

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1-1
2	OBJETIVOS	2-1
2.1	OBJETIVO GENERAL	2-1
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2-1
3	METODOLOGÍA.....	3-1
3.1	CONSIDERACIONES PARTICULARES	3-1
3.2	CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO.....	3-1
3.2.1	FUENTES Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE	3-1
3.3	CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA APLICADA AL PAVIMENTO	3-12
3.3.1	INFORMACIÓN EXISTENTE	3-12
3.3.2	INFORMACIÓN A RECOPILAR EN CAMPO.....	3-12
3.4	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA CAM.....	3-13
3.4.1	DEFINICIÓN Y CÁLCULO DEL CAM.....	3-13
3.4.2	ANÁLISIS DE LA VIDA ÚTIL EN LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO.....	3-14
3.4.3	CÁLCULO DE DAÑO UNITARIO	3-16
3.4.4	ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO CARACTERÍSTICAS.....	3-17
3.4.5	MODELACIÓN DEL PAVIMENTO	3-18
3.4.6	PORCENTAJE DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES Y RÍGIDAS.....	3-19
4	DESARROLLO DEL CONCEPTO NO. 10 – ESPECTROS DE CARGA	4-1
4.1	ANTECEDENTES NORMATIVOS DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE CARGA EN COLOMBIA	4-1
4.1.1	NORMATIVIDAD NACIONAL.....	4-1
4.1.2	NORMATIVIDAD EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.	4-3
4.2	CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO.....	4-10
4.2.1	ANÁLISIS VOLUMEN VEHICULAR	4-10
4.3	CONSIDERACIONES PARTICULARES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE ESPECTRO DE CARGAS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.....	4-13
4.3.1	ANÁLISIS DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS	4-13
4.4	DISEÑO MUESTRAL.	4-14
4.4.1	ELEMENTOS EN EL DESARROLLO DEL DISEÑO MUESTRAL.....	4-14
4.5	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	4-22

4.6	TOMA DE INFORMACIÓN DE CARGAS APLICADAS AL PAVIMENTO.....	4-23
4.6.1	EQUIPO DE PESAJE	4-23
4.6.2	PROCEDIMIENTO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL OPERATIVO DE PESAJE ...	4-27
4.7	PROCESO DE TOMA DE INFORMACIÓN	4-34
4.7.1	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	4-36
5	ANÁLISIS DESCRIPTIVO Y ESTADÍSTICO DE LA MUESTRA TOMADA EN CAMPO	5-1
5.1	ANÁLISIS DESCRIPTIVO	5-1
5.1.1	ANÁLISIS DESCRIPTIVO GENERAL	5-1
5.1.2	ANÁLISIS DESCRIPTIVO POR CORREDOR	5-5
5.1.3	ANÁLISIS DESCRIPTIVO POR ESTACIÓN	5-11
5.2	ANÁLISIS DESCRIPTIVO POR EJES	5-14
5.3	ANÁLISIS DE LA SOBRECARGA	5-20
6	ESPECTROS DE CARGA.....	6-1
6.1	GENERALIDADES DE LOS ESPECTROS DE CARGA.....	6-1
6.1.1	ASPECTOS IMPORTANTES DE LOS ESPECTROS DE CARGA.....	6-1
6.1.2	VALORACIÓN DEL TRÁNSITO	6-2
6.1.3	ESTUDIOS ANTERIORES DE ESPECTROS DE CARGA.....	6-2
6.1.4	A GUIDE TO AXLE LOAD SURVEYS AND TRAFFIC COUNTS FOR DETERMINING TRAFFIC LOADING ON PAVEMENTS	6-3
6.1.5	PARÁMETROS PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO	6-4
6.2	ESPECTROS AVENIDA BOYACÁ	6-9
6.3	ESPECTROS AVENIDA 68.....	6-14
6.4	ESPECTROS AVENIDA CALI	6-17
7	COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA	7-1
7.1	COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA EN LA AVENIDA BOYACÁ	7-1
7.2	COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA EN LA AVENIDA 68	7-4
7.3	COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA EN LA AVENIDA CALI.....	7-4
7.4	ANÁLISIS GENERAL DEL COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA	7-5
8	FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO.....	8-1
8.1	FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO PARA LA AVENIDA BOYACÁ.....	8-1
8.2	FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO PARA LA AVENIDA 68	8-4
8.3	FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO PARA LA AVENIDA CALI	8-5
8.4	ANÁLISIS GENERAL DE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO.....	8-8

9	ANÁLISIS DE LA VIDA ÚTIL.....	9-1
9.1	ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL EN LA AVENIDA BOYACÁ	9-2
9.2	ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL EN LA AVENIDA 68.....	9-4
9.3	ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL EN LA AVENIDA CALI	9-6
10	CONCLUSIONES.....	10-1
11	RECOMENDACIONES.....	11-1
12	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Grandes zonas de la ciudad	3-2
Figura 3-2. Localización red de estaciones maestras de aforo en la ciudad de Bogotá. .	3-5
Figura 3-3. Red semafórica de la ciudad de Bogotá.	3-6
Figura 3-4. Formato de campo para la realización de los aforos de volúmenes vehiculares. 3-9	
Figura 3-5. Nomenclatura para los movimientos vehiculares en una intersección.	3-11
Figura 4-1. Localización de estaciones que reportan flujos vehiculares de camiones importantes en la ciudad de Bogotá.....	4-12
Figura 4-2. Esquema vista perfil de la báscula.....	4-24
Figura 4-3. Formato de campo propuesto para la realización del pesaje en tramos homogéneos	4-37
Figura 6-1. Ejemplo del formato Espectros de carga camión tipo 2, Avenida Boyacá sentido Sur Norte	6-8
Figura 6-2. Ejemplo del formato Espectros de carga camión tipo 3S3, Avenida Boyacá sentido Norte Sur	6-9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1.	Estaciones maestras básicas por zonas	3-2
Tabla 3-2.	Estaciones maestras adicionales por zonas.	3-3
Tabla 3-3.	Codificación de los movimientos vehiculares típicos de una estación de aforo.	3-11
Tabla 3-4.	Valores promedio de k y α para calcular el coeficiente de agresividad ..	3-14
Tabla 3-5.	Estructura típica y rangos de módulos para estructura de pavimento flexible	3-17
Tabla 3-6.	Estructura típica y rangos de módulos para estructura de pavimento rígido.	3-18
Tabla 4-1.	Volúmenes vehiculares totales diarios para las estaciones maestras de aforo.	4-11
Tabla 4-2.	Homologación entre designación de camiones según información de tránsito y designación de vehículos de transporte terrestre de carga resolución 4100 de 2004.	4-17
Tabla 4-3.	Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Boyacá x Calle 170	4-19
Tabla 4-4.	Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Boyacá x Calle 72	4-20
Tabla 4-5.	Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Boyacá x Calle 17 (Av. Centenario)	4-20
Tabla 4-6.	Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Boyacá x Carrera 1 (Avenida Caracas)	4-20
Tabla 4-7.	Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Carrera 68 x Calle 26	4-20
Tabla 4-8.	Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Carrera 68 x Autopista Sur	4-21
Tabla 4-9.	Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Ciudad de Cali x Calle 80	4-21
Tabla 4-10.	Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Ciudad de Cali x Calle 17 (Av. Centenario)	4-21
Tabla 4-11.	Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Ciudad de Cali x Diagonal 3 (Av. Manuel Cepeda Vargas)	4-22
Tabla 4-12.	Cálculo de la muestra total en los tres corredores	4-22

Tabla 4-13.	Ejemplo información de pesaje transcrita a medio magnético en formato MS EXCEL.	4-38
Tabla 5-1.	Resumen de toma de información en el corredor de la Avenida Boyacá por tipo de vehículo según numero de ejes.	5-2
Tabla 5-2.	Resumen de toma de información en el corredor de la Avenida Ciudad de Cali por tipo de vehículo según numero de ejes.	5-2
Tabla 5-3.	Resumen de toma información en el corredor de la Avenida Carrera 68 por tipo de vehículo según numero de ejes.	5-3
Tabla 5-4.	Muestra tomada en campo y estadísticas del peso bruto vehicular PBV por tipo de vehículo según resolución 4100 de 2004.....	5-3
Tabla 5-5.	Descripción de la muestra y el peso bruto vehicular por tipo de vehículo y por corredor.....	5-9
Tabla 5-6.	Descripción de la muestra y el peso bruto vehicular por corredor y posición del eje.....	5-10
Tabla 5-7.	Muestra de vehículos tomada en campo por estación, sentido y tipo de vehículo.....	5-11
Tabla 5-8.	Descripción de la muestra y estadísticas del peso bruto vehicular de los diferentes tipos de vehículo en la estación de la Av. Boyacá con Calle 170.	5-13
Tabla 5-9.	Descripción de la muestra y el peso por ubicación del eje, tipo y número de llantas.....	5-15
Tabla 5-10.	Muestra tomada en campo por tipo de eje.....	5-15
Tabla 5-11.	Descripción de la muestra y el peso de los ejes según su ubicación en el vehículo en el corredor de la Avenida Boyacá.....	5-18
Tabla 5-12.	Descripción de la muestra y el peso de los ejes según su ubicación en el vehículo en el corredor de la Avenida Ciudad de Cali.	5-19
Tabla 5-13.	Descripción de la muestra y el peso de los ejes según su ubicación en el vehículo en el corredor de la Avenida Carrera 68.....	5-19
Tabla 5-14.	Porcentaje de vehículos con sobrepeso según su tipo, corredor y sentido.....	5-20
Tabla 5-15.	Porcentaje de vehículos con sobrepeso según tipología para las nueve estaciones de pesaje.....	5-21
Tabla 5-16.	Descripción del sobrepeso del peso bruto vehicular por estación, sentido vial y tipo de vehículo en el corredor de la Avenida Boyacá.	5-21
Tabla 5-17.	Descripción del sobrepeso del peso bruto vehicular por estación, sentido vial y tipo de vehículo en el corredor de la Avenida Ciudad de Cali. ..	5-22
Tabla 5-18.	Descripción del sobrepeso del peso bruto vehicular por estación, sentido vial y tipo de vehículo en el corredor de la Avenida Carrera 68.....	5-22
Tabla 5-19.	Cálculo de la frecuencia relativa acumulada para la estación de la Av. Ciudad de Cali con Calle 80.....	5-25

Tabla 6-1.	Pesos Máximos por eje autorizados el Ministerio de Transporte.....	6-5
Tabla 6-2.	Distribución de Pesos máximos por eje en las diferentes configuraciones de vehículos de carga, según la Resolución 4100 de 2004 modificada resolución 1782 de 2009 - Ministerio de Transporte	6-6
Tabla 6-3.	Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la muestra total de ejes	6-10
Tabla 6-4.	Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la magnitud de carga por eje permitida.....	6-10
Tabla 6-5.	Cargas promedio excedida por tipo de vehículo en la avenida Boyacá..	6-13
Tabla 6-6.	Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la muestra total de ejes	6-14
Tabla 6-7.	Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la magnitud de carga por eje permitida.....	6-14
Tabla 6-8.	Cargas promedio excedida por tipo de vehículo en la avenida 68.....	6-17
Tabla 6-9.	Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la muestra total de ejes	6-18
Tabla 6-10.	Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la magnitud de carga por eje permitida.....	6-18
Tabla 6-11.	Cargas promedio excedida por tipo de vehículo en la Ciudad de Cali	6-21
Tabla 7-1.	Coeficiente de agresividad media para la avenida Boyacá.....	7-2
Tabla 7-2.	Coeficiente de agresividad media para la avenida Boyacá (continuación)	7-3
Tabla 7-3.	Coeficiente de agresividad media para la Avenida 68	7-4
Tabla 7-4.	Coeficiente de agresividad media para la avenida Cali	7-5
Tabla 7-5.	Calculo de CAM ponderado por tipo de vehículo de carga.....	7-6
Tabla 8-1.	Factores de equivalencia AASHTO para la avenida Boyacá (y).....	8-2
Tabla 8-2.	Factores de equivalencia AASHTO para la avenida Boyacá (y).....	8-3
Tabla 8-3.	Factores de equivalencia AASHTO para la Avenida 68 (y).....	8-4
Tabla 8-4.	Factores de equivalencia AASHTO para la Avenida 68 (y).....	8-5
Tabla 8-5.	Factores de equivalencia AASHTO para la avenida Cali (y).....	8-6
Tabla 8-6.	Factores de equivalencia AASHTO para la avenida Cali (y).....	8-7

Tabla 8-7.	Factores AASHTO ponderado por tipo de vehículo de carga (y	8-8
Tabla 8-8.	Factores AASHTO ponderado por tipo de vehículo de carga (y	8-9
Tabla 9-1.	Valores de con respecto a la variación de en un eje sencillo de llanta simple	9-1
Tabla 9-2.	Valores de con respecto a la variación de en un eje sencillo de llanta doble	9-1
Tabla 9-3.	Coefficientes estructurales y espesores Avenida Boyacá	9-2
Tabla 9-4.	Reducción de vida útil por tipo de vehículo en la Avenida Boyacá	9-3
Tabla 9-5.	Coefficientes estructurales y espesores Avenida 68	9-4
Tabla 9-6.	Reducción de vida útil por tipo de vehículo en la Avenida 68	9-5
Tabla 9-7.	Coefficientes estructurales y espesores Avenida Ciudad de Cali	9-6
Tabla 9-8.	Reducción de vida útil por tipo de vehículo en la avenida Ciudad de Cali	9-7

