

**DEFINICIÓN DE UN ESPECTRO DE CARGAS, PARA ENSAYO DE FATIGA
EN PAVIMENTOS FLEXIBLES, AJUSTADO A CONDICIONES LOCALES**

DAIVER ALFREDO ORTIZ VIDAL

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2007

**DEFINICIÓN DE UN ESPECTRO DE CARGAS, PARA ENSAYO DE FATIGA
EN PAVIMENTOS FLEXIBLES, AJUSTADO A CONDICIONES LOCALES**

DAIVER ALFREDO ORTIZ VIDAL

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director

**EDUARDO CASTAÑEDA
Ingeniero Civil M.Sc, Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2007**

A DIOS que todo lo puede

A mi Rosa que es la flor que le da sentido a mi vida, gracias por todo lo que he recibido de ti, todo lo que pueda decir es poco para expresar lo agradecido que estoy con la vida por que me regaló una mujer como tu como mi madre.

A Segundo mi papa, por ser quien es, le agradezco infinitamente todo lo que me ha enseñado. Siempre ha sido la imagen a seguir.

A mis hermanos que han sido personas importantes y me han brindado todo el apoyo que he necesitado.

A todos mis amigos por haber estado en todos los buenos y no tan buenos momentos.

A ella

DAVE

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por todo el apoyo incondicional durante toda mi carrera.

Al ingeniero EDUARDO CASTAÑEDA, Director del Proyecto, por su colaboración y apoyo en la realización de este libro.

A CONCESIÓN VIAL LOS COMUNEROS, por permitirme información importante para el desarrollo de esta investigación.

Al licenciado HUGO ALBERTO VARGAS, por permitirme laborar en su institución.

A todas las personas que colaboraron de una u otra forma con este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES	17
1.1. LA INFLUENCIA DEL CLIMA EN EL PAVIMENTO.....	17
1.1.1. Radiación solar.....	18
1.1.2. Lluvia.....	21
1.1.3. Temperatura	24
1.2. EL TRÁFICO	29
2. EL ESTUDIO DE LA FATIGA	31
2.1. INTRODUCCIÓN.....	31
2.2. FATIGA EN MATERIALES.....	32
2.2.1. Etapas del Proceso de Falla por Fatiga.....	33
2.2.1.1. Etapa Inicial.....	34
2.2.1.2. Etapa De Desarrollo.....	34
2.2.1.3. Etapa de Falla.....	34
2.2.2. Variación de los Esfuerzos.....	34
2.3. LEY DE MINER.....	36
2.4. FATIGA EN MEZCLAS BITUMINOSAS.....	37
2.4.1. Ley de Fatiga.....	38
3. LAS CARGAS SOBRE LOS PAVIMENTOS	41
3.1. INTRODUCCIÓN.....	41
3.2. TIPOLOGIA DE CAMIONES.....	41
3.2.1. Tipos de Ejes.....	43
3.3. CARGAS MÁXIMAS PERMITIDAS.....	45
• Resolución N° 13791 de 21 de diciembre de 1988.....	45
• Resolución N° 02501 de 22 de febrero de 2002.....	49
• Resolución N° 2888 de 11 de marzo de 2002.....	50
• Resolución N° 010799 de 12 de diciembre de 2003.....	50
• Resolución N° 4100 de 28 de diciembre de 2004.....	51
4. EVALUACIÓN DE LAS SOLICITACIONES EN UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	52
4.1. METODOLOGIA.....	52
4.2. OBTENCION DE DATOS	53
4.2.1. Datos De Pesaje De Vehículos De Carga.....	53
4.2.2. Datos De Distribución De Tráfico Horario.....	59
4.2.3. Datos De Temperatura En El Pavimento.....	61
4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	64
4.3.1. Calculo de Esfuerzos y Deformaciones.....	71
5. PROPUESTA PARA ESTIMACIÓN DE CARGAS EN EL ENSAYO DE FATIGA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.	76
5.1. INTRODUCCIÓN.....	76
5.2. METODOLOGÍA.....	76
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
PERSPECTIVAS	80

BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución De La Radiación Solar En Colombia.....	20
Figura 2. Distribución De La Precipitación En Colombia	24
Figura 3 Distribución de la temperatura ambiente en Colombia.....	27
Figura 4 Modelo de Fatiga en Mezclas Bituminosas.....	37
Figura 5 Esquema De Los Tipos De Camiones	43
Figura 6 Datos de Entrada de la estructura	71
Figura 7 Datos de Carga y Evaluación de Puntos	72
Figura 8 Resultados del Programa.....	74

LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 1 Resistencia a la fatiga vs ciclos de carga	32
Grafico 2 Ley de Fatiga en Mezclas Bituminosas.....	40
Grafico 3 Distribución De Carga para categoría C2.....	58
Grafico 4 Distribución De Carga para categoría C3S3	58
Grafico 5 Distribución De Trafico Horario.....	60
Grafico 6 Temperatura Máxima Absoluta.....	61
Grafico 7 Temperatura Mínima Absoluta.....	61
Grafico 8 Temperatura Mínima Relativa.....	62
Grafico 9 Temperatura En El Pavimento Día Soleado en Bucaramanga	63
Grafico 10 Temperatura En El Pavimento Día Nubado en Bucaramanga.....	63
Grafico 11 Temperatura En El Pavimento Día Lluvioso en Bucaramanga	64
Grafico 12 Distribución De Vehículos Por Categoría	65
Grafico 13 Distribución De Carga Eje Simple Para Febrero	66
Grafico 14 Distribución De Carga Eje Doble Para Febrero	66
Grafico 15 Distribución De Carga Eje Triple Para Febrero	67
Grafico 16 Espectro De Deformación Unitaria.....	78

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Esfuerzo promedio.....	35
Ecuación 2 Esfuerzo Alterno	35
Ecuación 3 Intervalo De Esfuerzos	35
Ecuación 4	36
Ecuación 5 adición de daños.....	36
Ecuación 6 ley de miner generalizada	37
Ecuación 7 ley de miner $\sigma_1 > \sigma_2$	37
Ecuación 8 ley de miner $\sigma_1 < \sigma_2$	37
Ecuación 9 Duración De La Vida En Fatiga	38
Ecuación 10 Ley De Fatiga	39
Ecuación 11 Temperatura en el Pavimento Intervalo 1	62
Ecuación 12 Temperatura En EL Pavimento Intervalo 2	62
Ecuación 13 Temperatura En El Pavimento Intervalo 3	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Transito Diario Promedio Semanal Para Santander.....	30
Tabla 2 Distribución De Ejes Según El Tipo De Camión	45
Tabla 3 Peso Bruto Máximo Para Cada Tipo De Camión	47
Tabla 4 Peso Máximo Por Ejes.....	48
Tabla 5 Peso Máximo Con Tolerancia	49
Tabla 6 Aclaración De La Resolución 2888	50
Tabla 7 Peso Máximo Con Tolerancia Resolución 4100	51
Tabla 8 Resumen diario categoría C2 pequeño.....	54
Tabla 9 Resumen diario categoría C2	54
Tabla 10 Resumen diario categoría C3	55
Tabla 11 Resumen diario categoría C2-S1	55
Tabla 12 Resumen diario categoría C4	55
Tabla 13 Resumen diario categoría C2-S2	56
Tabla 14 Resumen diario categoría C2-S3	56
Tabla 15 Resumen diario categoría C3-S3	57
Tabla 16 Resumen diario categoría C3-S2-R4.....	57
Tabla 17 Distribución De Trafico Horario.....	60
Tabla 18 Ocurrencia De Temperaturas Pico.....	62
Tabla 19 Tara De Vehículos Y Distancia Libre	65
Tabla 20 Distribución De Ejes Por Intervalos De Tiempo	68
Tabla 21 Distribución Por Intervalo De Tiempo Para Eje Simple	69
Tabla 22 Distribución Por Intervalo De Tiempo Para Eje Tandem.....	69
Tabla 23 Distribución Por Intervalo De Tiempo Para Eje Tridem	69
Tabla 24 Porcentaje de Ejes Simple en la Sección Transversal de la Vía	70
Tabla 25 Porcentaje de Ejes Tandem en la Sección Transversal de la Vía.....	70
Tabla 26 Porcentaje de Ejes Tridem en la Sección Transversal de la Vía	70
Tabla 27 porcentaje de deformación para estructura típica	75

RESUMEN

TITULO: DEFINICIÓN DE UN ESPECTRO DE CARGAS, PARA ENSAYO DE FATIGA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES, AJUSTADO A CONDICIONES LOCALES *

AUTOR: DAIVER ALFREDO ORTIZ VIDAL **

PALABRAS CLAVE: fatiga, tráfico, clima, espectro de cargas.

El presente documento precisa los parámetros que se tienen en cuenta al definir un espectro de cargas para el ensayo de fatiga en pavimentos flexibles, como lo son la temperatura, las cargas de los vehículos y la distribución del tráfico en la sección transversal de una vía. Utilizando datos obtenidos de las estaciones de pesaje, conteos de tránsito y temperatura en el pavimento, se plantea una metodología para sacar las cargas en condiciones reales que se le aplican a una estructura de pavimento.

Posteriormente con dichas cargas y el perfil de la vía se define en que puntos en lo ancho de un carril se soportan esas cargas con lo cual se define donde se presentan más esfuerzos, utilizando para ello una herramienta computacional, para llegar al final a unos esfuerzos y deformaciones que se presentan en el pavimento.

Finalmente con la combinación de todos los parámetros se plantea un espectro de deformación unitaria para cada temperatura representativa de cada intervalo de tiempo.

* tesis de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Director: Eduardo Castañeda Pinzon, Ing. Civil M.Sc. Ph.D.

SUMMARY

TITLE: DEFINITION OF A SPECTRUM OF LOADS, FOR REHEARSAL OF IT TIRES IN FLEXIBLE PAVEMENTS, ADJUSTED TO LOCAL CONDITIONS *

AUTHOR: DAIVER ALFREDO ORTIZ VIDAL**

WORDS KEY: it tires, traffic, climate, spectrum of loads.

The present document specifies the parameters that are kept in mind when defining a spectrum of loads for the rehearsal of fatigue in flexible pavements, as they are it the temperature, the loads of the vehicles and the distribution of the traffic in the traverse section of a road. Using obtained data of the sorrow stations, counts of I traffic and temperature in the pavement, thinks about a methodology to take out the loads under real conditions that are applied to a structure of pavement.

Later on with this loads and the profile of the road is defined in that points in the wide of a rail are supported but those loads with that which is defined where they are presented but efforts, using for it a tool computational, to arrive at the end to some efforts and deformations that are presented in the pavement.

Finally with the combination of all the parameters her thinks about a spectrum of unitary deformation for each representative temperature of each interval of time.

* Thesis of grade

** Physics-Mechanics Engineering Faculty
Civil Engineering School

Advisor: Eduardo Castañeda Pinzon, Ing. Civil M.Sc. Ph.D.

INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo el diseño de pavimentos ha sido importante en la consecución de las vías de comunicación. Lo que ha despertado el interés de conocer y profundizar en este tema.

El tema ha sido de mucho interés y los avances cobran importancia en agrupar todas las condiciones o variables que intervienen en la consecución de un pavimento.

Colombia es un país que ha acogido métodos de diseño de pavimentos de otros lados (AASHTO, SHELL), entre otros. Métodos que fueron concebidos para unas condiciones climáticas diferentes a las que se presentan en países como Colombia, donde las condiciones ambientales son bastantes particulares. Otro factor que difiere en el país es el tráfico, ya que las cargas manejadas por los vehículos son algo elevadas.

En el diseño de pavimentos flexibles se tienen en cuenta muchos factores, entre ellos; materiales, tráfico, clima. Los que determinan la estructura del pavimento, pero además se debe tener en cuenta nivel de servicio el impacto ambiental y económico de la zona y algo muy importante la comodidad a la hora de desplazarse. Esto es algo importante ya que una buena capa de rodadura, hace más cómodo y rápido el desplazamiento de los usuarios, además evita daños en la suspensión del vehículo.

Al hablar de comodidad de una vía, se debe sobrentender que el pavimento debe ser excelente, sin fisuras ni grietas, para conseguir esto entra a jugar un papel importante el concepto de fatiga en un pavimento. La fatiga en un pavimento es la causa de los agrietamientos.

La preservación de un pavimento esta supeditada a que las cargas aplicadas por lo vehículos no sobrepasen los limites establecidos en el diseño de un pavimento.

En Colombia existe una normatividad que controla las cargas transportadas por los camiones, las cuales garantizan que el daño en la estructura del pavimento por fatiga sea mínimo si se cumple con dichos límites.

A raíz de la diversidad de vehículos y de las características de los mismos, se presenta un amplio espectro de cargas con variación en distancias entre llantas y a su vez en las presiones de inflado lo que conlleva a que en un mismo punto de un pavimento se generen diferentes esfuerzos y deformaciones.

En la actualidad el diseño de pavimentos tiene metodologías específicas algunas de las cuales se basan en ensayos de laboratorios que a su vez pretenden asemejarse a la realidad.

En el caso específico de la fatiga, hay una serie de ensayos y metodologías, algunas de ellas de deformación controlada y otra de cargas controladas.

Las metodologías de ensayos de fatiga se basan en ciclos de carga pero sin variación de las mismas con el pasar del tiempo, y que se trata de ajustar a la realidad por medio de la utilización de unos coeficientes de correlación.

El propósito de esta investigación es plantear un espectro de cargas para ensayo de fatiga que tenga en cuenta condiciones locales, y maneje los rangos reales de cargas que transitan por las vías en la actualidad, basándose en pesos tomados por las basculas que actualmente funcionan en varios sectores de las diferentes vías del país, con el fin de controlar las cargas transportadas.

El espectro pretende distribuir las cargas por ejes de los diferentes tipos de vehículos y combinarlo con la variación de la temperatura en el pavimento a lo largo del día, también con la distribución del tráfico horario para saber a que horas hay mas trafico en cierto punto y la deformación generada.

1. GENERALIDADES

1.1. LA INFLUENCIA DEL CLIMA EN EL PAVIMENTO

Según la Organización Meteorológica Mundial - OMM, el “clima” de un sitio es el conjunto de valores medios, varianzas y covarianzas (incluso momentos estadísticos de orden superior) de los parámetros meteorológicos (como precipitación, temperatura, radiación solar, ocurrencia de vendaval) observados y/o medidos, registrados, validados y procesados, en forma continua, sistemática y estandarizada durante un período del orden de los 30 años. En general el clima de un sitio es consecuencia de varios factores, siendo latitud, topografía, y cercanía a océanos o grandes lagos, los más conocidos y referidos en los estudios pertinentes.

Un conjunto de condiciones atmosféricas de una región geográfica donde intervienen factores como temperatura, humedad, precipitación, presión, vientos y nubosidad.

El clima en países tropicales es bastante variado. En Colombia hay una variedad de climas y cubre un amplio rango de temperaturas ambiente, que en general está determinado por su situación geográfica (en la zona ecuatorial) y por la influencia de algunos factores como la circulación atmosférica, el relieve, la influencia de los procesos del Océano Pacífico y del Océano Atlántico, el contraste entre el continente y el mar, la influencia de áreas selváticas o boscosas.

La posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial influye directamente en la distribución de la mayor parte de las variables climatológicas (radiación, temperatura del aire, presión atmosférica, vientos, humedad del aire, precipitación, entre otros. Según registros históricos del IDEAM, con el paso de los años las temperaturas en las diferentes regiones del país han ido

cambiando a raíz del calentamiento global y el fenómeno del niño, así también como las lluvias.

En el caso de los pavimentos, hay factores fundamentales del clima que inciden directamente sobre la estructura. Estos factores son los cambios de temperatura, la radiación solar y las lluvias entre otros.

1.1.1. Radiación solar

La principal fuente de energía para casi todos los procesos atmosféricos y el clima, la constituye la energía radiada por el Sol hacia La Tierra, en el diapasón de 0.1 hasta aproximadamente 30 micrones (onda corta).

A su vez, la superficie de la tierra y la atmósfera, emiten su propia radiación pero en otras longitudes de onda (onda larga). La radiación solar que llega al tope de la atmósfera, en su camino sufre una serie de transformaciones producidas por los procesos de atenuación. La radiación que llega del sol a la superficie de la tierra se llama radiación directa; la parte que es difundida por las partículas atmosféricas y nubes llega a la tierra en forma de radiación difusa. La suma de estas dos se denomina radiación global.

La influencia de la radiación en el pavimento es muy significativa porque el asfalto es un compuesto viscoelástico y la radiación directa sobre la capa de rodadura de una estructura, altera sus propiedades al cambiar la temperatura interna del pavimento, disminuyendo el módulo de la mezcla.

La magnitud y distribución de la radiación solar en el territorio colombiano es como sigue:

- La región de mayor radiación solar en el país es la península de la Guajira y sus valores máximos se presentan en el mes de julio, con promedios superiores a 650 calorías por centímetro cuadrado por día. Este valor desciende gradualmente hasta diciembre, mes en que se presenta el valor mínimo de 530 cal/cm²/día.
- Con el mismo comportamiento durante el año le sigue la parte media del valle del río Cauca, el valle del río Magdalena hasta la costa Atlántica y la zona de Cúcuta. Los valores extremos se presentan en julio y diciembre con valores de 550 y 450 cal/cm²/día, respectivamente.
- En la Amazonia, por el contrario, el valor máximo se presenta en el mes de octubre con 400 cal/cm²/día y el menor valor en el mes de mayo con 330 cal/cm²/día.
- En la región Andina sobresale el altiplano boyacense con valores máximos en el mes de febrero con niveles de 480 cal/cm²/día, y luego desciende gradualmente hasta junio, mes de mínimos con 420 cal/cm²/día; nuevamente se incrementa gradualmente hasta septiembre, y luego desciende hasta noviembre. El resto de la región Andina presenta el mismo comportamiento durante el año con menores valores, con extremos de 400 y 320 cal/cm²/día para los meses extremos de febrero y junio.
- Las zonas con niveles más bajos de radiación son la costa del Pacífico y el piedemonte llanero en el área circundante a Villavicencio, con niveles promedio menores a las 300 cal/cm²/día, y durante el año presenta poca variabilidad, siendo los meses de marzo y abril los de mayor radiación y noviembre y diciembre los de menor, con valores extremos de 320 y 280 cal/cm²/día.

Se presenta a continuación una distribución de las zonas en el país dependiendo su radiación solar.

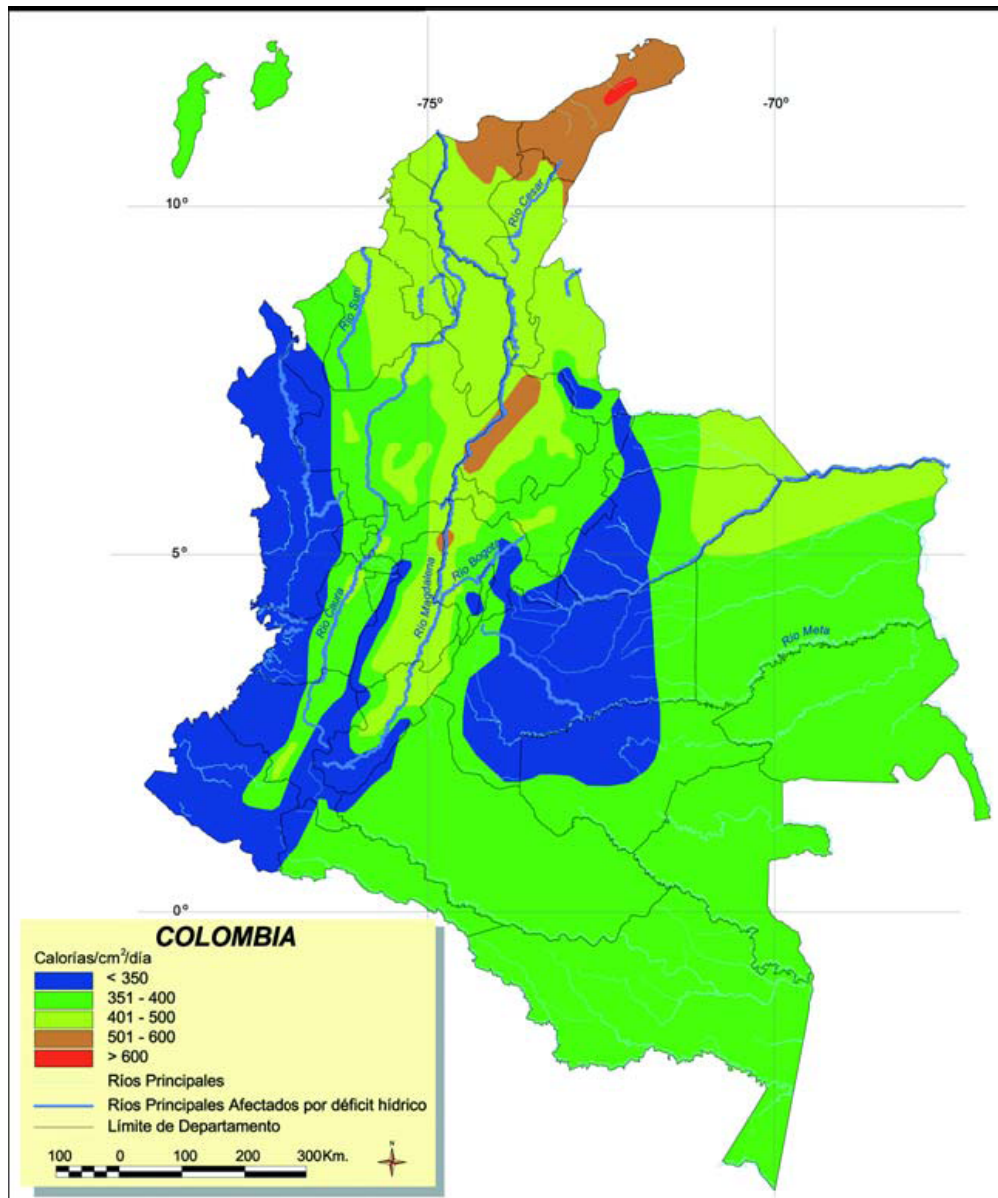


Figura 1. Distribución De La Radiación Solar En Colombia

1.1.2. Lluvia

Las precipitaciones son fundamentales en un pavimento sobre todo en el diseño del drenaje y en la funcionalidad de la vía, de otro lado el agua penetra la capa de rodadura y se filtra hasta las capas inferiores debilitando la resistencia de la estructura, causando así que la carpeta asfáltica sufra grietas, lo cual se ve reflejado en funcionamiento y comodidad para los usuarios.

En la etapa constructiva del pavimento incide en algunas actividades como son movimiento de tierras y compactación de capas granulares y asfálticas

La distribución de la precipitación anual en las diferentes regiones naturales del país es la siguiente.

- **Región Caribe:** En la Alta Guajira la precipitación total anual es inferior a 500 mm y se va incrementando hacia la parte media y baja donde alcanza los 1.000 mm. La Sierra Nevada de Santa Marta conforma una zona meteorológica prácticamente desligada del comportamiento general de la región. En su parte Norte se registran precipitaciones algo superiores a los 2.500 mm, mientras que en los sectores Oriental y Sur oriental son menores, alrededor de 1.500 mm. En las llanuras del Caribe la precipitación aumenta del litoral hacia el interior. En Barranquilla y Cartagena se registran alrededor de 1.000 mm. En las llanuras de Córdoba, Sucre, Magdalena y el Cesar oscila entre 1.500 mm y 2.500 mm. Hacia el Litoral de Urabá se registran cantidades de ese mismo orden, mientras que en las estribaciones de las cordilleras Occidental y Central supera los 3.500 mm.
- **Región Andina:** En la montaña antioqueña también se presentan contrastes: en el Valle de Aburrá caen entre 2.000 y 2.500 mm y en la parte norte y noreste del Departamento se registran entre 3.500 y 4.000

mm anuales. En la parte media del Valle del río Cauca, desde Cartago hasta Puerto Tejada, la precipitación no supera los 1.500 mm, con excepción del área de Cali, Jumbo, Cerrito y Candelaria donde oscila alrededor de 1.000 mm. Hacia la parte alta, en las vertientes, la precipitación es un poco mayor, alcanza valores cercanos a 2.000 mm. En la parte baja oscila entre 4.000 mm en las estribaciones de las cordilleras y 1.500 en la desembocadura del río. En el Nudo Los Pastos la precipitación varía entre 1.000 y 2.000 mm. Los valores más altos, cerca de 6.000 mm., se registran hacia la vertiente Oriental en las cabeceras del río Caquetá cerca de Mocoa. En la vertiente Occidental oscila entre 2.000 y 4.000 mm. Los registros más bajos, entre 1.000 y 1.500 mm, se presentan en el sector Sur. En la parte alta del valle del río Magdalena, desde Pitalito hasta Ambalema inclusive, la precipitación no alcanza los 1.500 mm anuales. Desde Ambalema hasta Puerto Boyacá la lluvia crece hasta alcanzar los 3.000 mm. Desde este último municipio hasta Puerto Mosquito los registros oscilan entre 2.500 y 3.000 mm. decreciendo progresivamente hasta los 1.000 mm cerca de la desembocadura del río. En el altiplano cundinamarqués-boyacense, la precipitación no alcanza los 1.000 mm anuales. En esta región se presentan grandes contrastes. En áreas vecinas con distancias relativamente cortas, la cantidad de precipitación es muy diferente, como sucede en la Sabana de Bogotá, donde caen alrededor de 1.500 mm. en las estribaciones de los cerros sur orientales; mientras que en el sector sur occidental caen cerca de 500 mm o menos. Sobre la vertiente occidental del altiplano las precipitaciones alcanzan los 2.500 mm. En la montaña santandereana la precipitación oscila, en términos generales, entre 1.500 y 2.000 mm, presentándose algunas particularidades, entre otras: dos máximos de precipitación, alrededor de 4.500 mm., localizados en cercanías de Oiba y Girardota, al sur del Departamento de Santander el primero y en el área fronteriza de la cabecera del río Margua (Arauca), al sur del Departamento de Norte de Santander, el

segundo; y un mínimo, menos de 1.000 mm, en Cúcuta y sus alrededores.

- Orinoquia: En las llanuras orientales, la precipitación decrece desde los 5.000 mm en la ladera de la Cordillera Oriental, cerca a Villavicencio, hasta los 1.500 mm o menos en el extremo este de la Intendencia de Arauca hacia el Sur; la precipitación oscilan entre 2.500 y 3.500 mm en gran parte del Departamento del Meta, la Intendencia del Vichada y las Comisarías de Guainía y Guaviare.
- Amazonia: Las mayores cantidades de precipitación, entre 4.000 y 5.000 mm., se registran hacia el piedemonte de la Cordillera Oriental; en el resto de la región oscilan entre 3.000 y 4.000 mm.
- Región Pacífica: La precipitación crece progresivamente desde 3.000 mm en el Norte del departamento del Chocó hasta la parte media y Sur del mismo, donde caen cerca de 8.000 mm y desde 2.000 mm en el Sur del departamento de Nariño, hasta el Noroccidente del departamento del Cauca donde se registran alrededor de 9.000 mm, hecho que las convierte en las zonas más lluviosas del país y de las de mayor precipitación en el mundo. Hacia la ladera de la Cordillera Occidental, las lluvias oscilan entre 3.000 y 5.000 mm.

El siguiente grafico muestra como se distribuye la precipitación en forma espacial.

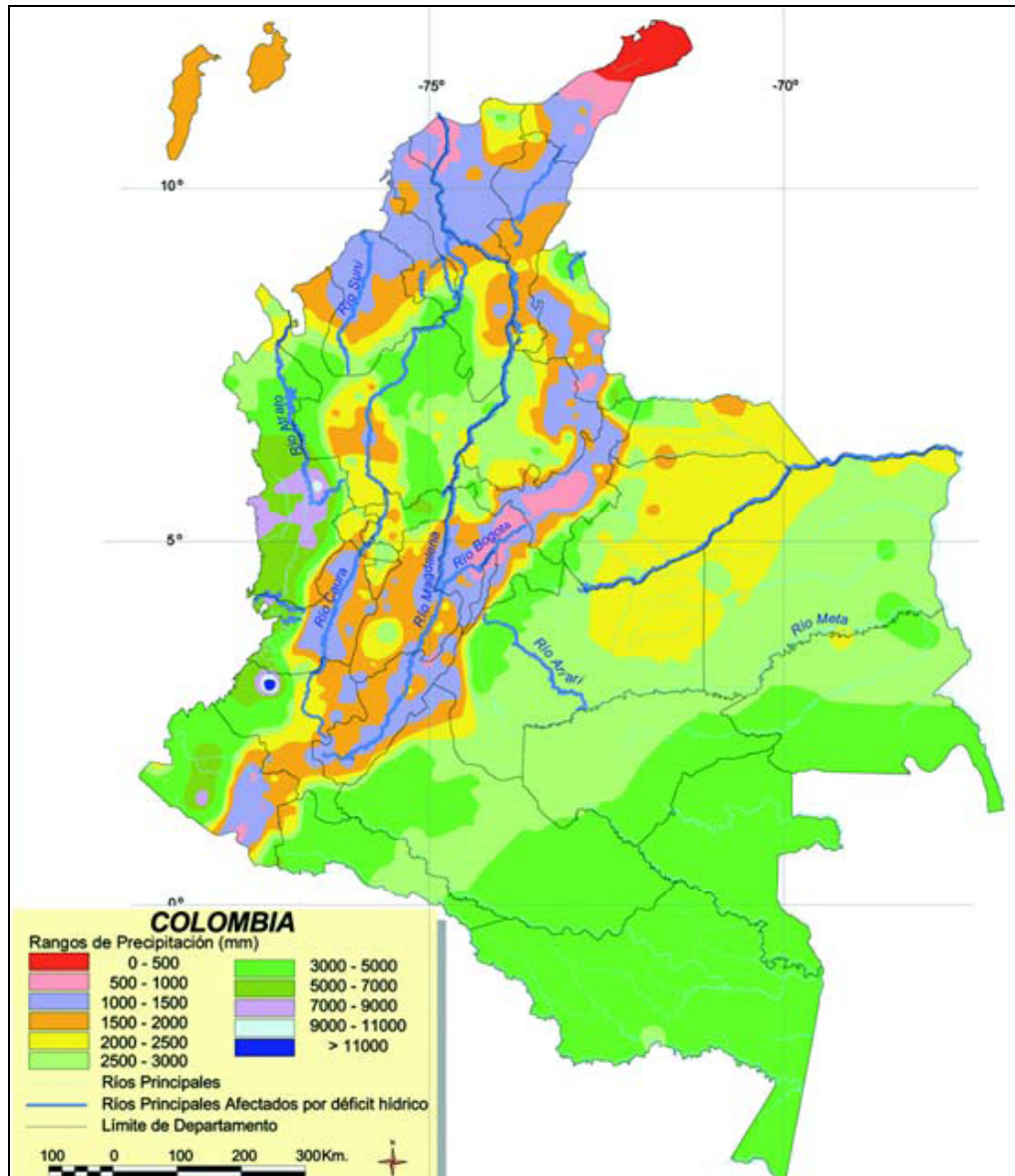


Figura 2. Distribución De La Precipitación En Colombia

1.1.3. Temperatura

El régimen de temperatura del aire en Colombia está determinado por la situación geográfica de Colombia en el mundo y las particularidades fisiográficas de su territorio. El primer factor influye ante todo sobre la amplitud

anual de la temperatura del aire, mientras que el segundo lo hace sobre la variabilidad espacial de la misma.

El rango de temperaturas en las diferentes horas del día es muy variado, así mismo cambia de un día a otro.

En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el modulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo condiciones especiales, deformaciones o agrietamientos que influirían en el nivel de servicio de la vía.

La temperatura media anual del aire presenta las siguientes características de distribución en el territorio colombiano.

- En la región Andina, el régimen de temperatura del aire se particulariza por la Presencia de los llamados pisos térmicos, consistentes en la disminución de la temperatura media del aire a medida que se eleva la altura sobre el nivel del mar. En esta región se presentan núcleos o franjas bien marcadas de valores relativamente altos o bajos de temperatura. Los valles de los principales ríos, como el Magdalena, el Cauca, el Patía y el Sogamoso, registran altos valores, mientras que los altiplanos cundí boyacense y nariñense, la zona montañosa del centro de Antioquia, así como áreas aledañas a nevados y regiones de páramo presentan los valores mínimos. En promedio, el valor del gradiente vertical de la temperatura con altura es de 0,6°C por cada 100 metros. De esta forma, se tendría una temperatura de 16,9°C a 2.000 metros y 10,7°C a 3.000. El nivel de 0°C se presentaría aproximadamente a 4.700 metros.
- En la Costa Atlántica, la temperatura media oscila entre los 24 y 28°C, en Córdoba, parte central y Norte de Sucre, parte Sur y Occidental de

Atlántico. En la Guajira, zona Sur y Oriente de Atlántico, Sur oriente de Sucre, Magdalena (exceptuando la Sierra Nevada de Santa Marta), y Valle del Río Cesar, las temperaturas oscilan entre los 28 y los 30°C. superiores a los 2.500 mm, mientras que en los sectores Oriental y Sur oriental son menores, alrededor de 1.500 mm. En las llanuras del Caribe la precipitación aumenta del litoral hacia el interior. En Barranquilla y Cartagena se registran alrededor de 1.000 mm. En las llanuras de Córdoba, Sucre, Magdalena y el Cesar oscila entre 1.500 mm y 2.500 mm. Hacia el Litoral de Urabá se registran cantidades de ese mismo orden, mientras que en las estribaciones de las cordilleras Occidental y Central supera los 3.500 mm.

