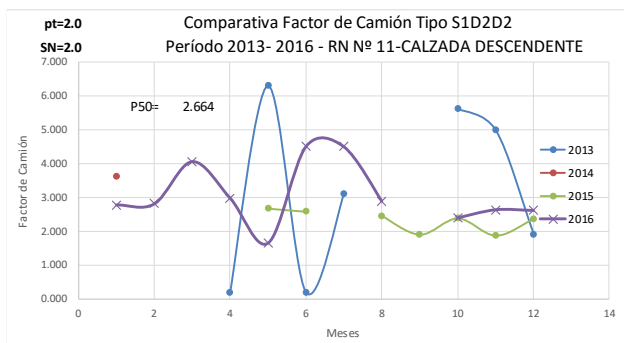
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO: S1D2D2

S1D2D2

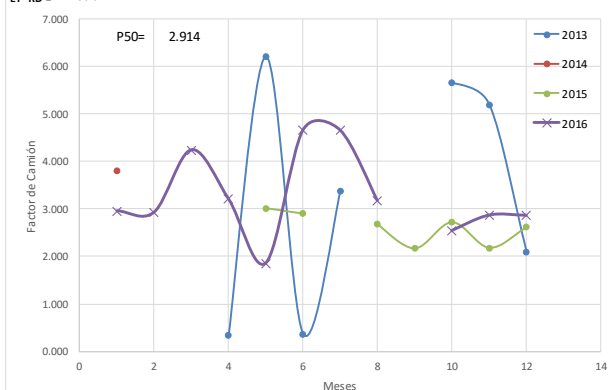
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

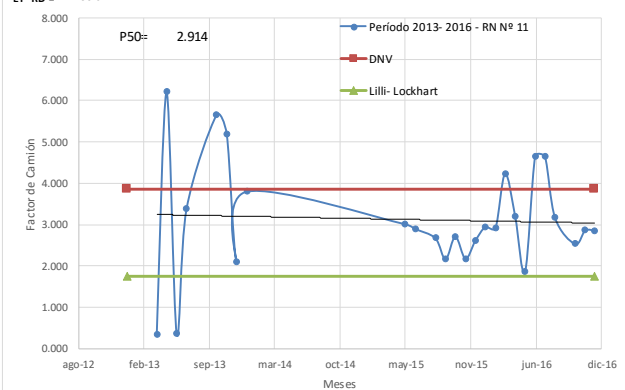
Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D2
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



MAESTRÍA VIAL- UNR- TESIS DE GRADUACION- ING. JORGE E. RAMONEDA- AÑO 2019
“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LA ZONA CENTRAL DEL PAÍS”