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 4-1.	Dispositivo de pesaje en funcionamiento	4-23
Imagen 4-2.	Indicador de peso HB8212	4-24
Imagen 4-3.	Celdas de carga Sensortronics (made in u.s.a.)	4-25
Imagen 4-4.	Sensores de peso “celdas de carga”	4-25
Imagen 4-5.	Tarjeta y caja sumatoria.	4-26
Imagen 4-6.	Ejemplo de señalización típica para el desarrollo de un operativo de pesaje de vehículos de transporte terrestre de carga presentado en el PMT para aprobación de SDM	4-28
Imagen 4-7.	Resultado aprobación de PMT por parte de la SDM.....	4-29
Imagen 4-8.	Implementación de la señalización para el operativo de pesaje en campo según plano aprobado por la SDM.	4-30
Imagen 4-9.	Descargue e Instalación de las básculas.....	4-31
Imagen 4-10.	Instalación operativo de pesaje finalizado.....	4-31
Imagen 4-11.	Agente de tránsito dando instrucción de ingreso a los camiones hacia la báscula.....	4-32
Imagen 4-12.	Agente de tránsito ubicado en el sector de pesaje dando instrucción al conductor para su ingreso a la báscula.	4-32
Imagen 4-13.	Ejemplo de las instrucciones de ingreso por parte de los bandereros al conductor.	4-33
Imagen 4-14.	Ejemplo de pesaje por ejes de un vehículo tipo 3.....	4-33
Imagen 4-15.	Resultado de peso de un eje en el indicador de peso de la báscula. .	4-34
Imagen 4-16.	Ejemplo Base de datos en MS EXCEL que se entrega al IDU.	4-39

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5-1.	Muestra total tomada en campo por tipo de vehículo.	5-4
Gráfica 5-2.	Muestra total tomada en campo y muestra planificada por tipología de vehículo según número de ejes.	5-4
Gráfica 5-3.	Promedio del peso bruto vehicular por tipo de vehículo y máximo PBV permitido según resolución 4100 de 2004.	5-5
Gráfica 5-4.	Porcentaje de la muestra tomada en campo por sentido.....	5-5
Gráfica 5-5.	Muestra tomada en campo por corredor y sentido vial.	5-6
Gráfica 5-6.	Muestra tomada en campo por tipo de vehículo en cada corredor.	5-7
Gráfica 5-7.	Muestra tomada en campo de los vehículos tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 en cada corredor.	5-7
Gráfica 5-8.	Promedio del peso bruto vehicular para cada tipo de vehículo y corredor.	5-8
Gráfica 5-9.	Muestra total de vehículos tomada en campo por estación y sentido.	5-12
Gráfica 5-10.	Promedio del peso bruto vehicular del camión tipo 3S3 en todas las estaciones de pesaje por sentido vial.	5-13
Gráfica 5-11.	Muestra tomada en campo por estación y sentido del vehículo tipo 2.	5-14
Gráfica 5-12.	Muestra tomada en campo por tipo de eje en cada estación.....	5-16
Gráfica 5-13.	Muestra tomada en campo por ubicación del eje y tipo.	5-16
Gráfica 5-15.	Muestra tomada en campo de los ejes según su ubicación en el vehículo para cada corredor.	5-17
Gráfica 5-16.	Promedio del peso de cada tipo de eje por corredor.	5-17
Gráfica 5-16.	Sobrepeso del eje sencillo por estación de pesaje y sentido vial.	5-23
Gráfica 5-17.	Sobrepeso del eje tandem por estación de pesaje y sentido vial.	5-23
Gráfica 5-18.	Sobrepeso del eje tridem por estación de pesaje y sentido vial.	5-24
Gráfica 5-19.	Sobrepeso del eje sencillo en sentido norte-sur en cada estación de pesaje por tipología de vehículo.....	5-24
Gráfica 5-20.	Frecuencia relativa acumulada del sobrepeso para cada tipo de eje en la Av. Ciudad de Cali con Calle 80.....	5-26
Gráfica 6-1.	Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 2	6-11
Gráfica 6-2.	Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 3	6-11
Gráfica 6-3.	Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 2S2.....	6-12
Gráfica 6-4.	Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 3S2.....	6-12

Gráfica 6-5.	Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 3S3.....	6-13
Gráfica 6-6.	Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 2	6-15
Gráfica 6-7.	Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 3	6-15
Gráfica 6-8.	Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 2S2.....	6-16
Gráfica 6-9.	Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 3S2.....	6-16
Gráfica 6-10.	Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 3S3.....	6-17
Gráfica 6-11.	Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 2	6-19
Gráfica 6-12.	Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 3	6-19
Gráfica 6-13.	Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 2S2 ..	6-20
Gráfica 6-14.	Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 3S2 ..	6-20
Gráfica 6-15.	Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 3S3 ..	6-21

ANEXOS

- 1. Espectros de Carga.**
- 2. Resultados Estadísticos.**
 - 2.1. Promedio del peso bruto vehicular.
 - 2.2. Descripción estadística.
 - 2.3. Muestras tomadas en campo.
 - 2.4. Porcentaje de ejes con sobrecarga.
 - 2.5. Frecuencia relativa acumulada de sobrecarga.3
- 3. Informe de Campo.**
- 4. Cartilla del Banderero.**
- 5. Esquemas de localización de PMT's.**
- 6. Formatos COI.**
- 7. Certificados de Calibración de Equipos.**

1 INTRODUCCIÓN

Los pavimentos son sistemas complejos, en los que se envuelve la interacción de un gran número de variables, dentro de las cuales se encuentra las propiedades de los materiales, el tráfico, el ambiente y las practicas constructivas, entre otras. Este documento se desarrolla con el propósito de conocer los espectros de carga de los vehículos de transporte de carga y evaluar los coeficientes de agresividad media asociados a esta distribución de carga de cada uno de los vehículos evaluados en este estudio para la ciudad de Bogotá D.C., para que esta información pueda ser utilizada en el mejoramiento ya sea del diseño de pavimentos o de la gestión de estos para su conservación.

Por la variedad de tipologías de vehículos de transporte de carga que circulan por las vías de la ciudad de Bogotá, así como la variedad en la distribución de la carga que se transmite a través de las llantas de estos al pavimento, existen diferentes espectros de carga tanto por tipo de ejes como por tipo de vehículo para una vía en particular de la ciudad. El conocimiento de estos espectros de carga permite calcular el efecto que sobre el pavimento generan el tráfico de este tipo de vehículos con las cargas reales que se transmiten al pavimento.

Por tanto, en el marco del contrato interadministrativo N° 020 de 2008 y a través del oficio 20103750400071 del 5 de agosto, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) de Bogotá solicitó a la Universidad Nacional de Colombia, elaborar un concepto técnico para determinar los Espectros de Carga y el Coeficiente de Agresividad Media CAM (factor camión ó factor daño) de los vehículos de transporte terrestre de carga que transitan por la vías de la red arterial y/o corredores de movilidad local de Bogotá D.C., determinando la tipología de estos vehículos y el peso real de la carga que transportan, de acuerdo a la normatividad vigente.

Con respecto a esta normatividad es importante resaltar que el Ministerio de Transporte tiene como objetivo primordial la formulación y adopción de las políticas, planes, programas, proyectos y regulación económica en materia de transporte, tránsito e infraestructura de los modos de transporte carretero, marítimo, fluvial, férreo y aéreo y la regulación técnica en materia de transporte y tránsito de los modos carretero, marítimo, fluvial y férreo de acuerdo con lo establecido en el Artículo 1 Decreto 2053 del 2003 del Ministerio de Transporte. Por lo anterior, es el Ministerio de Transporte el ente encargado de realizar la regulación de los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de carga para su operación normal en las carreteras del país.

Por tanto, con el fin de establecer si las cargas que circulan actualmente por la red vial de Bogotá D.C. son superiores a las establecidas en la normatividad se utilizará como normas de referencia la Resolución 4100 de 2004 y 1782 de 2009 del Ministerio de Transporte para el análisis a desarrollarse en este documento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los espectros de carga y el coeficiente de agresividad media CAM de los vehículos de transporte terrestre de carga que transitan por las vías de la red arterial y/o corredores de movilidad local de Bogotá seleccionadas para la elaboración de este concepto en conjunto con el IDU.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos de este estudio son:

- a) Seleccionar tramos homogéneos en cuanto a tránsito y tipos de estructura de pavimento de la red arterial y/o corredores de movilidad local (CML) de la ciudad de Bogotá.
- b) Establecer zonas de conteo y pesajes en los tramos seleccionados anteriormente.
- c) Determinar la composición vehicular en los tramos homogéneos establecidos, con el fin de caracterizar los vehículos de transporte terrestre de carga que transitan por la red vial arterial y/o CML de Bogotá (Tramos seleccionados en el punto anterior)
- d) Realizar los pesajes necesarios para determinar el peso bruto vehicular y el peso por eje para una muestra de vehículos de transporte terrestre de carga, obtenida a partir de la caracterización del tránsito, teniendo en cuenta los tipos de vehículos establecidos en las normas vigentes.
- e) Determinar el coeficiente de agresividad media CAM, para cada uno de los tipos de vehículos de transporte terrestre de carga que circulan por la ciudad establecidos en las normas vigentes.
- f) Determinar la incidencia sobre la vida útil de las estructuras de pavimento flexible y rígido con los coeficientes obtenidos para cada tipo de vehículo.

3 METODOLOGÍA

En el presente numeral se describe la metodología utilizada y aprobada por el IDU en el desarrollo del Concepto No. 10 – Espectros de carga, tanto en las áreas de tránsito, toma de información y de pavimentos.

3.1 CONSIDERACIONES PARTICULARES

En este estudio sólo se considerará estructuras de pavimento de tipo flexible y rígida. Por lo anterior, es importante anotar que estructuras de tipo articulado, inversas, mixtas, flexibles gruesas y otras no serán objeto de este estudio. Igualmente, el presente estudio no se tendrá en cuenta el sistema Transmilenio dadas sus condiciones particulares de construcción, diseño y operación.

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO

En esta sección se incluye la descripción de la metodología aplicada para caracterizar el tránsito en la ciudad de Bogotá, a partir de información existente en alto porcentaje y con toma de información de campo en una menor proporción.

Cabe mencionar que una vez analizada la información suministrada por el IDU, se determinarán los datos faltantes y necesarios en la elaboración de este concepto, para posteriormente tomarlos en campo.

3.2.1 FUENTES Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

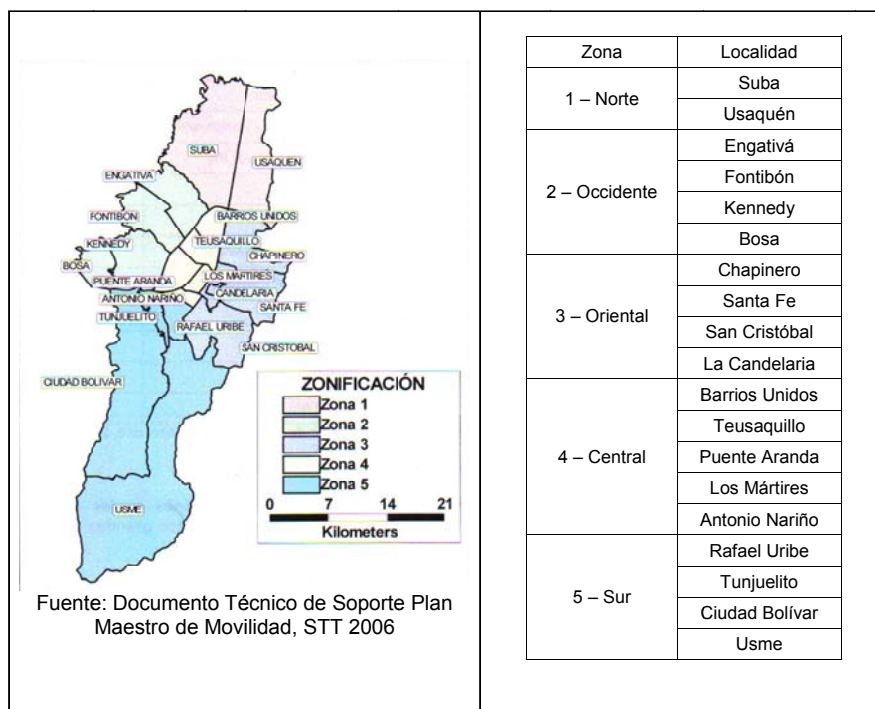
Se solicita al IDU la entrega de la siguiente información necesaria para llevar a cabo la identificación de los tramos y la caracterización del tránsito en la ciudad de Bogotá.

Documentación a partir de dos fuentes básicas: el IDU con la malla vial objeto del estudio y la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) con la información existente de aforos vehiculares.

Respecto a la primera fuente, se solicita el suministro de información de la base de datos geográfica del IDU donde esté relacionada la malla vial arterial y/o con los corredores de movilidad local objeto de este proyecto. De esta representación de la malla vial obtenida de la base de datos geográfica se requiere un completo inventario vial y con especial interés, una identificación del tipo de estructura de pavimento con el fin de identificar los tramos homogéneos de análisis.