- En la Orinoquia y la vasta región amazónica, no existen accidentes orográficos notables, siendo bastante homogéneo su relieve, conformado principalmente por extensas sabanas y cultivos de pastos. Por lo anterior, la distribución de la temperatura media del aire es muy uniforme, presentando valores que oscilan entre los 24 y los 28°C. Entre la cordillera Occidental y el océano Pacífico se sitúa la región Pacífica con temperaturas medias anuales entre 24 y 28°C. Esta área cubre gran parte de los departamentos de Chocó, Valle, Cauca y Nariño y es bañada por importantes ríos como el Mira, la parte baja del Patía, el San Juan y el Atrato. La siguiente grafica muestra la distribución de la temperatura en todo el país.

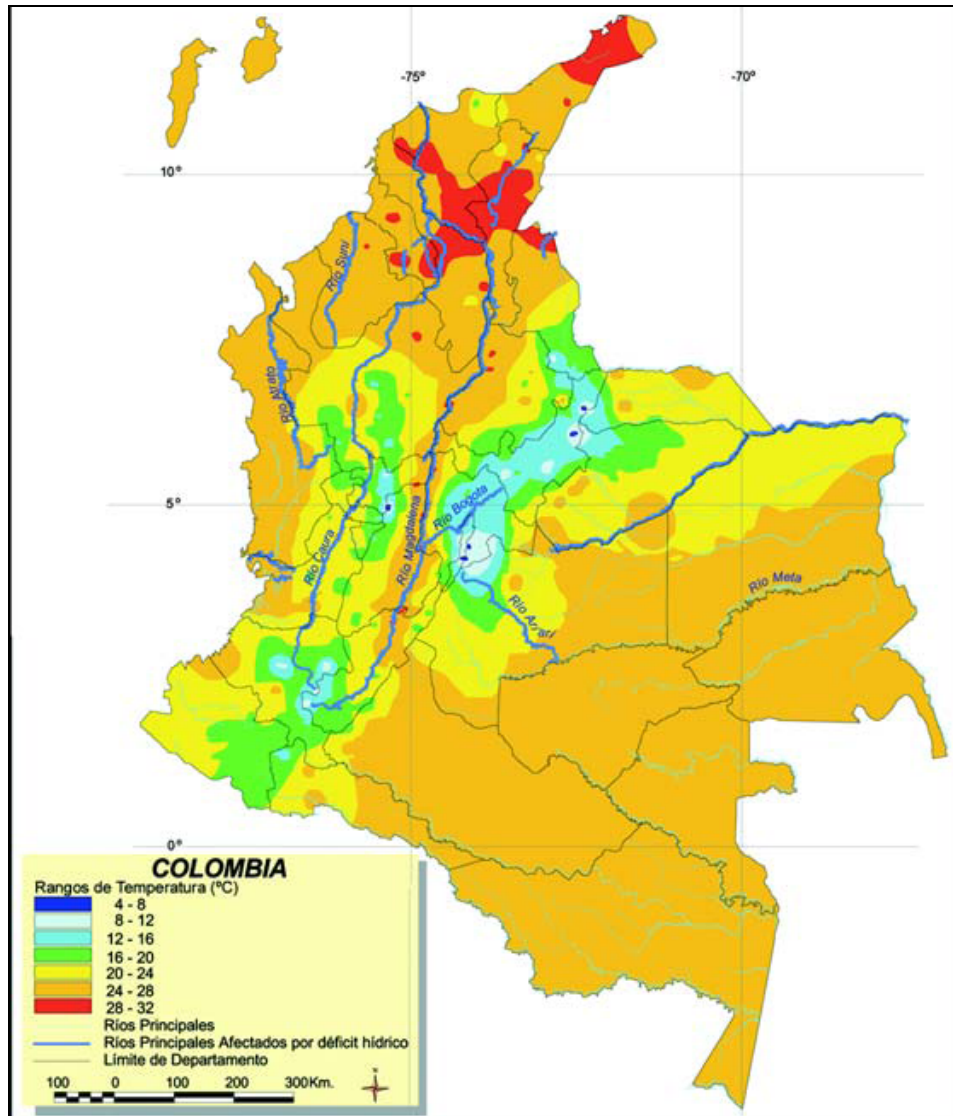


Figura 3 Distribución de la temperatura ambiente en Colombia

1.1.2.1. Temperatura en el pavimento

A raíz de factores climáticos y del tipo de materiales que se usan en la construcción de las estructuras de las vías, los pavimentos sufren cambios en la temperatura interna.

Según una investigación hecha por John Wilson Correa y Edgar Ramiro Navas, la variación de la temperatura en un pavimento además de depender de la temperatura ambiente, también se ve afectada por otros factores como son el tráfico, el color del asfalto, el tipo de mezcla, el brillo solar y el viento entre otros.¹

Dentro de la investigación se pudo llegar a una metodología que describe la variación de la temperatura en la capa asfáltica involucrando todos los factores anteriormente mencionados. Dicha metodología plantea tres tipos de días que se pueden presentar en cierta zona, en los cuales hay diferentes rangos de temperatura ambiente que influyen en la temperatura del pavimento. Estos días típicos son: Día Soleado, Día Nubado y Día Lluvioso.

Se considera día soleado cuando el sol alumbra mas de seis horas y la ocurrencia de lluvias sea mínima, día lluvioso aquel donde el brillo solar sea inferior a dos horas y la precipitación sea mayor a 3 mm, día nubado aquel donde el brillo solar sea inferior a seis horas y la precipitación sea inferior a 3 mm.

Para cada uno de esos días hay unas ecuaciones que describen el comportamiento de la temperatura dentro del pavimento, en función de la temperatura media de la zona.

¹ Ver. Variación de la temperatura en un pavimento puesto en servicio. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1996

1.2. EL TRÁFICO

El conjunto de vehículos que transitan por una vía se conoce como tráfico, el cual sirve para diseñar la capacidad de las vías, pero además una parte de este tráfico el que transporta carga, se utiliza para calcular los espesores de las capas de un pavimento.

Las metodologías utilizadas en los diseños de espesores vinculan las cargas ejercidas por los vehículos en forma de ejes equivalentes de 8.2 toneladas para una distribución uniforme al momento de realizar los cálculos.

El tráfico de una vía en particular se puede encontrar en los conteos realizados por las estaciones de peajes, cuya información es registrada por el INVIAS. Este viene dado en TPD, tráfico promedio diario, en función de periodos de tiempo como semana, mes o anual.

Se presenta el TPD para el año 2005 de varias vías nacionales en el departamento de Santander en función del tráfico de un periodo semanal.

**TANSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL AÑO 2005
SANTANDER**

EST N°	SECTOR	LONG KM	TPDS	DESV	TOTAL	C - 2P	C - 2G	C - 3 - 4	C - 5	>C - 5
143	SANGIL - LOS CUROS	0	3,528 9 38	273	9,341	2,075 22.21%	3,930 42.07%	655 7.01%	888 9.51%	1,793 19.19%
144	LOS CUROS - PIEDECUESTA	0	5,747 11 39	303	15,873	4,273 26.92%	6,355 40.04%	2,028 12.78%	1,484 9.35%	1,733 10.92%
146	FLORIDABLANCA - PIEDECUESTA	0	27,935 19 13	1,830	25,987	13,392 51.53%	7,188 27.66%	1,864 7.17%	1,299 5.00%	2,244 8.64%
148	BARICHARA - SANGIL	0	2,389 19 11	351	1,843	837 45.42%	811 44.00%	79 4.29%	50 2.71%	66 3.58%
156	BUCARAMANGA - RIONEGRO	0	4,697 19 32	296	10,686	2,329 21.79%	4,460 41.74%	648 6.06%	355 3.32%	2,894 27.08%
159	EL PLAYON - MALPASO	0	2,113 6 48	211	7,165	1,302 18.17%	2,512 35.06%	491 6.85%	412 5.75%	2,448 34.17%
161	MALPASO - SAN ALBERTO	0	2,180 8 46	348	7,075	1,420 20.07%	2,274 32.14%	486 6.87%	398 5.63%	2,497 35.29%
166	GIRON - TE DE AEROPUERTO	0	3,861 12 21	354	5,653	1,634 28.91%	2,957 52.31%	388 6.86%	286 5.06%	388 6.86%
637	BUCARAMANGA - FLORIDABLANCA	0	48,347 89 8 3	8,380	10,196	4,453 43.67%	4,142 40.62%	950 9.32%	215 2.11%	436 4.28%
638	RIONEGRO - EL PLAYON	0	2,612 51 7 42	216	7,750	1,358 17.52%	2,835 36.58%	508 6.55%	512 6.61%	2,537 32.74%
667	BUCARAMANGA - BERLIN	0	1,897 9 46	213	6,113	1,345 22.00%	2,359 38.59%	520 8.51%	691 11.30%	1,198 19.60%
668	PUERTO ARAUJO - LANDAZURI	0	594 10 26	86	1,071	357 33.33%	649 60.60%	59 5.51%	1 0.09%	5 0.47%
682	LA RENTA - LA LIZAMA	0	2,624 49 14 37	530	6,790	2,057 30.29%	2,726 40.15%	598 8.81%	479 7.05%	930 13.70%
725	LA RENTA - LEBRIJA	0	2,999 52 16 32	531	6,784	1,964 28.95%	2,917 43.00%	481 7.09%	504 7.43%	918 13.53%
741	LEBRIJA - TE DEL AEROPUERTO	0	2,847 56 16 28	244	5,629	1,527 27.13%	2,796 49.67%	316 5.61%	392 6.96%	598 10.62%
886	20 DE JULIO - SAN ALBERTO	0	2,755 44 8 48	215	9,234	1,365 14.78%	2,770 30.00%	824 8.92%	1,422 15.40%	2,853 30.90%
1000	TE DE CAFÉ DE MADRID - PALENQUE	0	19,138 71 7 22	2,704	29,682	10,210 34.40%	13,033 43.91%	2,037 6.86%	1,065 3.59%	3,337 11.24%
1018	BUCARAMANGA - GIRON	0	25,055 68 18 14	2,451	24,288	10,114 41.64%	9,822 40.44%	1,218 5.01%	996 4.10%	2,140 8.81%
1113	PUERTO ARAUJO - LA LIZAMA	0	3,246 34 10 56	534	12,697	1,251 9.85%	3,557 28.01%	1,084 8.54%	2,436 19.19%	4,369 34.41%
1124	FLORIDABLANCA - PALENQUE	0	15,199 77 8 15	1,193	16,207	3,496 21.57%	6,407 39.53%	2,412 14.88%	1,347 8.31%	2,545 15.70%

Tabla 1. Transito Diario Promedio Semanal Para Santander

2. EL ESTUDIO DE LA FATIGA

2.1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento de los materiales en régimen estático es considerablemente destacado y la totalidad de las propiedades tomadas para diseñar están perfectamente caracterizadas (por ejemplo: esfuerzos de fluencia, resistencia a la ruptura, elongación, módulo de Elasticidad, etc.). Desde el punto de vista de diseño estático basta con estos datos de entrada para realizar diseños, ya que se conocen las características de los materiales. Sin embargo, cuando una pieza se somete a esfuerzos variables por efecto de que las fuerzas actuantes lo hagan, o por movimientos de la propia pieza, hay un cambio considerable en las propiedades de los materiales y por ende en los mecanismos de diseño estático, debido a que las piezas fallan por haber sufrido un determinado número de ciclos de trabajo. En general, este tipo de fallas se producen con poca sollicitación de los esfuerzos que se pueden considerar aceptables en diseño estático, sin sufrir deformación que advierta la falla.

Lo que se pretende en este capítulo es estudiar la fatiga en varios materiales y enfocarlo hacia el asfalto que es el material donde la fatiga es fundamental, porque las estructuras de pavimento sufren cargas de tránsito de manera continua y repetida durante su vida útil.

2.2. FATIGA EN MATERIALES.

El fenómeno por el cual los materiales pierden capacidad de resistir cuando están sometidos a cargas cíclicas con variación en el tiempo, se denomina, "Fatiga".

En 1860, Wöhler desarrolló diversas máquinas de ensayo para el estudio sistemático del fenómeno. De los ensayos de Wöhler, se pueden extraer dos conclusiones:

- La primera que las fuerzas necesarias para provocar la ruptura con cargas dinámicas son inferiores a las necesarias en el caso estático.
- La segunda que existe un umbral por debajo del cual las probetas no se rompen, de hecho se conoce como el *límite de fatiga*.

La resistencia a la fatiga depende directamente de la frecuencia y de la cantidad o ciclos de aplicaciones de carga, a continuación una grafica de la tendencia de la resistencia con el número de aplicaciones.

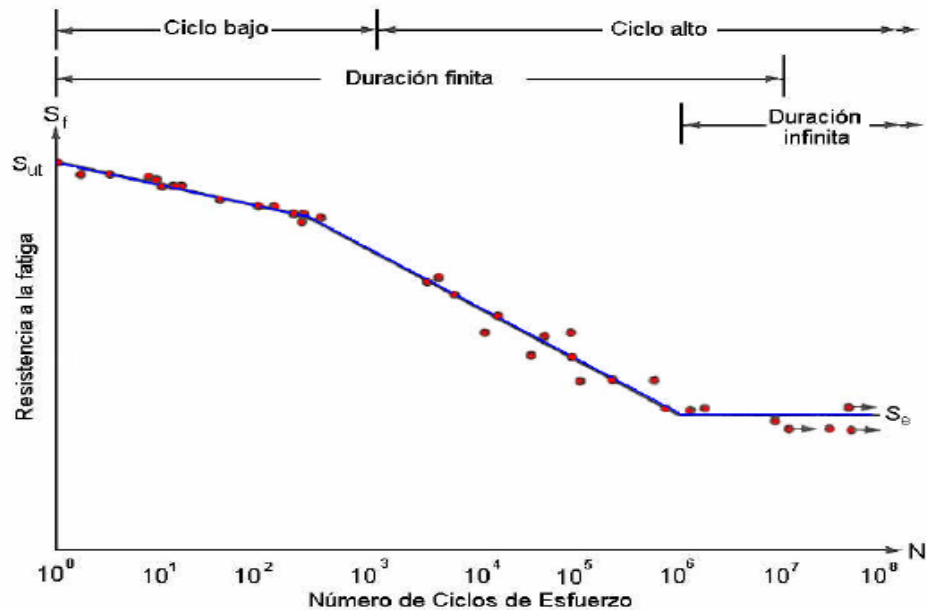


Gráfico 1 Resistencia a la fatiga vs ciclos de carga

Los materiales se fatigan por lo general en puntos donde es más propenso a sufrir deformaciones plásticas, esto se debe a la presencia de efectos como: las fijaciones, porosidades o concentraciones de esfuerzos, los cuales aumentan las probabilidades de formación de fisuras o micro grietas por el efecto cíclico de cargas. En las zonas donde se inicia la formación de grietas, los materiales pueden soportar cargas mientras no sea excedido el límite elástico de esfuerzo, de lo contrario, se produce una deformación localizada. En este último caso la grieta puede ser tratada como una perturbación si sus efectos son mínimos, pero si el ataque es severo bajo la acción de esfuerzos aplicados se puede llegar a formar una zona plástica donde la fragilidad de la misma conduce a la propagación de grietas y a la inminente falla de las piezas o estructuras mecánicas.

En muchos estudios que se han realizado, los análisis microscópicamente experimentados han arrojado, que el efecto de la fatiga en las fibras de la zona de fractura evidencia la formación de núcleos en el origen de los bordes de grano y planos de deslizamiento.

2.2.1. Etapas del Proceso de Falla por Fatiga.

Las fallas por fatiga presentan un desarrollo que se puede dividir en etapas, ya que existen unos cambios en las propiedades que se evidencian en forma progresiva, por ejemplo una grieta. La historia de una grieta que se desarrolla en un componente sometido a fatiga tiene típicamente tres etapas: una de iniciación, una de propagación estable y finalmente una propagación acelerada que conduce a la falla del componente.

2.2.1.1. Etapa Inicial.

Corresponde a una fase donde se producen los primeros cambios microestructurales, con aumento de la densidad de dislocaciones y empiezan a aflorar la formación de microfisuras y posterior localización de las zonas con daño irreversible.

2.2.1.2. Etapa De Desarrollo.

En esta se inician las macrogrietas y la formación de fisuras con tamaños similares al tamaño de grano del material, con tendencia a la propagación total de las grietas.

2.2.1.3. Etapa de Falla.

En esta etapa el material empieza a evidenciar la pérdida de la capacidad de resistir, se produce un proceso de propagación inestable, provocando la fractura o fallo total del elemento. La magnitud de la concentración de deformación plástica en el extremo de la grieta controla el radio de crecimiento de la misma, puede llegar a ser visible a consideración de tamaño.

La duración de cada una de las etapas descritas anteriormente puede variar considerablemente en función del tipo de material, carga aplicada, geometría, temperatura e irregularidades. A menudo resulta difícil distinguir estas etapas antes mencionadas, porque se presentan en conjunto y de forma acelerada.

2.2.2. Variación de los Esfuerzos.

Para realizar cálculos de fallas por fatiga, es necesario conocer que cuando se produce una variación de los esfuerzos a los que está sometida una zona cualquiera de un elemento, bien sea por cambio de las fuerzas a las que está sometida o por un cambio de posición con respecto a las cargas.

La variación de los esfuerzos en función del tiempo, viene definida por las componentes de esfuerzos en base a una forma senoidal. Además se expresan por esfuerzos máximos (σ_{\max}), mínimos (σ_{\min}), alternos (σ_a), medios (σ_m) y el intervalo de esfuerzos (σ_r). A continuación se muestran las expresiones que permiten determinar las componentes.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad \text{Ecuación 1 Esfuerzo promedio}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad \text{Ecuación 2 Esfuerzo Alterno}$$

$$\sigma_r = \sigma_{\max} + \sigma_{\min} \quad \text{Ecuación 3 Intervalo De Esfuerzos}$$

En las partes sometidas a cargas variables, se puede producir cuatro tipos de situaciones de variaciones de esfuerzos, a continuación se detallan.

- Esfuerzos alternante puro: En esta situación por lo general el esfuerzo medio (σ_m) presenta igual a cero y la variación de esfuerzo se produce en ambas direcciones, es decir, se producen esfuerzos a tracción y compresión con igual magnitud pero con dirección distinta.
- Esfuerzo fluctuante: En este caso los valores de los esfuerzos máximo y mínimo no son iguales y se producen en una sola dirección. En algunos casos los esfuerzos pueden estar en distintas direcciones y se tendrán combinaciones de esfuerzos a compresión y tracción respectivamente.
- Esfuerzos intermitentes: Se producen cuando el esfuerzo mínimo es igual a cero y la incidencia de las cargas es solamente a compresión o tracción.

- Esfuerzo irregular o aleatorio: Ocurren cuando las frecuencias de los esfuerzos no siguen un comportamiento senoidal y la distribución de los esfuerzos es de forma desordenada o aleatoria.

La frecuencia de aplicación de cargas puede ser más compleja, razón por la que es preciso acudir a técnicas simplificadas de modelos matemáticos o de control de ciclos que traduzcan un espectro de cargas reales en otro simplificado para tratarlo de forma numérica sin que el tiempo requerido para su resolución sea extenso.

2.3. LEY DE MINER.

La ley de Miner. (1945) se puede definir como lo que se ha consumiendo de fatiga de un total que hay por gastar bajo el esfuerzo que ha sido aplicado a un material. La relación entre estas se reconoce como daño por fatiga.

Dado que en la práctica las solicitaciones se distribuyen al azar se pueden asegurar que nunca ocurren solicitaciones idénticas, siendo.²

n_1 el número de solicitaciones de amplitud s_1

s_1 solicitaciones inferiores al límite de fatiga

N_1 duración de la aplicación de la amplitud s_1

n_2 el número de solicitaciones de amplitud s_2

s_2 solicitaciones que conllevan a la ruptura

N_2 duración de la aplicación de la amplitud s_2

$$\text{si } n_1 < N_1 \Rightarrow \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = 1 \quad \text{Ecuación 4}$$

Denominando $n_1/N_1 = d_1 =$ daño por fatiga .Entonces

$$\frac{n_2}{N_2} = 1 - d_1 \quad \text{Ecuación 5 adición de daños}$$

La generalización de la ley de Miner. por la variedad de cargas es como sigue.

² GONZÁLEZ Silvia, VELANDIA Siul. Estado del arte en el estudio de fatiga en materiales bituminosos. Pag 8. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2006.

$$\sum_i \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad \text{Ecuación 6 ley de Miner. generalizada}$$

El trabajo original de Miner. muestra que la sumatoria varía de 0.61 a 1.45, sin embargo experimentos han demostrado que esta ley no es exacta.

Si se inicia aplicando el nivel de esfuerzo mas alto la duración de vida por fatiga es mas debió que si se aplica antes el nivel de esfuerzos más débil.

Si $\sigma_1 > \sigma_2$ la ruptura por fatiga se produce $\frac{n1}{N1} + \frac{n2}{N2} < 1$ Ecuación 7 ley de Miner. $\sigma_1 > \sigma_2$

Si $\sigma_1 < \sigma_2$ la ruptura por fatiga se produce $\frac{n1}{N1} + \frac{n2}{N2} > 1$ Ecuación 8 ley de Miner. $\sigma_1 < \sigma_2$

2.4. FATIGA EN MEZCLAS BITUMINOSAS.

Generalmente se acepta que en la mayor parte de las situaciones, el tráfico genera un daño por fatiga del material que se inicia en la parte inferior de la capa asfáltica y se propaga hacia la superficie. En el modelo tradicional de fatiga las fisuras se originan en la fibra inferior de la mezcla bituminosa (zona donde la tensión de tracción es mayor), se propaga verticalmente hacia la superficie del pavimento.

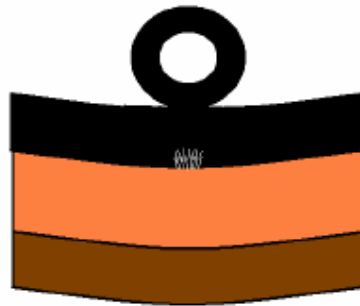


Figura 4 Modelo de Fatiga en Mezclas Bituminosas

Daño por fatiga significa que un estado de tensión provocado por una sollicitación, muy alejada del valor de rotura, llega a producir por acumulación (es decir, por repetición de la sollicitación un número muy elevado de veces) el agotamiento del material, agotamiento que se manifiesta por la fisuración del mismo.

Ensayos de laboratorio han verificado que la relación entre la deformación, ϵ , producida por la sollicitación) y la duración o vida del fatiga del material representada por el número N de veces que soporta la sollicitación antes de romperse por fatiga. ϵ y N están ligadas por la expresión:

$$N = k_1 \epsilon^{-k_2} \quad \text{Ecuación 9 Duración De La Vida En Fatiga}$$

Donde N representa el número de ciclos de carga hasta la fatiga del material al nivel de deformación ϵ , que es la deformación unitaria de tracción (en micro deformaciones $\mu\text{m}/\text{m}$) y k_1 y k_2 constantes que describen el comportamiento a fatiga del material.

Numerosos estudios se han realizado para establecer que parámetros de la mezcla intervienen de manera significativa en la determinación de los valores de k_1 y k_2 . Se ha comprobado que están principalmente afectados por:

El módulo de la Mezcla

- El contenido de betún
- La viscosidad del betún (medida por el Índice de Penetración, IP)
- La granulometría y la naturaleza de los áridos
- El contenido de aire (huecos en la mezcla)
- La temperatura del pavimento

2.4.1. Ley de Fatiga

La ley de fatiga se podría decir es el comportamiento inherente de la mezcla ante la presencia de esfuerzos. La determinación de la ley de fatiga de una mezcla bituminosa es una cuestión compleja que requiere muchos y costosos ensayos de laboratorio y la corroboración del modelo in situ. Por ello se suele recurrir a los estudios genéricos realizados por laboratorios nacionales o por organizaciones con grandes recursos.

Una de esas es la SHELL, que presenta la siguiente expresión para definir la ley de fatiga de una mezcla bituminosa.

$$N = \left((0.856 * V_b + 1.08) (10^6 * E)^{-0.36} \right)^5 * \varepsilon^{-5}$$

Ecuación 10 Ley De Fatiga

Donde V_b es el % de betún en volumen y E es el módulo de la mezcla en Mega pázcales.

LEYES DE FATIGA MEZCLAS CONVENCIONALES

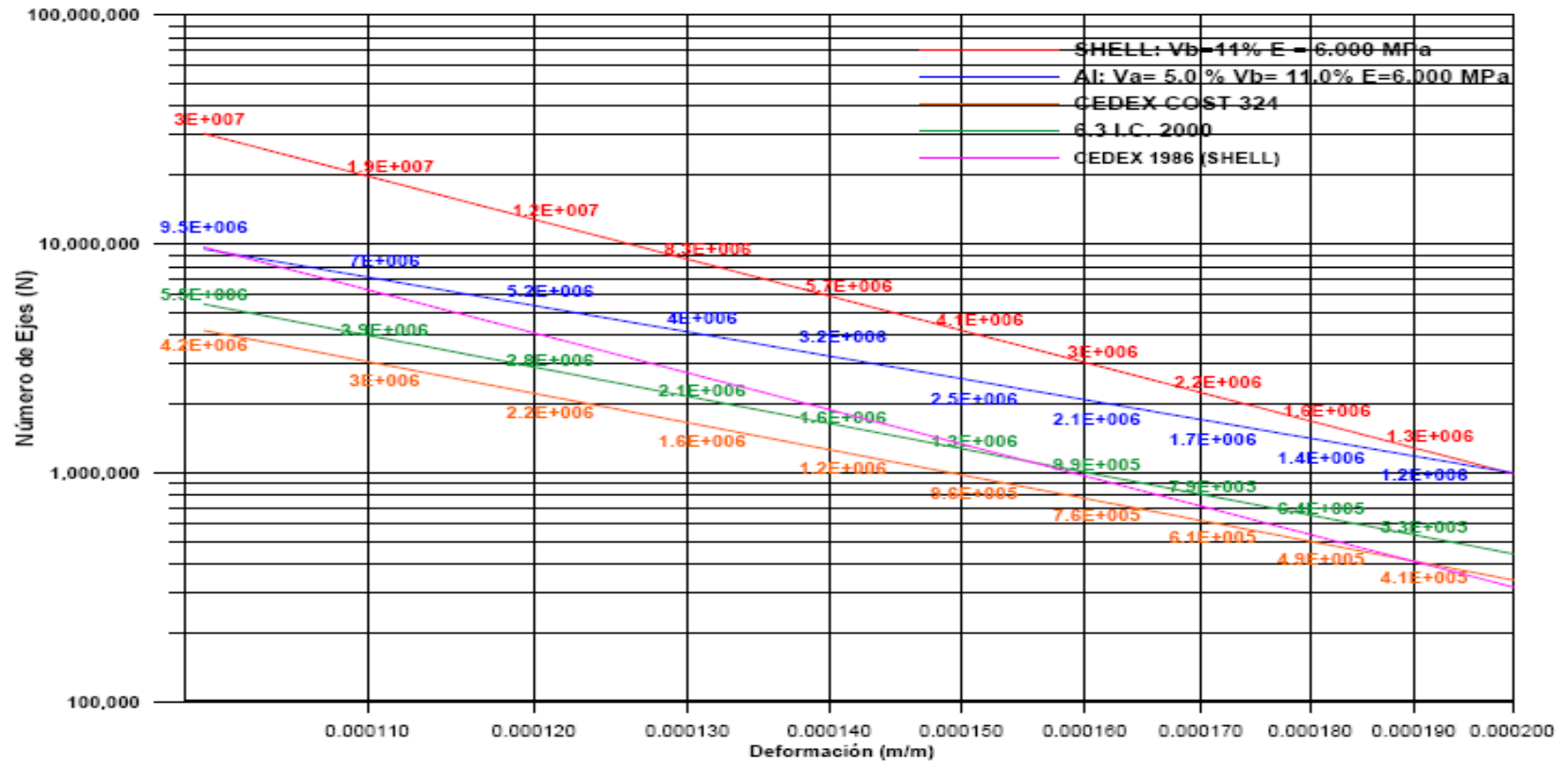


Gráfico 2 Ley de Fatiga en Mezclas Bituminosas

3. LAS CARGAS SOBRE LOS PAVIMENTOS

3.1. INTRODUCCIÓN

Las cargas aplicadas a los pavimentos están representadas por los camiones que transitan por las vías, dichas cargas son muy variadas en magnitud y duración de la aplicación porque los vehículos presentan varias categorías. Los camiones tienen un peso total que es distribuido en la vía por medio de los ejes.

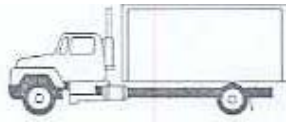
El propósito de este capítulo es estudiar los tipos de vehículos y de ejes que se presentan y conocer cual es el control que se tiene en el país en cuanto a las dimensiones y pesos máximos con los que puede transitar un camión.

3.2. TIPOLOGIA DE CAMIONES

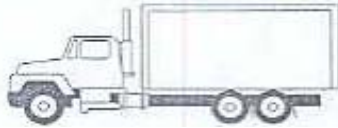
Los vehículos de carga están divididos en categorías y tienen una nomenclatura específica estipulada por las entidades que regulan el tránsito en Colombia.

- Configuración de un vehículo: Se define identificando, en su orden, el camión rígido o el tracto camión con la letra C, el semi-remolque con la letra S y el remolque con la letra R y especificando a continuación de cada letra el número de líneas de rotación de la Unidad vehicular correspondiente.
- Línea de rotación: Línea perpendicular al eje longitudinal del vehículo que une los centros de dos o más llantas colocadas en lados opuestos del mismo.

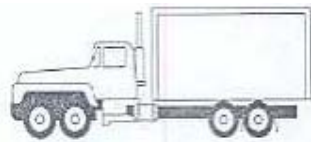
Se presenta a continuación un esquema de los tipos de camiones.



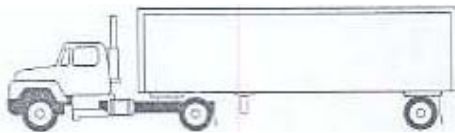
Camión de dos ejes
Camión Sencillo



Camión de tres ejes
Dobletroque



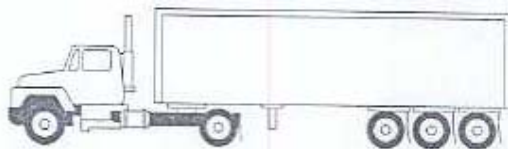
Camión de cuatro ejes



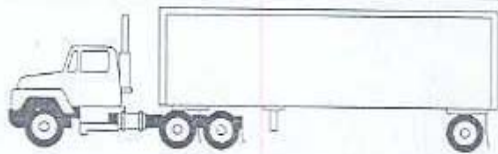
Tractocamión de dos ejes con semirremolque de un eje



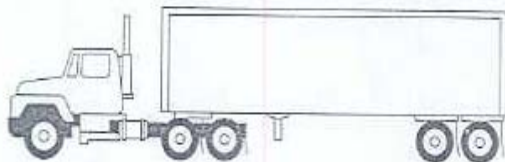
Tractocamión de dos ejes con semirremolque de dos ejes



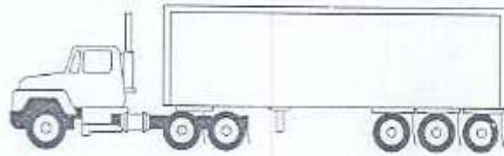
Tractocamión de dos ejes con semirremolque de tres ejes



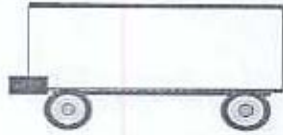
Tractocamión de tres ejes con semirremolque de un eje



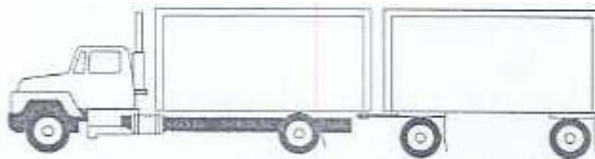
Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes



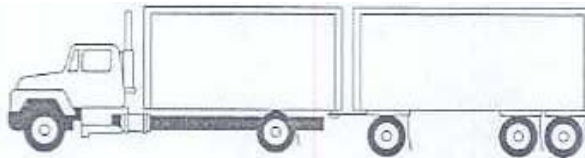
Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes



Remolque de dos ejes



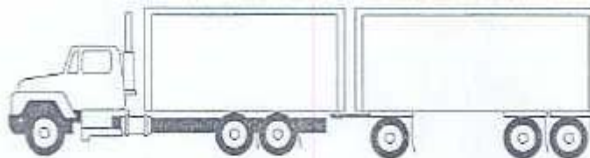
Camión de dos ejes con remolque de dos ejes



Camión de dos ejes con remolque de tres ejes



Camión de tres ejes
Dobletroque con remolque de dos ejes



Camión de tres ejes
Dobletroque con remolque de tres ejes



Camión de cuatro ejes con remolque de dos ejes

Figura 5 Esquema De Los Tipos De Camiones

3.2.1. Tipos de Ejes

- Eje longitudinal: Línea paralela al suelo que corre por el centro del vehículo uniendo los puntos medios de sus extremos anterior y posterior.

- Eje simple: Ensamble de dos o cuatro llantas unidas entre sí por una línea de rotación. El eje simple puede ser de llanta sencilla cuando el ensamble consta de dos llantas, y de llanta doble cuando consta de cuatro llantas.
- Eje tándem: Eje conformado por dos líneas de rotación, dotado de una suspensión que permita la compensación de cargas y cuya separación se encuentra entre 1.00 y 1.60 metros. El eje tándem puede ser de llanta sencilla cuando el ensamble consta de cuatro llantas, de llanta doble cuando cuantas de ocho y mixto cuando una línea de rotación une dos llantas y la otra cuatro.
- Eje tridem: Eje conformado por tres líneas de rotación dotado de una suspensión que permita la compensación de carga y cuya separación entre las líneas de rotación extremas se encuentra entre 2.00 y 3.20 metros.
- Eje direccional: Ensamble de dos o cuatro llantas ubicadas en una o dos líneas de rotación respectivamente que soporta parte de la carga del vehículo y está dispuesto para girar respecto al eje longitudinal del mismo. El eje direccional puede ser simple o compuesto de acuerdo con las anteriores definiciones.
- Eje retráctil: Eje tándem cuya línea de rotación posterior puede transmitir parte de la carga del vehículo a la superficie de la vía o aislarse de ella mediante dispositivos hidráulicos o mecánicos.