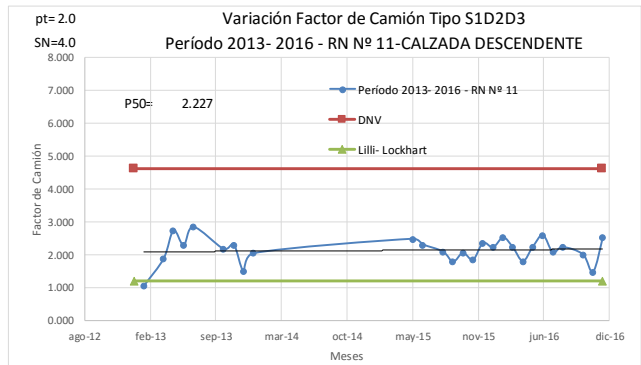
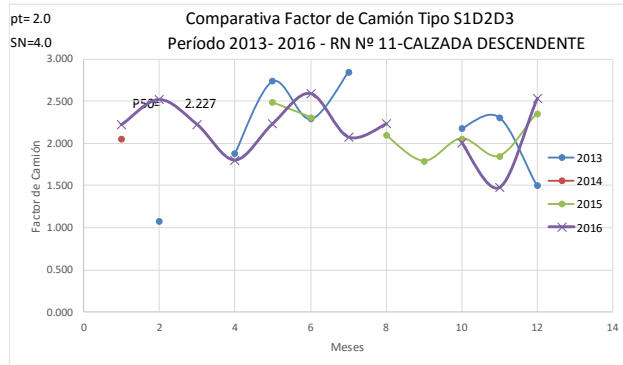
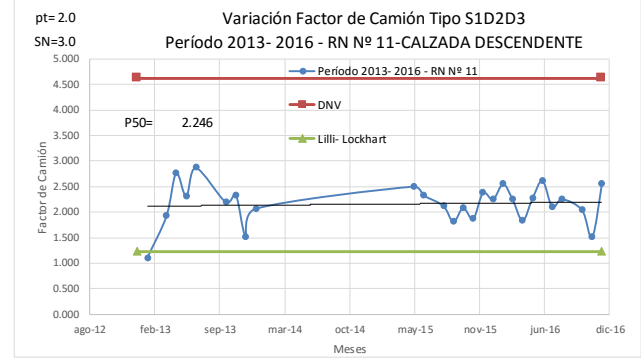
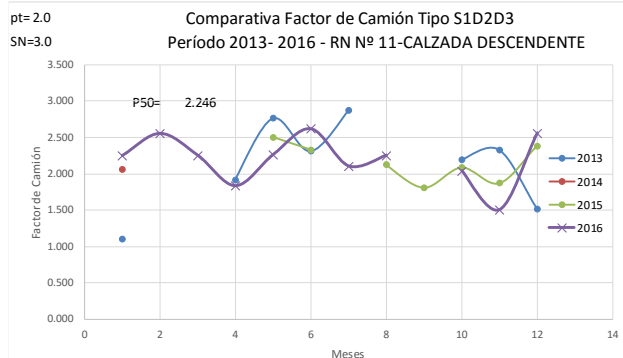
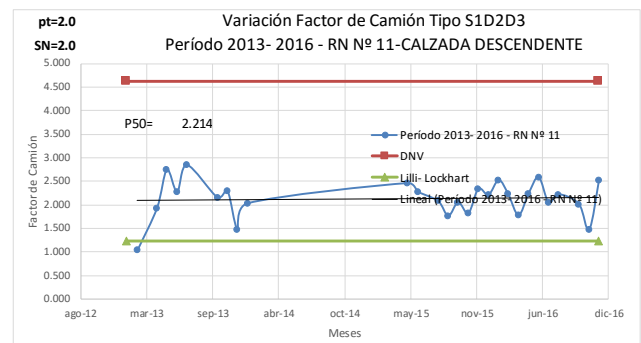
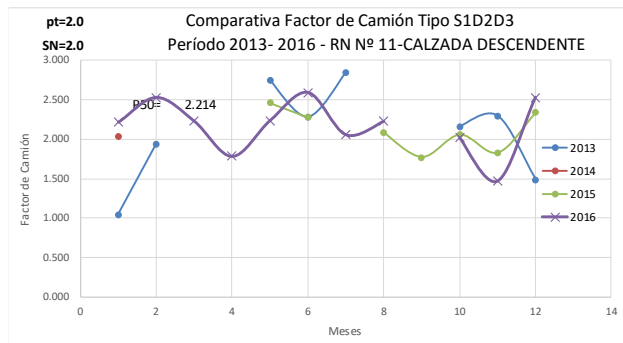
RESUMEN DE GRAFICOS

Período 2013- 2016 - RN Nº 11

CAMION TIPO:

S1D2D3

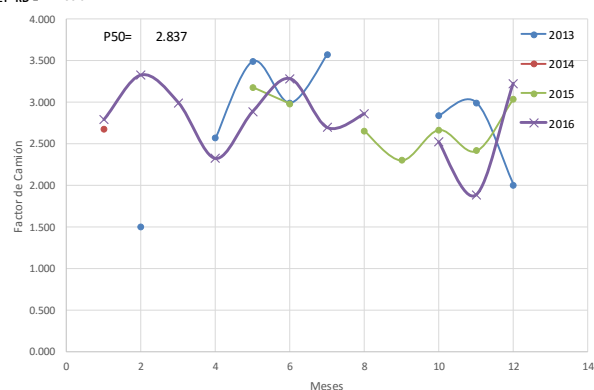
CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Comparativa Factor de Camión Tipo S1D2D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE



FORMULACION PROPUESTA

ES- RD = 69.0 KN
ED- RD = 80.0 KN
ED- RD = 147.0 KN
ET- RD = 196.0 KN

Variación Factor de Camión Tipo S1D2D3
Período 2013- 2016 - RN Nº 11-CALZADA DESCENDENTE