Con relación a la segunda fuente de información, la anterior STT hoy SDM ha venido realizando la TOMA DE INFORMACIÓN DE CAMPO PARA EL PROGRAMA DE MONITOREO, SEGUIMIENTO Y PLANEACIÓN DEL TRÁNSITO Y EL TRANSPORTE para la ciudad de Bogotá, información que existe y es el insumo básico para la caracterización del tránsito de la ciudad. Esta toma de información está dividida en 5 grandes zonas como se presenta en la Figura 3-1:

Figura 3-1. Grandes zonas de la ciudad



Fuente: SDM

- Estaciones Maestras Básicas**

En cada una de estas zonas se tiene una estación maestra básica de aforo de volúmenes por tipo de vehículo durante 24 horas (00:00-24:00) y el estudio de frecuencia y ocupación visual en transporte público colectivo e individual durante 18 horas (05:00-23:00). Los datos tienen una periodicidad mensual en días típicos (martes, miércoles o jueves) y bimensual en días atípicos (sábados). Se identifican las siguientes estaciones maestras:

Tabla 3-1. Estaciones maestras básicas por zonas

Zona	Ubicación
1 – Norte	Autopista Norte con Calle 127
2 – Occidente	Avenida Boyacá con Calle 72
3 – Oriental	Carrera 10 con Calle 19
4 – Central	Avenida Américas con Carrera 42B-Calle 19
5 – Sur	Autopista Sur con Carrera 68

Fuente: SDM

- Estaciones Maestras Adicionales**

Como complemento se tienen otras estaciones maestras adicionales de aforo de volúmenes por tipo de vehículo durante 18 horas (05:00-23:00) y el estudio de frecuencia y ocupación visual en transporte público colectivo e individual durante 18 horas (05:00-

23:00). Los datos tienen una periodicidad trimensual en días típicos (martes, miércoles o jueves) únicamente.

Se identifican las veinte estaciones maestras adicionales las cuales se relacionan en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Estaciones maestras adicionales por zonas.

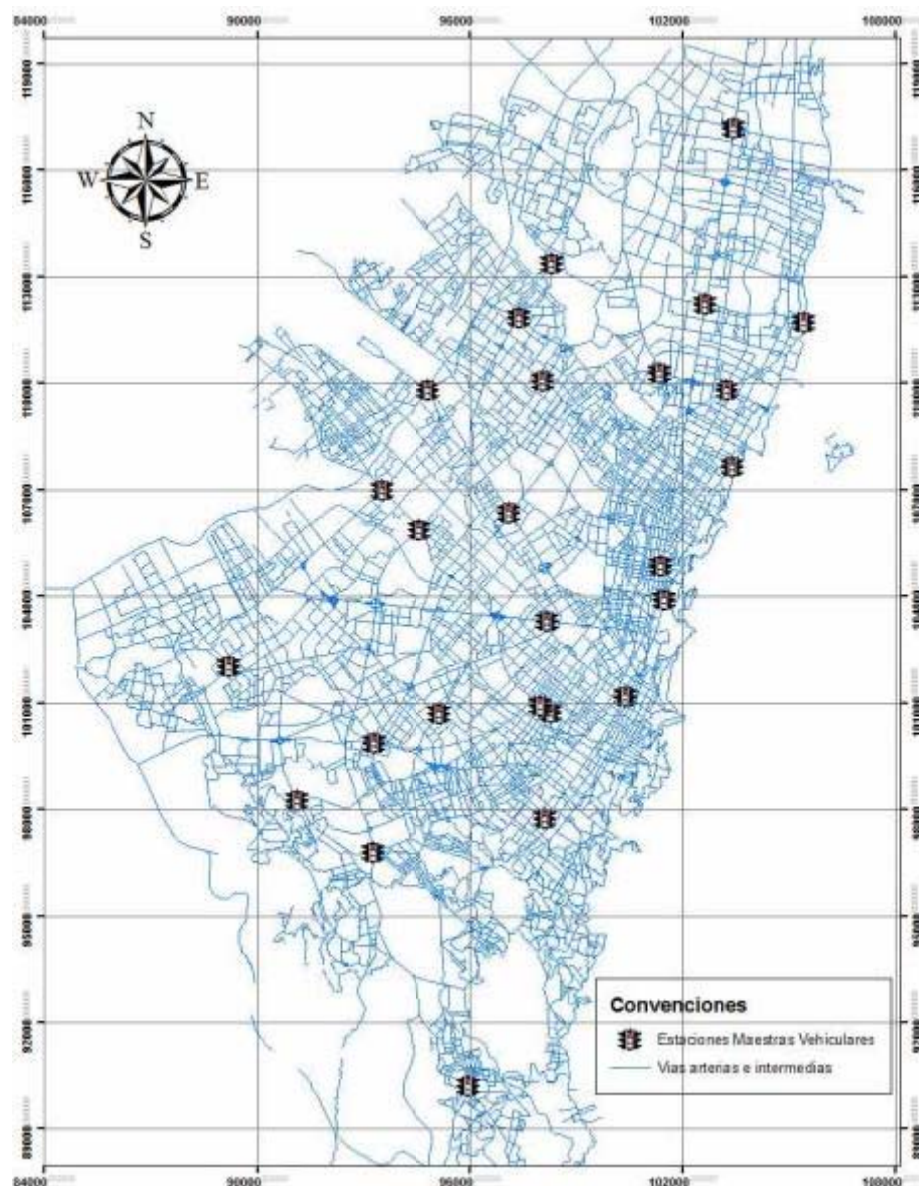
Zona	Ubicación
1 – Norte	Carrera 7 con Calle 127
	Calle 100 con Carrera 15
	Autopista Norte con Calle 170
	Avenida Cali con Carrera 92
2 – Occidente	Avenida Cali con Avenida Centenario
	Avenida Cali con Calle 80
	Avenida Boyacá con Calle 13
	Calle 26 con Carrera 92
3 – Oriental	Carrera 7 con Calle 45
	Carrera 10 con Avenida 1º de Mayo
	Carrera 7 con Calle 85
	Carrera 13 con Calle 53
4 – Central	Calle 100 con Avenida Suba
	Calle 6 con Carrera 24 y 27
	Avenida 1º de Mayo con Transversal 42
	Calle 26 con Carrera 68
5 – Sur	Avenida Agoberto Mejía con Avenida 1º de Mayo
	Avenida Villavicencio con Av Gaitán Cortes

Zona	Ubicación
	Avenida Boyacá con Avenida Caracas – CAI Yomasa
	Avenida Boyacá con Avenida Villavicencio

Fuente: SDM.

Así mismo, en la Figura 3-2 se muestra la distribución y localización de las estaciones maestras de aforo en la ciudad de Bogotá.

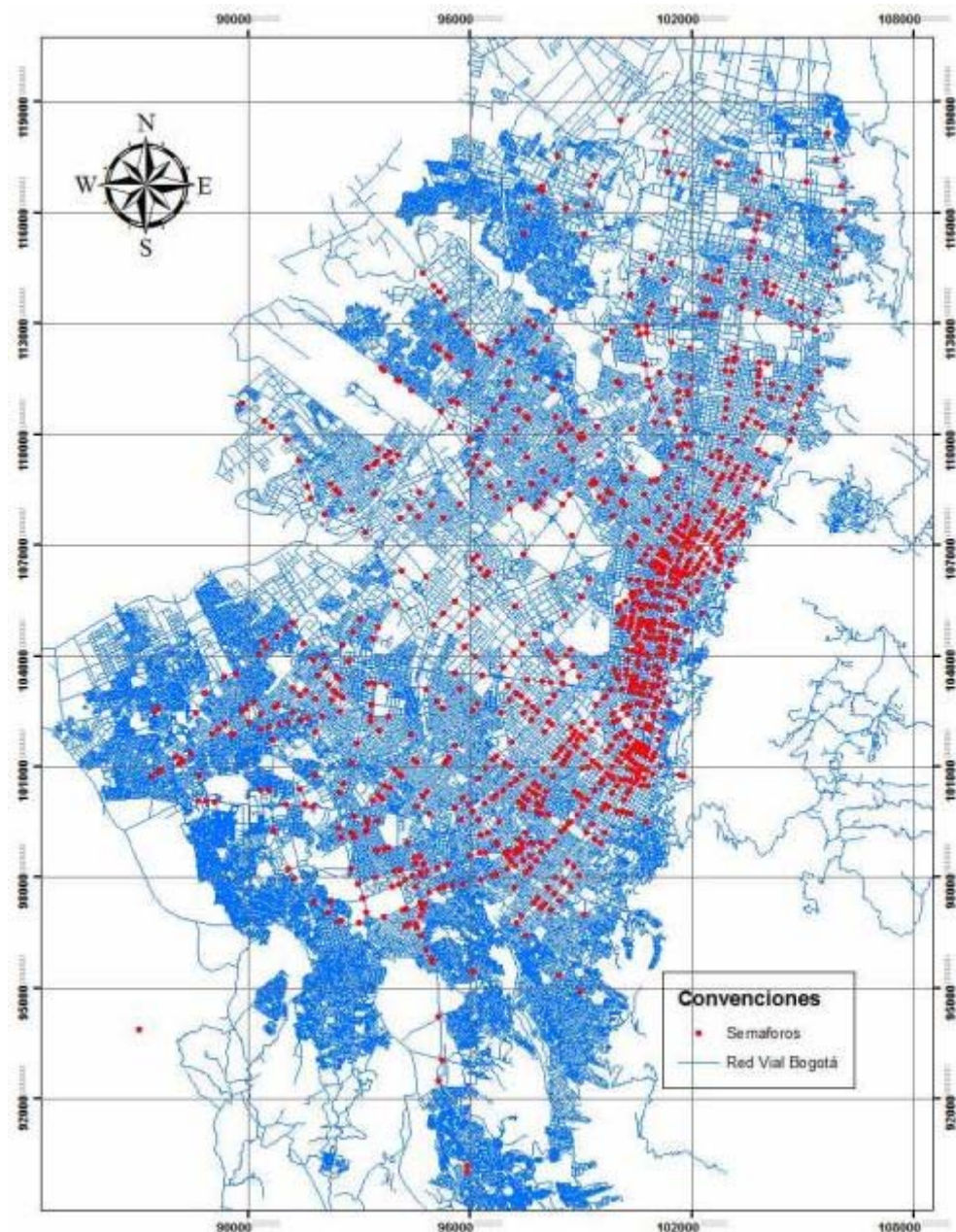
Figura 3-2. Localización red de estaciones maestras de aforo en la ciudad de Bogotá.



Fuente: Elaboración propia con base en información del IDU y la SDM

Complementario a lo anterior, la ciudad cuenta con información de volúmenes vehiculares en la red semafórica que se representa mediante puntos rojos en la Figura 3-3.

Figura 3-3. Red semafórica de la ciudad de Bogotá.



Fuente: Elaboración propia con base en información del IDU y la SDM

Con la información obtenida de estas dos fuentes, se procederá a realizar un análisis para detectar las zonas de la red vial que no cuentan con la información suficiente para efectuar la caracterización del tránsito y de esta forma entrar a tomar directamente en campo esta información complementaria (enmarcados en la metodología existente en el Manual de Planeación de Tránsito y Transporte de la ciudad de Bogotá - 2005).

- **Recolección de información faltante**

Una vez identificados los sitios de aforo para la recopilación de información de volúmenes vehiculares en forma directa, se realizará el siguiente proceso:

a) Identificación de los puntos de aforo

Se realizará la selección de las intersecciones faltantes de información de tránsito catalogadas como puntos potenciales de aforo. En consecuencia, se efectuarán visitas previas de reconocimiento y con base en esta información, se llevará a cabo la asignación del personal y equipo necesario para garantizar la adecuada recopilación de la información.

b) Personal de campo

Para la recopilación de información se contará con la participación de aforadores con experiencia en este tipo de actividades, adicionalmente asistirán a capacitaciones previo al inicio de las labores de campo.

El grupo de trabajo encargado de la supervisión de los trabajos estará conformado por un ingeniero especialista, ingenieros de campo, ingenieros de apoyo y auxiliares de ingeniería con experiencia en este tipo de actividades, quienes tendrán la responsabilidad de verificar el cumplimiento de las instrucciones técnicas impartidas durante la inducción y capacitación, y llevar a cabo el seguimiento detallado de las labores realizadas con el objeto de cumplir las órdenes de trabajo.

c) Distribución de funciones en campo

Con base en los sitios de aforo, se designarán las diferentes funciones de campo, contando con el grupo de aforadores, auxiliares y el Ingeniero de campo, el cual tendrá a su cargo la organización y supervisión del personal en su respectivo punto de trabajo; de acuerdo con las necesidades de cada sitio, se contará con Ingenieros de apoyo, para reforzar la labor del ingeniero de campo. Los auxiliares verificarán la correcta toma de información en los diferentes sitios y estarán pendientes de subsanar cualquier inconveniente.

d) Formato de campo

Para el registro de la información de tránsito se empleará el formato presentado en la Figura 3-4, el cual será diligenciado de acuerdo con los lineamientos indicados a continuación y los movimientos asignados.

- Fecha: se anota el día de la semana, el mes y el año de la observación.
- Día: se anota el día en que se realiza la toma de información, lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado o domingo.