3.3. CARGAS MÁXIMAS PERMITIDAS

Los pesos máximos permitidos para los vehículos de carga y los ejes las estipulan las normas que al respecto existen. Algunas de estas normas se presentan a continuación.

- **Resolución N° 13791 de 21 de diciembre de 1988**

Es la primera donde se reglamentan de forma oficial los límites de pesos y dimensiones de los vehículos de carga para su operación normal en las carreteras del país.

En resumen esta ley lo que requirió o estipulo fue la tipología de los vehículos, y para cada uno de ellos los pesos y dimensiones permitidos.

TIPO DE CAMIÓN	CATEGORÍA	EJE SIMPLE		EJE TAMDEM		EJE TRIDEM
		DIR	TRS	DIR	TRS	
RÍGIDO	C2	1	1			
RÍGIDO	C3	1			1	
RÍGIDO	C3a		1	1		
RÍGIDO	C4			1	1	
ARTICULADO	C2-S1	1	2			
ARTICULADO	C2-S2	1	1		1	
ARTICULADO	C3-S1	1	1		2	
ARTICULADO	C3-S2	1			2	
ARTICULADO	C3-S3	1			1	1
ARTICULADO	C2-R2	1	3			
ARTICULADO	C3-R2	1	2		1	
ARTICULADO	C4-R2		2	1	1	
REMOLQUE	R2		2			

Tabla 2 Distribución De Ejes Según El Tipo De Camión
DIR: direccional, TRS: trasero

En la tabla anterior se detalla el tipo de camión y la distribución de los ejes en cada uno de ellos. Se debe aclarar que el decreto aclara que, Los semi-remolques tendrán hasta tres líneas de rotación propias, así: un eje simple, tipo S1; un eje tándem, tipo S2 o un eje tridem, tipo S3. Los dos primeros podrán acoplarse a tracto camiones tipos C2 y C3 y el último solamente a tracto camiones tipo C3.

Los remolques podrán acoplarse a camiones rígidos tipo C2, C3 y C4 y tener dos líneas de rotación propias conformadas por ejes simples, tipo R2.

Las dimensiones máximas según este decreto son como sigue.

- Anchura: La anchura total de los camiones no podrá exceder de 2.60 metros.
- Altura: La altura total de los camiones no podrá exceder de 4.10 metros
- Longitud. La máxima longitud total admisible en los vehículos, incluidos los parachoques delantero y trasero, variará de acuerdo con su configuración así:
 1. Camiones rígidos tipo C2, 9.20 metros.
 2. Camiones rígidos tipo C3, 11.00 metros
 3. Camiones rígidos tipo C4, 11.50 metros.
 4. Semiremolques tipos S1, 9.00 metros; tipo S2, 12.30 metros; tipo S3, 13.00 metros.
 5. Semiremolques tipo S1 con carrocerías destinadas para cargar estibas normalizadas, destinados exclusivamente al transporte de bebidas embotelladas no alcohólicas, 9.50 metros.
 6. Semiremolques tipo S2 destinados exclusivamente al transporte de café y azúcar, 13.00 metros.
 7. Semiremolques tipo S1 destinados exclusivamente al transporte de vehículos, 13.50 metros.

8. Remolques tipo R2, 9.00 metros.
 9. Camiones articulados tipo C2-S1, C3-S1 y C2-S2, 17.00 metros y tipos C3-S2 y C3-S3, 18.20 metros.
 10. Camiones articulados tipos C2-R2, C3-R2 y C4-R2, 18.30 metros.
- Voladizo posterior. La distancia entre la última línea de rotación y la arte posterior más sobresaliente del vehículo tendrá los siguientes valores máximos: Tipo C2, 2.20 metros, Tipo C2 para transporte de bebidas embotelladas no alcohólicas, 2.50 metros, tipos C3 y C4, 2.60 metros, semiremolques y remolques, 2.00 metros, semiremolques tipo S1 para transporte de automóviles, 4.00 metros.

El peso bruto máximo permitido por la norma para cada tipo de camión es el que sigue.

TIPO DE CAMIÓN	CATEGORÍA	MÁXIMO PESO BRUTO VEHICULAR (TONELADAS)
RÍGIDO	C2	16
RÍGIDO	C3	28
RÍGIDO	C3a	23
RÍGIDO	C3 TANDEM TRS MIXTO	23
RÍGIDO	C4	36
ARTICULADO	C2-S1	27
ARTICULADO	C2-S2	32
ARTICULADO	C3-S1	29
ARTICULADO	C3-S2	48
ARTICULADO	C3-S3	52
ARTICULADO	C2-R2	32
ARTICULADO	C3-R2	44
ARTICULADO	C4-R2	48
REMOLQUE	R2	16

Tabla 3 Peso Bruto Máximo Para Cada Tipo De Camión

En la anterior tabla se muestran los pesos máximos permitidos, hay que tener en cuenta que con la ubicación de las basculas y como la sensibilidad de las

mismas era variable se decidió implementar una tolerancia a cada peso máximo permitido, de la cual se hablara mas adelante.

El peso máximo permitido por ejes es el siguiente.

TIPO DE EJE	OBSERVACIONES
EJE DIRECCIONAL	Eje simple diferente al del tractocamión C3-S 6 toneladas
	Eje simple del tractocamión tipo C3-S: 7 toneladas.
	Eje tándem: 14 toneladas
EJE SIMPLE	De llanta sencilla: 6 toneladas
	De llanta doble: 11 toneladas
EJE TANDEM	De llanta sencilla (4 llantas): 11 toneladas
	Mixto (6 llantas): 17 toneladas
	De llanta doble (8 llantas): 22 toneladas
EJE TRIDEM	De llanta doble (12 llantas) 24 toneladas

Tabla 4 Peso Máximo Por Ejes

- **Resolución N° 02501 de 22 de febrero de 2002.**

Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 13791 de diciembre 21 de 1988”

Se modifica la altura máxima de los vehículos, pasa de 4.10 mts a 4.40 mts.

Además Esta resolución modifica los pesos máximos permitidos por la resolución 13791 de 1988. Adicionalmente, permite el aumento de los pesos C2 a 19 ton y C3 a 30 ton, hasta 31 de mayo de 2002.

CATEGORÍA	MÁXIMO PESO BRUTO VEHICULAR (TONELADAS)	MÁXIMO PESO BRUTO VEHICULAR CON TOLERANCIA (TONELADAS)
C3a	23	23.70
C3 TANDEM TRS MIXTO	23	23.70
C4	36	37.00
C2-S1	27	27.80
C2-S2	37	38.10
C3-S1	29	29.90
C3-S2	48	49.40
C3-S3	52	53.60
C2-R2	31	31.90
C3-R2	44	45.30
C4-R2	48	49.40
R2	16	16.50

Tabla 5 Peso Máximo Con Tolerancia

- **Resolución N° 2888 de 11 de marzo de 2002**

Aclara el peso bruto vehicular establecido por la resolución 2501 de 2002, para la configuración C2S2 y el esquema de los vehículos R2, C2R2 y C4R2.

El esquema es el siguiente.

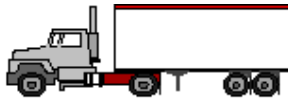


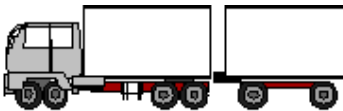
	ESQUEMA DEL VEHÍCULO	PESO BRUTO VEHICULAR (TON)	MÁXIMO PESO BRUTO VEHICULAR CON TOLERANCIA (TON)
C2S2		32	33.00
R2		16	16.50
C2R2		31	31.90
C4R2		48	49.40

Tabla 6 Aclaración De La Resolución 2888

- **Resolución N° 010799 de 12 de diciembre de 2003.**

La cual aclara los límites de pesos por eje y peso bruto vehicular para camiones tipo C2 pequeño. El control de peso por eje para los vehículos C2 RIN 16, se realizará teniendo en cuenta que para este tipo de vehículos el peso máximo es de 6000 Kg. en un eje sencillo de llanta doble.

Para el control del peso bruto vehicular en los vehículos de dos (2) ejes RIN 16 se tendrá como límite máximo 8450 Kg.

- **Resolución N° 4100 de 28 de diciembre de 2004.**

Esta norma deroga a la resolución 13791 de 1988.

Esta resolución tiene por objeto reglamentar la tipología para vehículos automotores de carga para transporte terrestre, así como los requisitos relacionados con dimensiones, máximos pesos brutos vehiculares y máximos pesos por eje, para su operación normal en la red vial en todo el territorio nacional, de acuerdo con las definiciones, designación y clasificación establecidas en la Norma Técnica Colombiana **NTC 4788** "Tipología para vehículos de transporte de carga terrestre".

CATEGORÍA	MÁXIMO PESO BRUTO VEHICULAR (kilogramos)	TOLERANCIA POSITIVA DE PESAJE (kilogramos)
C2	16000	400
C3	28000	700
C4(1)	31000	775
C4(2)	36000	900
C4(3)	32000	800
C2-S1	27000	675
C2-S2	32000	800
C2-S3	40500	1013
C3-S1	29000	725
C3-S2	48000	1200
C3-S3	52000	1300
C2-R2	31000	775
C2-R3	47000	1175
C3-R2	44000	1100
C3-R3	48000	1200
C4-R2	48000	1200
R2	16000	400

Tabla 7 Peso Máximo Con Tolerancia Resolución 4100

4. EVALUACIÓN DE LAS SOLICITACIONES EN UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

4.1. METODOLOGIA

Para evaluar las solicitaciones en un pavimento se debe tener los datos de ciertos parámetros que influyen en el comportamiento de la estructura ante la aplicación de cargas.

- **Cargas.** Son fundamentales en la evaluación de un pavimento, ya que la aplicación de estas generan esfuerzos y deformaciones que de manera progresiva vencen la resistencia de la estructura provocando daños que se acumulan hasta llegar a la fractura del material.
- **Temperatura.** La variación de la temperatura dentro del pavimento afecta el modulo del asfalto haciendo que sea mas susceptible ante la aplicación de las cargas con lo cual se disminuye la vida de la estructura.
- **Distribución del Tráfico.** Saber los puntos en la sección transversal de la vía por donde transitan los vehículos es un mecanismo que permite conocer donde se esta generando mayor esfuerzo. Además la deformación producida en un punto varia dependiendo por donde este pasando la rueda de un vehículo, generando así diferentes niveles de deformación.
- **Cantidad de Ejes.** La cantidad de ejes que pasan por una vía n durante un periodo de tiempo indica cuantos ciclos de carga soporta un pavimento.

El presente capítulo muestra el análisis hecho a los diferentes datos recolectados, en cuanto a tráfico, pesos de vehículos de carga, temperatura en el pavimento. Con el propósito que el espectro se ajustara a las condiciones locales reales de una zona.

4.2. OBTENCION DE DATOS

Se requiere obtener información peso de vehículos, temperatura, tráfico horario y distribución de cargas en la vía.

4.2.1. Datos De Pesaje De Vehículos De Carga.

Esta información se solicitó a CONCESIÓN VIAL LOS COMUNEROS mediante una carta, donde se solicitaba los datos de pesos de la estación de pesaje ubicada en la vía Bucaramanga- Sangil a la altura de la entrada a Curitii. En respuesta la concesión envió los datos de la báscula del mes de febrero de 2007, donde se encuentra la información detallada de vehículos, fecha, peso bruto, categoría y si el carro lleva sobrepeso, además un reporte por sentido y un resumen diario de vehículos.

A continuación se presentan unas tablas con los resúmenes diarios para todo el mes de febrero por categoría de vehículos.

CATEGORÍA 8-C2 PEQUEÑO				PESO			
FECHA	MUESTRA	SOBREPESADOS	%	MINI	PROMEDIO	MAXI	
01/02/2007	66	0	0,00	3.310,00	6.497,73	8.500,00	
02/02/2007	99	1	1,01	2.540,00	6.288,48	8.940,00	
03/02/2007	63	0	0,00	3.370,00	6.407,46	8.500,00	
05/02/2007	49	0	0,00	2.820,00	6.719,59	8.490,00	
06/02/2007	87	3	3,45	3.290,00	6.359,77	9.080,00	
07/02/2007	83	4	4,82	3.400,00	6.570,24	9.580,00	
08/02/2007	73	0	0,00	3.460,00	6.715,34	8.490,00	
09/02/2007	63	0	0,00	3.560,00	6.395,71	8.500,00	
10/02/2007	55	0	0,00	3.400,00	5.871,82	8.500,00	
12/02/2007	62	0	0,00	3.710,00	6.660,48	8.490,00	
13/02/2007	86	0	0,00	2.610,00	6.318,26	8.500,00	
14/02/2007	73	1	1,37	4.100,00	6.912,47	8.860,00	
15/02/2007	75	0	0,00	3.400,00	6.763,87	8.500,00	
16/02/2007	51	0	0,00	3.430,00	6.675,69	8.500,00	
17/02/2007	44	0	0,00	3.070,00	6.296,82	8.500,00	
19/02/2007	108	0	0,00	3.340,00	6.666,85	8.500,00	
20/02/2007	77	1	1,30	3.100,00	6.714,42	8.800,00	
21/02/2007	49	0	0,00	2.940,00	6.630,61	8.490,00	
22/02/2007	57	0	0,00	2.880,00	6.607,37	8.500,00	
23/02/2007	55	0	0,00	3.040,00	6.342,91	8.490,00	
24/02/2007	33	0	0,00	3.680,00	5.958,48	8.490,00	
26/02/2007	64	0	0,00	3.400,00	6.799,69	8.500,00	
27/02/2007	96	0	0,00	3.220,00	6.463,44	8.500,00	
28/02/2007	69	0	0,00	3.300,00	6.538,55	8.480,00	
TOTALES	1.637,00	10,00	0.61	2.540,00	6.507,34	9.580,00	

Tabla 8 Resumen diario categoría C2 pequeño

CATEGORÍA 9-C2				PESO			
FECHA	MUESTRA	SOBREPESADOS	%	MINI	PROMEDIO	MAXI	
01/02/2007	87	0	0,00	5.770,00	13.411,15	16.400,00	
02/02/2007	177	3	1,69	6.410,00	13.041,13	18.690,00	
03/02/2007	115	2	1,74	4.610,00	13.294,35	18.180,00	
02/05/2007	52	0	0,00	6.830,00	13.654,81	16.390,00	
06/02/2007	145	0	0,00	4.210,00	13.217,79	16.390,00	
07/02/2007	117	1	0,85	5.210,00	12.921,97	18.760,00	
08/02/2007	90	0	0,00	4.780,00	12.561,78	16.360,00	
09/02/2007	101	0	0,00	4.720,00	12.483,76	16.400,00	
10/02/2007	92	3	3,26	5.760,00	12.605,33	18.770,00	
12/02/2007	84	0	0,00	4.640,00	13.042,98	16.400,00	
13/02/2007	136	1	0,74	5.940,00	13.394,71	18.970,00	
14/02/2007	135	0	0,00	5.280,00	13.338,30	16.400,00	
15/02/2007	92	2	2,17	5.110,00	13.217,39	18.500,00	
16/02/2007	98	2	2,04	7.100,00	13.622,24	22.690,00	
17/02/2007	91	1	1,10	4.730,00	12.546,81	18.680,00	
19/02/2007	151	2	1,32	7.220,00	13.454,50	19.150,00	
20/02/2007	104	2	1,92	6.540,00	13.144,04	18.300,00	
21/02/2007	83	2	2,41	6.530,00	13.159,16	17.840,00	
22/02/2007	90	1	1,11	6.190,00	12.879,33	18.490,00	
23/02/2007	84	2	2,38	6.530,00	13.020,60	18.680,00	
24/02/2007	54	0	0,00	6.760,00	12.047,41	16.400,00	
26/02/2007	71	0	0,00	4.500,00	13.022,54	16.390,00	
27/02/2007	165	0	0,00	4.680,00	13.730,61	16.400,00	
28/02/2007	122	0	0,00	6.080,00	13.308,61	16.400,00	
TOTALES	2.536,00	24,00	0.95	4.210,00	13.088,39	22.690,00	

Tabla 9 Resumen diario categoría C2

CATEGORÍA 10-C3					PESO		
FECHA	MUESTRA	SOBREPESADOS	%	MINI	PROMEDIO	MAXI	
01/02/2007	19	0	0,00	20.030,00	26.795,26	28.700,00	
02/02/2007	40	0	0,00	11.800,00	25.662,00	28.680,00	
03/02/2007	24	1	4,17	12.390,00	24.615,83	30.930,00	
05/02/2007	9	0	0,00	13.340,00	25.974,44	28.610,00	
06/02/2007	28	0	0,00	10.070,00	24.977,86	28.590,00	
07/02/2007	26	0	0,00	11.040,00	25.889,23	28.700,00	
08/02/2007	20	0	0,00	11.020,00	26.611,00	28.680,00	
09/02/2007	20	0	0,00	12.700,00	26.478,00	28.640,00	
10/02/2007	24	0	0,00	12.480,00	24.320,00	28.680,00	
12/02/2007	20	0	0,00	11.100,00	26.104,50	28.680,00	
13/02/2007	37	0	0,00	10.050,00	25.446,22	28.690,00	
14/02/2007	37	0	0,00	12.380,00	25.636,49	28.600,00	
15/02/2007	20	0	0,00	11.390,00	24.773,50	28.670,00	
16/02/2007	27	0	0,00	12.600,00	25.115,19	28.670,00	
17/02/2007	23	0	0,00	13.290,00	25.190,87	28.610,00	
19/02/2007	34	0	0,00	11.500,00	26.569,41	28.700,00	
20/02/2007	24	0	0,00	12.730,00	25.401,67	28.670,00	
21/02/2007	18	0	0,00	12.250,00	26.056,11	28.650,00	
22/02/2007	28	0	0,00	12.730,00	26.149,29	28.520,00	
23/02/2007	26	0	0,00	10.820,00	25.201,54	28.610,00	
24/02/2007	10	0	0,00	13.640,00	25.617,00	28.630,00	
26/02/2007	14	0	0,00	11.880,00	25.797,14	28.650,00	
27/02/2007	56	0	0,00	9.410,00	24.899,11	28.700,00	
28/02/2007	34	0	0,00	10.800,00	25.137,06	28.700,00	
TOTALES	618,00	1,00	0,16	9.410,00	25.600,78	30.930,00	

Tabla 10 Resumen diario categoría C3

CATEGORÍA 11-C2-S1					PESO		
FECHA	MUESTRA	SOBREPESADOS	%	MINI	PROMEDIO	MAXI	
02/03/2007	1	0	0,00	18.520,00	18.520,00	18.520,00	
19/02/2007	1	0	0,00	12.370,00	12.370,00	12.370,00	
23/02/2007	1	0	0,00	14.660,00	14.660,00	14.660,00	
TOTALES	3,00	0,00	0,0	12.370,00	15.183,33	18.520,00	

Tabla 11 Resumen diario categoría C2-S1

CATEGORÍA 12-C4-					PESO		
FECHA	MUESTRA	SOBREPESADOS	%	MINI	PROMEDIO	MAXI	
05/02/2007	1	0	0,00	34.040,00	34.040,00	34.040,00	
07/02/2007	1	0	0,00	12.930,00	12.930,00	12.930,00	
09/02/2007	1	0	0,00	35.340,00	35.340,00	35.340,00	
10/02/2007	1	0	0,00	27.300,00	27.300,00	27.300,00	
16/02/2007	1	0	0,00	36.190,00	36.190,00	36.190,00	
27/02/2007	2	0	0,00	35.290,00	35.550,00	35.810,00	
TOTALES	7,00	0,00	0,0	12.930,00	30.225,00	36.190,00	

Tabla 12 Resumen diario categoría C4

CATEGORÍA 14-C2-S2				PESO		
FECHA	MUESTRA	SOBREPESADOS	%	MINI	PROMEDIO	MAXI
01/02/2007	6	0	0,00	12520.00	17731.67	20780.00
02/02/2007	20	0	0,00	12060.00	18677.00	31830.00
03/02/2007	17	0	0,00	11870.00	19971.18	48800.00
05/02/2007	13	0	0,00	17440.00	22913.85	30440.00
06/02/2007	6	0	0,00	11040.00	16426.67	28010.00
07/02/2007	8	0	0,00	12860.00	16052.50	23040.00
08/02/2007	5	0	0,00	12600.00	24348.00	29540.00
09/02/2007	4	0	0,00	12660.00	18825.00	26170.00
10/02/2007	7	0	0,00	13190.00	19985.71	26020.00
12/02/2007	18	0	0,00	13230.00	18079.44	26590.00
13/02/2007	7	0	0,00	12790.00	13547.14	15730.00
14/02/2007	10	0	0,00	12390.00	22224.00	31480.00
15/02/2007	7	0	0,00	11780.00	19688.57	29380.00
16/02/2007	10	0	0,00	13020.00	23520.00	29230.00
17/02/2007	12	0	0,00	12840.00	22110.83	32100.00
19/02/2007	25	0	0,00	12250.00	23863.20	31690.00
20/02/2007	9	0	0,00	12220.00	16713.33	24170.00
21/02/2007	5	0	0,00	12590.00	18062.00	29430.00
22/02/2007	10	0	0,00	18300.00	25185.00	29150.00
23/02/2007	6	0	0,00	11060.00	19580.00	29670.00
24/02/2007	5	0	0,00	13200.00	19562.00	23570.00
26/02/2007	5	0	0,00	15340.00	20822.00	48800.00
27/02/2007	11	0	0,00	12560.00	20335.45	31410.00
28/02/2007	12	0	0,00	13310.00	19640.83	31990.00
TOTALES	238,00	0,00	0,00	11040.00	19911.06	48800.00

Tabla 13 Resumen diario categoría C2-S2

CATEGORÍA 15-C3-S2				PESO		
FECHA	MUESTRA	SOBREPESADOS	%	MINI	PROMEDIO	MAXI
01/02/2007	23	0	0,00	14.970,00	32.732,17	48.470,00
02/02/2007	46	0	0,00	14.930,00	30.021,96	48.630,00
03/02/2007	44	0	0,00	13.540,00	29.762,95	48.800,00
05/02/2007	18	0	0,00	14.760,00	28.747,22	48.470,00
06/02/2007	32	0	0,00	15.610,00	34.142,50	48.940,00
07/02/2007	41	0	0,00	12.390,00	31.689,51	48.730,00
08/02/2007	35	0	0,00	15.250,00	31.620,86	48.820,00
09/02/2007	30	0	0,00	15.940,00	33.132,33	48.210,00
10/02/2007	38	0	0,00	13.400,00	32.562,89	48.910,00
12/02/2007	29	0	0,00	15.580,00	28.370,34	48.810,00
13/02/2007	39	0	0,00	12.200,00	28.341,28	48.520,00
14/02/2007	50	0	0,00	14.790,00	28.693,00	49.040,00
15/02/2007	19	0	0,00	13.750,00	30.086,32	49.150,00
16/02/2007	32	0	0,00	13.550,00	30.780,00	48.830,00
17/02/2007	26	0	0,00	8.960,00	28.355,77	48.950,00
19/02/2007	27	0	0,00	12.980,00	27.553,33	48.500,00
20/02/2007	26	0	0,00	15.790,00	33.881,92	48.960,00
21/02/2007	37	0	0,00	14.700,00	35.705,14	48.860,00
22/02/2007	30	0	0,00	14.280,00	32.992,33	48.700,00
23/02/2007	38	0	0,00	13.380,00	36.507,89	48.530,00
24/02/2007	29	0	0,00	14.710,00	33.450,34	48.530,00
26/02/2007	16	0	0,00	17.800,00	35.777,50	47.610,00
27/02/2007	49	0	0,00	12.990,00	31.610,82	48.750,00
28/02/2007	41	0	0,00	14.660,00	34.162,20	48.340,00
TOTALES	795,00	0,00		8.960,00	31.695,02	49.150,00

Tabla 14 Resumen diario categoría C2-S3

CATEGORÍA 16-C3-S3					PESO	
FECHA	MUESTRA	SOBREPESADOS	%	MINI	PROMEDIO	MAXI
01/02/2007	80	0	0,00	16.630,00	45.810,38	53.290,00
02/02/2007	96	0	0,00	15.920,00	46.558,85	53.220,00
03/02/2007	77	0	0,00	19.860,00	47.601,43	53.250,00
05/02/2007	66	1	1,52	32.100,00	47.917,27	56.310,00
06/02/2007	58	0	0,00	10.880,00	46.996,55	53.150,00
07/02/2007	65	0	0,00	16.160,00	46.408,62	53.210,00
08/02/2007	68	1	1,47	12.660,00	44.431,76	54.040,00
09/02/2007	48	0	0,00	16.810,00	43.077,92	53.300,00
10/02/2007	63	0	0,00	15.580,00	45.008,25	53.290,00
12/02/2007	78	0	0,00	16.330,00	44.183,08	53.240,00
13/02/2007	82	0	0,00	16.890,00	45.169,02	53.210,00
14/02/2007	84	0	0,00	19.630,00	46.344,17	53.230,00
15/02/2007	71	0	0,00	16.460,00	45.323,10	53.290,00
16/02/2007	69	0	0,00	16.290,00	46.669,13	53.100,00
17/02/2007	58	0	0,00	17.110,00	46.092,76	53.300,00
19/02/2007	86	0	0,00	16.470,00	43.842,21	53.030,00
20/02/2007	44	0	0,00	16.530,00	38.785,91	53.250,00
21/02/2007	54	0	0,00	16.130,00	42.655,37	53.220,00
22/02/2007	74	0	0,00	16.440,00	45.040,95	53.280,00
23/02/2007	75	0	0,00	16.720,00	43.050,27	53.200,00
24/02/2007	50	0	0,00	17.850,00	45.517,40	53.270,00
26/02/2007	68	0	0,00	16.550,00	47.328,97	53.060,00
27/02/2007	66	0	0,00	16.220,00	45.789,85	53.200,00
28/02/2007	88	0	0,00	16.860,00	45.869,32	53.150,00
TOTALES	1.668,00	2,00	0,12	10.880,00	45.228,02	56.310,00

Tabla 15 Resumen diario categoría C3-S3

CATEGORÍA 17-C3-S2-R4					PESO	
FECHA	MUESTRA	SOBREPESADOS	%	MINI	PROMEDIO	MAXI
08/02/2007	1	0	0,00	32.890,00	32.890,00	32.890,00
TOTALES	1,00	0,00	0,0	32.890,00	32.890,00	32.890,00

Tabla 16 Resumen diario categoría C3-S2-R4

Con los datos obtenidos de la báscula de Curití, se procede a hacer la distribución de los pesos por categorías de vehículos. Se manejan datos diarios, cabe aclarar que la báscula de Curití funciona todos los días de 6 AM a 6 PM y un día a la semana pesa las 24 horas, este día es sorteado al azar.

Se muestra la distribución del peso para un camión tipo C2 y para un tractocamión tipo C3S3 para un día cualquiera.

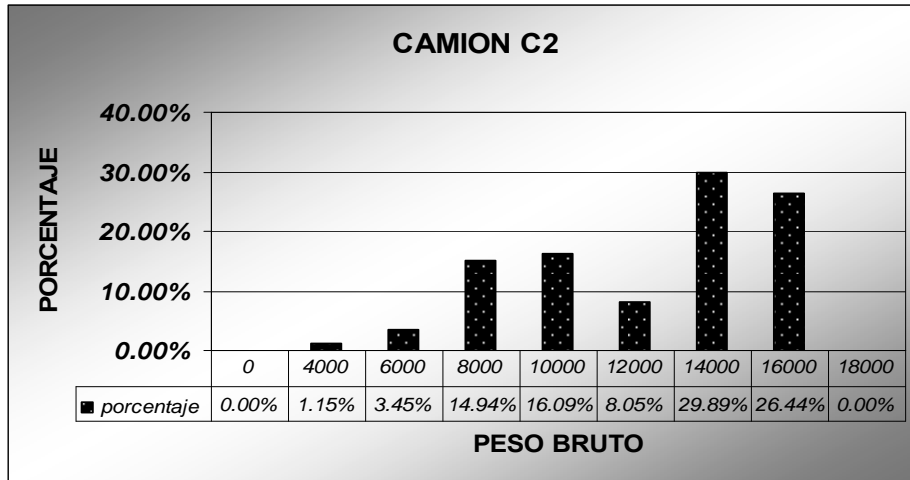


Grafico 3 Distribución De Carga para categoría C2

El grafico muestra la tendencia de la carga transportada por los camiones, por ejemplo el 29.89% de los vehículos que pasaron en ese día transportaba un peso bruto mayor a 14000 Kg.³

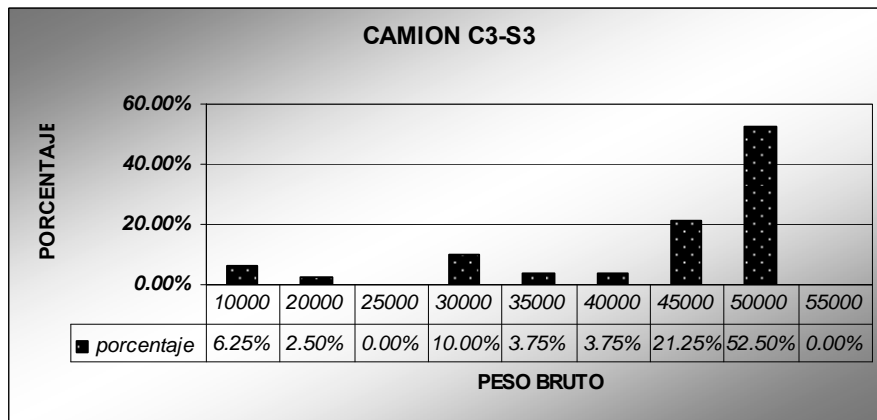


Grafico 4 Distribución De Carga para categoría C3S3

La grafica 4.2 muestra una tendencia bastante marcada, de los tractocamiones que pasan por este punto más del 50% de ellos transportan mas de 50 toneladas en su peso bruto.

³ VER ANEXO A

4.2.2. Datos De Distribución De Tráfico Horario.

Para la distribución del tráfico a lo largo de un día se obtuvieron los datos de un conteo realizado durante las 24 horas del día en la vía Lebrija la Te del Aeropuerto que registra según los volúmenes de tráfico del 2005 presentados por el INVIAS, un TPDS parecido al de la vía SanGil – los Curos, donde se encuentra ubicada la Bascula.

El conteo realizado muestra ciertas horas con un volumen de vehículos alto, otras con un volumen medio y otras con un bajo tráfico de carros.

En las horas donde el tráfico es alto se presentan los picos o las horas picos, los cuales son de más de 250 vehículos/hora. Se presentan dos picos marcados, uno en las horas de la mañana y el otro al medio día, la siguiente tabla muestra la distribución de los vehículos durante las 24 horas del día.⁴

⁴ VER ANEXO C

HORA	AUTO	BUS	C2P	C2	C3	C2-S2	C3-S2	C3-S3	TOTAL
0a1	28	6	5	8	3	3	2	7	62
1a2	27	7	5	13	2	1	4	3	62
2a3	25	8	9	11	3	1	1	2	60
3a4	22	4	12	13	0	2	1	4	58
4a5	21	7	9	14	2	3	2	5	63
5a6	42	15	9	12	2	3	3	5	91
6a7	102	32	12	34	12	12	17	20	241
7a8	111	33	18	40	12	10	13	21	258
8a9	98	28	17	36	8	9	10	17	223
9a10	65	16	11	21	4	6	8	10	141
10a11	55	17	8	18	4	7	8	10	127
11a12	53	16	7	17	6	4	9	15	127
12a13	55	22	9	21	7	5	7	11	137
13a14	108	34	16	33	9	12	17	22	251
14a15	98	27	13	27	10	8	12	15	210
15a16	64	20	14	21	7	6	9	12	153
16a17	65	21	14	24	6	7	7	11	155
17a18	56	21	12	20	7	6	8	9	139
18a19	97	17	11	28	12	9	12	19	205
19a20	97	22	13	27	14	12	15	19	219
20a21	100	21	15	28	13	11	13	17	218
21a22	89	22	15	26	10	9	12	18	201
22a23	41	17	7	12	7	5	7	8	104
23a24	37	8	5	11	6	3	5	7	82

Tabla 17 Distribución De Trafico Horario

Si se grafica la distribución anterior se observa una tendencia que tiene unos picos definidos en las horas de mas trafico.

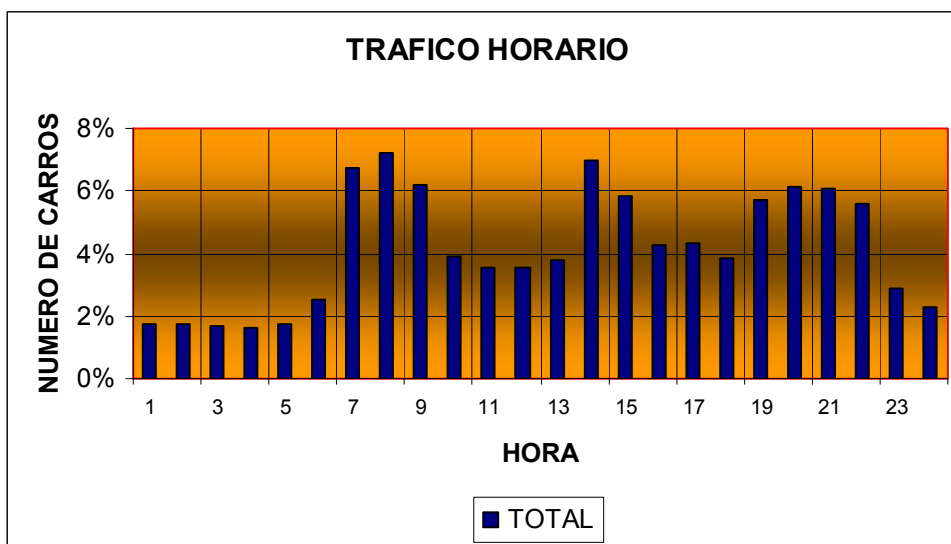


Grafico 5 Distribución De Trafico Horario

4.2.3. Datos De Temperatura En El Pavimento

El comportamiento de la temperatura en el pavimento esta enmarcado directamente con la temperatura del ambiente.

Según investigaciones hechas por John Wilson Correa y Edgar Ramiro Navas, en los tres posibles tipos de días que pueden presentarse, el comportamiento de las temperaturas picos en el pavimento en función de la temperatura ambiente es como sigue.⁵

Existe un máximo absoluto, un mínimo absoluto y un mínimo relativo, en las graficas siguientes se muestran estos picos para los diferentes días.

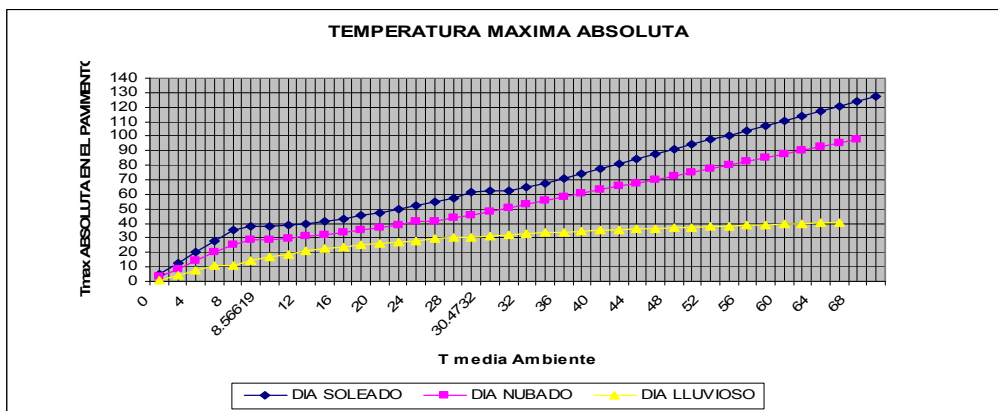


Gráfico 6 Temperatura Máxima Absoluta

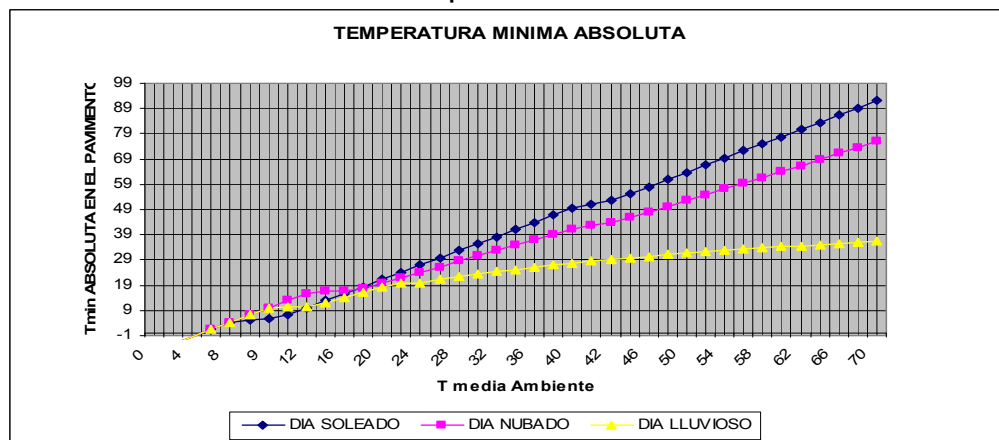


Gráfico 7 Temperatura Mínima Absoluta

⁵ CORREA A. John W, NAVAS. N Edgar R. variación de la temperatura en un pavimento puesto en servicio. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1996

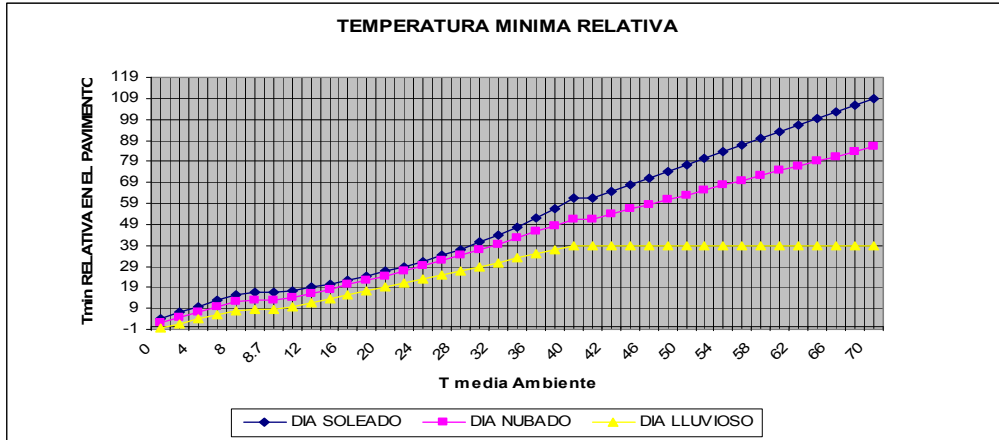


Gráfico 8 Temperatura Mínima Relativa

La presencia de los picos mencionados se da a ciertas horas del día como se muestra en la siguiente tabla.

CLASE DE PICO	HORA DE OCURRENCIA
Mínimo Absoluto	4:30
Máximo Absoluto	13:30
Mínimo Relativo	20:30

Tabla 18 Ocurrencia De Temperaturas Pico

Con las temperaturas picos definidos se procede a predecir la temperatura en el pavimento a lo largo de cada uno de los intervalos existentes entre cada Pico, para lo cual se tienen las siguientes ecuaciones características.

Intervalo de 4:30 a 13:30.

$$T_{pred} = \frac{(t_M - t_m) * (H - 13.5)}{9} + t_M \quad \text{Ecuación 11 Temperatura en el Pavimento Intervalo 1}$$

Intervalo de 13:30 a 20:30

$$T_{pred} = \frac{(t_M - t_{mr}) * (H - 13.5)}{-7} + t_M \quad \text{Ecuación 12 Temperatura En EL Pavimento Intervalo 2}$$

Intervalo de 20:30 a 4:30

$$T_{pred} = \frac{(t_{mr} + t_m) * (H - 20.5)}{-8} + t_{mr} \quad \text{Ecuación 13 Temperatura En El Pavimento Intervalo 3}$$

En las ecuaciones: t_M es la temperatura máxima absoluta, t_m es la temperatura mínima absoluta y el t_{mr} la temperatura mínima relativa.

Del cálculo de las temperaturas se obtiene una tendencia que predice el comportamiento de la temperatura en el pavimento la cual se muestra en las siguientes graficas para cada uno de los días. Soleado, Nubado y Lluvioso.

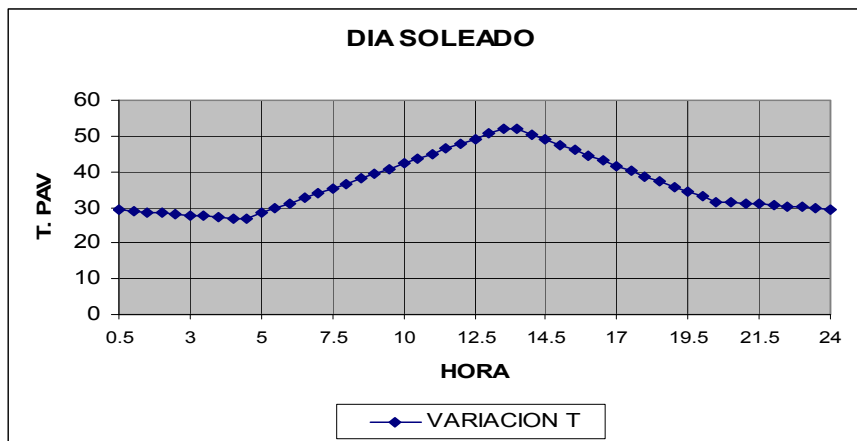


Gráfico 9 Temperatura En El Pavimento Día Soleado en Bucaramanga

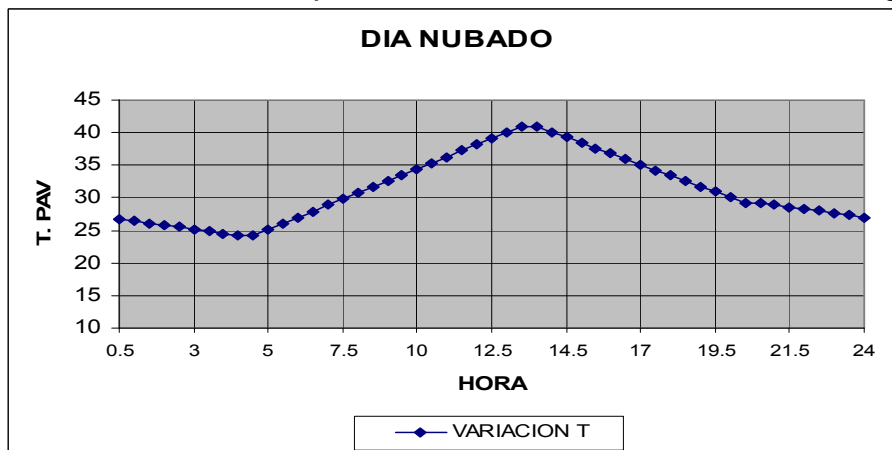


Gráfico 10 Temperatura En El Pavimento Día Nubado en Bucaramanga

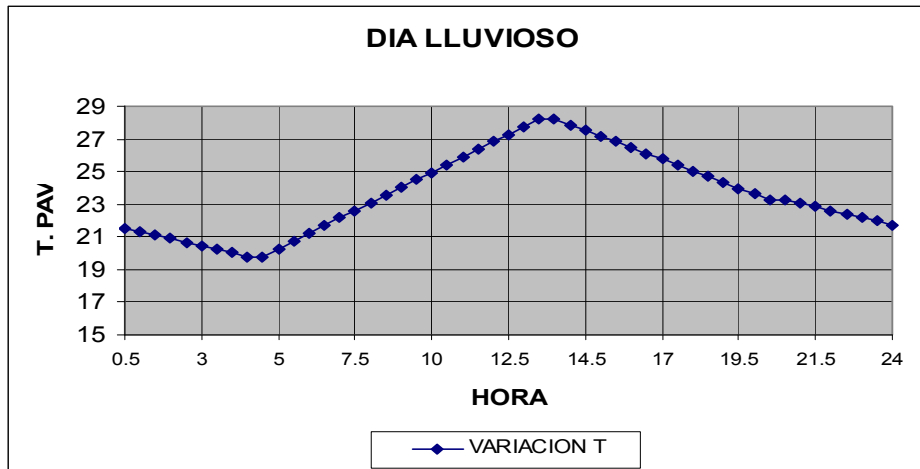


Grafico 11 Temperatura En El Pavimento Día Lluvioso en Bucaramanga

Las graficas muestran que por ejemplo para un día soleado la temperatura en el pavimento alcanza un valor cercano a los 52° C en su máximo y un valor aproximado a los 26° C en su mínimo.

Para un día nubado la temperatura en el pavimento varia de un valor cercano a los 24° hasta los 42° C aproximadamente.

La temperatura mínima en un pavimento se presenta en un día lluvioso, donde el rango varia de 19° hasta aproximadamente los 29° C.

Todas las temperaturas estan calculadas para una temperatura ambiente de 24°C

4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Con los datos de pesaje de vehículos se procede a sacar la topología de vehículos que circulan en la vía.

El total de vehículos que registró la báscula en el mes de febrero fue de 7503. De los cuales 1637 fueron C2P, 2536 C2, 618 C3, 3 C2S1, 7 C4, 238 C2S2, 795 C3S2, 1668 C3S3 y un solo remolque.

El siguiente grafico muestra la composición del parque automotor por categorías.

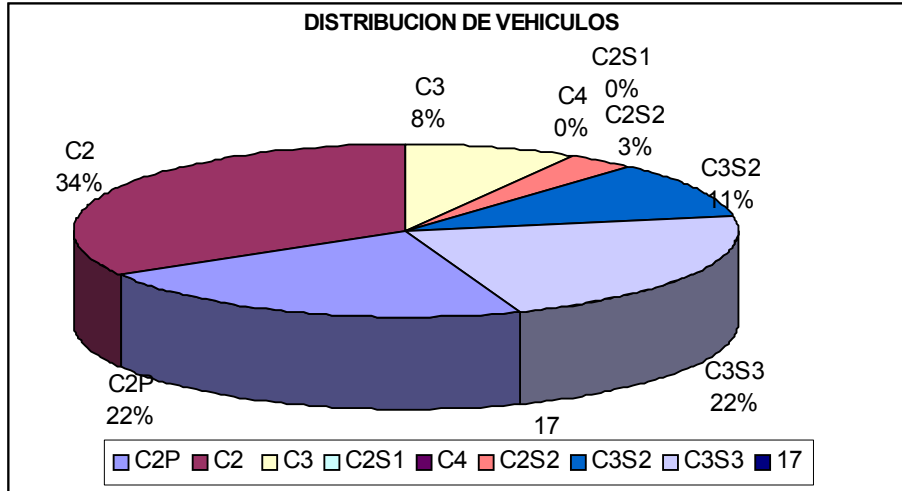


Gráfico 12 Distribución De Vehículos Por Categoría

Se procede entonces ha distribuir el peso de los vehículos por eje, lo cual se hizo en eje simple, eje doble o tandem y eje triple o tridem.

Teniendo el peso bruto medido por la bascula, se debió investigar cuanto pesa en promedio cada tipo de camión sin carga, lo que la norma llama tara del vehiculo. Para esto se tomo una muestra de cada tipo de camión y se indago a los conductores sobre cuanto era el peso del carro sin carga y tanqueado, además se tomo la medida de la parte libre de la carrocería con el fin de distribuir correctamente la carga. De esa pequeña encuesta se obtuvo el siguiente resultado.

TIPO DE CAMIÓN	TARA DE VEHÍCULO (KG)	VOLADIZO CARROCERÍA (M)
C2	4000 A 7000	1.5 A 2.1
C3	7000 A 9000	1.7 A 2.4
C2S2	8000 A 1000	1 A 1.5
C3S2	12000 A 15000	0.7 A 1.2
C3S3	14500 A 18000	0.7 A 1.2

Tabla 19 Tara De Vehículos Y Distancia Libre

De los camiones C4 y C2S1 no se obtuvo información ya que no se encontraron muestras de dichos vehículos.

Con la información anterior y los datos de pesaje se procedió a distribuir la carga por ejes, para lo cual se utilizó la ayuda del programa EXCEL. Se hizo una distribución por ejes para cada día, y para el total del mes de febrero. De lo cual se obtuvieron unos histogramas⁶.

Se presenta la distribución de carga por ejes para el total del mes de febrero.

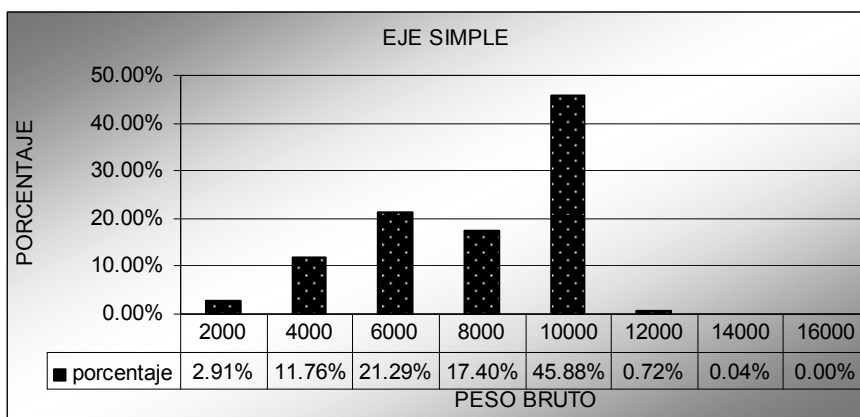


Grafico 13 Distribución De Carga Eje Simple Para Febrero

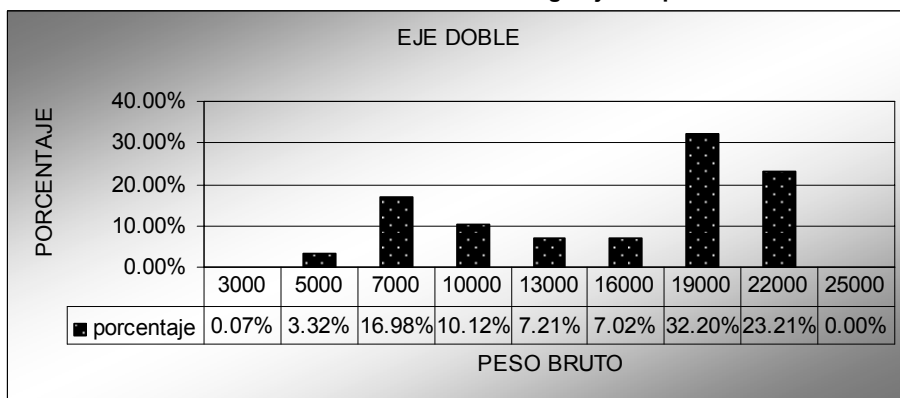


Grafico 14 Distribución De Carga Eje Doble Para Febrero

⁶ VER EL ANEXO B

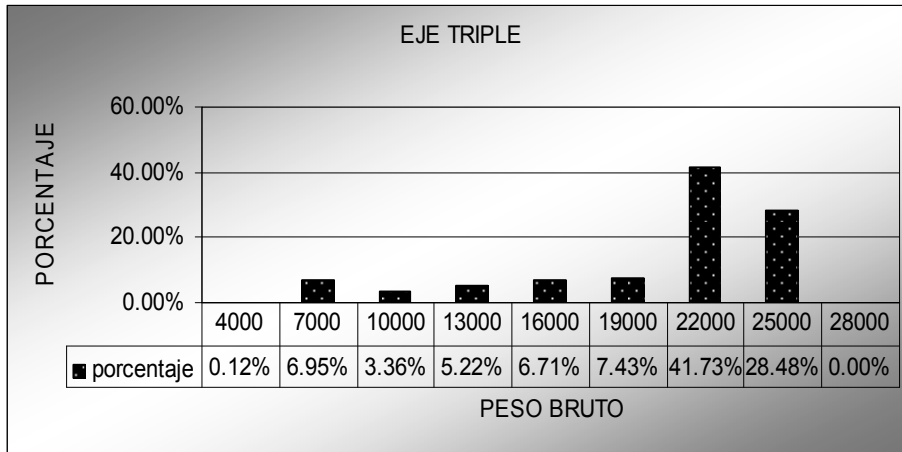


Grafico 15 Distribución De Carga Eje Triple Para Febrero

Un eje simple solo con su propia carga pesa en promedio 2500 Kg. Mientras un eje doble puede pesar alrededor de 5000 Kg. Un eje triple puede pesar 7000kg

Para un eje simple la grafica muestra que casi la mitad de los ejes que pasaron en el mes de febrero transportan una carga entre 10000 y 12000 Kg. Para un eje doble más del 50 % de los ejes tienen una carga mayor a 19000 Kg. La cantidad de ejes triples con mas de 22000 Kg esta alrededor del 70 %.

Con la distribución de cargas por eje el siguiente paso es repartir dichas cargas durante el día, para lo cual se utiliza el tráfico horario que resultado de conteo realizado. Para esto se escogieron unos intervalos de tiempo, donde el criterio de escogencia fue que la temperatura en el pavimento fuese parecida para el intervalo, teniendo así una temperatura promedio que representara el comportamiento del pavimento durante este tiempo.

De las graficas de temperatura en el pavimento vs tiempo en horas se determinaron los siguientes intervalos:

De las 0:00 hrs. a las 5:00 hrs.

De las 5:00 hrs. a las 8:00 hrs.

De las 8:0 hrs. a las 11:00 hrs.

De las 11:00 hrs. a las 14:00 hrs.

De las 14:00 hrs. a las 17:00 hrs.

De las 17:00 hrs. a las 20:00 hrs.

De las 20:00 hrs. a las 0:00 hrs.

En cada uno de estos intervalos se tiene un acumulado de vehículos que pasan, con lo que se puede calcular cuantos ejes transitan en cada uno de estos rangos de tiempo.

INTERVALO		TPAV	TRAFICO	%CAMIONES		C2P	TIPO DE EJES			TOTAL
							SIMPLE	TANDEM	TRIDEM	
00:00	05:00	27ª C	305	0.4918	150	40	69	61	21	151
05:00	08:00	31ª C	590	0.4322	255	39	111	163	46	320
08:00	11:00	40ª C	491	0.43177	212	36	97	127	37	261
11:00	14:00	51ª C	725	0.43034	312	45	127	214	63	404
14:00	17:00	45ª C	518	0.4305	223	41	93	138	38	269
17:00	20:00	36ª C	563	0.44938	253	36	102	177	47	326
20:00	00:00	30ª C	605	0.44628	270	42	105	188	50	343
TOTAL			3797	0.44114	1675	279	704	1068	302	2074
%						16.657	33.9	51.5	14.6	100.0

Tabla 20 Distribución De Ejes Por Intervalos De Tiempo

Ya sabiendo cuantos ejes de cada tipo pasan en cada intervalo, el paso a seguir es saber que tan cargados transitan dichos ejes para lo cual con la distribución hecha por eje de los datos de pesaje y con los datos de la tabla anterior se calculan dichas cantidades.

De los ejes que pasan en cada intervalo de tiempo a cierta temperatura, se puede discriminar que porcentaje de ellos llevan cierta carga como se muestra a continuación.

INTERVALO		TPAV	TIPO DE EJES SIMPLE	CARGA (Kg)												TOTAL
INICIO	FIN			2000 A 4000		4000 A 6000		6000 A 8000		8000 A 10000		10000 A 12000		>12000		
			Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%		
00:00	05:00	27ª C	69	2	2.91%	8	11.76%	15	21.29%	12	17.40%	32	45.88%	0	0.72%	69
05:00	08:00	31ª C	111	3	2.91%	13	11.76%	24	21.29%	19	17.40%	51	45.88%	1	0.72%	111
08:00	11:00	40ª C	97	3	2.91%	11	11.76%	21	21.29%	17	17.40%	45	45.88%	0	0.72%	97
11:00	14:00	51ª C	127	4	2.91%	15	11.76%	27	21.29%	22	17.40%	58	45.88%	1	0.72%	127
14:00	17:00	45ª C	93	3	2.91%	11	11.76%	20	21.29%	16	17.40%	43	45.88%	0	0.72%	93
17:00	20:00	36ª C	102	3	2.91%	12	11.76%	22	21.29%	18	17.40%	47	45.88%	0	0.72%	102
20:00	00:00	30ª C	105	3	2.91%	12	11.76%	22	21.29%	18	17.40%	48	45.88%	2	0.72%	105
TOTAL			704	21	2.91%	83	11.76%	150	21.29%	123	17.40%	323	45.88%	4	0.72%	704

Tabla 21 Distribución Por Intervalo De Tiempo Para Eje Simple

INTERVALO		TPAV	TIPO DE EJE TANDEM	CARGA (Kg)												TOTAL		
INICIO	FIN			<7000		7000 A 10000		10000 A 13000		13000 A 16000		16000 A 19000		19000 A 22000			>22000	
			Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%		
00:00	05:00	27ª C	61	2	3.32%	10	16.98%	6	10.12%	4	7.21%	4	7.02%	20	32.20%	14	23.21%	56
05:00	08:00	31ª C	163	5	3.32%	28	16.98%	16	10.12%	12	7.21%	11	7.02%	52	32.20%	38	23.21%	150
08:00	11:00	40ª C	127	4	3.32%	22	16.98%	13	10.12%	9	7.21%	9	7.02%	41	32.20%	29	23.21%	118
11:00	14:00	51ª C	214	7	3.32%	36	16.98%	22	10.12%	15	7.21%	15	7.02%	69	32.20%	50	23.21%	199
14:00	17:00	45ª C	138	5	3.32%	23	16.98%	14	10.12%	10	7.21%	10	7.02%	44	32.20%	32	23.21%	128
17:00	20:00	36ª C	177	6	3.32%	30	16.98%	18	10.12%	13	7.21%	12	7.02%	57	32.20%	41	23.21%	164
20:00	00:00	30ª C	188	6	3.32%	32	16.98%	19	10.12%	14	7.21%	13	7.02%	61	32.20%	44	23.21%	175
TOTAL			1068	35	3.32%	181	16.98%	108	10.12%	77	7.21%	75	7.02%	344	32.20%	248	23.21%	991

Tabla 22 Distribución Por Intervalo De Tiempo Para Eje Tandem

INTERVALO		TPAV	TIPO DE EJE TRIDEM	CARGA (Kg)												TOTAL		
INICIO	FIN			< 10000		10000 A13000		13000 A16000		16000 A 19000		19000 A 22000		22000 A 25000			>25000	
			Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%		
00:00	05:00	27ª C	21	1	7.07%	1	3.36%	1	5.22%	1	6.71%	2	7.43%	9	41.73%	6	28.48%	21
05:00	08:00	31ª C	46	3	7.07%	2	3.36%	2	5.22%	3	6.71%	3	7.43%	19	41.73%	13	28.48%	45
08:00	11:00	40ª C	37	3	7.07%	1	3.36%	2	5.22%	2	6.71%	3	7.43%	15	41.73%	11	28.48%	37
11:00	14:00	51ª C	63	4	7.07%	2	3.36%	3	5.22%	4	6.71%	5	7.43%	26	41.73%	18	28.48%	62
14:00	17:00	45ª C	38	3	7.07%	1	3.36%	2	5.22%	3	6.71%	3	7.43%	16	41.73%	11	28.48%	39
17:00	20:00	36ª C	47	3	7.07%	2	3.36%	2	5.22%	3	6.71%	3	7.43%	20	41.73%	13	28.48%	46
20:00	00:00	30ª C	50	4	7.07%	2	3.36%	3	5.22%	3	6.71%	4	7.43%	21	41.73%	14	28.48%	51
TOTAL			302	21	7.07%	10	3.36%	16	5.22%	20	6.71%	22	7.43%	126	41.73%	86	28.48%	301

Tabla 23 Distribución Por Intervalo De Tiempo Para Eje Tridem

Teniendo la distribución de los pesos por ejes se debe repartir esta carga en la sección transversal de la vía para saber donde se está generando mas esfuerzo. Para hacer dicha distribución se toman unos puntos en un carril de la vía a partir del borde y hasta el eje ubicándolos cada treinta centímetros. Se hace de esta manera porque se tienen registros del comportamiento del transito de los vehículos en la sección transversal de la vía. Los cuales se obtuvieron de una investigación realizada por Luis Alberto Capacho y Adriana Acevedo, donde se evaluó por cada uno de esos puntos que porcentaje de los camiones pasaban.⁷

Partiendo de esa información se hizo la correlación para cada tipo de eje, obteniendo la siguiente información.

EJE SIMPLE													
PUNTOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA VIA													
PUNTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
%EJES	2	4.3	6.3	16	9.5	9.5	3.8	4.7	7.5	16	8.3	9	2.8

Tabla 24 Porcentaje de Ejes Simple en la Sección Transversal de la Vía

EJE TANDEM													
PUNTOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA VIA													
PUNTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
%EJES	0	2.8	2	20	14	7	4	4	3.5	19	14	6.5	3.7

Tabla 25 Porcentaje de Ejes Tandem en la Sección Transversal de la Vía

EJE TRIDEM													
PUNTOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA VIA													
PUNTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
%EJES	1	4	6	12	10	9.7	7	6	6	12	10	9.6	6

Tabla 26 Porcentaje de Ejes Tridem en la Sección Transversal de la Vía

⁷ consultar. Evaluación de los esfuerzos en las capas asfálticas de los pavimentos flexibles. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1998

Por cada uno de los puntos anteriores pasa un porcentaje de los ejes, pero en cada punto pasa la rueda del vehiculo por lo que la carga que se debe aplicar para calcular los esfuerzos debe ser la mitad de la carga que transporta un eje.

4.3.1. Calculo de Esfuerzos y Deformaciones.

Para el cálculo de esfuerzos y deformaciones se utilizo el programa EVERSTRESS, de la serie EVERSERS, del Washington state department transportation, al cual se le ingresaron los datos estimados de carga para un punto especifico a 0.9 mts del borde de la vía, donde el porcentaje de de ejes que pasan es el mayor, además se tomo un eje simple con la mayor carga registrada en los registros de pesaje.

El análisis se hace para una estructura de pavimento típica ligada, con un espesor de la capa asfáltica de 10 cm y capa granulares de 40 cm, para calcular la deformación a una profundidad de 10 cm.

The screenshot shows the 'Everstress© Data Entry' window with the following data entered:

- Title: estructura
- No of Layers: 4
- Units: Metric (selected)

No	Layer ID	Interface Contact	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Modulus (MPa)
1	0	1.00	0.35	10.00	20000.00
2	0	1.00	0.40	20.00	2000.00
3	0	1.00	0.40	20.00	1500.00
4	0		0.45		70.00

Buttons at the bottom: Load & Evaluation Locations..., Change Default Unit Weight...

Figura 6 Datos de Entrada de la estructura

Se ingresan las características de la estructura de pavimento como lo es espesor de las capas, relación de poisson y los módulos.

Load & Evaluation Points

No of Loads: No of X-Y Evaluation Points:

Load Information

X-Position (cm):	<input type="text" value="-15.00"/>	<input type="text" value="15.00"/>
Y-Position (cm):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Load (N):	<input type="text" value="27500.0"/>	<input type="text" value="27500.0"/>
Pressure (kPa):	<input type="text" value="700.0"/>	<input type="text" value="700.0"/>
Radius (cm):	<input type="text" value="11.18"/>	<input type="text" value="11.18"/>

Evaluation Points

X-Position (cm):	<input type="text" value="-90.00"/>	<input type="text" value="-30.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="60.00"/>	<input type="text" value="120.00"/>	<input type="text" value="180.00"/>	<input type="text" value="270.00"/>
Y-Position (cm):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Z-Position (cm):	<input type="text" value="9.999"/>	<input type="text" value="9.999"/>	<input type="text" value="9.999"/>	<input type="text" value="9.999"/>	<input type="text" value="9.999"/>	<input type="text" value="9.999"/>	<input type="text" value="9.999"/>
Z-Position (cm):	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Z-Position (cm):	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Z-Position (cm):	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Z-Position (cm):	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 7 Datos de Carga y Evaluación de Puntos

El interés es evaluar la deformación al final de la capa asfáltica por lo que solo se tomo información ha esa profundidad, en el ancho de la vía se toman 7 puntos lo que cubre hasta la mitad del eje, la información del otro lado es simétrica.

Resultados del programa.

Layered Elastic Analysis by Everstress® 5.0

Title: estructura		No of Loads: 2		No of X-Y Evaluation Points: 7			
No of Layers: 4							
Layer	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Moduli(1) (MPa)				
1	.35	10.000	20000.00				
2	.40	20.000	2000.00				
3	.40	20.000	1500.00				
4	.45		70.00				
Load No	X-Position (cm)	Y-Position (cm)	Load (N)	Pressure (kPa)	Radius (cm)		
1	-15.00	.00	27500.0	700.00	11.183		
2	15.00	.00	27500.0	700.00	11.183		
Location No: 1		X-Position (cm): -90.000		Y-Position (cm): .000			
Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
9.999	1	-53.30	-9.80	-52	.00	20.30	.00
Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
9.999	1	-2.48	.45	1.08	-337	.000	185.442
Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
9.999	1	-60.20	-9.80	6.38	-2.95	.45	1.54
Location No: 2		X-Position (cm): -30.000		Y-Position (cm): .000			
Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
9.999	1	10.05	473.25	-101.86	.00	90.05	.00
Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
9.999	1	-6.00	25.27	-13.55	-4.621	.000	250.708
Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
9.999	1	-151.92	60.12	473.25	-16.93	-2.62	25.27
Location No: 3		X-Position (cm): .000		Y-Position (cm): .000			
Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
9.999	1	209.46	903.72	-198.84	.00	.00	.00
Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx	Eyy	Ezz	Ux	Uy	Uz

Page 1

Layered Elastic Analysis by Everstress@ 5.0

(cm)		(10 ⁻⁶)	(10 ⁻⁶)	(10 ⁻⁶)	(microns)	(microns)	(microns)
9.999	1	-1.86	45.00	-29.42	.000	.000	273.013
Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
9.999	1	-198.84	209.46	903.72	-29.42	-1.86	45.00
Location No: 4		X-Position (cm): 60.000			Y-Position (cm): .000		
Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
9.999	1	-129.89	18.14	-2.62	.00	-36.31	.00
Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
9.999	1	-6.77	3.23	1.82	1.589	.000	213.267
Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
9.999	1	-139.52	7.01	18.14	-7.42	2.47	3.23
Location No: 5		X-Position (cm): 120.000			Y-Position (cm): .000		
Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
9.999	1	-28.29	-12.84	-.58	.00	-12.11	.00
Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
9.999	1	-1.18	-.14	.69	-.183	.000	161.755
Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
9.999	1	-32.84	-12.84	3.96	-1.49	-.14	1.00

Figura 8 Resultados del Programa

Para vincular la influencia de la temperatura en el calculo de las deformaciones se toma una variación en el modulo de la capa asfáltica que es lo que afecta mas sustancialmente la temperatura, dicha variación se hace desde los 10000 hasta los 40000 (Mpa) para la estructura típica escogida para el análisis.