- Hora Inicial: se registra la hora de inicio del aforo.
- Hora Final: se registra la hora final del aforo.
- Hoja: ____ De: ____: corresponde al control secuencial comenzando en uno, del número de formatos diligenciados por turno, anotándose al final del turno el total de los mismos luego de la palabra “De”.
- Ubicación: se anota utilizando las convenciones: Av: Avenida, K: Carrera, T: Transversal, C: Calle y D: Diagonal. Se registra la vía sobre la cual se realiza el aforo y en la localización se apunta la vía de referencia
- Movimiento: se anota el sentido de circulación aforado identificándolo con letras según sea el caso. Teniendo en cuenta que: N: Norte; S: Sur; W: Occidente; E: Oriente. El aforador registra el movimiento vehicular que le corresponde aforar anotando primero la letra del acceso de origen del vehículo y luego la letra del acceso de destino del vehículo, Ejemplo: “N-S”, W-S”.
- Calzada: se registra si la calzada sobre la que se realiza el aforo es la lenta, rápida o única.
- Aforador: nombre completo del aforador.
- Supervisor: nombre completo del Auxiliar de Ingeniería o del Ingeniero de Apoyo encargado de la supervisión de la toma de información.
- Estado del Tiempo: se registra el estado del tiempo predominante durante la observación. Ejemplo: Soleado ó lluvioso.
- Croquis: zona para ubicar el esquema de la estación, en el cual se identifican aspectos como: el Norte y el movimiento aforado.
- Hora: se registra la hora en formato militar (HH:MM). Ejemplo: 13:15, 18:00.
- Cada formato está dividido horizontalmente en cuatro (4) partes que agrupan los periodos de 15 minutos.
- Se registra el número de vehículos aforados de acuerdo con su tipo en cada columna, utilizando para el registro de cada cinco (5) vehículos el símbolo de un cuadrado con una diagonal.
- Total: cada 15 minutos se totaliza el número de vehículos aforados.
- Totales: en la parte inferior del formato se realiza la sumatoria para la hora de los vehículos aforados por tipo de vehículo.
- Observaciones: se anota cualquier evento de relevancia que altere el normal flujo vehicular.
- Firma del Aforador: firma de la persona que toma la información.
- Firma del Supervisor: firma de quien revisa la información.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la SDM

- **Recopilación de información**

El grupo de trabajo, aforadores y coordinador, arribará quince (15) minutos antes de la hora prevista para la toma de información. Adicionalmente, en un paso previo el ingeniero de apoyo encargado del punto efectuará la distribución del material necesario para la realización de la actividad, el cual es indicado a continuación.

- Tabla de apoyo
- Formatos de campo
- Reloj - cronómetro
- Chaleco
- Identificación
- Capas
- Sobre para almacenamiento de información
- Esferos

En el registro de los volúmenes vehiculares se enfatizará en la identificación y diferenciación de los tipos de vehículos enfocados al análisis del CAM y en las características operacionales, teniendo en cuenta la diferenciación de los movimientos de circulación. Los tipos de vehículo identificados serán los siguientes:

- Livianos
- Colectivos, discriminados en pequeños y grandes
- Busetas Urbanas
- Buses Urbanos, discriminados en corriente corto, corriente largo y ejecutivo
- Buses y Busetas Especiales (transporte particular, turismo y escolares)
- Vehículos Intermunicipales: colectivos, buses y busetas
- Vehículos de Transporte de Carga (Camiones discriminados en C2P, C2G, C3-C4, C5 y >C5) según tipología de la resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte.
- Motos
- Bicicletas¹

De otra parte, los movimientos vehiculares con su correspondiente codificación se establecieron de acuerdo con las recomendaciones planteadas en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte de la Secretaría

¹ Esta tipología de vehículos deberá ser tomada para toda las categorías anteriormente mencionadas, debido a que esta información es usada tanto para la caracterización de los vehículos pesados, como para la elaboración de los PMT's exigidos por la SDM, que dentro de sus exigencias para la aprobación de PMT's, se encuentra la identificación de todas las características del Tránsito en el área del proyecto.

de Tránsito y Transporte - 2005, ajustándose a las necesidades puntuales en cada estación. En la Tabla 3-3 se incluye la codificación de los movimientos vehiculares típicos.

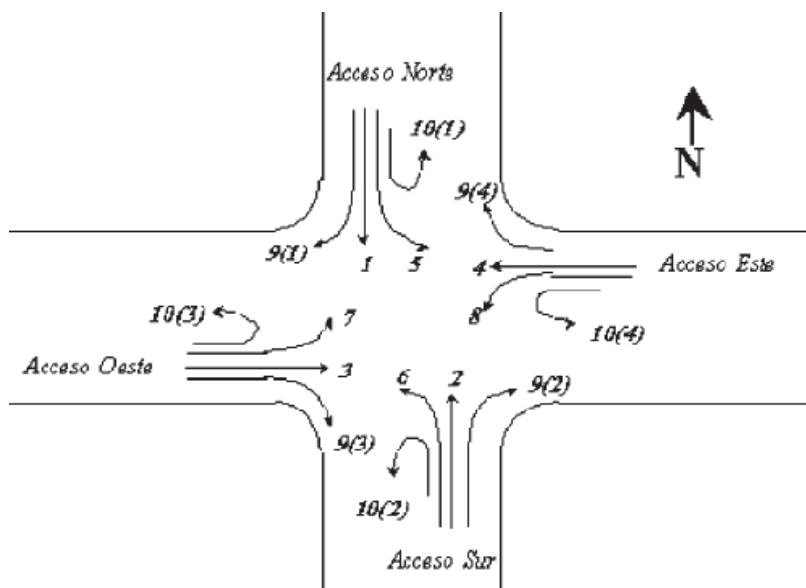
Adicionalmente, si en un movimiento se presenta la opción de circulación por más de una calzada, se agregó al final una letra para diferenciarlo.

Tabla 3-3. Codificación de los movimientos vehiculares típicos de una estación de aforo.

Acceso	Movimiento	Código	Acceso	Movimiento	Código
Norte	Directo	1	Oeste	Directo	3
	Giro Izquierdo	5		Giro Izquierdo	7
	Giro Derecho	9(1)		Giro Derecho	9(3)
	Giro en "U"	10(1)		Giro en "U"	10(3)
Sur	Directo	2	Este	Directo	4
	Giro Izquierdo	6		Giro Izquierdo	8
	Giro Derecho	9(2)		Giro Derecho	9(4)
	Giro en "U"	10(2)		Giro en "U"	10(4)

Fuente: Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte. Secretaría de Tránsito de Santafé de Bogotá (2005) – Cal & Mayor y Asociados S.C.

Figura 3-5. Nomenclatura para los movimientos vehiculares en una intersección.



Fuente: Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte. Secretaría de Tránsito de Santafé de Bogotá (2005) – Cal & Mayor y Asociados S.C.

El aforador durante periodos de 15 minutos, registrará el paso de cada vehículo en el formato, trazando una línea en la celda correspondiente, formando cuadros con una

diagonal (cada cuadro se encuentra formado por cinco líneas que representan cinco, diez, veinte o cincuenta vehículos, dependiendo de la magnitud del flujo vehicular); posteriormente se contabilizará el total de cuadros por periodo y por tipo de vehículo. El aforador en la casilla de observaciones anotará la equivalencia de cada línea, de no aparecer este dato se entiende que cada línea representó un vehículo.

- **Análisis de información**

La información consignada en los formatos diseñados, se clasificará según fecha y período de aforo. Esta clasificación permitirá un manejo eficiente y adecuado de los datos en el proceso de oficina.

Las hojas de campo con la información recopilada durante el período de aforo, una vez organizadas, serán revisadas por personal auxiliar en oficina; de esta manera se garantizará el proceso de depuración de la información, minimizando la posibilidad de transcribir datos erróneos o inconsistentes.

Posteriormente, la información se transcribirá a medio magnético, con un estricto control de calidad, con el objeto de identificar posibles errores e implantar los correctivos necesarios en su momento oportuno.

Por último, la información obtenida al final de este proceso se organizará en bases de datos, entregándose a la Entidad los datos de campo en archivos del tipo MS – Excel.

Una vez analizada la información entregada por el IDU y la SDM, además de la recopilada en campo, se establecerán tramos homogéneos que permitan indicar mediante diagramas de carga los corredores, sus volúmenes y su composición vehicular.

Con base en lo anterior, se procederá a calcular la muestra estadística de vehículos necesaria en cada uno de los sitios de pesaje. Esta muestra será función del volumen de vehículos pesados en un periodo específico y de su composición.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA APLICADA AL PAVIMENTO

Esta sección incluye la metodología aplicada para caracterizar los vehículos pesados y la carga que aplican a la estructura de pavimento en los tramos homogéneos establecidos en la caracterización del tránsito.

3.3.1 INFORMACIÓN EXISTENTE

Como fuente de información secundaria, en el tema de pesaje, se tomará la existente y disponible de estudios de carga y logística realizados recientemente para la SDM. Esta información será utilizada como elementos de comparación y de soporte para la caracterización del pesaje de los vehículos, sin embargo, no se utilizará para el cálculo de los espectros de carga ni los valores de CAM.

3.3.2 INFORMACIÓN A RECOPIRAR EN CAMPO

En el desarrollo del operativo de pesaje se ejercerán las siguientes actividades generales:

- **Identificación de los puntos de pesaje.**

Una vez identificados los tramos homogéneos, el punto de pesaje de cada uno de ellos se ubicará en un sitio donde genere el menor impacto al tránsito vehicular que circula, para lo cual, se implementará un Plan de Manejo de Tránsito (PMT) previamente aprobado por la SDM. Este operativo de pesaje dependerá de factores particulares de cada tramo en análisis, sin embargo, es claro que dentro de sus características generales se encuentra el apoyo de las autoridades de tránsito de la ciudad, la localización de los sitios de pesaje alejado lo mayor posible de intersecciones semaforizadas, entre otras consideraciones que buscan el menor impacto en la movilidad de los vehículos.

A continuación se listan las actividades generales en el desarrollo de un operativo de pesaje.

- Calibración de la báscula por una empresa debidamente certificada por la Superintendencia de Industria y Comercio.
- Señalización del sitio del operativo.
- Recibo y Transporte del equipo de pesaje
- Instalación del equipo en el sitio donde se realizará el Operativo.
- Pesar por eje todos los vehículos
- Procesar la información recolectada (grabar)

Se llevará la información a hojas electrónicas Microsoft Excel, según modelo del programa licenciado para esta consultoría.

3.4 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA CAM

3.4.1 DEFINICIÓN Y CÁLCULO DEL CAM

La Agresividad (A) es función del daño por fatiga producido en la estructura de pavimento. Esto corresponde al daño producido por el paso de un eje con carga P, con respecto al daño producido por el paso del eje de referencia.

La Agresividad A con base a la metodología propuesta en “*Conception et Dimensionnement des structures de Chaussée, Guide technique*” (1994) se expresa de manera analítica como:

$$A = k \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^\alpha$$

Donde:

- : es el coeficiente que define el tipo de eje que se está evaluando (simple, tándem o trídem), las distancias entre ejes se define que debe ser mayor a 2 m.
- : dependen de la naturaleza de los materiales que componen la estructura de pavimento. Los valores promedio de estos coeficientes se presentan en la Tabla 3-4.
- : Carga del eje medido

: Carga del eje de referencia

Tabla 3-4. Valores promedio de k y α para calcular el coeficiente de agresividad

Tipo de pavimento				
		eje simple	eje tandem	eje tridem
Pavimentos flexibles	4	1	0.75	1.1
Pavimentos rígidos	12	1	12	113

Fuente: Conception et Dimensionnement des structures de Chaussée (1994)

La agresividad de un solo vehículo es la sumatoria de la agresividad de cada uno de sus ejes.

Agresividad de un tráfico dado

Conociendo el histograma de cargas por tipo de eje en un tráfico dado, la agresividad de ese tráfico es cuantificada por el coeficiente CAM, correspondiente a la agresividad media de los vehículos pesados que componen este tráfico en comparación con el eje de referencia, se expresa (*“Conception et Dimensionnement des structures de Chaussée”*, 1994):

$$CAM = \frac{1}{VP_{PC}} \left[\sum_i \sum_{j=1}^3 k_j n_{ij} \left(\frac{P_i}{P_{ref}} \right)^\alpha \right]$$

Donde

- : Vehículos pesados medidos en el periodo de pesaje
- : Coeficiente correspondiente al tipo de eje
- : Número de ejes de tipo y carga

3.4.2 ANÁLISIS DE LA VIDA ÚTIL EN LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

Con el fin de estudiar la influencia en el comportamiento mecánico de las estructuras de pavimento se comparará la vida útil de las estructuras con los CAM normalizados para la norma vigente y los calculados para el espectro de carga real.

Para determinar la vida útil de las estructuras de pavimento se empleará el método de dimensionamiento de estructuras de pavimentos propuesto en *“Conception et Dimensionnement des structures de Chaussée”*, 1994 el cual permitirá determinar los niveles de esfuerzo y deformación para cada una de las capas de las estructuras de pavimento.

El método mecanicista supone que la estructura del pavimento está conformada por n capas de espesores finitos (a excepción de la más profunda), cuyo espesor es infinito.