Se procede entonces a calcular los porcentajes de deformación que produce la carga. Se toma un punto de aplicación de la carga, el cual es por donde pasan la mayor cantidad de ejes, se toma también la carga máxima por ejes que se

obtuvo de los datos de carga. Se hace el análisis para cinco puntos, calculando que porcentaje de la deformación que se presenta en el punto de aplicación de la carga llega hasta cada punto de análisis. En la siguiente tabla se muestra la distribución de los porcentajes de deformación y esfuerzos, en la estructura típica analizada con un modulo de 2000 Mpa.

modulo de elasticidad	20000(Mpa)				
	Puntos en la vía				
	1	2	3	4	5
distancia cm.	-90	-30	0	60	120
deformación micrón	185.44	250.71	273.01	213.27	161.76
% deformación	68%	92%	100%	78%	59%
Esfuerzo Kpa	6.38	473.25	903.72	18.14	3.96
% esfuerzo	1%	52%	100%	2%	0%

Tabla 27 porcentaje de deformación para estructura típica

5. PROPUESTA PARA ESTIMACIÓN DE CARGAS EN EL ENSAYO DE FATIGA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

5.1. INTRODUCCIÓN

Para realizar el ensayo de fatiga se necesita tener unas cargas que se apliquen cierto número de veces. En los diferentes tipos de ensayos, ya sea deformación controlada o esfuerzo controlado se utilizan formas de carga con amplitud constante donde la variación de la misma obedece a formas senosoidales o haversinas.

La intención de este capítulo es proponer la utilización de cargas en el ensayo de fatiga que se ajusten más a las solicitaciones a las que se somete una estructura de pavimento.

5.2. METODOLOGÍA

Se debe partir de un registro de pesos de camiones, el cual se indica como peso bruto por tipo de camión. Esta información se debe discriminar por tipo de ejes para tener las cargas por ejes que se están aplicando al pavimento.

La información del tráfico se obtiene de conteos, donde se obtenga una distribución de vehículos horaria durante todo el día. Además se debe tener un registro del comportamiento de la temperatura en el pavimento.

En cada rango de tiempo donde la temperatura en el pavimento no varía de manera significativa, se tendrá un valor medio representativo del intervalo.

El ensayo se debe realizar teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

- Se tienen siete temperaturas representativas para las cuales se debe realizar el ensayo
- Hay una cantidad de ciclos para cada valor de carga y para cada temperatura
- La deformación causada por los ciclos de carga debe estar en distintos niveles en proporción de una deformación unitaria causada por un valor de carga específico
- Los daños deben ser acumulados.

Se presenta a continuación un espectro de cargas que se puede emplear en un ensayo de fatiga a una temperatura de 27° C tomando como parámetro la variación en la deformación producida por las cargas con respecto a una deformación de una carga específica, que para este caso sería la de un eje simple.

ESPECTRO DE CARGAS

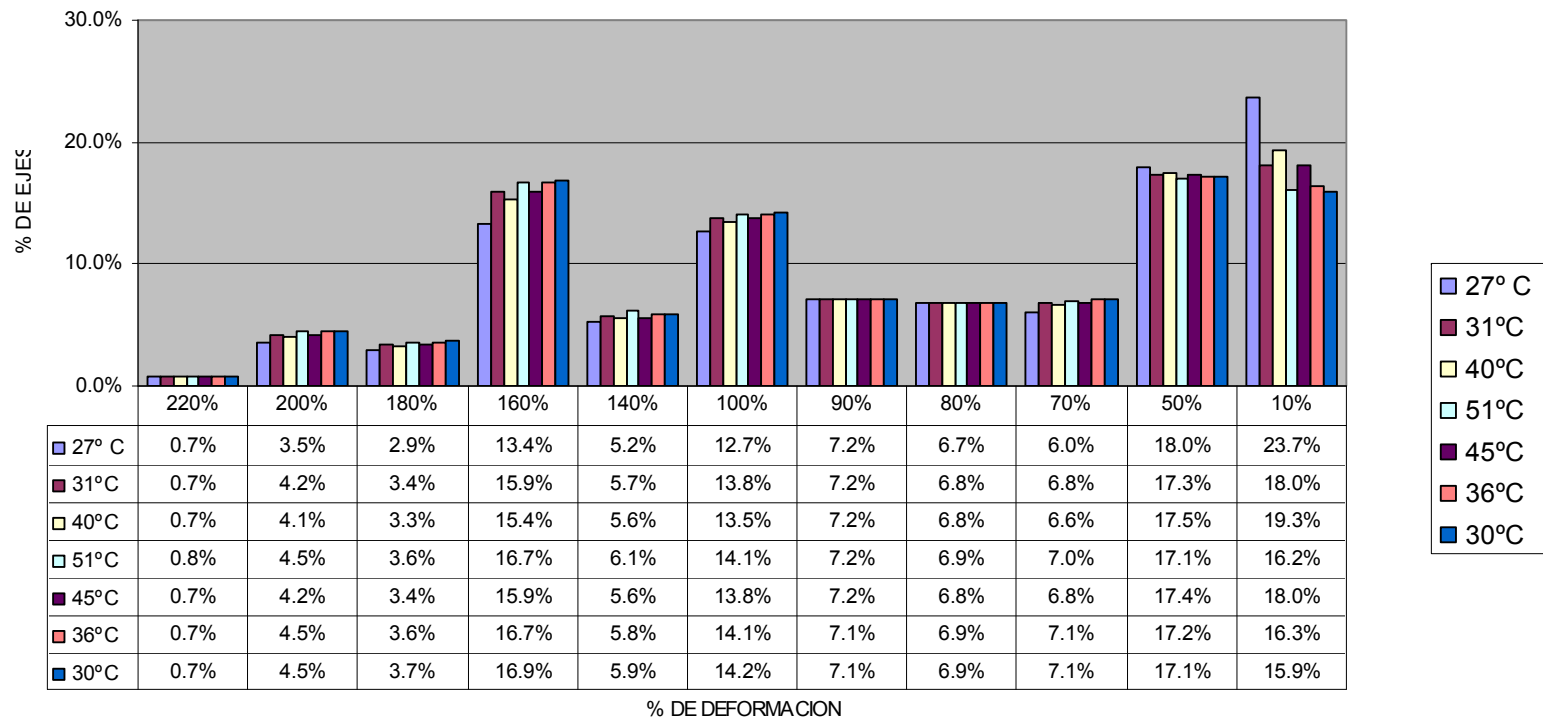


Grafico 16 Espectro De Deformación Unitaria

CONCLUSIONES

De las categorías de vehículos que existen, los tipos C4, C2S1 y los tipos Remolques son de poco tránsito en las carreteras del país, con un porcentaje inferior al 1% durante todo el mes de febrero, mientras que los tipos C2 y C3S3 son los que registran un mayor porcentaje con un 34% y 22% respectivamente del total.

La distribución de peso bruto por tipo de vehículos muestra que la cantidad de camiones que exceden el límite de peso permitido por la norma es de 1%, esto se puede deber a el hecho de que la balanza no funciona las 24 horas del día con lo cual se deja de obtener información.

Para la estructura típica escogida la variación de la temperatura en el pavimento no registra una variación significativa en los niveles de deformación presentados, se conserva una tendencia parecida para los diferentes módulos de elasticidad.

La estimación del espectro muestra que al ser la tendencia en la deformación parecida para la estructura típica, el parámetro más esencial a tener en cuenta es la cantidad de ejes que transitan en cada intervalo de tiempo escogido ya que aunque se tiene porcentajes de ejes muy similares la cantidad de ejes difiere de uno a otro intervalo.

Para el ensayo de fatiga, ya sea de esfuerzos controlados o deformación controlada es muy importante que las cargas utilizadas, sean muy parecidas a las que en realidad soportara la estructura en su funcionamiento, por lo que definir un espectro de cargas requiere utilizar datos reales de todos los parámetros que intervienen en las sollicitaciones a las que se puede someter un pavimento de una zona específica, por lo cual la definición de este espectro sería un primer paso en el planteamiento de una nueva forma de ensayo.

RECOMENDACIONES

Seria importante implementar el control de pesos en las básculas de manera continua durante las 24 horas del día, para tener menos incertidumbre en el control del sobrepeso de los camiones.

Se debería profundizar mas en la implementación de una nueva metodología para ensayos de fatiga en pavimentos flexibles involucrando las condiciones locales y definiendo unas nuevas leyes de fatiga donde se utilicen espectros como el aquí definido.

PERSPECTIVAS

Se debería enfocar las investigaciones a futuro en el tema, en profundizar.

- Comprobación en laboratorio de la ley de Miner. Con los intervalos de sollicitación aquí establecidos.
- Establecer una nueva metodología para ejecutar ensayos de fatiga en la etapa de control de calidad de la construcción de capas tratadas con asfalto.

BIBLIOGRAFÍA

GONZALES R., Silvia. VELANDIA A Siul. Estado del arte en el estudio de la fatiga en materiales bituminosos. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. 2006.

CORREA, AVELLO Jhon Wilson y NAVAS NAVAS Edgar Ramiro. Variación de la temperatura del pavimento asfáltico puesto en servicio. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1996.

SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Diseño de pavimentos. 6 Ed. Tomo I. Bogotá, 1992.

MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. 2 Ed. Universidad católica de Colombia. Bogota, 2002.

BENAVIDES BASTIDAS, Carlos Alberto, M.Sc. y BARRETO CHAVARRO, Eugenio, M.Sc. Estudio de Caracterización Dinámica de Mezclas Asfálticas en Colombia utilizando el ensayo de tracción indirecta. Noveno Simposio Colombiano de Ingeniería de Pavimentos. Tomo i. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1993.

ACEVEDO M. Adriana y CAPACHO S. Luis A. Evaluacion de los Esfuerzos en las capas asfálticas de los Pavimentos flexibles. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.1998.

CONCESIÓN VIAL LOS COMUNEROS. Información de pesajes de camiones. Febrero de 2007. Bascula de Curití.

The federal aviation administration.

<http://www.airporttech.tc.faa.gov>

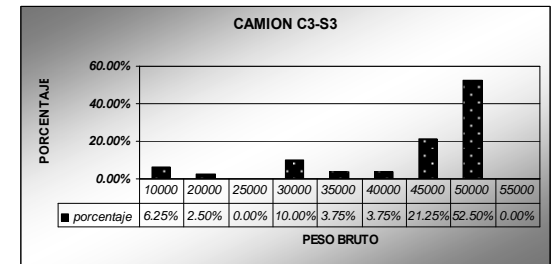
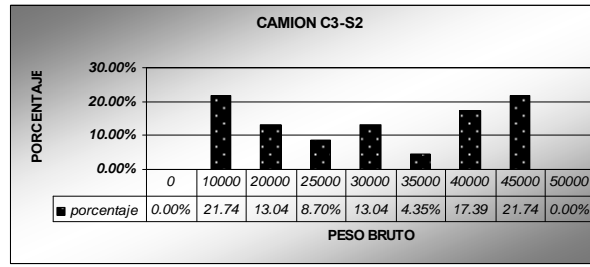
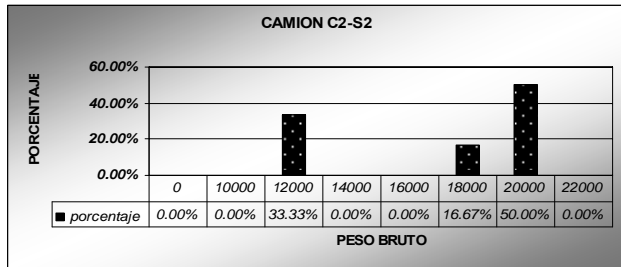
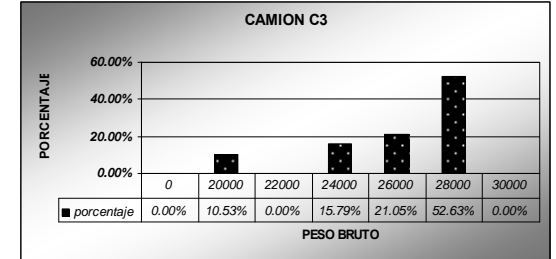
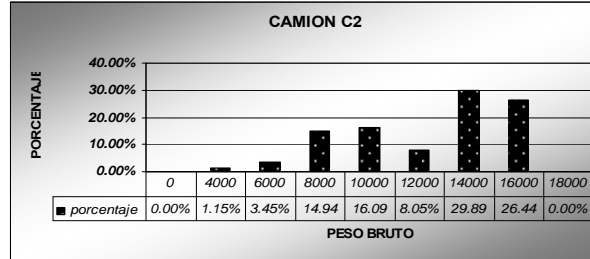
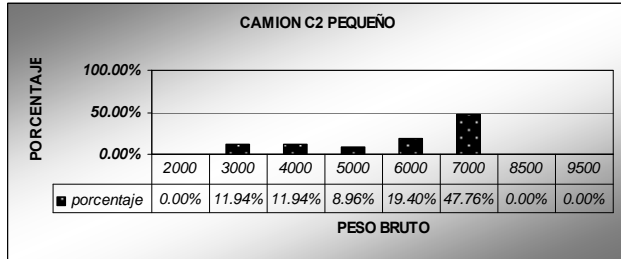
Presidencia de la Republica. Diario Oficial.

<http://www.presidencia.gov.co/publicaciones>

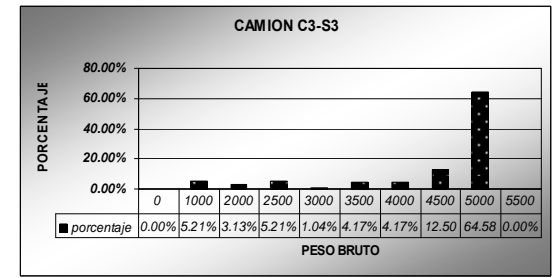
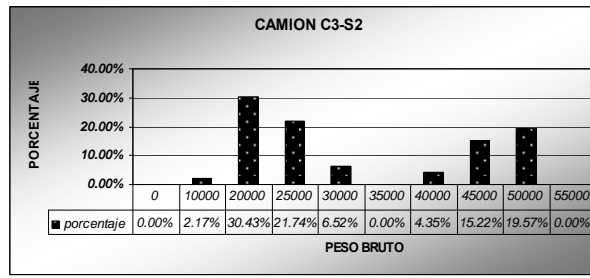
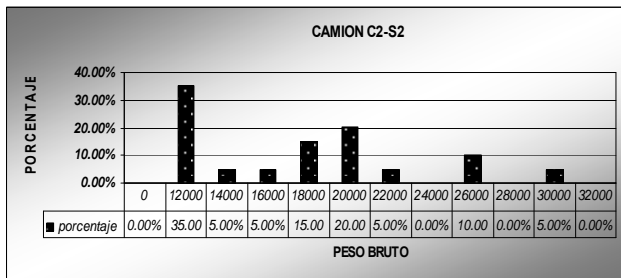
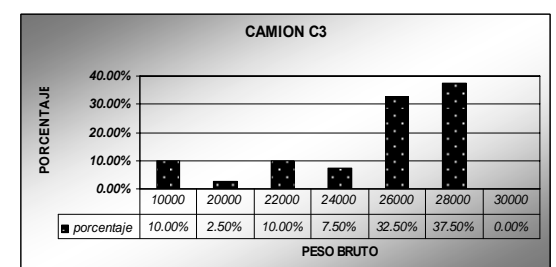
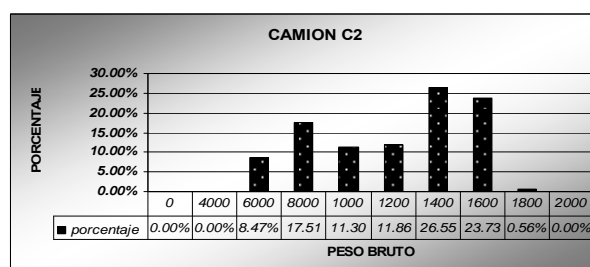
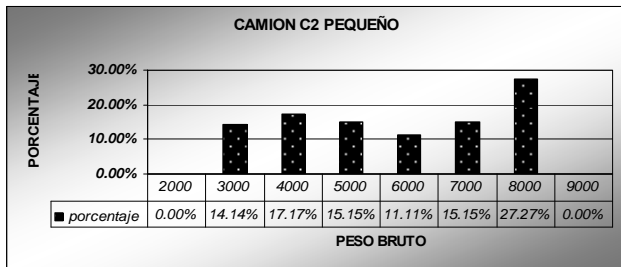
ANEXOS

ANEXO A DISTRIBUCIÓN DE CARGA POR TIPO DE CAMIÓN PARA EL MES DE FEBRERO

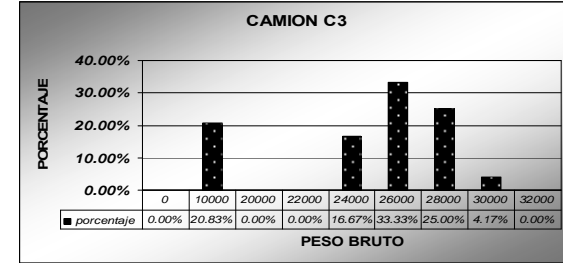
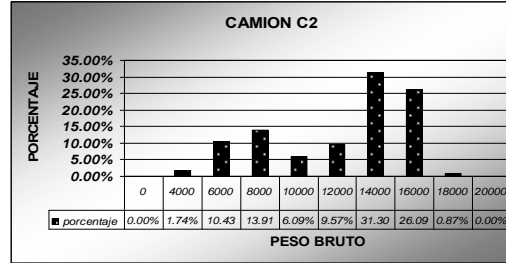
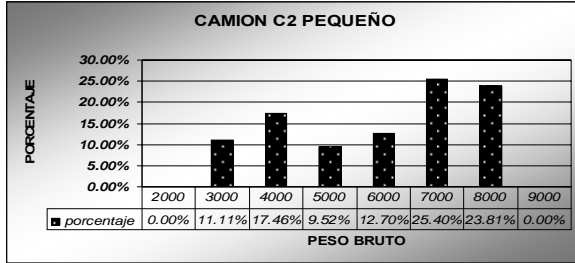
Febrero 1



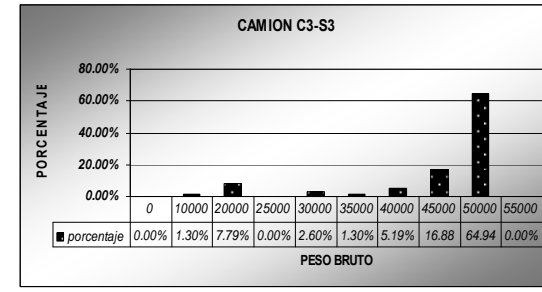
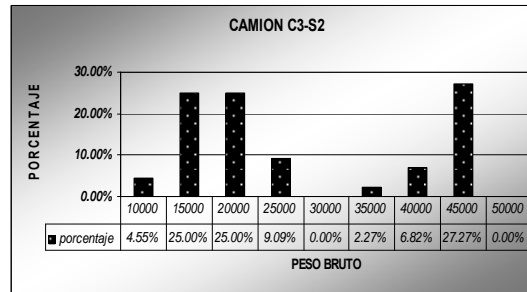
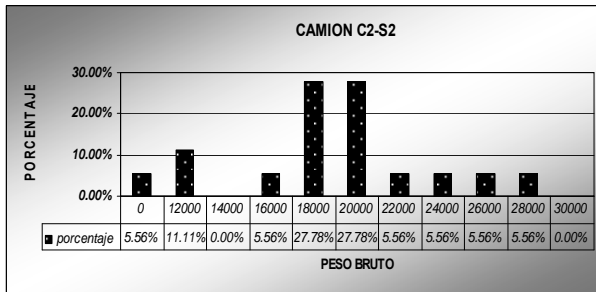
Febrero 2



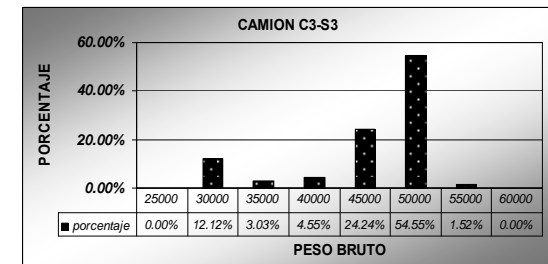
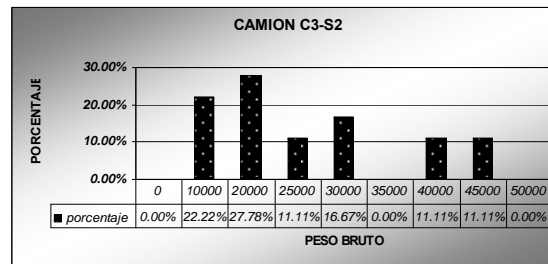
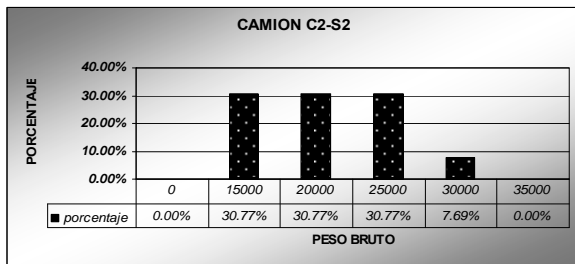
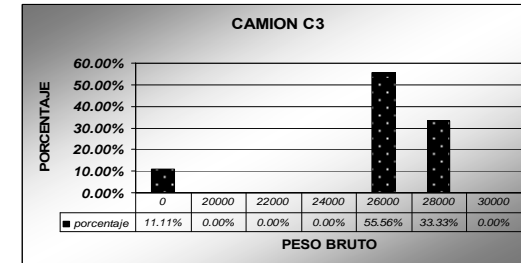
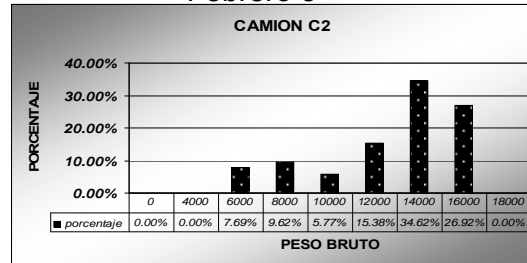
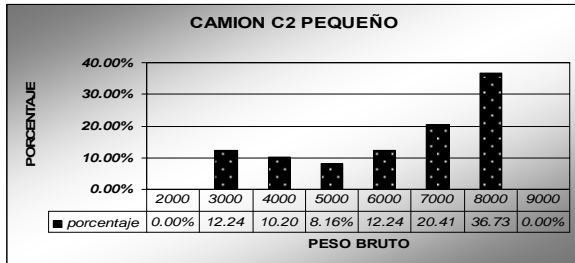
Febrero 3



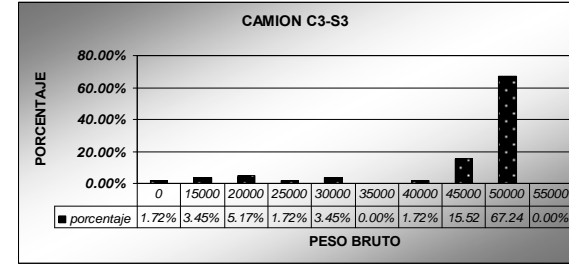
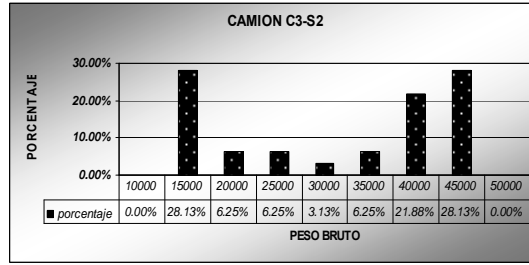
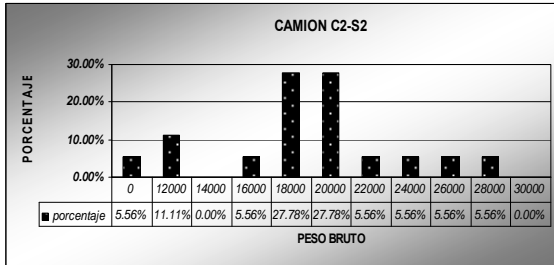
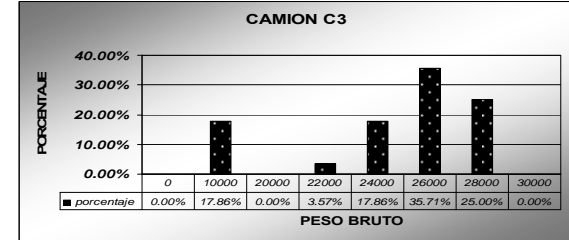
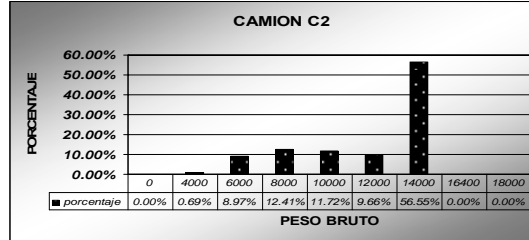
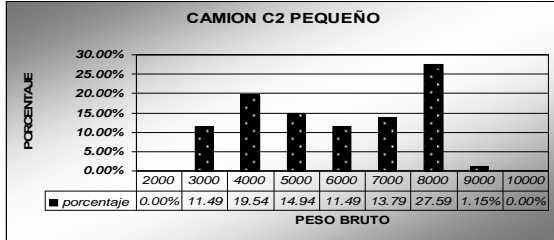
Febrero 3



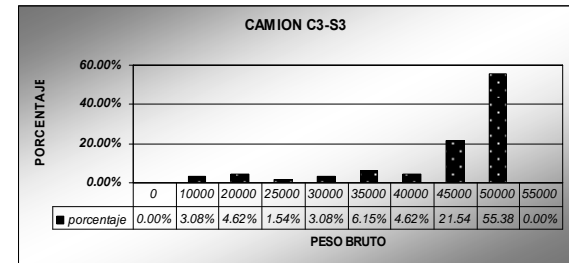
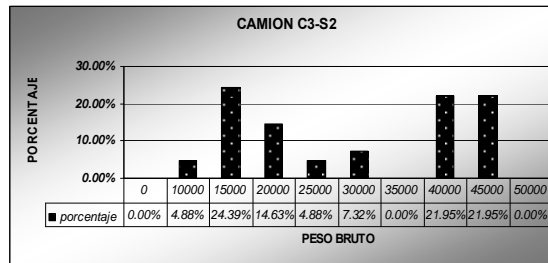
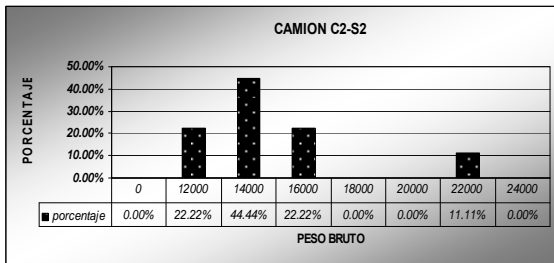
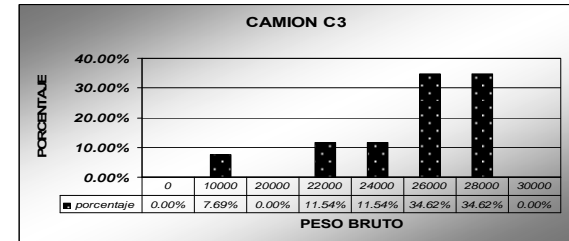
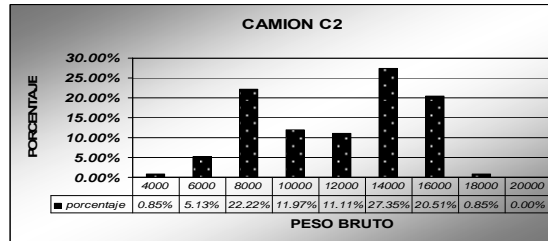
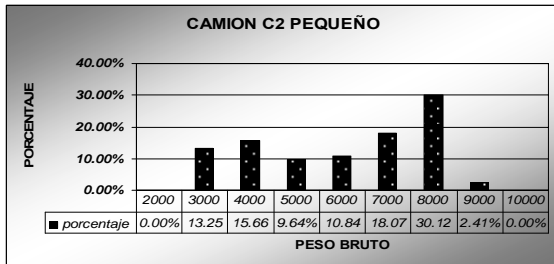
Febrero 5



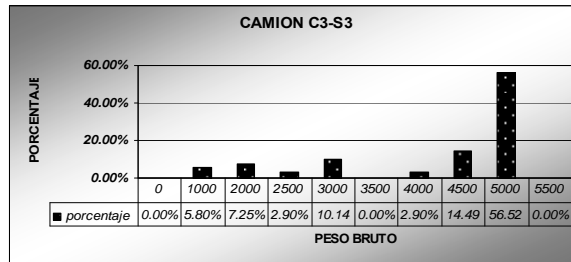
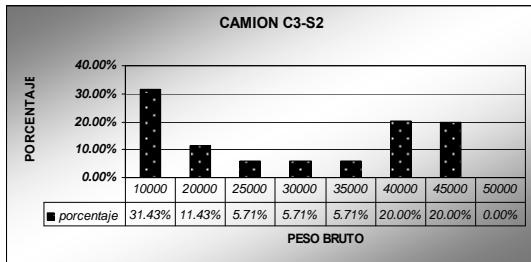
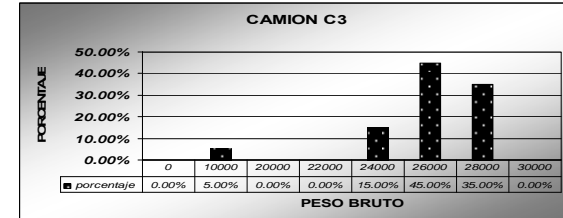
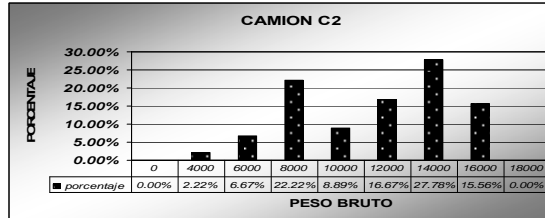
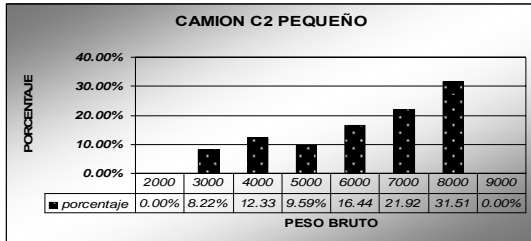
Febrero 6



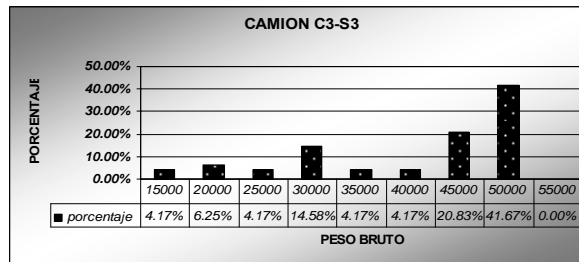
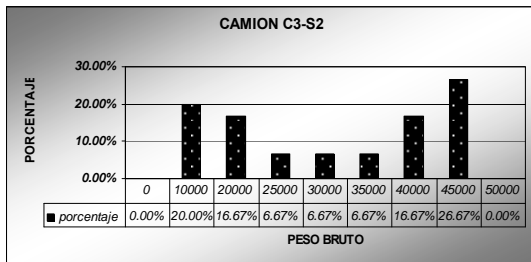
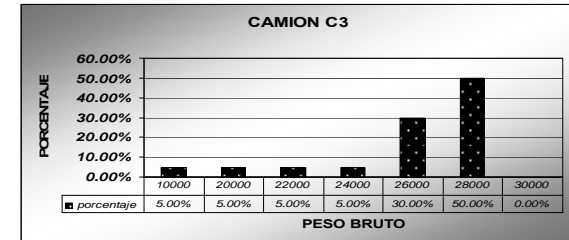
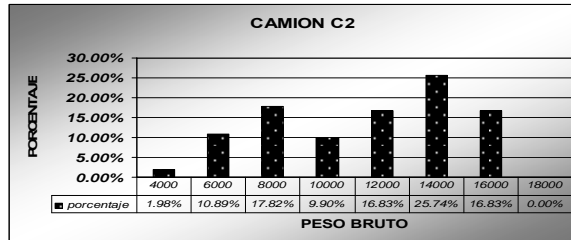
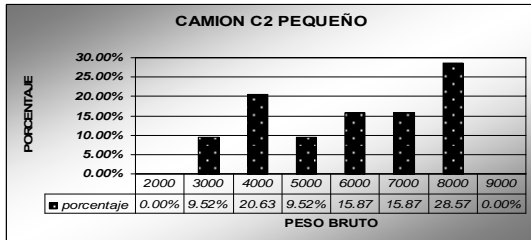
Febrero 7



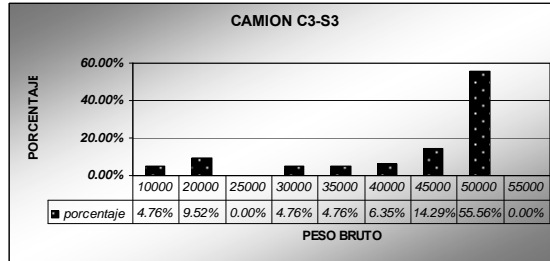
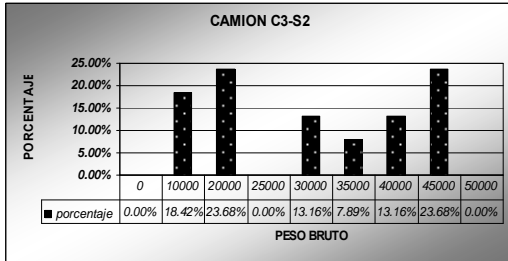
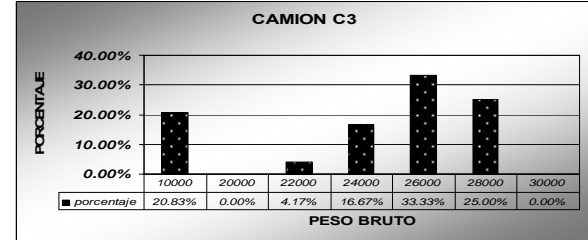
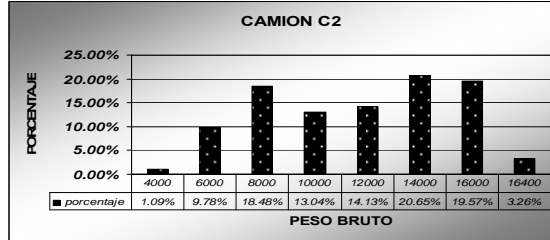
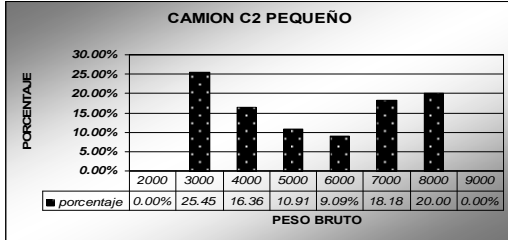
Febrero 8



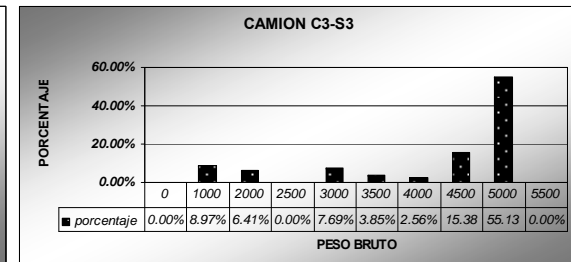
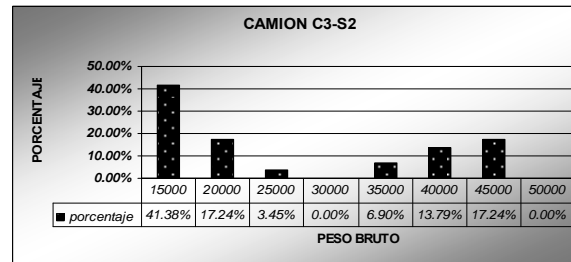
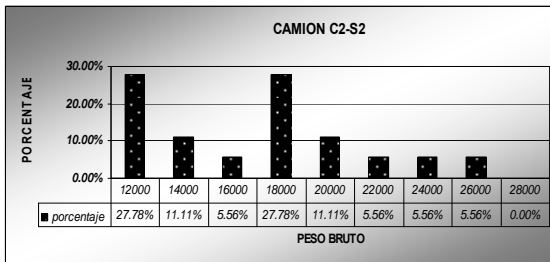
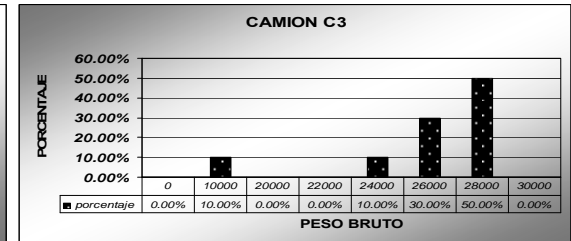
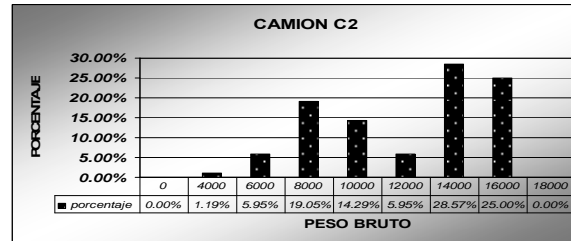
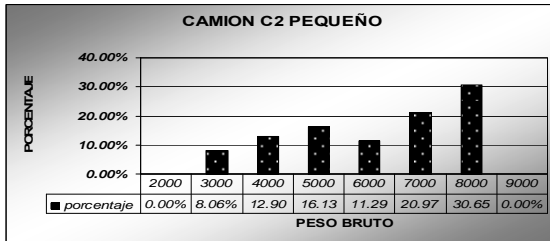
Febrero 9



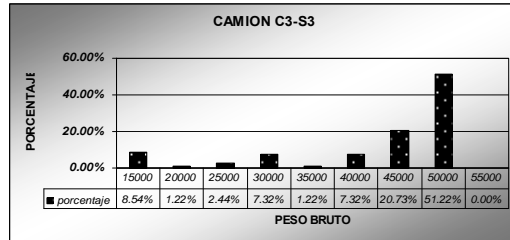
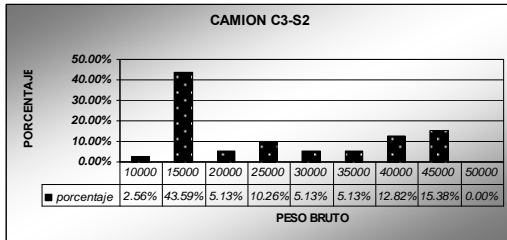
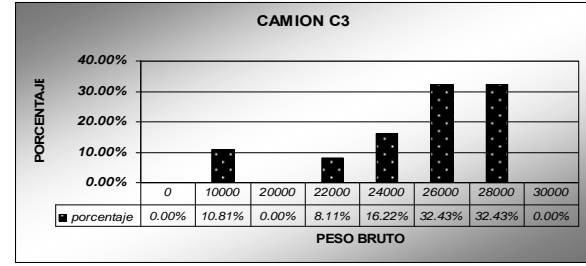
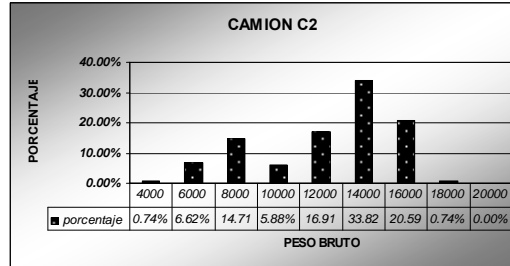
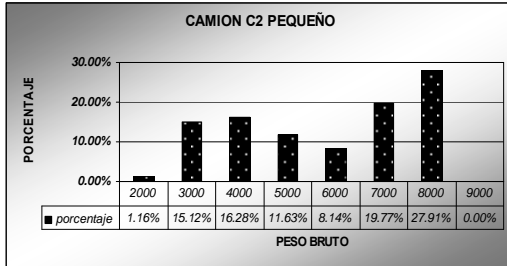
Febrero 10



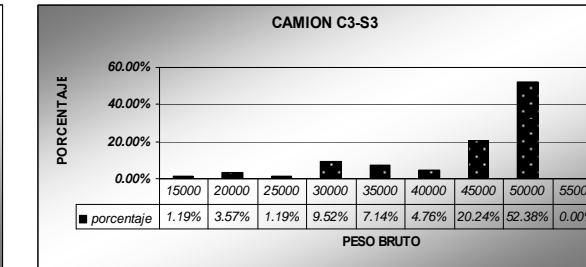
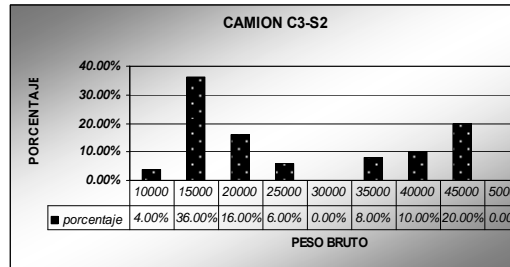
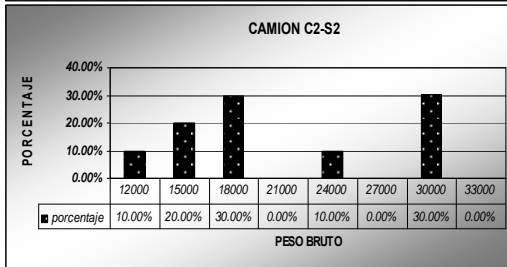
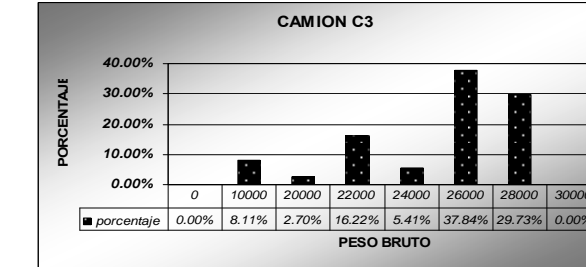
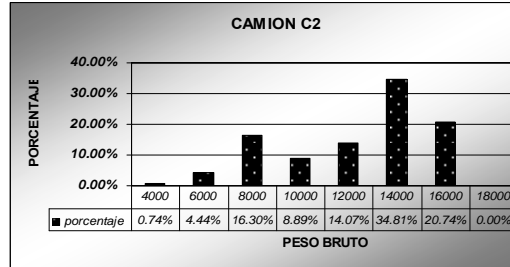
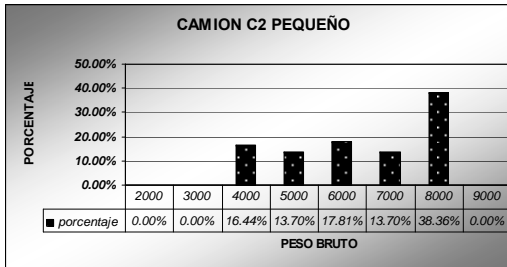
Febrero 12



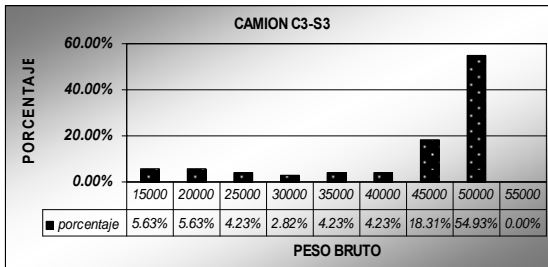
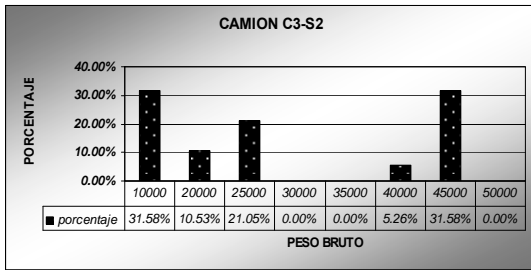
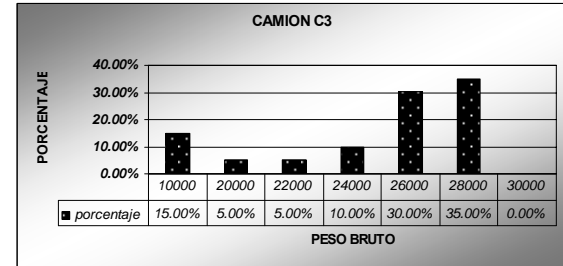
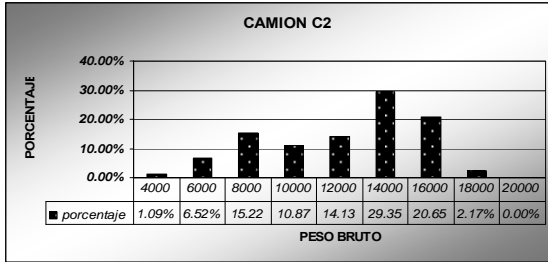
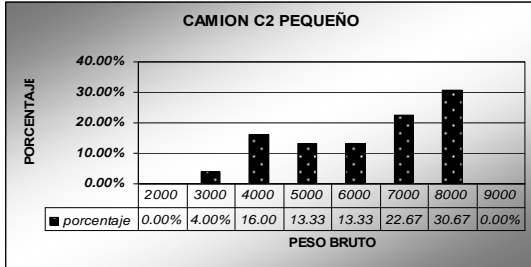
Febrero 13



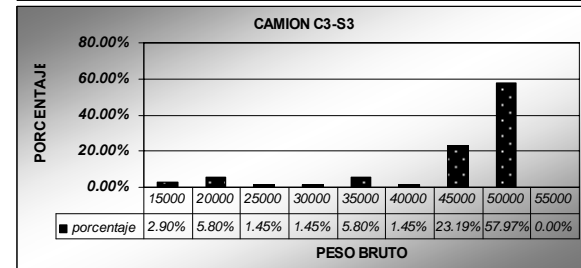
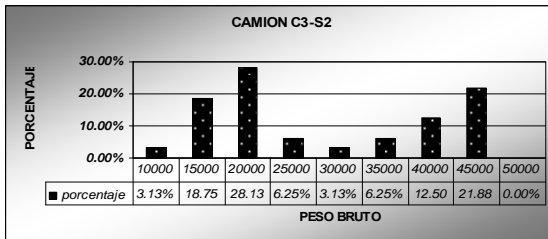
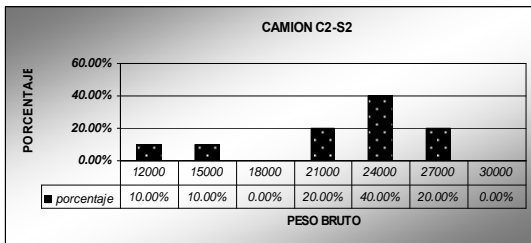
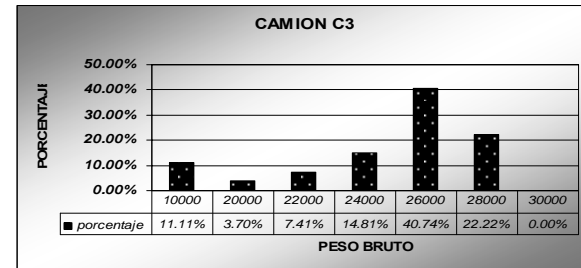
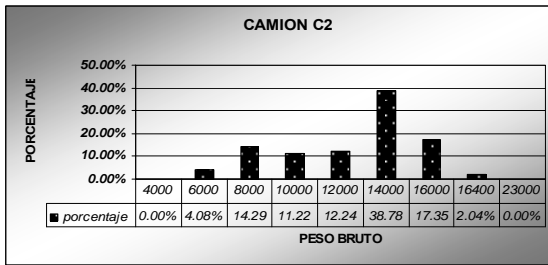
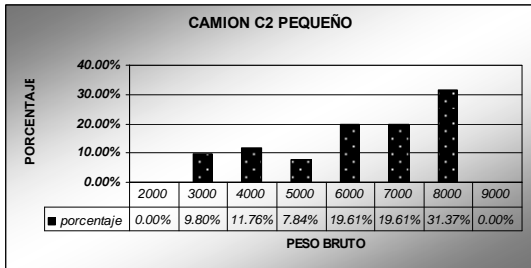
Febrero 14



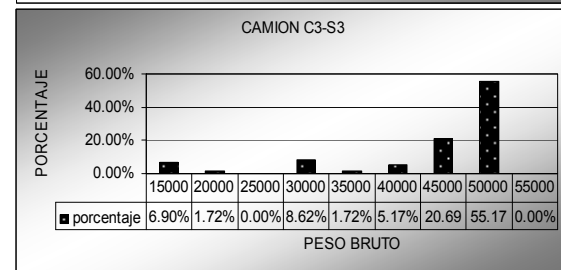
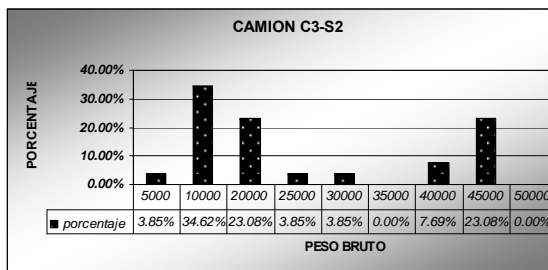
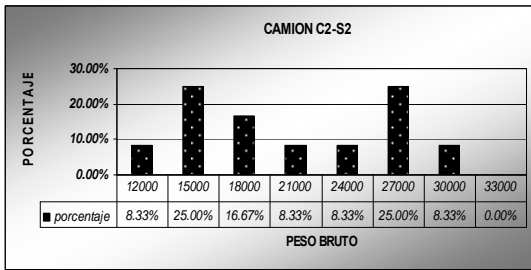
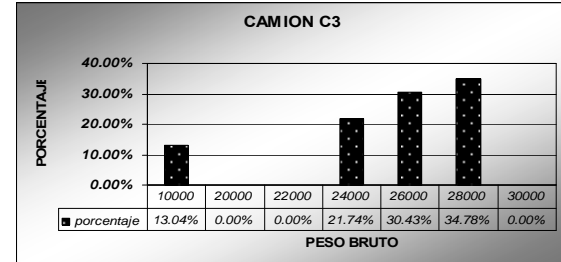
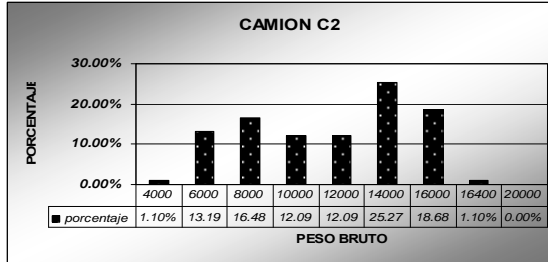
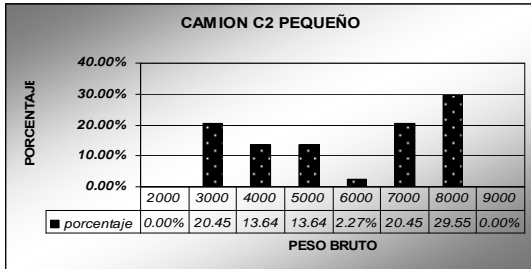
Febrero 15



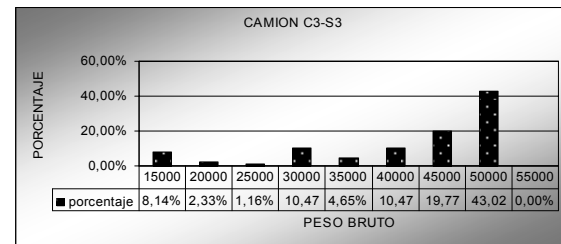
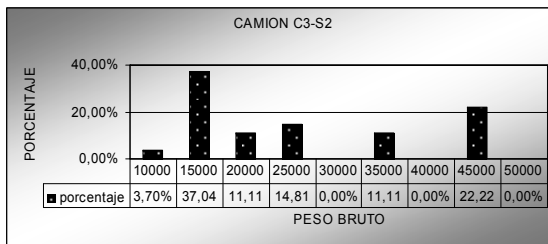
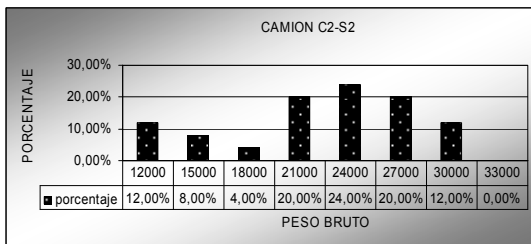
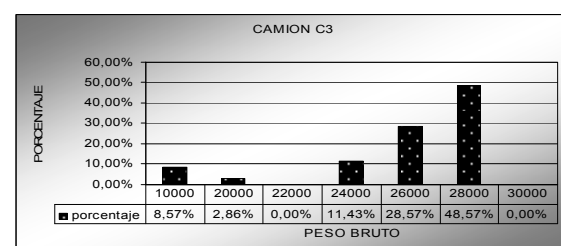
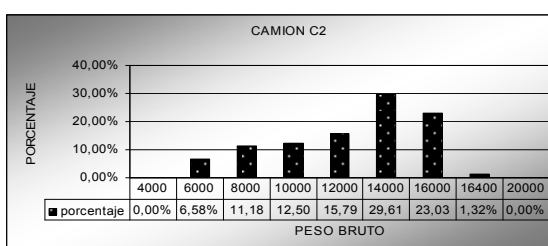
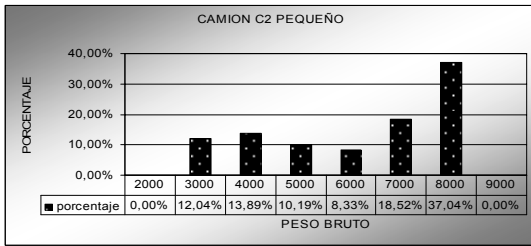
Febrero 16



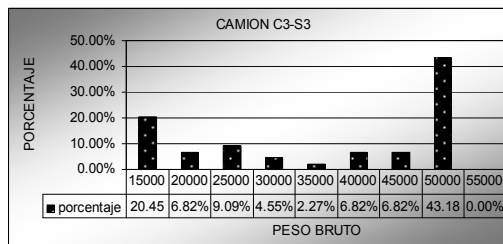
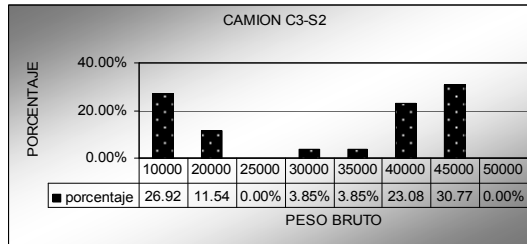
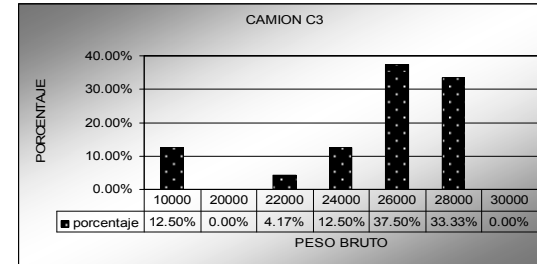
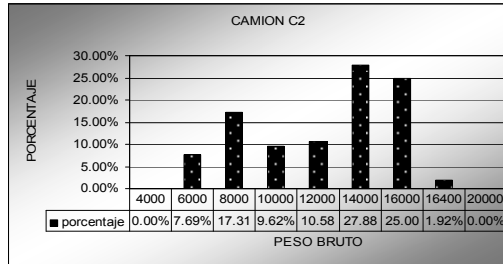
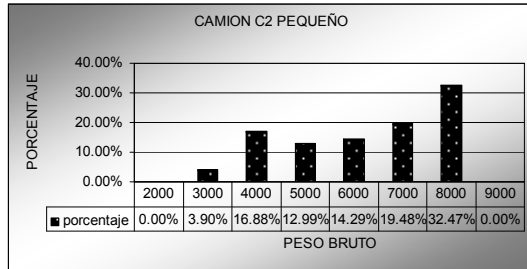
Febrero 17



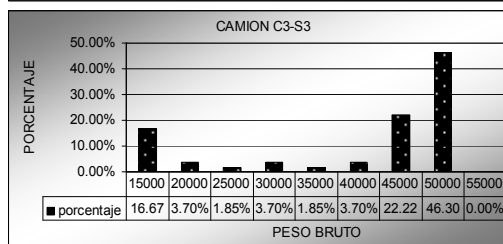
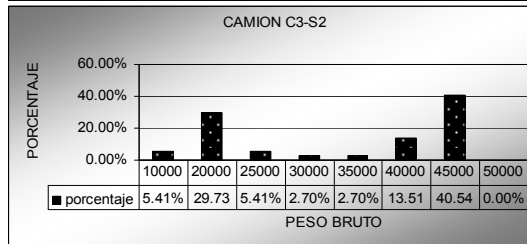
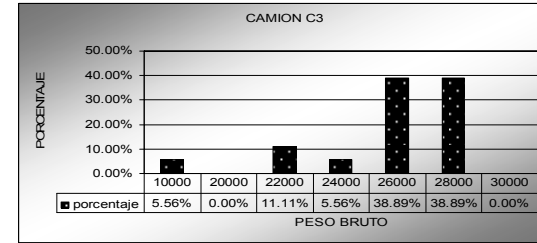
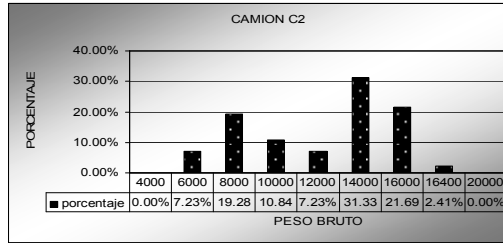
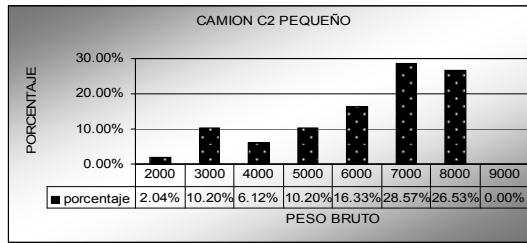
Febrero 19



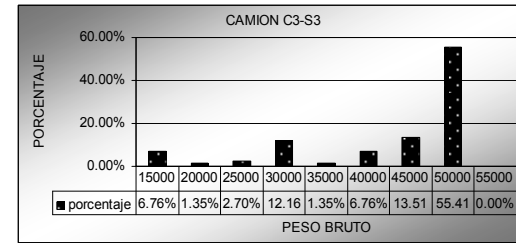
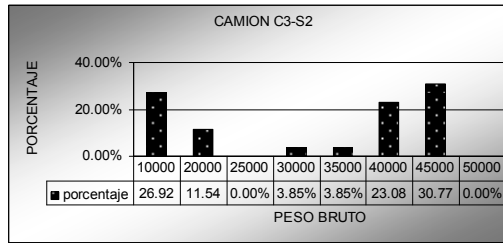
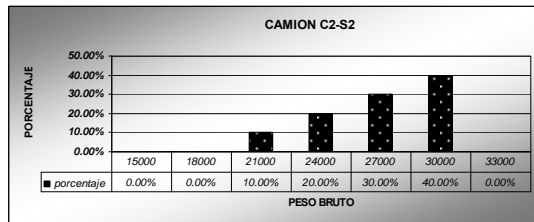
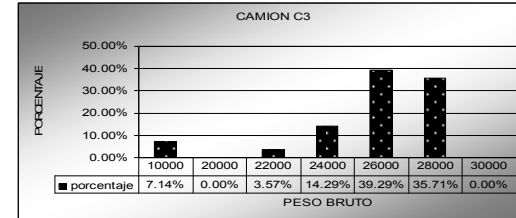
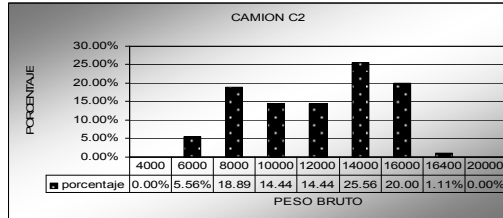
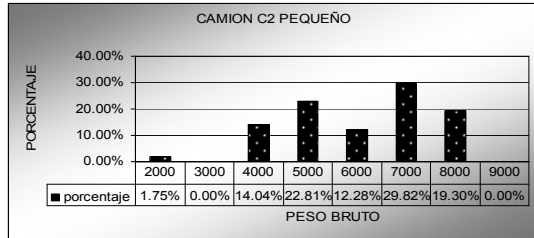
Febrero 20



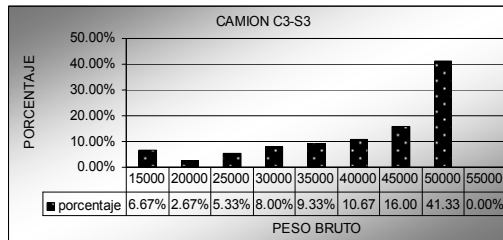
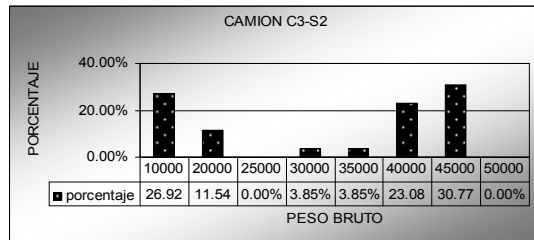
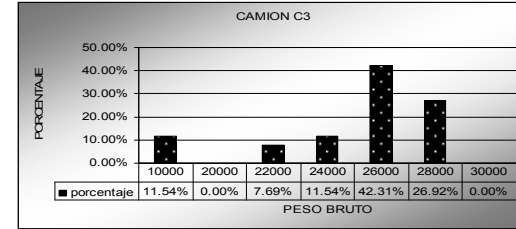
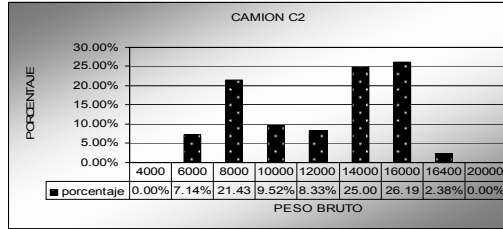
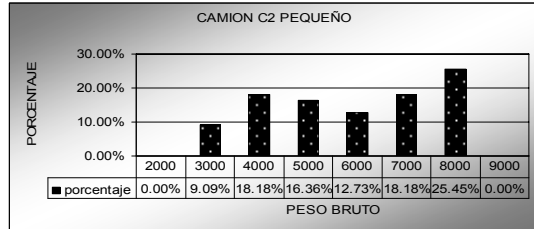
Febrero 21



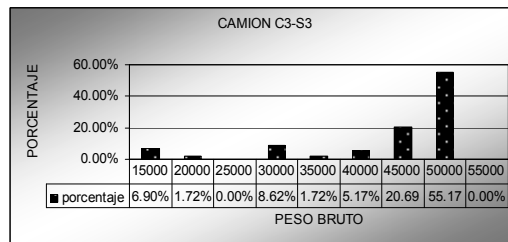
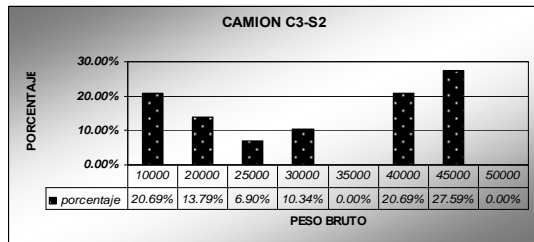
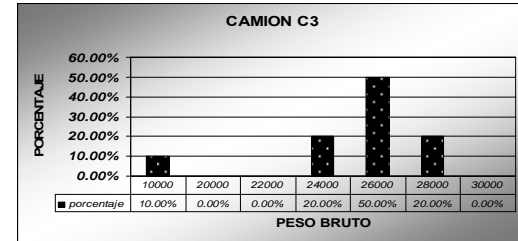
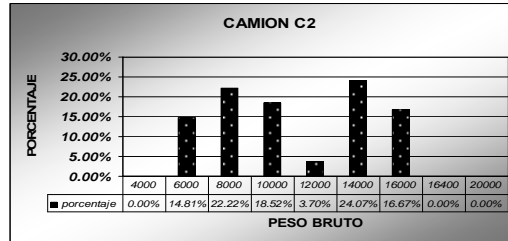
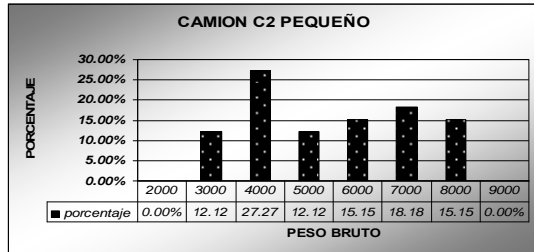
Febrero 22



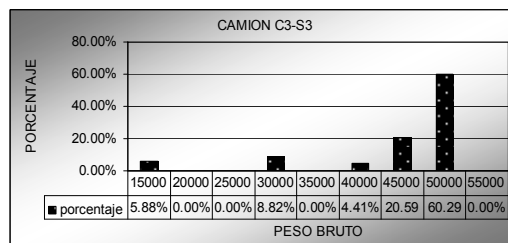
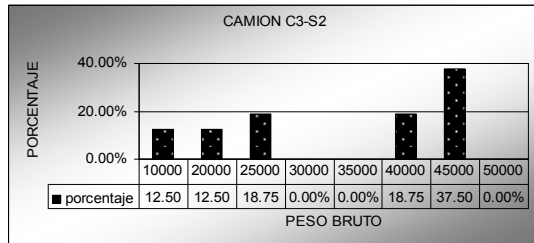
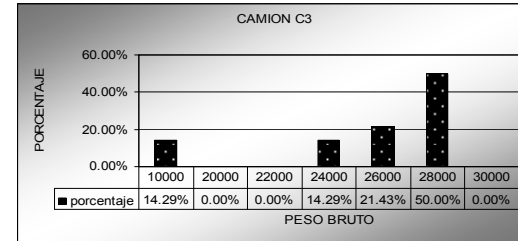
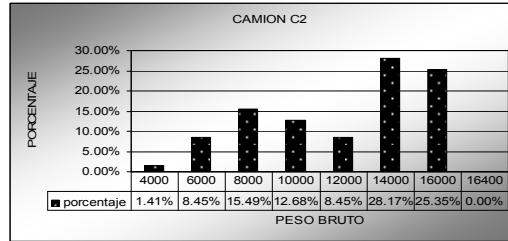
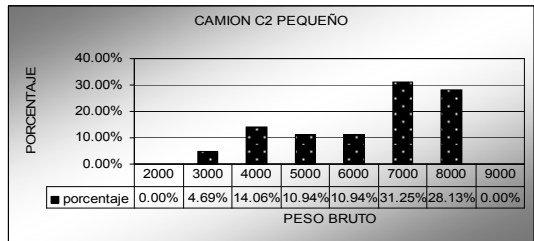
Febrero 23