Se supone además que los materiales tienen un comportamiento elástico lineal. Adicionalmente cada capa de un pavimento se caracteriza por cinco parámetros:

- El espesor, h_i .
- El módulo de Young, E_i .
- La relación de Poisson, ν_i .
- La adherencia con las capas vecinas.
- Contacto sin deslizamiento entre las capas

Para determinar la vida útil de las estructuras se deberá conocer las leyes de fatiga correspondientes a las variables críticas de acuerdo al tipo de material. A continuación se presentan las ecuaciones de trabajo para la determinación de estas variables presentadas en el método de dimensionamiento de pavimentos propuesto por LCPC (1994) en el *"Conception et Dimensionnement des structures de Chaussée"*:

- a) La deformación admisible vertical ε_z en la sub-rasante para un tráfico promedio diario de camiones mayor a 150 se describe como:

$$\varepsilon_{z \text{ adm}} = 0.012(NE)^{-0.222}$$

- b) Deformación relativa de tracción por flexión ε_t en la base de las capas de materiales tratados con ligantes asfálticos se define como:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_6 \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b K_r K_c K_s$$

$$\varepsilon_6 = \varepsilon_6(\theta = 15, f) K_t$$

- c) El esfuerzo σ_t en la base de las capas de materiales tratados con ligantes hidráulicos y capas de concreto hidráulico (LCPC, 1994):

$$\sigma_t = \sigma_6 \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b K_r K_s K_c$$

Donde:

NE : es el número de repeticiones de carga de un eje estándar.

ε_t : es la deformación admisible de la capa asfáltica

ε_6 : es la deformación correspondiente a 10^6 ciclos en la ley de fatiga.

σ_6 : es el esfuerzo de rotura por flexión correspondiente a 10^6 ciclos en la ley de fatiga.

b : es la pendiente de la ley de fatiga

K_t : es un coeficiente que depende de la temperatura.

K_s : es un coeficiente de reducción que tiene en cuenta la heterogeneidad del suelo de sub-rasante.

K_c : es un factor de ajuste de los resultados del modelo de cálculo para el comportamiento observado en calzadas del mismo tipo.

K_r : es un factor de reducción que depende de la probabilidad de falla

$$K_r = 10^{-ubd}$$

Donde:

u : es el fráctil de la ley normal estándar

d : es la dispersión total de la ley de fatiga y de los espesores dada por:

$$d = \sqrt{\sigma_N^2 + \left(\frac{C^2}{b^2}\right)\sigma_H^2}$$

En ésta expresión C es una constante igual a 0.02 para materiales asfálticos y σ_N y σ_H son las desviaciones estándar de la ley de fatiga y de los espesores respectivamente.

Teniendo en cuenta que se quiere determinar la influencia del incremento de cargas y no la influencia de la calidad de los materiales se utilizará $K_r=1$ que corresponde a una probabilidad de falla de 50%.

Una vez calculados los niveles de esfuerzo y deformación para las estructuras de pavimento se obtendrá la vida útil.

La metodología de análisis de CAM y dimensionamiento de estructuras de pavimentos de Laboratoire Centrale de Ponts et Chaussées presentada en el documento "*Conception et Dimensionnement des structures de Chaussée*"(1994) se toma como marco teórico en este concepto ya que esta guía técnica se fundamenta en evaluar una gran diversidad de técnicas de pavimentos, similares a las utilizadas en nuestro contexto distrital, así como en enfatizar por un desarrollo de conocimiento y técnicas de innovación sobre los materiales y los métodos de construcción de pavimentos actuales.

3.4.3 CÁLCULO DE DAÑO UNITARIO

Con los datos de composición vehicular y los pesos de los vehículos obtenidos se determinará el daño unitario de acuerdo con lo propuesto por Miner en 1945:

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{\sum VP} \times \sum n_i \left(\frac{\varepsilon_i k_i k_c}{\varepsilon} \right)^{1/b} \times 10^{-6}$$

Donde

n_i : es el número de ejes

VP : es el número de vehículos pesados durante el período de conteo

El incremento del daño es la relación de los resultados obtenidos con los espectros de carga originales y los obtenidos con los espectros de carga medidos.

La relación para estimar el incremento del daño se presenta a continuación.

$$\text{Factor de Incremento de Daño} = \frac{\frac{1}{\text{Daño Unitario Medio}(\text{espectro modificado})}}{\frac{1}{\text{Daño Unitario Medio}(\text{espectro original})}}$$

3.4.4 ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO CARACTERÍSTICAS

En función al objetivo principal del estudio y teniendo en cuenta la variabilidad de estructuras de pavimento flexible y rígido que se pueden encontrar en los segmentos viales, se determinará el factor de daño tipo para cada configuración de eje y carga, el cual se expresara como la pérdida de vida útil del pavimento debido a este aumento en el CAM.

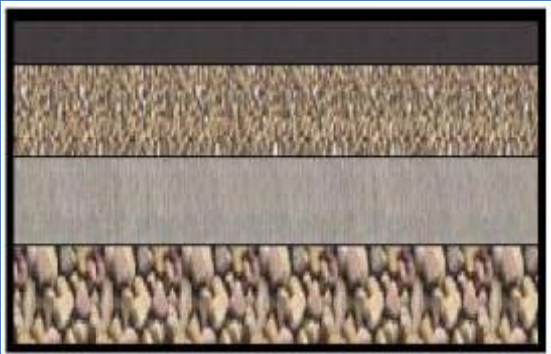
Sin embargo, se propone realizar modelaciones de estructuras de pavimento (flexible y rígido) variando los valores de módulo de acuerdo a los conocidos para la ciudad de Bogotá.

Se analizarán estructuras para cada tipo de pavimento (flexible y rígido), el objeto de estas modelaciones es determinar el daño que producen las cargas variando los módulos de las capas estructurales y teniendo como constante el espesor de las capas, de esta manera se tendrán curvas de respuesta de agresividad, generando un análisis de sensibilidad de acuerdo a la estructura evaluada.

Las características mecánicas de los materiales granulares utilizados para realizar los cálculos en las diferentes estructuras de pavimento seleccionadas son el módulo de Young, la relación Poisson y la ley de fatiga. El valor de la relación de Poisson para la capa asfáltica se toma igual a 0.35 y para las capas granulares se toma un valor de 0.30

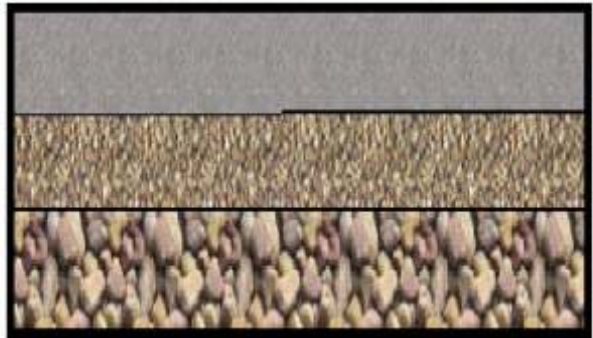
Se proponen las siguientes estructuras de pavimentos flexibles y rígidos para determinar la vida útil y el daño para las cargas encontradas. Los valores de módulos de acuerdo al tipo de estructura se presentan a continuación:

Tabla 3-5. Estructura típica y rangos de módulos para estructura de pavimento flexible

	Capa estructural	Módulo (MPa)	Espesores (cm)
	Concreto asfáltico	2000- 3000	13
	Base granular	400-600	25
	Sub-base granular	150-200	25
	Sub-rasante	60-80	30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-6. Estructura típica y rangos de módulos para estructura de pavimento rígido.

	Capa estructural	Módulo (MPa)	Espesores (cm)
	Concreto hidráulico	18000-30000	25
	Subbase granular	150-200	25
	Subrasante	60-80	30

Fuente: Elaboración propia.

En las estructuras propuestas se idealiza que la sub-rasante debe ser mejorada o estabilizada si no tiene un módulo mínimo de 50 MPa; se toman un rango de 60-80 MPa debido a que ese es el módulo promedio alcanzado en una sub-rasante estabilizada con rajón.

3.4.5 MODELACIÓN DEL PAVIMENTO

Para el cálculo de los esfuerzos y las deformaciones de la estructura de pavimento se emplearán las cargas reales obtenidas en las estaciones de pesaje. Se tomarán las estructuras reportadas por el IDU en los corredores a estudiar o en su defecto estructuras típicas con valores de módulo y espesores antes mencionados.

Con las cargas medidas se obtiene el valor de la presión de contacto (dada en MPa) se expresa a continuación:

$$P = \pi q_o a^2$$

Donde:

- P : Presión de contacto
 q_o : Carga medida
 a : el valor del radio de carga

Este parámetro junto con los valores de módulo y espesores se introducen al modelo de cálculo de esfuerzos y deformaciones. Se empleará el programa DEPAV de la Universidad del Cauca para realizar los cálculos.

3.4.6 PORCENTAJE DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES Y RÍGIDAS

El porcentaje de estructuras se define de acuerdo a la priorización de los corredores definidos por el análisis de tránsito. Cabe notar que en un corredor puede existir solo una tipología de estructura de pavimento la cual será la única estudiada.

4 DESARROLLO DEL CONCEPTO NO. 10 – ESPECTROS DE CARGA

4.1 ANTECEDENTES NORMATIVOS DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE CARGA EN COLOMBIA

En este capítulo se describen algunos aspectos importantes sobre la normatividad, reglamentación y control al transporte terrestre de carga tanto en el territorio nacional colombiano como en la ciudad de Bogotá D.C. con respecto a los pesos permitidos a los vehículos que circulan sobre la red vial nacional y la red vial de la ciudad de Bogotá.

4.1.1 NORMATIVIDAD NACIONAL

4.1.1.1 Ley 105 de 1993

En Colombia la ley 105 de 1993 conocida a su vez como la “Ley del transporte” dicta las disposiciones básicas sobre el transporte, distribuye competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales y reglamenta la planeación en el sector transporte, entre otras disposiciones. Es esta ley la que define, en primera instancia, la función de planeación, control, regulación y vigilancia del Estado frente al transporte y las actividades vinculadas con este.

Con respecto al control del transporte de carga por parte del estado, la ley 105 hace una primera referencia en su artículo 3 en el numeral 6 - DE LA LIBERTAD DE EMPRESA – a la capacidad del gobierno nacional de establecer condiciones técnicas para la prestación de este servicio.

(...) “El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Transporte o sus organismos adscritos reglamentará las condiciones de carácter técnico u operativo para la prestación del servicio, con base en estudios de demanda potencial y capacidad transportadora.

El Gobierno establecerá los lineamientos para que el transporte de carga se lleve a cabo bajo condiciones de seguridad y eficiencia. Igualmente no existirán restricciones para rutas y frecuencias, estas serán determinadas por el mercado. El Gobierno Nacional podrá establecer condiciones técnicas y de seguridad para la prestación del servicio y su control será responsabilidad de las autoridades de tránsito”².

4.1.1.2 Ley 336 de 1996

La Ley 336 de octubre 20 de 1996, por la cual se adopta el estatuto nacional de transporte, unifica los principios y los criterios que servirán de fundamento para la regulación y reglamentación del Transporte Público Aéreo, Marítimo, Fluvial, Férreo, Masivo y Terrestre y su operación en el Territorio Nacional, de conformidad con la Ley 105 de 1993, y con las normas que la modifiquen o sustituyan.³ Esta ley establece, con respecto al transporte de carga, las sanciones y procedimientos que se pueden llevar a cabo para cualquier modo de transporte si llegasen a incumplir con la reglamentación vigente que sobre el transporte dispongan las autoridades competentes. Esta ley, en el

² Ley 105 de 1993

³ Ley 336 de 1996

capítulo 9-Artículo 46 en su literal d) define con respecto al control de pesos y dimensiones de los vehículos lo siguiente:

Artículo 46.- *Con base en la graduación que se establece en el presente artículo, las multas oscilarán entre 1 y 2000 salarios mínimos mensuales vigentes teniendo en cuenta las implicaciones de la infracción y procederán en los siguientes casos: (...)*

d) En los casos de incremento o disminución de las tarifas o de prestación de servicios no autorizados, o cuando se compruebe que el equipo excede los límites permitidos sobre dimensiones, peso o carga, eventos en los cuales se impondrá el máximo de la multa permitida.

Asimismo, en el artículo 49 en su literal f) define que en el caso en que los vehículos les sean comprobados que el equipo excede los límites permitidos sobre dimensiones, peso o carga, se procederá a la inmovilización o retención de estos.

4.1.1.3 Ley 769 de 2002

La ley 769 de 2002 conocida también como el código nacional de tránsito terrestre establece, con respecto a la reglamentación sobre los pesos de los vehículos en su Capítulo III, que todos los vehículos deben someterse a lo que el ministerio de transporte reglamente sobre las dimensiones y pesos permitidos para los vehículos.