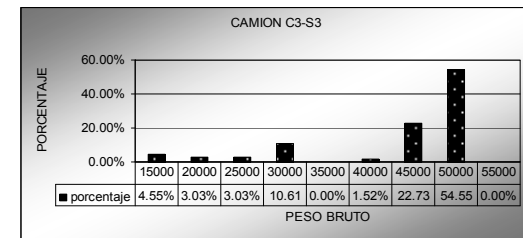
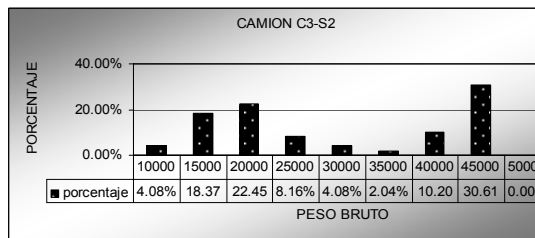
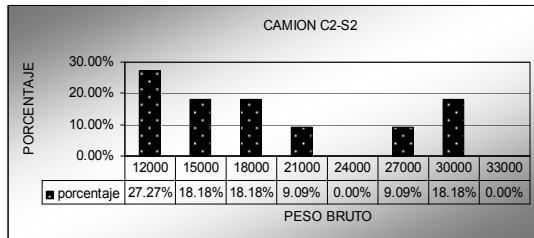
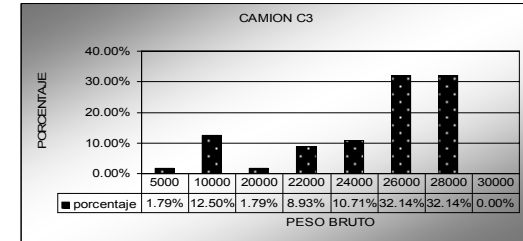
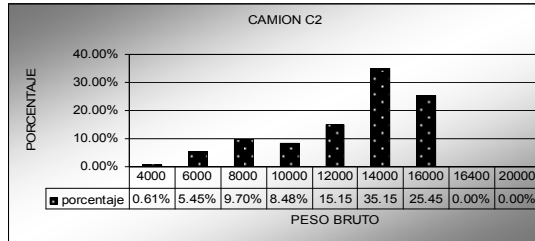
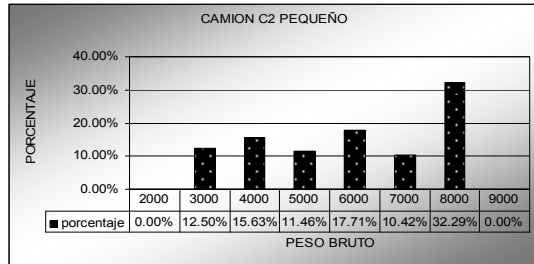
Febrero 24



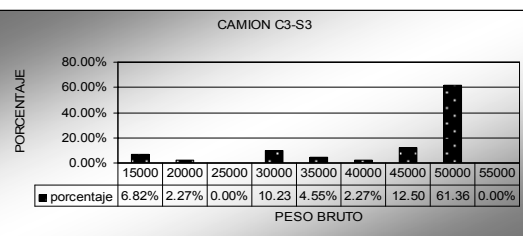
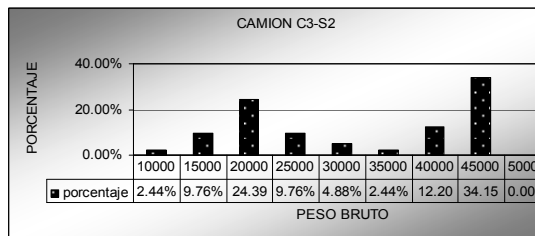
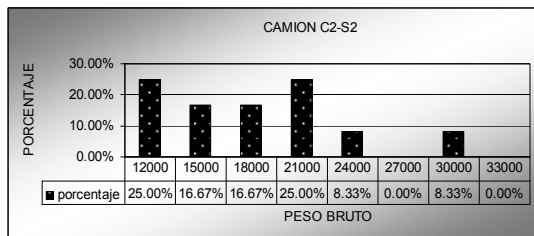
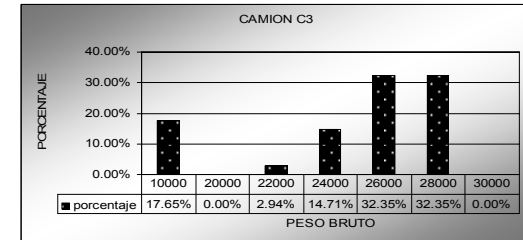
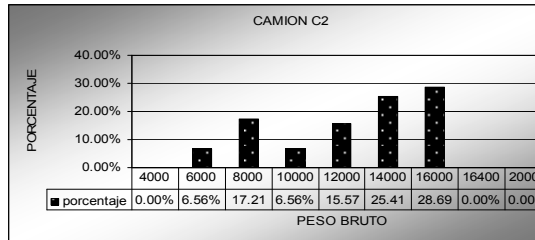
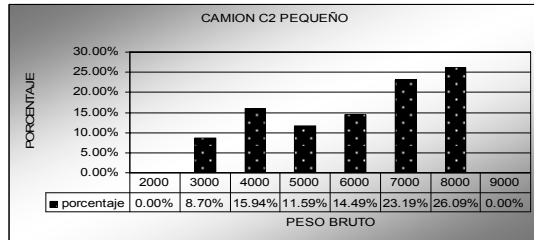
Febrero 26



Febrero 27

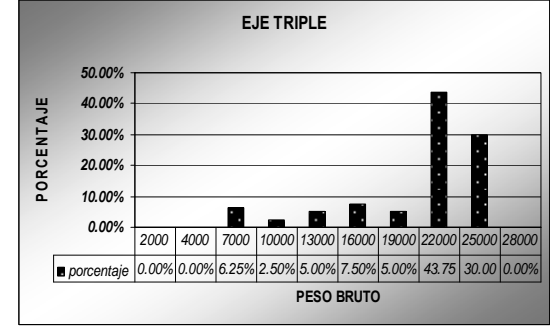
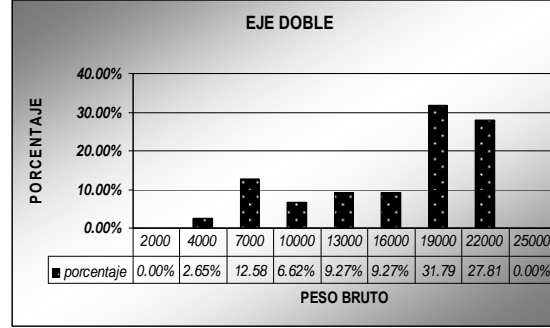
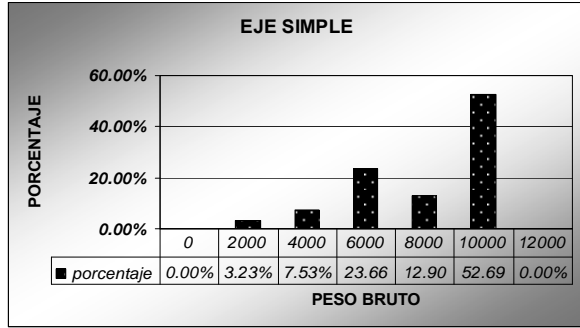


Febrero 28

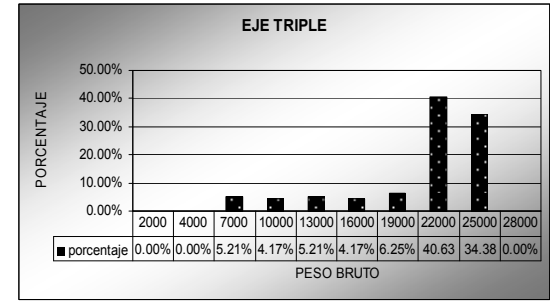
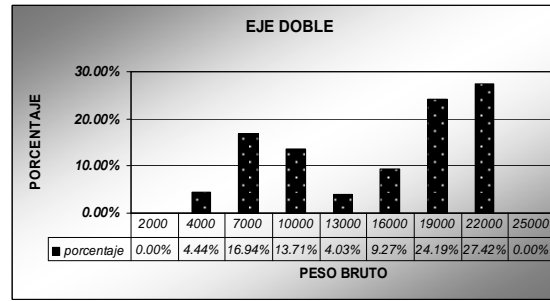
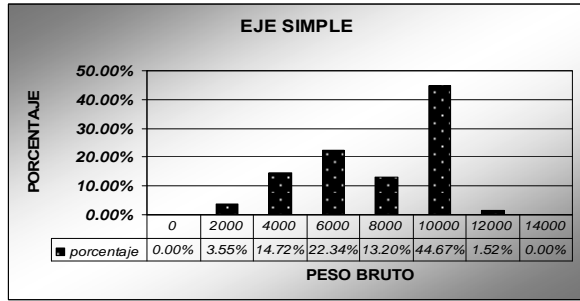


ANEXO B
DISTRIBUCIÓN DE CARGA POR EJES PARA EL MES DE FEBRERO

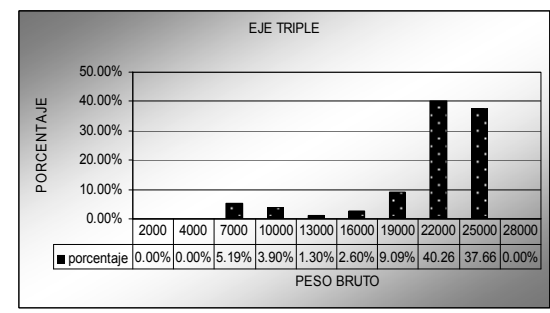
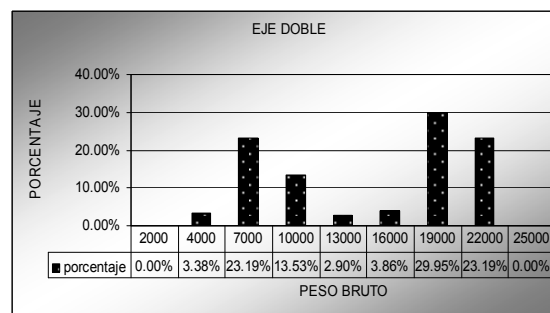
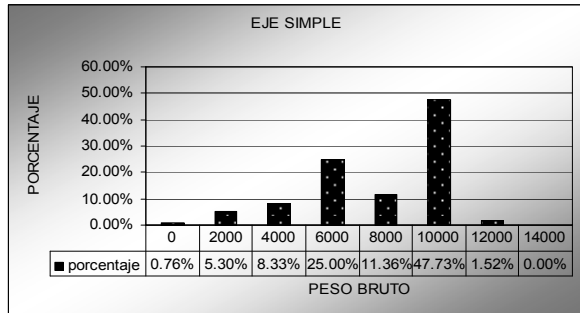
Febrero 1



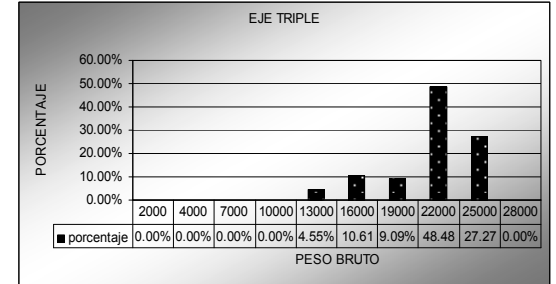
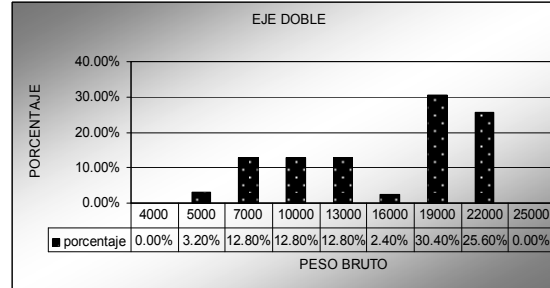
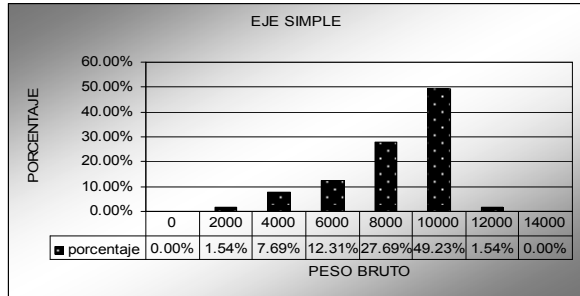
Febrero 2



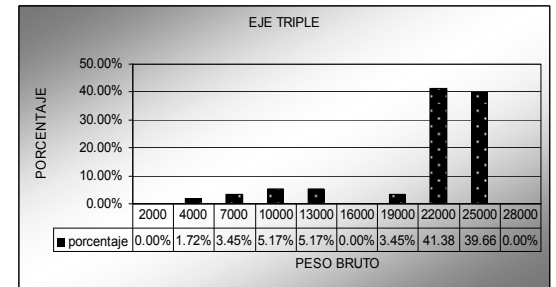
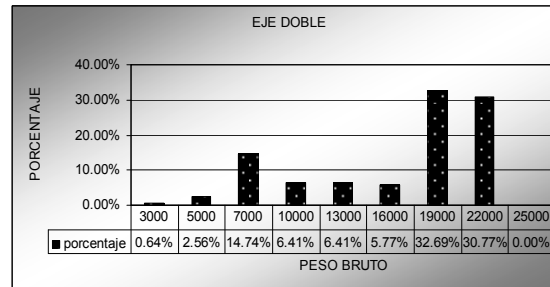
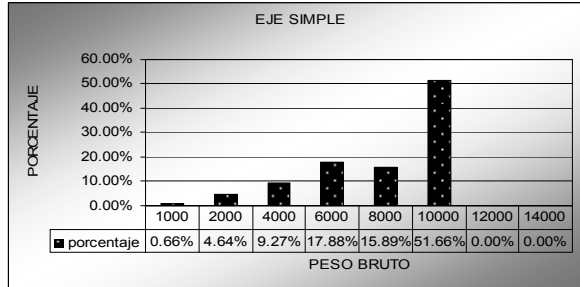
Febrero 3



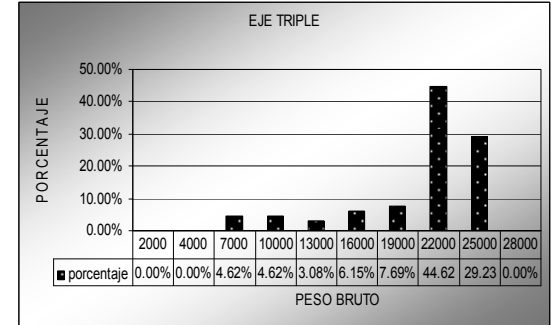
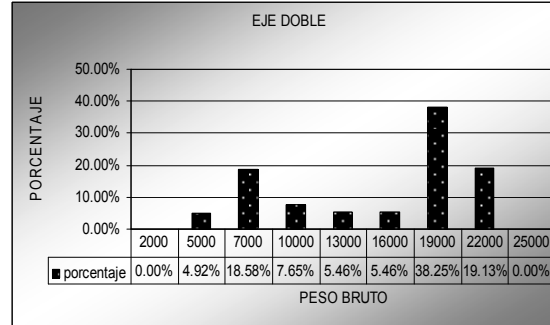
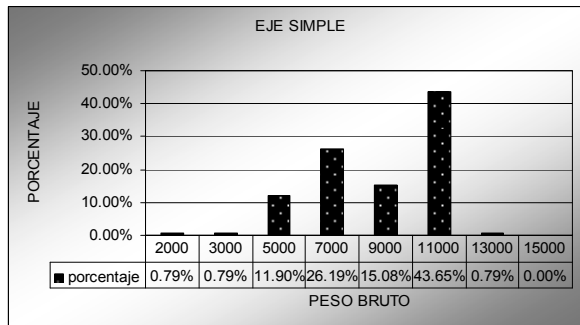
Febrero 5



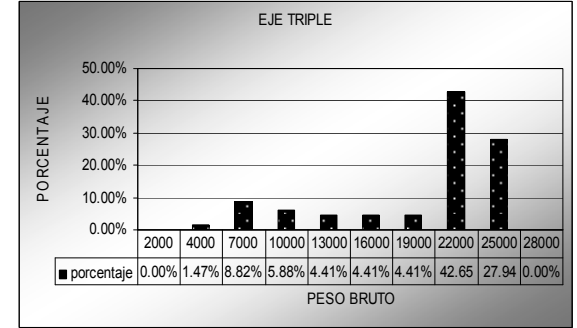
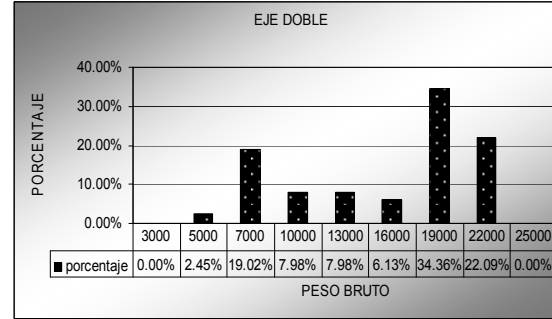
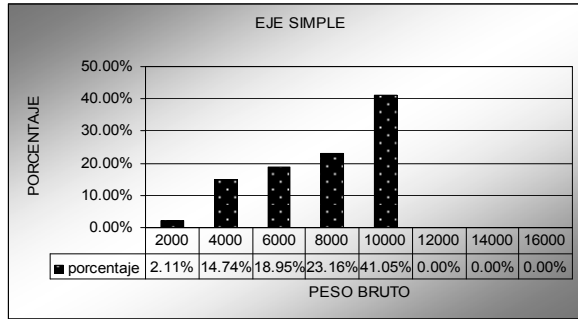
Febrero 6



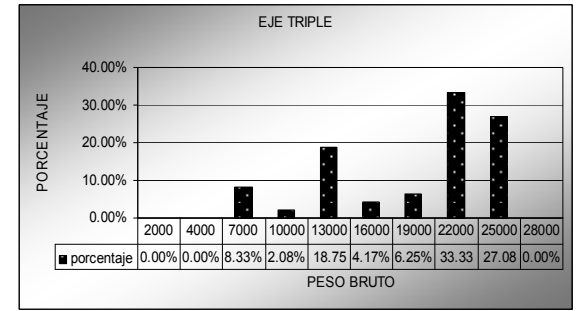
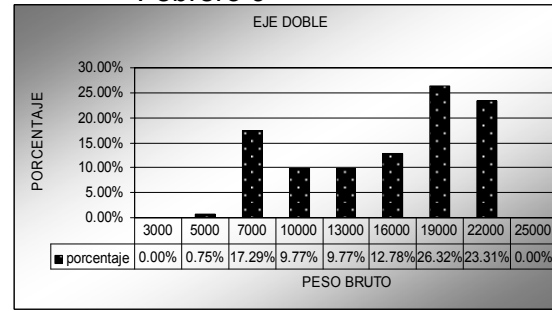
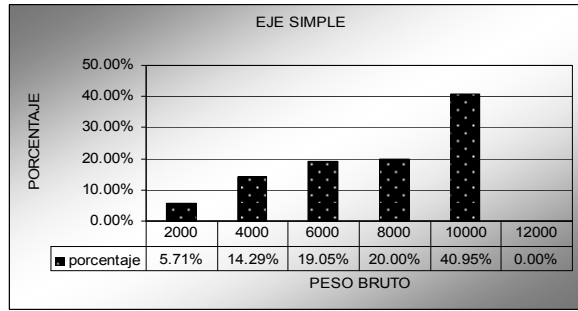
Febrero 7



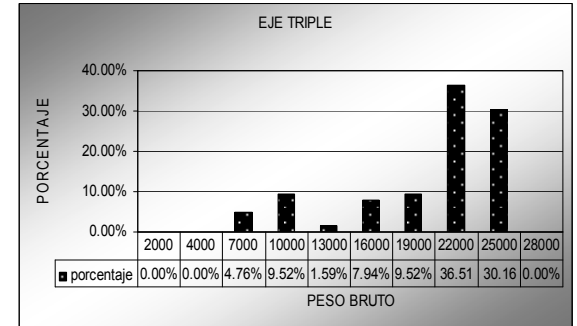
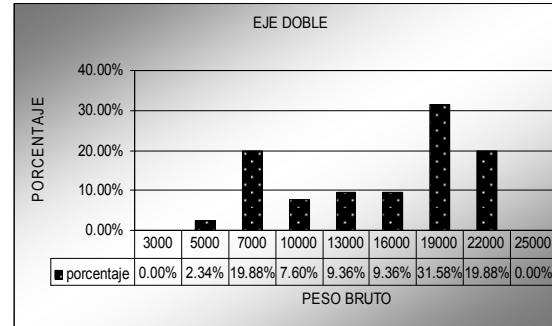
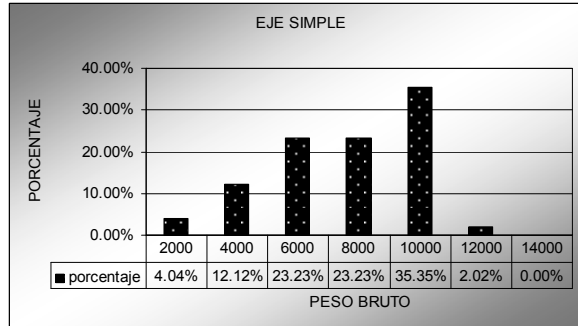
Febrero 8



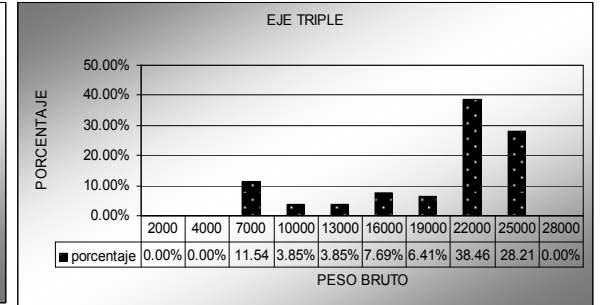
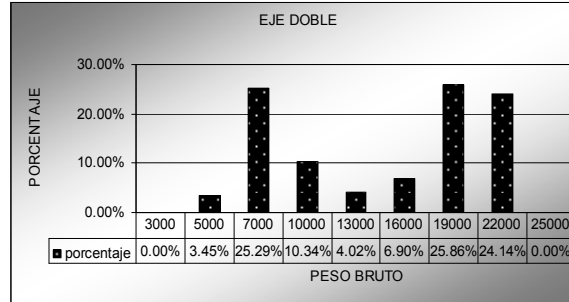
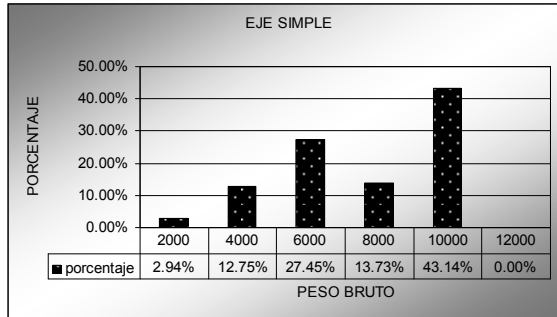
Febrero 9



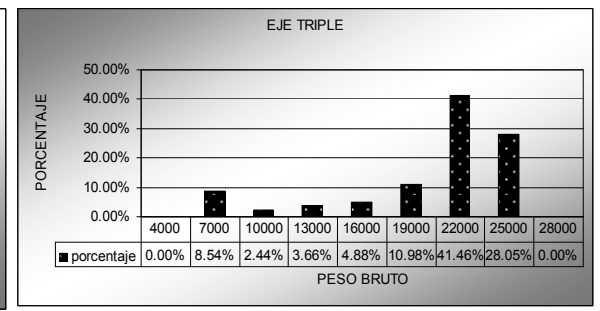
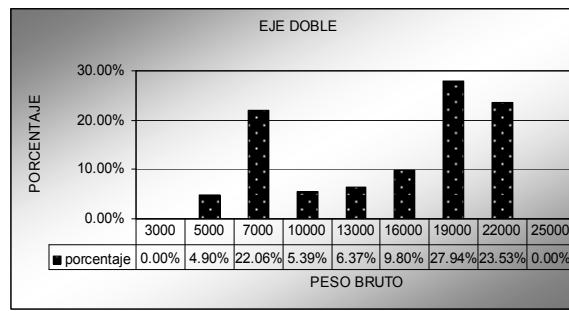
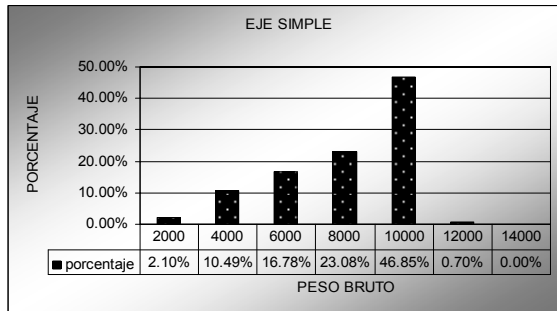
Febrero 10



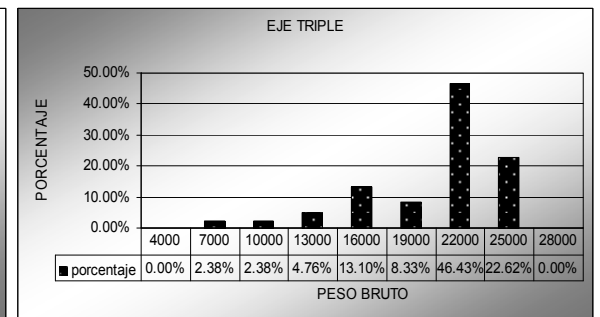
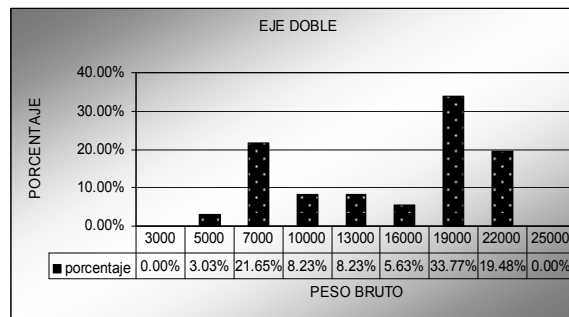
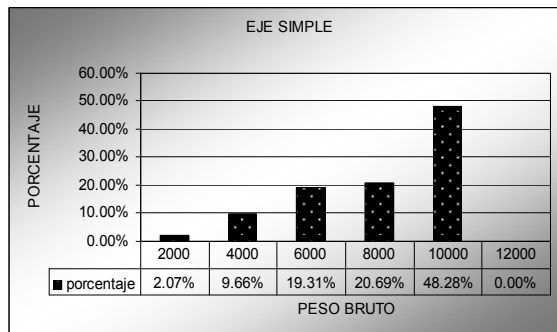
Febrero 12



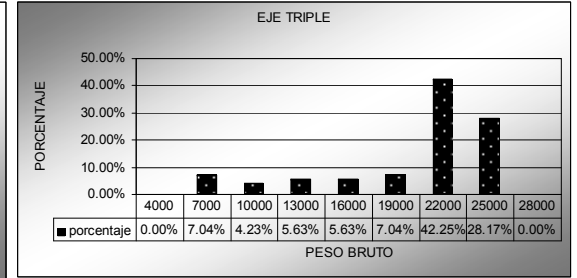
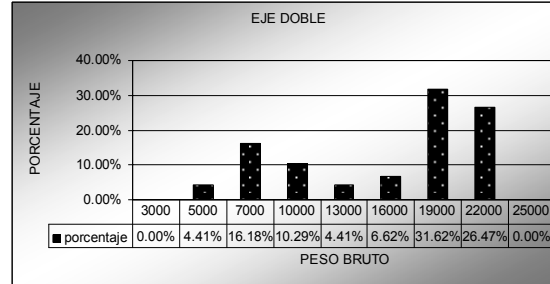
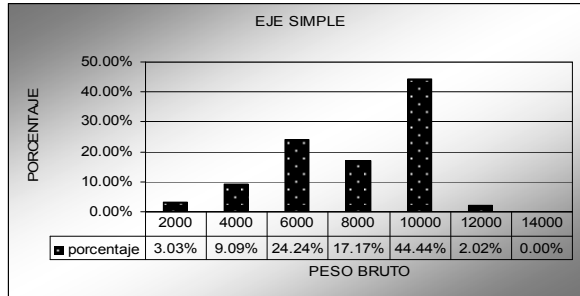
Febrero 13



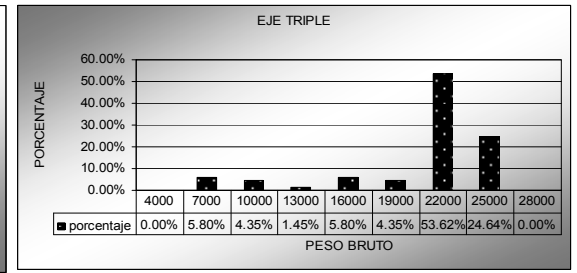
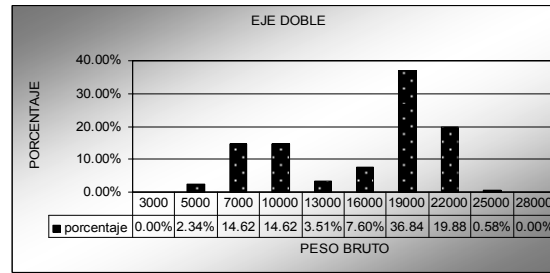
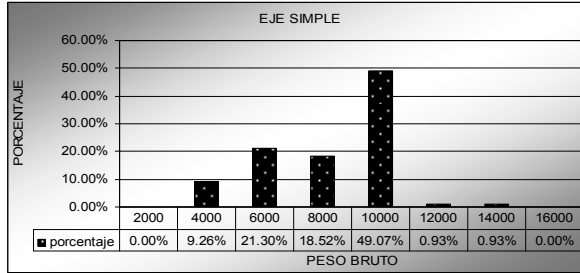
Febrero 14



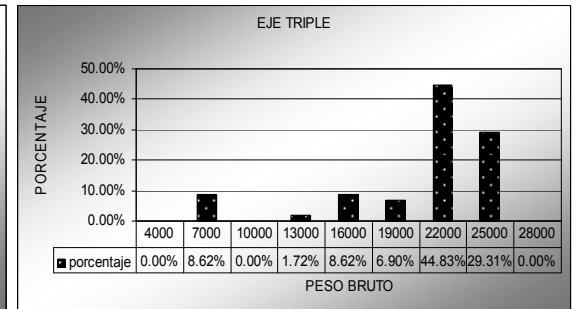
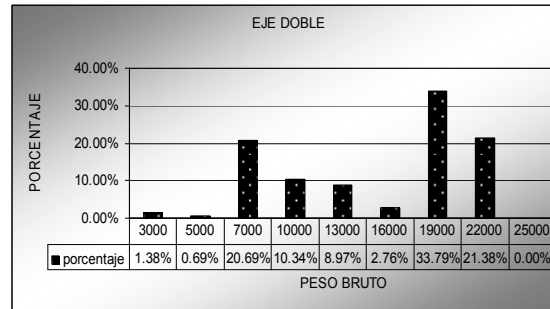
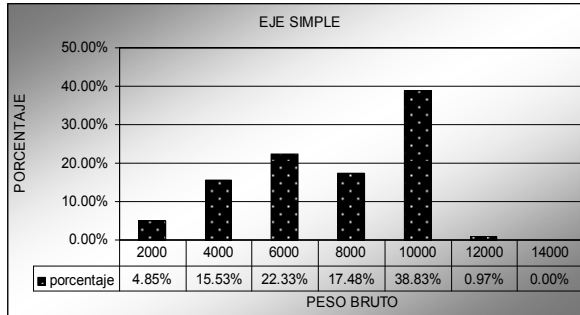
Febrero 15



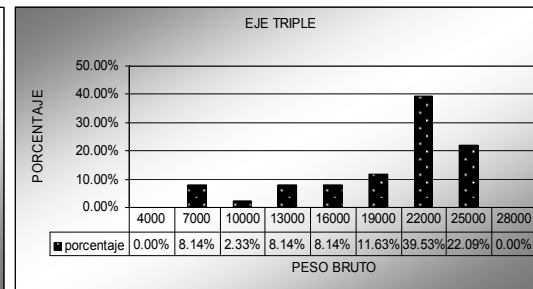
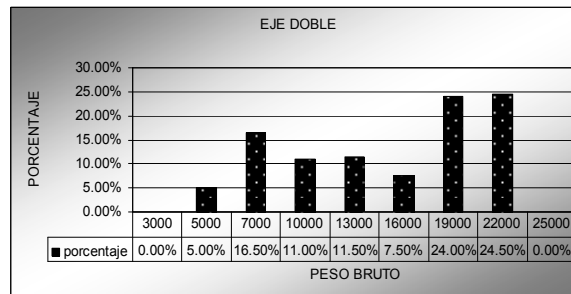
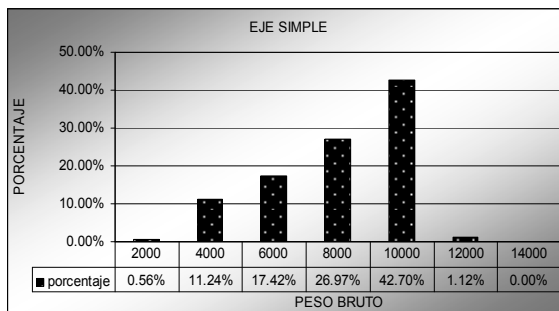
Febrero 16