ARTÍCULO 29. DIMENSIONES Y PESOS. *Los vehículos deberán someterse a las dimensiones y pesos, incluida carrocería y accesorios, que para tal efecto determine el Ministerio de Transporte, para lo cual debe tener en cuenta la normatividad técnica nacional e internacional.*

4.1.1.4 Resolución 4100 de 2004

El Ministerio de Transporte atendiendo lo dispuesto en las leyes 105 de 1993, y 769 de 2002 expide la resolución 4100 de 2004, por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional. Esta resolución define las dimensiones y pesos para las diferentes tipologías de vehículos de transporte de carga, tanto en el peso bruto vehicular como el máximo peso por ejes permitido para los vehículos que transitan por la red vial nacional. Su diseño, según reporta esta resolución, se hizo teniendo en cuenta los acuerdos que sobre este aspecto ha suscrito la república de Colombia con la Organización mundial de comercio (OMC) y la comunidad andina de naciones (CAN), y lo establecido en la Norma Técnica Colombiana 4788, atendiendo de esta manera lo ordenado por la ley 769 de 2002 con respecto a la atención a la normatividad técnica nacional e internacional.

Es esta resolución la que explícitamente exige a todos los vehículos de transporte terrestre de carga que transitan por el territorio nacional, a las empresas ensambladoras, fabricantes y/o importadores de vehículos de transporte de carga, acogerse a lo estipulado en ésta con respecto a los pesos y dimensiones para las diferentes tipologías de vehículo.

Por esta razón, esta resolución junto con la resolución modificatoria 1782 de 2009 serán las normas guía para el desarrollo de los análisis involucrados en este estudio con respecto al control de pesos que tienen los vehículos de transporte terrestre de carga en Colombia.

4.1.1.5 Resolución 1782 de 2009

Esta resolución tiene como propósito la modificación del artículo 8 de la resolución 4100 de 2004 atendiendo el resultado de un estudio sobre la posibilidad de aumentar la capacidad de carga de los camiones tipo 2.

El Ministerio de Transporte en la resolución 2501 de Febrero 22 de 2002, el artículo tercero transitorio autorizó que los pesos brutos vehiculares máximos para los camiones 2 y 3 fueran de 19 toneladas y 30 toneladas respectivamente; mientras se realizaba un estudio sobre incidencia del incremento del peso bruto vehicular en la red vial nacional.

El Ministerio de Transporte en acuerdo con el Centro de investigación de Materiales y Obras Civiles (CIMOC), de la Universidad de los Andes, realizó un estudio que tenía como objetivo principal determinar el impacto del incremento de 17 a 19 toneladas y de 28 a 30 toneladas, en los pesos brutos vehiculares para los camiones C2 y C3 respectivamente, sobre la vías a nivel nacional.

Este estudio concluye lo siguiente:

... "con respecto al efecto del incremento en las cargas establecidas sobre la estructura de los puentes de la red nacional vial principal se puede concluir que la incidencia de estas es mínima principalmente debido a que el diseño de puentes está controlado en la mayoría por las cargas máximas de diseño que en general son superiores a las cargas aumentadas autorizadas (camiones C2 y C3). Además, se encuentra que en los puentes metálicos, para los cuales el diseño si contempla un análisis simplificado de fatiga la incidencia de este incremento en las cargas es mínimo o despreciable ya que en general se consideran ciclos globales de carga, independientemente de la magnitud de la misma".

Finalmente, de acuerdo con la resolución 1782 del 8 de Mayo de 2009, queda establecido el cambio del peso bruto vehicular para el camión tipo 2, de 16 a 17 toneladas.

4.1.2 NORMATIVIDAD EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

La ciudad de Bogotá no cuenta con una normatividad específica para el control de pesos de similares características a lo presentado por la resolución 4100 de 2004 con sus resoluciones modificatorias. Sin embargo, ha desarrollado lineamientos generales para el tránsito de vehículos de transporte de carga por la red vial a cargo del distrito. En el tema de control del transporte de carga en el distrito, la ley 336 de 1996 en su capítulo 3, artículo 57 expresa que *cada autoridad municipal o distrital decidirá lo relacionado con la utilización de su propia infraestructura de transporte, a menos que por la naturaleza y complejidad del asunto, el Ministerio de Transporte asuma su conocimiento para garantizar los derechos del usuario al servicio público. Cuando el servicio sea intermunicipal, será competencia del Ministerio de Transporte*⁴.

Bajo estos criterios, el alcalde mayor de Bogotá, D.C., decreta mediante el decreto 034 de 2009, condiciones para el tránsito de vehículos de carga en el área urbana del Distrito Capital que a continuación se transcribe en su totalidad dado lo detallado y explícito de sus artículos.

⁴ Ley 336 de 1996. Estatuto Nacional de Transporte.

4.1.2.1 Decreto 034 de 2009⁵

(Febrero 05)

"Por el cual se establecen condiciones para el tránsito de vehículos de carga en el área urbana del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones"

EL ALCALDE MAYOR DE BOGOTÁ, D.C., en uso de sus atribuciones constitucionales y legales, especialmente las conferidas entre otras, por los numerales 1º, 4º y 20 del artículo 38 Decreto Ley 1421 de 1993, artículos 3º y 6º de la Ley 769 de 2002, y,

CONSIDERANDO:

Que el Alcalde Mayor es autoridad de tránsito de acuerdo con lo señalado en el artículo 3 de la Ley 769 de 2002, Código Nacional de Tránsito.

Que de acuerdo con el inciso 2º del párrafo 3º del artículo 6 de la Ley 769 de 2002, los alcaldes se encuentran facultados para tomar las medidas necesarias para el mejor ordenamiento del tránsito de personas, animales y vehículos por las vías públicas.

Que el Alcalde Mayor de Bogotá expidió el Decreto 112 de 1994, por el cual se fijan los lineamientos para el tránsito de vehículos de carga e industriales, en el área urbana del Distrito Capital.

Que la circulación de los vehículos de carga representa un riesgo mayor que la del resto de vehículos, dadas sus dimensiones, pesos y características de maniobra.

Que la Secretaría Distrital de Movilidad realizó el estudio "Centros de Actividad Logística de Carga para Bogotá" que permitió clasificar las áreas de destino de vehículos de transporte de carga por carretera y las tipologías de vehículos destinados a tal actividad, y tomar medidas para los mismos que les permitan alcanzar su destino en las zonas de actividad industrial autorizada en la ciudad.

Que la Dirección de Transporte e Infraestructura de la Secretaría Distrital de Movilidad realizó un estudio de mercado para conocer la tipología actual de vehículos de reparto urbano, el cual demostró que tales rodantes alcanzan una capacidad de carga hasta siete (7) toneladas, con lo cual debe revisarse el límite de carga útil de cinco (5) toneladas establecido en el Decreto 112 de 1994.

Que se hace necesario fijar condiciones de tráfico que concilien los intereses de la seguridad vial de los ciudadanos con la necesidad de aumentar la productividad y la competitividad de las áreas industriales de la ciudad; con la protección de la malla vial; y con los preceptos específicos que el Plan Maestro de Movilidad consagra para el Distrito Capital.

Que deben tomarse medidas que garanticen la movilidad de la ciudad, en procura de un uso más eficiente de los recursos, equipos e infraestructura, que además de mejorar las condiciones de circulación, permita reducir los costos de distribución y transporte para sus habitantes.

Que existen mercancías perecederas o de naturaleza especial que deben entregarse en períodos de tiempo determinados, cuyo transporte amerita un tratamiento diferencial al previsto para los demás vehículos.

En mérito de lo expuesto,

⁵ Tomado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=34947>

DECRETA:

CAPÍTULO PRIMERO

RESTRICCIONES AL TRÁNSITO PARA VEHÍCULOS DE CARGA

Artículo 1º.- RESTRICCIÓN AL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS DE CARGA:

Restringir el tránsito de vehículos cuya capacidad de carga supere las siete (7) toneladas, de lunes a viernes, hábiles, entre las 6:30 y las 9:00 horas y entre las 17:00 y las 19:00 horas, al interior del siguiente perímetro:

Punto de inicio: Límite oriental de la ciudad por la Calle 170 al Occidente, hasta la Avenida Boyacá, de allí al Sur hasta la Avenida Primero de Mayo y de allí al oriente hasta el límite de la ciudad.

Parágrafo.- Estarán exceptuados de la restricción establecida en el presente artículo los siguientes vehículos, los cuales deberán portar los distintivos y/o documentos correspondientes:

1. Los de emergencia.
2. Los de transporte de valores; alimentos y bebidas; animales vivos, y oxígeno hospitalario.
3. Los operativos de las empresas de servicios públicos domiciliarios.
4. Los de transporte de materiales y maquinaria para obras públicas que se encuentren en servicio.

Artículo 2º.- ZONA DE LIBRE CIRCULACIÓN. Habilitar las siguientes zonas para la libre circulación de vehículos de carga, sin límite de capacidad, de conformidad con el plano anexo, que se integra al presente decreto.

1. Toberín: Calle 170- Carrera 16 al sur – Calle 164 – Carrera 20 al norte- Calle 170.

2. Montevideo, Puente Aranda, Zona Industrial, Cundinamarca: Avenida Boyacá por Avenida de la Esperanza- Avenida de la Esperanza al Oriente - Avenida de las

Américas al Oriente, Troncal NQS al Sur, Avenida Calle 3 al Occidente – Avenida Carrera 68 al norte - Avenida de las Américas al Occidente hasta Avenida Boyacá.

Paloquemao, Ricaurte: Avenida NQS con Calle 23 al Oriente, Carrera 22 al Sur, Calle 13 al Occidente, Carrera 24 al sur, Avenida Sexta al Occidente hasta Troncal NQS.

Parágrafo.- Los vehículos de carga extradimensionada y extrapesada estarán sujetos a las disposiciones nacionales y distritales específicas, dictadas para los mismos.

Artículo 3º.- CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS DE CARGA EN MALLA VIAL LOCAL: La circulación de vehículos con capacidad de carga superior a las siete (7) toneladas por la malla vial local de la ciudad de Bogotá, por fuera de los perímetros exceptuados de tratamiento de restricción en los artículos anteriores de este Decreto, estará sujeta a la inscripción previa, de carácter gratuito y por medios tecnológicos, de las condiciones del equipo de transporte y de la carga.

Parágrafo 1º.- Se exceptúan de la inscripción antes prevista, los vehículos de emergencia; los de transporte de valores; los de transporte de materiales y maquinaria de obras públicas que se encuentren en servicio, y los de servicios públicos domiciliarios, los cuales deberán portar los distintivos y/o documentos correspondientes.

Parágrafo 2º.- Para los efectos del presente Decreto, entiéndase como malla vial local aquella cuyo ancho sea inferior a dieciséis (16.00) metros, las ubicadas en zonas de uso residencial y las que se encuentren expresamente señalizadas con prohibición para la circulación de vehículos de carga.

Parágrafo 3º.- La Secretaría Distrital de Movilidad definirá las condiciones de inscripción a que hace referencia el presente artículo, dentro de los seis (6) meses siguientes a la expedición de este Decreto.

Artículo 4º.- DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL Y/O DE CONSTRUCCIÓN: Los vehículos y maquinaria industrial y/o de construcción no podrán circular en las vías abiertas al público en el Distrito Capital y deberán ser movilizados en vehículos de transporte de carga, de acuerdo con las condiciones del artículo siguiente.

Artículo 5º.- TRANSPORTE DE MAQUINARIA Y/O DE VEHÍCULOS DE CONSTRUCCIÓN. La movilización de vehículos y maquinaria industrial y/o de construcción deberá efectuarse entre las 22:00 horas y las 5:00 horas del día siguiente.

Los vehículos articulados que transporten maquinaria deberán desplazarse junto con vehículos acompañantes en la parte delantera y trasera de acuerdo con las exigencias previstas por la reglamentación nacional vigente aplicable para carga extradimensionada o extrapesada.

Parágrafo 1º.- Para los fines del presente decreto, entiéndase por maquinaria industrial y/o de construcción, la diseñada para tales operaciones y que posee mecanismos de locomoción.

Parágrafo 2º.- El transporte de maquinaria destinada a obras públicas no estará sujeto a las limitaciones de horario del presente artículo, pero deberá atender, en todo caso, las condiciones restantes para su desplazamiento por fuera de la obra, cumpliendo además, las exigencias del Plan de Manejo de Tránsito correspondiente, el cual deberá contener estrictas medidas de seguridad para tales eventos.

Artículo 6º.- TRASLADO DE ESCOMBROS: Los vehículos que trasladen escombros deberán contar con los documentos exigidos por la autoridad ambiental y con una identificación visible desde el exterior del vehículo que señale la dirección de la obra, el número de contrato si lo hubiere, y el nombre y teléfono de la entidad contratante o del propietario de los escombros.

En los casos de brigadas de aseo y limpieza no se requerirá la descripción del recorrido, pero el conductor deberá portar documento expedido por el contratante de la carga, el cual debe describir los vehículos y el lugar de origen, así como el nombre, dirección y teléfono del contratante.

Artículo 7º.- CIRCULACIÓN DE MONTACARGAS: Los montacargas no podrán transitar cargados por las vías públicas.

Los montacargas, debidamente inscritos en el registro nacional automotor, circularán por el carril derecho de la vía, en la calzada lenta o externa, utilizando protectores en las horquillas, cintas reflectivas en los cuatro extremos del vehículo, no podrán llevar pasajeros y su conductor deberá emplear el cinturón de seguridad y un casco protector.

Toda maniobra de cargue o descargue que se realice sobre espacio público con el uso de montacargas deberá estar precedida de las medidas de seguridad necesarias, como el aislamiento de la zona de operación, su demarcación y el señalamiento de un corredor para el tránsito de peatones.

Los montacargas no podrán circular en forma autónoma entre las 18:00 y las 06:00 horas del día siguiente.

CAPÍTULO SEGUNDO

CARGUE Y/O DESCARGUE DE MERCANCÍAS

Artículo 8º-: CARGUE Y DESCARGUE SOBRE VÍAS ARTERIAS: No podrán efectuarse maniobras de cargue y/o descargue sobre vías arterias o sobre los accesos, salidas y/o conectantes a éstas en ninguna zona del Distrito Capital.

Cuando el vehículo tenga como punto de destino un predio situado sobre malla vial arterial, deberá ingresar al mismo, o efectuar el cargue o descargue desde un estacionamiento, o desde la vía intermedia o local más cercana, atendiendo en todo caso las previsiones del Código Nacional de Tránsito sobre estacionamiento.

Cuando no sea posible atender ninguna de las posibilidades antes enunciadas y el cargue y/o descargue deba realizarse sobre la malla vial arterial, se efectuará únicamente entre las 21:00 horas y las 06:00 horas del día siguiente, colocando señales reflectivas, a una distancia que permita a los demás usuarios de la vía advertir la presencia del vehículo.

Parágrafo 1º.- Se exceptúan de la restricción antes prevista, los vehículos de emergencia; los de transporte de valores, y los de servicios públicos domiciliarios, los cuales deberán portar los distintivos y/o documentos correspondientes

Parágrafo 2º.- Los destinatarios y/o generadores de carga situados sobre malla vial arterial deberán adecuar los accesos para los vehículos de carga al interior de los predios en la forma dispuesta en el Plan de Ordenamiento Territorial a más tardar dentro del año siguiente a la expedición del presente Decreto.

Para la adecuación de los accesos a los predios deberá darse cumplimiento a las normas urbanísticas.

Parágrafo 3º.- Se entenderán, para los efectos del presente Decreto, como vías arterias las descritas como tales en el Plan de Ordenamiento Territorial, y que se indican en el plano que se integra al presente Decreto.

Parágrafo 4º-: Durante el desarrollo de obras, los vehículos de carga atenderán las condiciones previstas en el Plan de Manejo de Tránsito correspondiente.

Artículo 9º- ZONAS DE CARGUE Y DESCARGUE EN MALLA NO ARTERIAL. En las vías intermedias y locales, el cargue y descargue atenderá simplemente las previsiones sobre estacionamiento señaladas en el Código de Tránsito y las condiciones de señalización en las vías señaladas por la autoridad de tránsito.

CAPÍTULO TERCERO

DISPOSICIONES FINALES

Artículo 10º- SOCIALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS. La Secretaría Distrital de Movilidad adelantará una campaña de divulgación a la ciudadanía, los gremios de transporte de carga, industria y comercio, sobre las medidas tomadas dentro del presente decreto, su alcance y fundamentos técnicos.

Artículo 11º- OBSERVATORIO DEL TRANSPORTE DE CARGA. La Secretaría Distrital de Movilidad liderará la conformación de un observatorio del transporte de carga, al que podrán asistir los gremios de transporte de carga, de construcción, actividades logísticas y los de industria y comercio.

El observatorio se reunirá mensualmente y tendrá entre sus funciones realizar un seguimiento a la efectividad de las medidas del presente decreto, evaluar los aspectos que permitan un incremento de las condiciones de productividad, competitividad y seguridad, así como analizar las medidas tendientes al mejor ordenamiento del transporte de carga, a la disminución de la accidentalidad de tales vehículos, a evaluar las cifras obtenidas en el registro a que se refiere el artículo segundo del presente decreto y a promover, suscribir y hacer seguimiento a acuerdos de corresponsabilidad de los gremios del sector.

Artículo 12º- VIGENCIA Y DEROGATORIAS. El presente Decreto rige a partir del 16 de febrero de 2009 y deroga los Decretos Distritales 112 de 1994 y 397 de 1998.

PUBLÍQUESE, COMUNÍQUESE Y CÚMPLASE.

Dado en Bogotá, D. C. a los 05 días de febrero de 2009

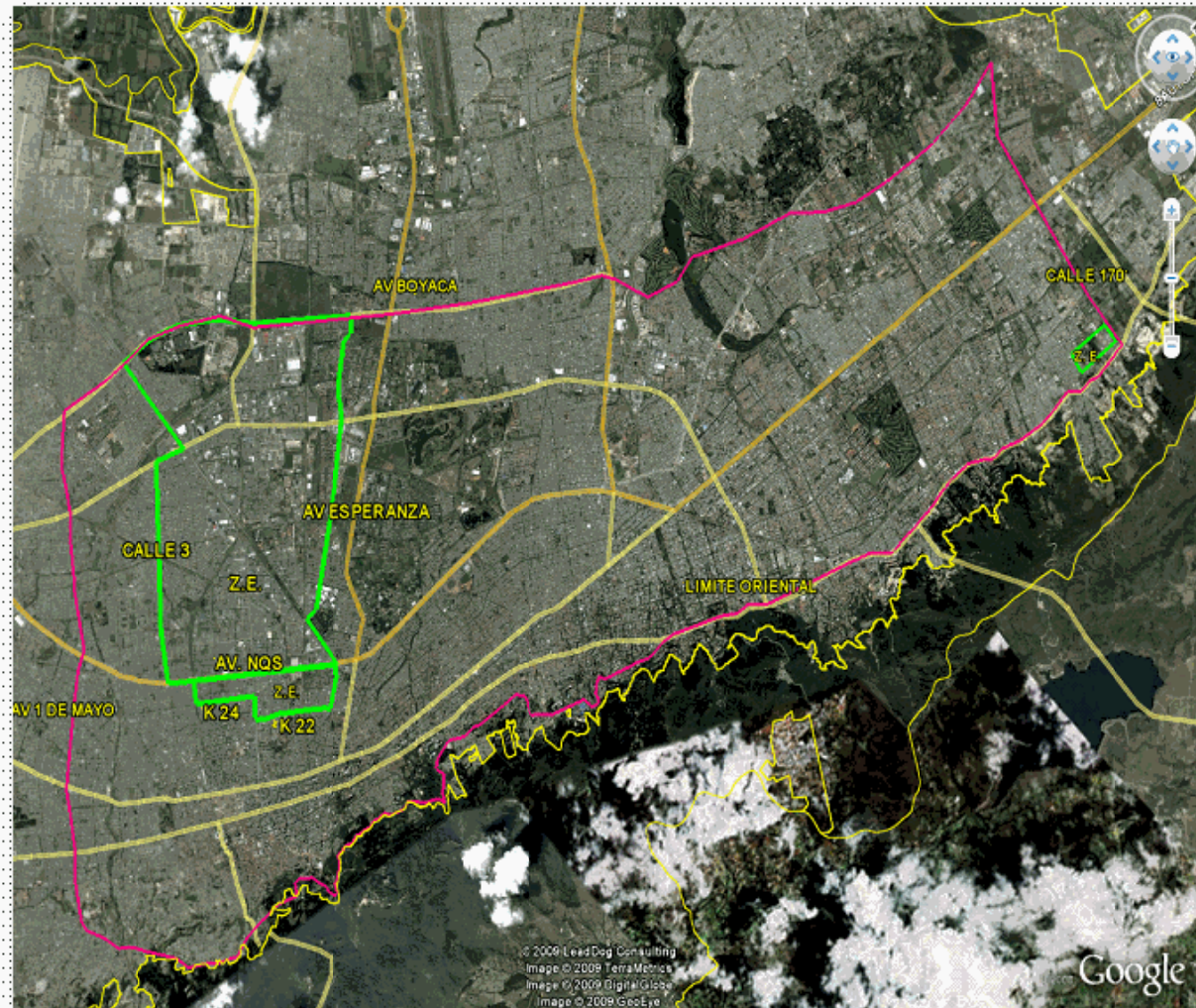
SAMUEL MORENO ROJAS

Alcalde Mayor

FERNANDO ÁLVAREZ MORALES

Secretario Distrital de Movilidad

ZONAS DE CIRCULACIÓN VEHÍCULOS DE CARGA



Límite Rojo:
Zona General
de restricción
(Artículo 1)

Límite verde:
Zona Habilitada
(Artículo 2)

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO

En este numeral se incluye la descripción de la metodología aplicada para caracterizar el tránsito de los vehículos de transporte de carga en la ciudad de Bogotá, a partir de información existente de volúmenes de tránsito tomada bajo el programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte llevado a cabo por la Secretaría Distrital de Movilidad.

4.2.1 ANÁLISIS VOLUMEN VEHICULAR

Con base en la información de monitoreo de la SDM, se ha determinado el volumen vehicular en cada una de las estaciones maestras que posee la ciudad. Este análisis de volúmenes vehiculares se realiza con el fin de determinar los sitios donde se presentan los mayores volúmenes de camiones, para que de esta forma se pueda enfocar la toma de muestras de pesaje en estos sitios. Esta muestra será función de la composición de vehículos pesados y de su distribución a lo largo del día, para poder efectuar la respectiva expansión.

Como resultado de este análisis, se presenta en la Tabla 4-1 los volúmenes vehiculares totales para las estaciones maestras ubicadas en las diferentes localidades de la ciudad de Bogotá, identificando también la distribución porcentual de vehículos livianos y pesados que circulan en un día típico.

En esta Tabla 4-1, se resaltan con diferentes tonalidades de colores los valores de volúmenes vehiculares correspondientes a la columna camiones, donde el color amarillo corresponde a pequeños valores de volúmenes de camiones, el color naranja a los valores de volúmenes medianos, el color rojo a los valores de volúmenes grandes y sin color a aquellos valores de volúmenes de camiones que se consideran despreciables para el propósito del concepto de espectros de carga.

Asimismo, en la Figura 4-1 se presenta de forma gráfica, la localización de las estaciones maestras que reportan mayor flujo vehicular de vehículos pesados, para facilitar la identificación de localidades donde la realización de un análisis de espectros de carga brinde la mayor cantidad de vehículos pesados requeridos como información primaria.

Como se observa a continuación en la Tabla 4-1 y la Figura 4-1, la zona de Bogotá con mayor movimiento de vehículos pesados aforados es la occidental. Además de encontrarse este alto número de vehículos pesados en esta zona, en la localidad de Fontibón es donde este tipo de vehículos tiene mayor circulación, como lo reflejan las estaciones de la Avenida Centenario con: Avenida Ciudad de Cali y Avenida Boyacá.

Dadas estas condiciones, el grupo técnico profesional de la Universidad Nacional de Colombia asignado al proyecto de Espectro de cargas y de acuerdo a reuniones previas con el grupo técnico del IDU, determinó que el concepto de Espectros de Carga para la ciudad de Bogotá se lleve a cabo bajo la siguiente priorización de corredores, en los cuales se puede desarrollar este concepto de acuerdo con el tiempo y el presupuesto disponible:

- PRIORIDAD 1: AV. BOYACÁ – DESDE LA 170 AUTOPISTA HASTA YOMASA.
- PRIORIDAD 2: AV. CIUDAD DE CALI – DESDE CALLE 80 HASTA CORABASTOS.

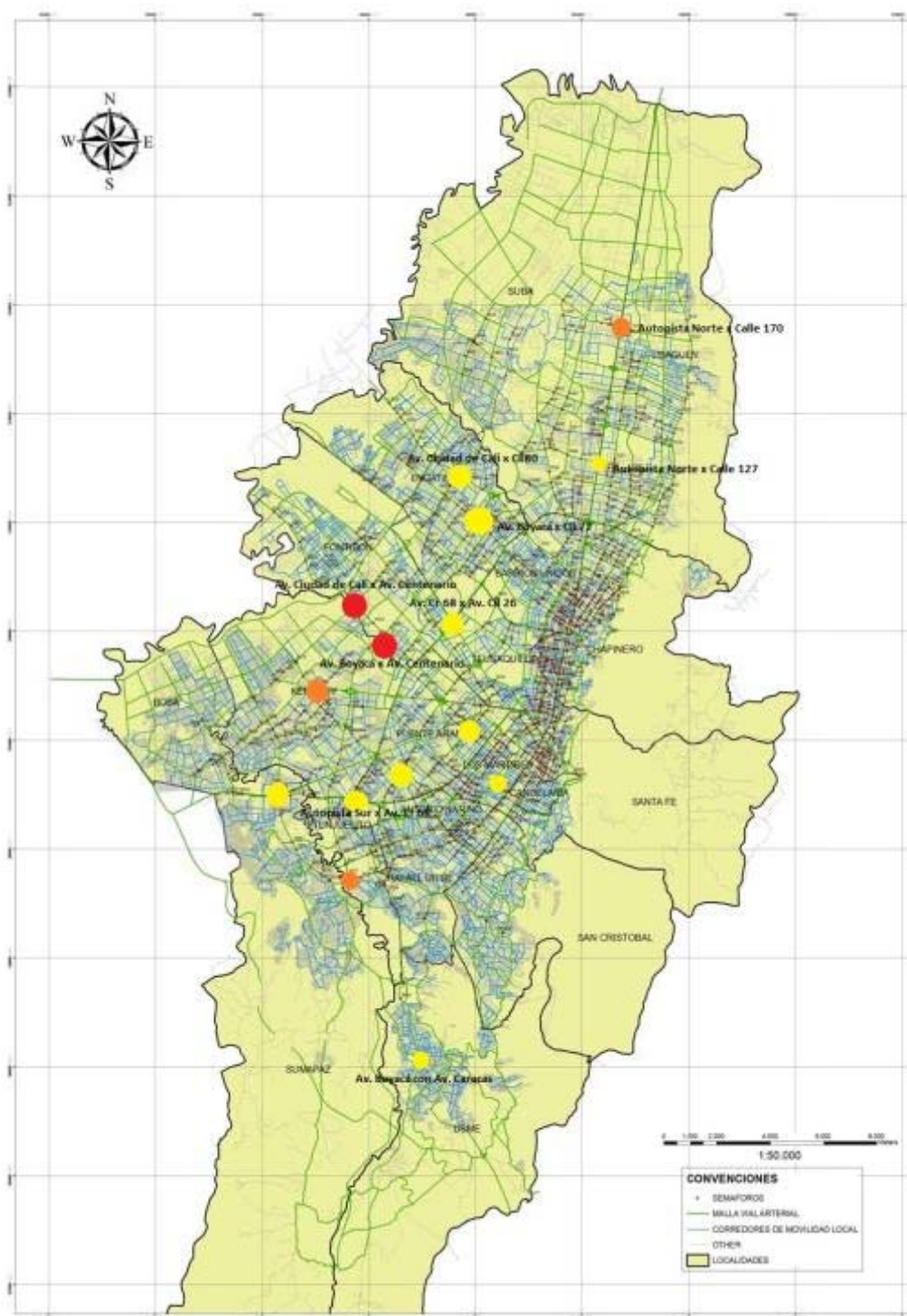
- PRIORIDAD 3: AV. 68 DESDE LA 13 HASTA LA AUTOPISTA SUR.
- PRIORIDAD 4: CARRERA 30 NORTE-QUITO-SUR.