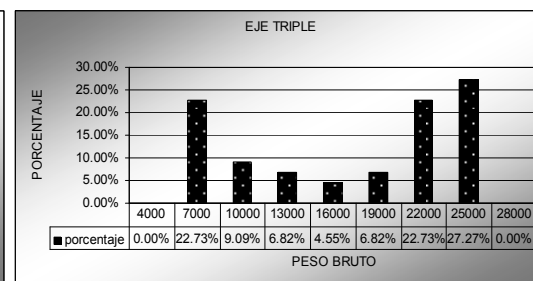
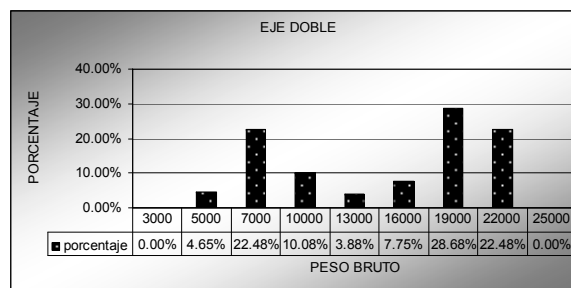
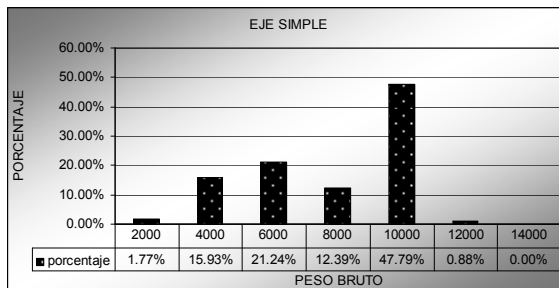
Febrero 17



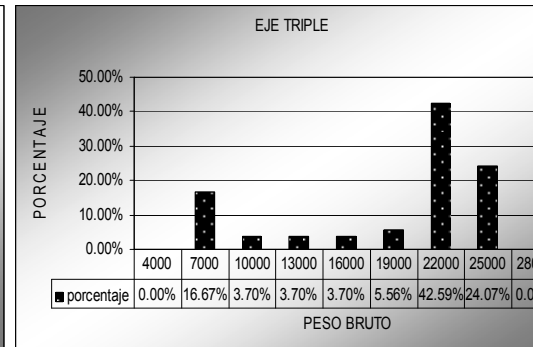
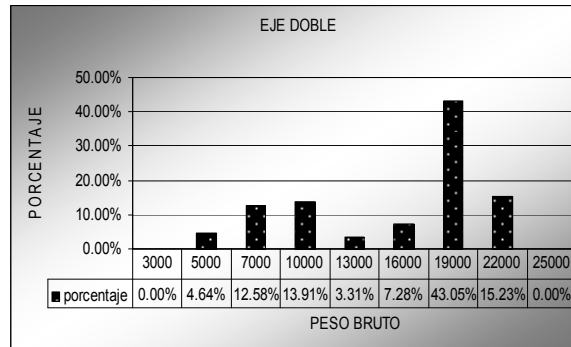
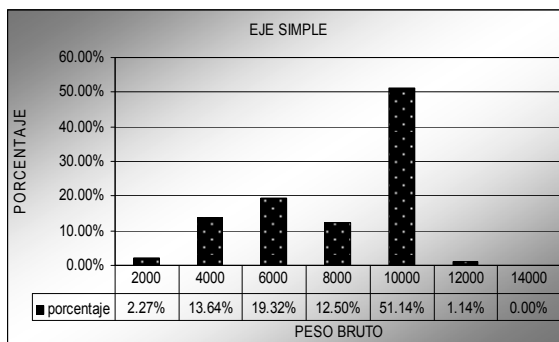
Febrero 19



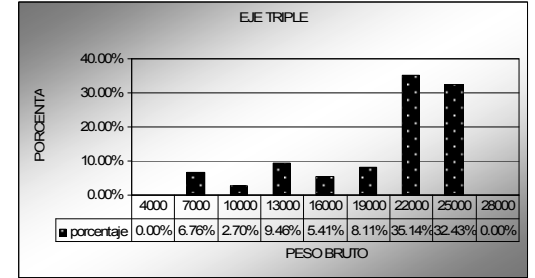
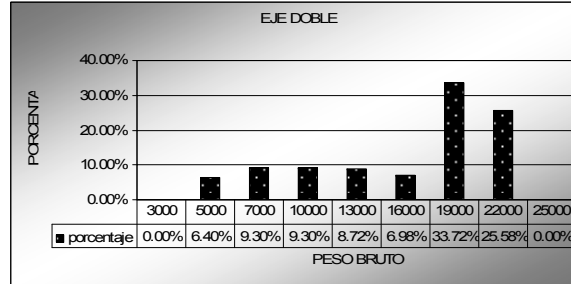
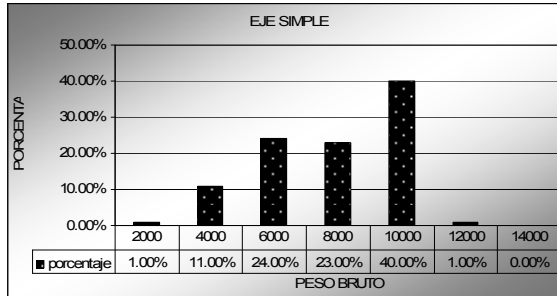
Febrero 20



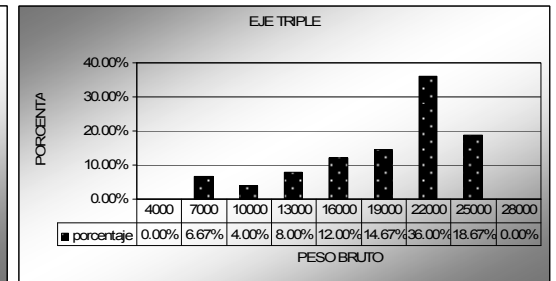
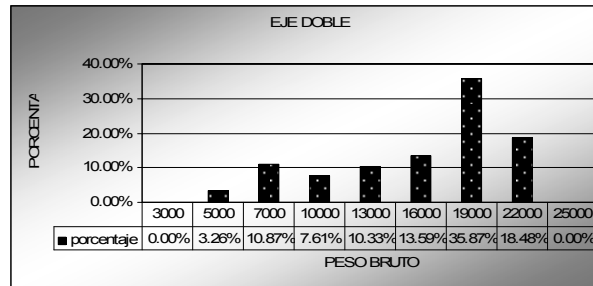
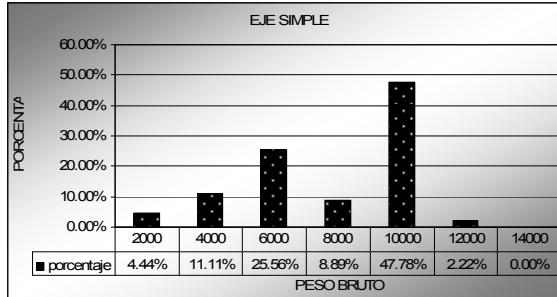
Febrero 21



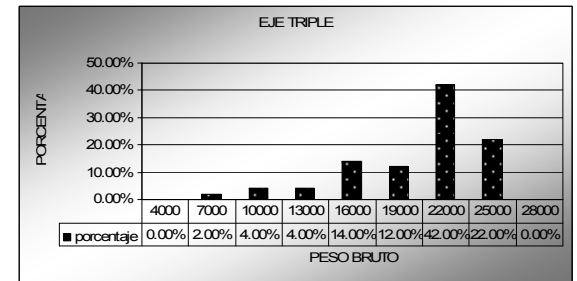
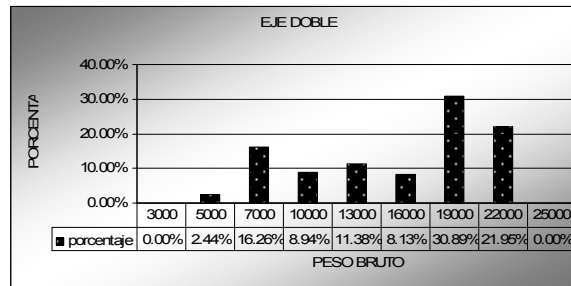
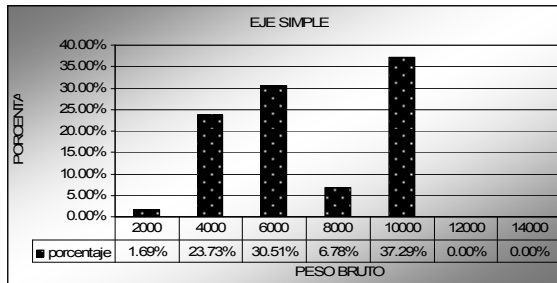
Febrero 22



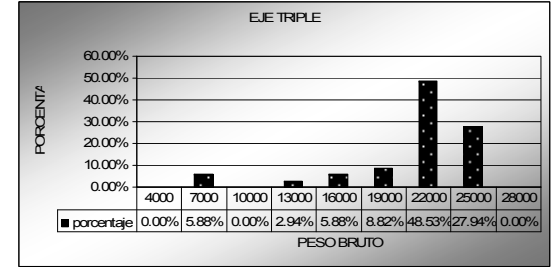
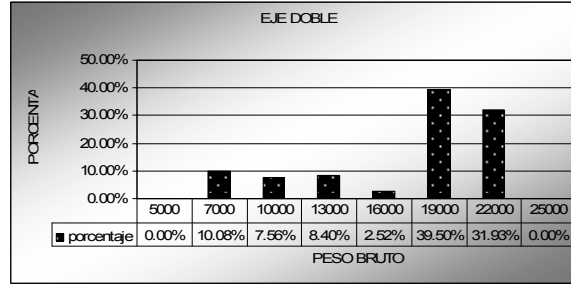
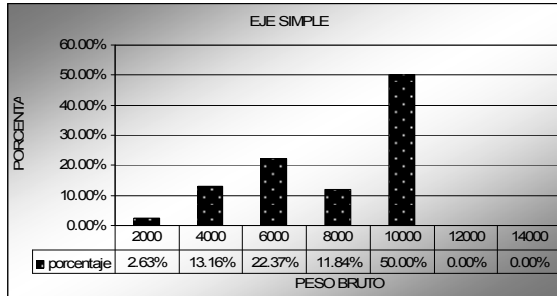
Febrero 23



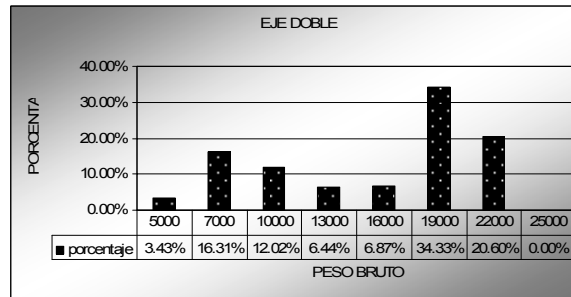
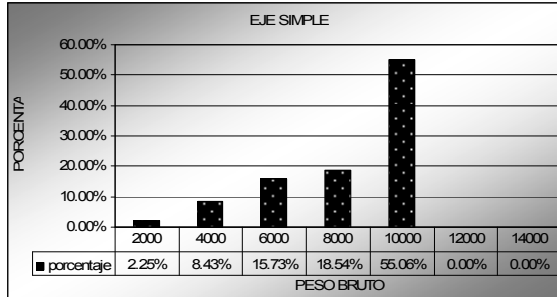
Febrero 24



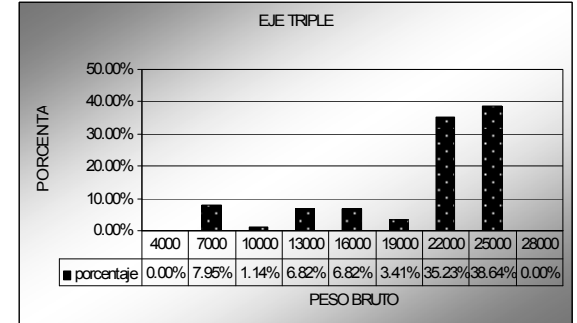
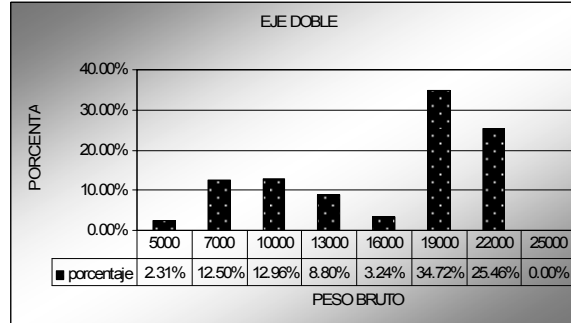
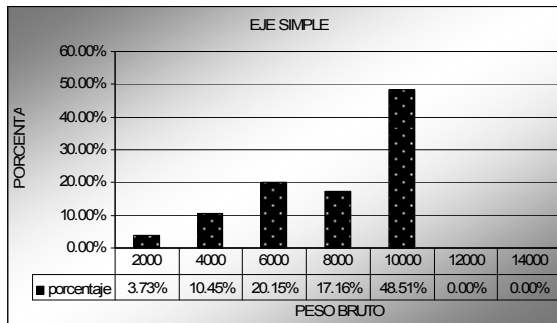
Febrero 26



Febrero 27



Febrero 28



ANEXO C
CONTEOS DE TRÁFICO

HORA	AUTO	BUS	C2P	C2	C3	C2-S2	C3-S2	C3-S3	TOTAL	camion	%
0a1	28	6	5	8	3	3	2	7	62	28	0.4516129
1a2	27	7	5	13	2	1	4	3	62	28	0.4516129
2a3	25	8	9	11	3	1	1	2	60	27	0.45
3a4	22	4	12	13	0	2	1	4	58	32	0.55172414
4a5	21	7	9	14	2	3	2	5	63	35	0.55555556
5a6	42	15	9	12	2	3	3	5	91	34	0.37362637
6a7	102	32	12	34	12	12	17	20	241	107	0.4439834
7a8	111	33	18	40	12	10	13	21	258	114	0.44186047
8a9	98	28	17	36	8	9	10	17	223	97	0.43497758
9a10	65	16	11	21	4	6	8	10	141	60	0.42553191
10a11	55	17	8	18	4	7	8	10	127	55	0.43307087
11a12	53	16	7	17	6	4	9	15	127	58	0.45669291
12a13	55	22	9	21	7	5	7	11	137	60	0.4379562
13a14	108	34	16	33	9	12	17	22	251	109	0.43426295
14a15	98	27	13	27	10	8	12	15	210	85	0.4047619
15a16	64	20	14	21	7	6	9	12	153	69	0.45098039
16a17	65	21	14	24	6	7	7	11	155	69	0.44516129
17a18	56	21	12	20	7	6	8	9	139	62	0.44604317
18a19	97	17	11	28	12	9	12	19	205	91	0.44390244
19a20	97	22	13	27	14	12	15	19	219	100	0.456621
20a21	100	21	15	28	13	11	13	17	218	97	0.44495413
21a22	89	22	15	26	10	9	12	18	201	90	0.44776119
22a23	41	17	7	12	7	5	7	8	104	46	0.44230769
23a24	37	8	5	11	6	3	5	7	82	37	0.45121951
TPD									3587		

ANEXO D

CANTIDAD DE EJES POR INTERVALO DE CARGA Y DE TIEMPO
PERIODO DE 511 DIAS

00:00	05:00	27ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg)	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
		SIMPLE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
POR LLANTA	% EJES	1.95	4.3	6.3	16.4	9.5	9.5	3.8	4.7	7.45	16	8.3	9	2.8	
1000 a 2000	1027	20	44	65	168	98	98	39	48	77	164	85	92	29	
2000 a 3000	4146	81	178	261	680	394	394	158	195	309	663	344	373	116	
3000 a 4000	7506	146	323	473	1231	713	713	285	353	559	1201	623	676	210	
4000 a 5000	6136	120	264	387	1006	583	583	233	288	457	982	509	552	172	
5000 a 6000	16178	316	696	1019	2653	1537	1537	615	760	1205	2589	1343	1456	453	
>6000	266	5	11	17	44	25	25	10	13	20	43	22	24	7	
TOTAL	35259	688	1516	2221	5782	3350	3350	1340	1657	2627	5641	2927	3173	987	

05:00	08:00	31ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg)	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
		SIMPLE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
POR LLANTA	% EJES	1.95	4.3	6.3	16.4	9.5	9.5	3.8	4.7	7.45	16	8.3	9	2.8	
1000 a 2000	1652	32	71	104	271	157	157	63	78	123	264	137	149	46	
2000 a 3000	6669	130	287	420	1094	634	634	253	313	497	1067	554	600	187	
3000 a 4000	12074	235	519	761	1980	1147	1147	459	567	899	1932	1002	1087	338	
4000 a 5000	9872	193	424	622	1619	938	938	375	464	735	1579	819	889	276	
5000 a 6000	26025	508	1119	1640	4268	2472	2472	989	1223	1939	4164	2160	2342	729	
>6000	428	8	18	27	70	41	41	16	20	32	69	36	39	12	
TOTAL	56720	1106	2439	3573	9302	5388	5388	2155	2666	4226	9075	4708	5105	1588	

08:00	11:00	40° C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg)	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
		SIMPLE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
POR LLANTA	% EJES	1.95	4.3	6.3	16.4	9.5	9.5	3.8	4.7	7.45	16	8.3	9	2.8	
1000 a 2000	1444	28	62	91	237	137	137	55	68	108	231	120	130	40	
2000 a 3000	5828	114	251	367	956	554	554	221	274	434	932	484	525	163	
3000 a 4000	10551	206	454	665	1730	1002	1002	401	496	786	1688	876	950	295	
4000 a 5000	8627	168	371	543	1415	820	820	328	406	643	1380	716	776	242	
5000 a 6000	22743	444	978	1433	3730	2161	2161	864	1069	1694	3639	1888	2047	637	
>6000	374	7	16	24	61	36	36	14	18	28	60	31	34	10	
TOTAL	49567	967	2131	3123	8129	4709	4709	1884	2330	3693	7931	4114	4461	1388	

11:00	14:00	51° C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg)	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
		SIMPLE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
POR LLANTA	% EJES	1.95	4.3	6.3	16.4	9.5	9.5	3.8	4.7	7.45	16	8.3	9	2.8	
1000 a 2000	1890	37	81	119	310	179	179	72	89	141	302	157	170	53	
2000 a 3000	7631	149	328	481	1251	725	725	290	359	568	1221	633	687	214	
3000 a 4000	13815	269	594	870	2266	1312	1312	525	649	1029	2210	1147	1243	387	
4000 a 5000	11295	220	486	712	1852	1073	1073	429	531	841	1807	938	1017	316	
5000 a 6000	29777	581	1280	1876	4883	2829	2829	1131	1400	2218	4764	2471	2680	834	
>6000	490	10	21	31	80	47	47	19	23	36	78	41	44	14	
TOTAL	64898	1266	2791	4089	10643	6165	6165	2466	3050	4835	10384	5387	5841	1817	

14:00	17:00	45° C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	SIMPLE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
% EJES	1.95	4.3	6.3	16.4	9.5	9.5	3.8	4.7	7.45	16	8.3	9	2.8		
1000 a 2000	1384	27	60	87	227	131	131	53	65	103	221	115	125	39	
2000 a 3000	5588	109	240	352	916	531	531	212	263	416	894	464	503	156	
3000 a 4000	10116	197	435	637	1659	961	961	384	475	754	1619	840	910	283	
4000 a 5000	8271	161	356	521	1356	786	786	314	389	616	1323	687	744	232	
5000 a 6000	21805	425	938	1374	3576	2072	2072	829	1025	1624	3489	1810	1962	611	
>6000	359	7	15	23	59	34	34	14	17	27	57	30	32	10	
TOTAL	47523	927	2043	2994	7794	4515	4515	1806	2234	3540	7604	3944	4277	1331	

17:00	20:00	36° C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	SIMPLE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
% EJES	1.95	4.3	6.3	16.4	9.5	9.5	3.8	4.7	7.45	16	8.3	9	2.8		
1000 a 2000	1518	30	65	96	249	144	144	58	71	113	243	126	137	42	
2000 a 3000	6129	120	264	386	1005	582	582	233	288	457	981	509	552	172	
3000 a 4000	11095	216	477	699	1820	1054	1054	422	521	827	1775	921	999	311	
4000 a 5000	9071	177	390	571	1488	862	862	345	426	676	1451	753	816	254	
5000 a 6000	23915	466	1028	1507	3922	2272	2272	909	1124	1782	3826	1985	2152	670	
>6000	394	8	17	25	65	37	37	15	19	29	63	33	36	11	
TOTAL	52122	1016	2241	3284	8548	4952	4952	1981	2450	3883	8339	4326	4691	1459	

20:00	00:00	30° C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	SIMPLE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	1.95	4.3	6.3	16.4	9.5	9.5	3.8	4.7	7.45	16	8.3	9	2.8	
1000 a 2000	1563	30	67	98	256	148	148	59	73	117	250	130	141	44	
2000 a 3000	6309	123	271	397	1035	599	599	240	297	470	1009	524	568	177	
3000 a 4000	11422	223	491	720	1873	1085	1085	434	537	851	1828	948	1028	320	
4000 a 5000	9338	182	402	588	1531	887	887	355	439	696	1494	775	840	261	
5000 a 6000	24618	480	1059	1551	4037	2339	2339	935	1157	1834	3939	2043	2216	689	
>6000	405	8	17	25	66	38	38	15	19	30	65	34	37	11	
TOTAL	53655	1046	2307	3380	8799	5097	5097	2039	2522	3997	8585	4453	4829	1502	

00:00	05:00	27° C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TANDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	0	2.8	2	20	14	7	4	4	3.5	18.5	14	6.5	3.7	
<3500	1058	0	30	21	212	148	74	42	42	37	196	148	69	39	
3500 A 5000	5291	0	148	106	1058	741	370	212	212	185	979	741	344	196	
5000 A 6500	3152	0	88	63	630	441	221	126	126	110	583	441	205	117	
6500 A 8000	2245	0	63	45	449	314	157	90	90	79	415	314	146	83	
8000 A 9500	2184	0	61	44	437	306	153	87	87	76	404	306	142	81	
9500 A 11000	10022	0	281	200	2004	1403	702	401	401	351	1854	1403	651	371	
>11000	7218	0	202	144	1444	1011	505	289	289	253	1335	1011	469	267	
TOTAL	31170	0	873	623	6234	4364	2182	1247	1247	1091	5766	4364	2026	1153	

05:00	08:00	31ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg)	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TANDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
POR LLANTA	% EJES	0	2.8	2	20	14	7	4	4	3.5	18.5	14	6.5	3.7	
<3500	2828	0	79	57	566	396	198	113	113	99	523	396	184	105	
3500 A 5000	14138	0	396	283	2828	1979	990	565	565	495	2615	1979	919	523	
5000 A 6500	8422	0	236	168	1684	1179	590	337	337	295	1558	1179	547	312	
6500 A 8000	5999	0	168	120	1200	840	420	240	240	210	1110	840	390	222	
8000 A 9500	5837	0	163	117	1167	817	409	234	234	204	1080	817	379	216	
9500 A 11000	26781	0	750	536	5356	3749	1875	1071	1071	937	4954	3749	1741	991	
>11000	19288	0	540	386	3858	2700	1350	771	771	675	3568	2700	1254	714	
TOTAL	83293	0	2332	1666	16659	11661	5830	3332	3332	2915	15409	11661	5414	3082	

08:00	11:00	40ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg)	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TANDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
POR LLANTA	% EJES	0	2.8	2	20	14	7	4	4	3.5	18.5	14	6.5	3.7	
<3500	2203	0	62	44	441	308	154	88	88	77	407	308	143	81	
3500 A 5000	11015	0	308	220	2203	1542	771	441	441	386	2038	1542	716	408	
5000 A 6500	6562	0	184	131	1312	919	459	262	262	230	1214	919	427	243	
6500 A 8000	4674	0	131	93	935	654	327	187	187	164	865	654	304	173	
8000 A 9500	4548	0	127	91	910	637	318	182	182	159	841	637	296	168	
9500 A 11000	20866	0	584	417	4173	2921	1461	835	835	730	3860	2921	1356	772	
>11000	15028	0	421	301	3006	2104	1052	601	601	526	2780	2104	977	556	
TOTAL	64896	0	1817	1298	12979	9085	4543	2596	2596	2271	12006	9085	4218	2401	

11:00	14:00	51ª C												
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA												
	TANDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	% EJES	0	2.8	2	20	14	7	4	4	3.5	18.5	14	6.5	3.7
<3500	3712	0	104	74	742	520	260	148	148	130	687	520	241	137
3500 A 5000	18562	0	520	371	3712	2599	1299	742	742	650	3434	2599	1206	687
5000 A 6500	11057	0	310	221	2211	1548	774	442	442	387	2046	1548	719	409
6500 A 8000	7875	0	220	157	1575	1102	551	315	315	276	1457	1102	512	291
8000 A 9500	7663	0	215	153	1533	1073	536	307	307	268	1418	1073	498	284
9500 A 11000	35161	0	984	703	7032	4923	2461	1406	1406	1231	6505	4923	2285	1301
>11000	25323	0	709	507	5065	3545	1773	1013	1013	886	4685	3545	1646	937
TOTAL	109353	0	3062	2187	21871	15309	7655	4374	4374	3827	20230	15309	7108	4046

14:00	17:00	45ª C												
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA												
	TANDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	% EJES	0	2.8	2	20	14	7	4	4	3.5	18.5	14	6.5	3.7
<3500	2394	0	67	48	479	335	168	96	96	84	443	335	156	89
3500 A 5000	11970	0	335	239	2394	1676	838	479	479	419	2214	1676	778	443
5000 A 6500	7130	0	200	143	1426	998	499	285	285	249	1319	998	463	264
6500 A 8000	5079	0	142	102	1016	711	356	203	203	178	940	711	330	188
8000 A 9500	4942	0	138	99	988	692	346	198	198	173	914	692	321	183
9500 A 11000	22674	0	635	454	4535	3174	1587	907	907	794	4195	3174	1474	839
>11000	16330	0	457	327	3266	2286	1143	653	653	572	3021	2286	1061	604
TOTAL	70519	0	1975	1410	14104	9873	4936	2821	2821	2468	13046	9873	4584	2609

17:00	20:00	36ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TANDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	0	2.8	2	20	14	7	4	4	3.5	18.5	14	6.5	3.7	
<3500	3070	0	86	61	614	430	215	123	123	107	568	430	200	114	
3500 A 5000	15352	0	430	307	3070	2149	1075	614	614	537	2840	2149	998	568	
5000 A 6500	9146	0	256	183	1829	1280	640	366	366	320	1692	1280	594	338	
6500 A 8000	6514	0	182	130	1303	912	456	261	261	228	1205	912	423	241	
8000 A 9500	6338	0	177	127	1268	887	444	254	254	222	1172	887	412	234	
9500 A 11000	29082	0	814	582	5816	4072	2036	1163	1163	1018	5380	4072	1890	1076	
>11000	20945	0	587	419	4189	2932	1466	838	838	733	3875	2932	1361	775	
TOTAL	90447	0	2533	1809	18089	12663	6331	3618	3618	3166	16733	12663	5879	3347	

20:00	00:00	30ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TANDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	0	2.8	2	20	14	7	4	4	3.5	18.5	14	6.5	3.7	
<3500	3261	0	91	65	652	457	228	130	130	114	603	457	212	121	
3500 A 5000	16306	0	457	326	3261	2283	1141	652	652	571	3017	2283	1060	603	
5000 A 6500	9714	0	272	194	1943	1360	680	388	388	340	1797	1360	631	359	
6500 A 8000	6919	0	194	138	1384	969	484	277	277	242	1280	969	450	256	
8000 A 9500	6732	0	189	135	1346	942	471	269	269	236	1245	942	438	249	
9500 A 11000	30889	0	865	618	6178	4325	2162	1236	1236	1081	5714	4325	2008	1143	
>11000	22247	0	623	445	4449	3115	1557	890	890	779	4116	3115	1446	823	
TOTAL	96068	0	2690	1921	19214	13450	6725	3843	3843	3362	17773	13450	6244	3555	

00:00	05:00	27ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TRIDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	1	4	6	12.3	10.1	9.7	7	6	6	12.2	10.1	9.6	6	
<3500	759	8	30	46	93	77	74	53	46	46	93	77	73	46	
3500 A 5000	360	4	14	22	44	36	35	25	22	22	44	36	35	22	
5000 A 6500	560	6	22	34	69	57	54	39	34	34	68	57	54	34	
6500 A 8000	721	7	29	43	89	73	70	50	43	43	88	73	69	43	
8000 A 9500	798	8	32	48	98	81	77	56	48	48	97	81	77	48	
9500 A 11000	4478	45	179	269	551	452	434	313	269	269	546	452	430	269	
>11000	3056	31	122	183	376	309	296	214	183	183	373	309	293	183	
TOTAL	10732	107	429	644	1320	1084	1041	751	644	644	1309	1084	1030	644	

05:00	08:00	31ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TRIDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	1	4	6	12.3	10.1	9.7	7	6	6	12.2	10.1	9.6	6	
<3500	1663	17	67	100	205	168	161	116	100	100	203	168	160	100	
3500 A 5000	789	8	32	47	97	80	77	55	47	47	96	80	76	47	
5000 A 6500	1226	12	49	74	151	124	119	86	74	74	150	124	118	74	
6500 A 8000	1578	16	63	95	194	159	153	110	95	95	192	159	152	95	
8000 A 9500	1747	18	70	105	215	176	169	122	105	105	213	176	168	105	
9500 A 11000	9808	98	392	589	1206	991	951	687	589	589	1197	991	942	589	
>11000	6694	67	268	402	823	676	649	469	402	402	817	676	643	402	
TOTAL	23505	235	940	1410	2891	2374	2280	1645	1410	1410	2868	2374	2257	1410	

08:00	11:00	40ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TRIDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	1	4	6	12.3	10.1	9.7	7	6	6	12.2	10.1	9.6	6	
<3500	1338	13	54	80	165	135	130	94	80	80	163	135	128	80	
3500 A 5000	635	6	25	38	78	64	62	44	38	38	77	64	61	38	
5000 A 6500	986	10	39	59	121	100	96	69	59	59	120	100	95	59	
6500 A 8000	1270	13	51	76	156	128	123	89	76	76	155	128	122	76	
8000 A 9500	1406	14	56	84	173	142	136	98	84	84	172	142	135	84	
9500 A 11000	7889	79	316	473	970	797	765	552	473	473	962	797	757	473	
>11000	5384	54	215	323	662	544	522	377	323	323	657	544	517	323	
TOTAL	18908	189	756	1134	2326	1910	1834	1324	1134	1134	2307	1910	1815	1134	

11:00	14:00	51ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TRIDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	1	4	6	12.3	10.1	9.7	7	6	6	12.2	10.1	9.6	6	
<3500	2277	23	91	137	280	230	221	159	137	137	278	230	219	137	
3500 A 5000	1081	11	43	65	133	109	105	76	65	65	132	109	104	65	
5000 A 6500	1679	17	67	101	207	170	163	117	101	101	205	170	161	101	
6500 A 8000	2162	22	86	130	266	218	210	151	130	130	264	218	208	130	
8000 A 9500	2393	24	96	144	294	242	232	168	144	144	292	242	230	144	
9500 A 11000	13433	134	537	806	1652	1357	1303	940	806	806	1639	1357	1290	806	
>11000	9168	92	367	550	1128	926	889	642	550	550	1119	926	880	550	
TOTAL	32193	322	1288	1932	3960	3251	3123	2253	1932	1932	3928	3251	3091	1932	

14:00	17:00	45ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TRIDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	1	4	6	12.3	10.1	9.7	7	6	6	12.2	10.1	9.6	6	
<3500	1374	14	55	82	169	139	133	96	82	82	168	139	132	82	
3500 A 5000	652	7	26	39	80	66	63	46	39	39	80	66	63	39	
5000 A 6500	1013	10	41	61	125	102	98	71	61	61	124	102	97	61	
6500 A 8000	1304	13	52	78	160	132	126	91	78	78	159	132	125	78	
8000 A 9500	1444	14	58	87	178	146	140	101	87	87	176	146	139	87	
9500 A 11000	8102	81	324	486	997	818	786	567	486	486	988	818	778	486	
>11000	5530	55	221	332	680	559	536	387	332	332	675	559	531	332	
TOTAL	19419	194	777	1165	2388	1961	1884	1359	1165	1165	2369	1961	1864	1165	

17:00	20:00	36ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TRIDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	1	4	6	12.3	10.1	9.7	7	6	6	12.2	10.1	9.6	6	
<3500	1699	17	68	102	209	172	165	119	102	102	207	172	163	102	
3500 A 5000	806	8	32	48	99	81	78	56	48	48	98	81	77	48	
5000 A 6500	1253	12	50	75	154	127	122	88	75	75	153	127	120	75	
6500 A 8000	1613	16	64	97	198	163	156	113	97	97	197	163	155	97	
8000 A 9500	1785	18	71	107	220	180	173	125	107	107	218	180	171	107	
9500 A 11000	10021	100	401	601	1233	1012	972	702	601	601	1223	1012	962	601	
>11000	6839	68	274	410	841	691	663	479	410	410	834	691	657	410	
TOTAL	24016	240	961	1441	2954	2426	2330	1681	1441	1441	2930	2426	2306	1441	

20:00	00:00	30ª C													
DISTRIBUCION DE CARGA(Kg) POR LLANTA	TIPO DE EJES	PUNTOS EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LA VIA													
	TRIDEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	% EJES	1	4	6	12.3	10.1	9.7	7	6	6	12.2	10.1	9.6	6	
<3500	1807	18	72	108	222	183	175	126	108	108	220	183	173	108	
3500 A 5000	858	9	34	52	105	87	83	60	52	52	105	87	82	52	
5000 A 6500	1333	13	53	80	164	135	129	93	80	80	163	135	128	80	
6500 A 8000	1716	17	69	103	211	173	166	120	103	103	209	173	165	103	
8000 A 9500	1899	19	76	114	234	192	184	133	114	114	232	192	182	114	
9500 A 11000	10661	107	426	640	1311	1077	1034	746	640	640	1301	1077	1024	640	
>11000	7276	73	291	437	895	735	706	509	437	437	888	735	699	437	
TOTAL	25550	255	1022	1533	3143	2580	2478	1788	1533	1533	3117	2580	2453	1533	