Tabla 4-1. Volúmenes vehiculares totales diarios para las estaciones maestras de aforo.

Zona	Ubicación	Livianos	Buses	Camiones	Volúmen total
1 – Norte	Autopista Norte x Calle 127	254.015 90,46%	19.002 6,77%	7.798 2,78%	280.815 100,00%
	Carrera 7 con Calle 127	67.443 85,81%	9.655 12,28%	1.495 1,90%	78.593 100,00%
	Calle 100 con Carrera 15	84.670 88,20%	10.078 10,50%	1.252 1,30%	96.000 100,00%
	Autopista Norte con Calle 170	148.068 80,38%	25.129 13,64%	11.006 5,97%	184.203 100,00%
	Avenida Cali con Carrera 92	43.446 75,19%	11.412 19,75%	2.925 5,06%	57.783 100,00%
2 – Occidente	Avenida Boyacá x Calle 72	109.241 77,78%	23.639 16,83%	7.560 5,38%	140.440 100,00%
	Avenida Cali con Avenida Centenario	84.964 65,93%	21.931 17,02%	21.979 17,05%	128.874 100,00%
	Avenida Cali con Calle 80	90.466 80,37%	15.815 14,05%	6.275 5,58%	112.556 100,00%
	Avenida Boyacá con Calle 13	120.521 73,07%	27.073 16,41%	17.341 10,51%	164.935 100,00%
	Calle 26 con Carrera 92	84.067 81,20%	13.296 12,84%	6.170 5,96%	103.533 100,00%
3 – Oriental	Carrera 10 x Calle 19	31.402 57,39%	22.528 41,17%	786 1,44%	54.716 100,00%
	Carrera 7 con Calle 45	49.235 83,82%	8.982 15,29%	520 0,89%	58.737 100,00%
	Carrera 10 con Avenida 1° de Mayo	21.117 48,54%	21.257 48,86%	1.129 2,60%	43.503 100,00%
	Carrera 7 con Calle 85	69.573 90,17%	6.598 8,55%	985 1,28%	77.156 100,00%
	Carrera 13 con Calle 53	38.213 82,52%	7.483 16,16%	611 1,32%	46.307 100,00%
4 – Central	Avenida Américas x Carrera 42 - Calle 19	82.952 84,03%	11.359 11,51%	4.401 4,46%	98.712 100,00%
	Calle 100 con Avenida Suba	110.698 87,54%	13.010 10,29%	2.750 2,17%	126.458 100,00%
	Calle 6 con Carrera 24 y 27	75.928 83,54%	11.095 12,21%	3.865 4,25%	90.888 100,00%
	Avenida 1° de Mayo con Transversal 42	70.579 76,81%	16.652 18,12%	4.659 5,07%	91.890 100,00%
	Calle 26 con Carrera 68	173.824 84,28%	26.663 12,93%	5.764 2,79%	206.251 100,00%
5 – Sur	Autopista Sur x Carrera 68	90.478 76,28%	21.698 18,29%	6.441 5,43%	118.617 100,00%
	Av Agoberto Mejía con Av 1° de Mayo	21.835 41,89%	19.719 37,83%	10.567 20,27%	52.121 100,00%
	Avenida Villavicencio con Av Gaitán Cortes	26.400 53,60%	18.700 37,96%	4.157 8,44%	49.257 100,00%
	Av Boyacá con Av Caracas – CAI Yomasa	17.123 58,35%	8.218 28,01%	4.003 13,64%	29.344 100,00%
	Avenida Boyacá con Avenida Villavicencio	41.591 64,09%	14.589 22,48%	8.712 13,43%	64.892 100,00%

Fuente: Elaboración propia con base en los Volúmenes vehiculares Contrato Toma de información de campo para el programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte y para la priorización de intersecciones a semaforizar de Bogotá D.C.- Secretaria Distrital de Movilidad – 2010.

Figura 4-1. Localización de estaciones que reportan flujos vehiculares de camiones importantes en la ciudad de Bogotá.



Fuente: Elaboración propia con base en información cartográfica del IDU.

4.3 CONSIDERACIONES PARTICULARES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE ESPECTRO DE CARGAS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

En este numeral se presentan los cálculos y resultados obtenidos con respecto a la disponibilidad de equipos y de tiempo para el desarrollo del concepto, con el propósito de obtener criterios de decisión para la definición de los corredores donde se realizaría el pesaje de los vehículos de transporte terrestre de carga, con base en el análisis de tránsito en las localidades de la ciudad de Bogotá D.C. e información secundaria disponible.

4.3.1 ANÁLISIS DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS

Luego de un trabajo preliminar, desde el punto de vista comercial y presupuestal, para determinar el número de equipos disponibles y variables que intervienen en la realización del pesaje de los vehículos que transitan por la ciudad de Bogotá, se ha encontrado los siguientes factores en el desarrollo de la actividad de pesaje por ejes de vehículos:

Tiempo de Pesaje: Este es el tiempo desde el instante en que la autoridad de tránsito realiza la parada del vehículo para su ingreso en la báscula, se pesan los diferentes ejes y se da instrucción de salida al vehículo aforado.

Intervalo entre pesajes: Se define como el tiempo en que se espera un vehículo específico para su ingreso al procedimiento de pesaje.

Tiempo Total de Pesaje: se define como la suma entre el *Tiempo de Pesaje* y el *Intervalo entre pesajes*.

Número de Básculas: Es la cantidad de equipos de pesaje disponibles para realizar el operativo de pesaje en la ciudad de Bogotá durante este concepto.

A continuación, se realiza el cálculo del número aproximado de vehículos que se consiguen pesar con los equipos disponibles para el proyecto, de acuerdo al presupuesto previsto para desarrollar todas las actividades que involucran el desarrollo del espectro de cargas para la ciudad de Bogotá.

Tiempo de pesaje (T_p) = 5 minutos

Intervalo entre pesajes (I_p) = 15 minutos

Tiempo total de Pesaje (T_{totalp}) = (5 + 15) minutos = 20 minutos = 0,33 horas/veh.

Número de Básculas (N) = 2

Semanas de operativo de pesaje (S) = 11 semanas

Días operativo de pesaje/semana ($T_{días}$) = 3 días.

Horas – día operativo (H_{do}) = 8 horas

Definidos estos valores, se calculó usando la Ecuación 1 el número de vehículos susceptibles de ser pesados durante el desarrollo del concepto.

Ecuación 1. Número de vehículos a pesar:

Fuente: Elaboración propia.

Dados los anteriores cálculos, se encuentra que en total se tendrá una muestra de 1600 vehículos en la que se obtendría el peso por ejes de cada uno de ellos. Este valor es de gran importancia para el análisis estadístico del proyecto dado que presenta una restricción para el análisis del diseño muestral, el cual se presenta a continuación.

4.4 DISEÑO MUESTRAL.

El presente capítulo, presenta las consideraciones de tipo técnico, operativo y estadístico tenidas en cuenta para la escogencia de la muestra, el método con el que se calcularon los errores muestrales y la confianza global del estudio.

4.4.1 ELEMENTOS EN EL DESARROLLO DEL DISEÑO MUESTRAL

El diseño muestral entonces se dividirá en los siguientes títulos:

a. Consideraciones:

El presente estudio busca establecer el peso¹ de los vehículos, en especial buses y camiones, que pasan por la red arterial y/o corredores de movilidad local (CML) en la ciudad de Bogotá D.C. Esta medición se debe realizar en los dos sentidos viales (donde exista esta condición), teniendo en cuenta cada uno de los tipos de vehículos tipificados en las normas colombianas y asumiendo un número máximo de 1600 muestras (tomas o pesajes)²

A partir de estos requerimientos y en especial el número máximo de muestras, se tiene entonces que considerar el alcance para el desarrollo del espectro de cargas y análisis de coeficiente de agresividad media (CAM) como una fase preliminar o fase 1 de este estudio para la ciudad de Bogotá, que a su vez por ser una fase 1 servirá como insumo para el desarrollo de futuras mediciones en este sentido, dado las particularidades que se exponen a continuación.

En el desarrollo de este concepto, se ha limitado el análisis a los vehículos de transporte terrestre de carga en las tipologías comunes encontradas en el distrito³ (debido a la restricción del número de muestras), que en términos prácticos, se han dispuesto como las nueve (9) primeras categorías presentes en la norma 4100 de 2004 con sus resoluciones modificatorias. Además se enfocará la toma de pesajes en las vías arterias

¹ Esta es la variable insumo, es la materia prima para la construcción de los espectros de carga y demás análisis que se desprendan de este trabajo.

² Tamaño máximo posible con el que se cuenta por disponibilidad presupuestal y de equipos.

³ Se han excluido los vehículos tipo bus dado que el número de 1600 muestras es muy reducido para hacer un espectro de cargas tanto para buses como para camiones en este concepto.

de la ciudad y priorizadas junto con el IDU. A partir de estos requerimientos se tiene entonces la siguiente configuración de variables discriminantes de la población:

Numero de vías: 4 corredores principales.

Sentido de la vía: 2 (Norte-Sur y Sur-Norte u Oriente-Occidente y Occidente-Oriente)

Tipo de camión: 9 clases distintas de camión tipificadas según la norma.

Puntos de muestreo: este número dependerá de la vía escogida y de información previa u histórica. Este aparte merece consideraciones que se analizarán más adelante.

Uno de los aspectos más importantes al momento de tomar decisiones fue la determinación de la unidad primaria de muestreo y hasta qué nivel de detalle se puede inferir o sacar conclusiones; para cada una de las partes involucradas en el presente estudio era fundamental abarcar cada una de las variables anteriormente mencionadas.

Con la anterior premisa clarificada, se toma la primera decisión de definir entonces los siguientes términos estadísticos aplicables al estudio:

Población: Son todos los vehículos de transporte terrestre de carga, en cada una de las nueve primeras categorías definidas por la resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte con sus resoluciones modificatorias, que circulan en un sentido definido, en cuatro principales vías (Avenida Boyacá, Avenida Ciudad de Cali, Avenida Carrera 68 y Avenida NQS) de la ciudad de Bogotá D.C.

Unidad primaria de muestreo: se considera como UPM (Unidad Primaria de Muestreo) cada uno de los vehículos que hacen parte de la población definida anteriormente.

Unidad secundaria de muestreo: se considera como USM (Unidad Secundaria de Muestreo) cada uno de los lugares posibles para la toma de mediciones en cuatro principales vías de Bogotá.

Dentro de las condiciones que se exigen para considerar un muestreo como probabilístico, está la de contar con un marco muestral de todas las UPM de la ciudad de Bogotá, que permitan identificar de manera clara y precisa los individuos para poder escoger la muestra; en el caso de la UPM no se cumple esta condición dado que no se conoce la población total existente de vehículos de transporte terrestre de carga que circulan en la ciudad de Bogotá en las nueve (9) primeras categorías de la resolución 4100 de 2004. Por el contrario, en el caso de las USM si se tiene esta información, que además por estudios previos realizados por la SDM se tiene en algunos puntos variables complementarias como tamaño de la población por tipo de camión que pasan diariamente por un punto de muestreo específico.

El anterior párrafo establece los fundamentos principales a tener en cuenta en el siguiente título; una vez definidas la población y las unidades muestrales respectivas, se procedió entonces a establecer el número de posibles combinaciones que deberían estar presentes dentro de la muestra para abarcar todos los escenarios posibles de estudio. Para calcular el número de posibles combinaciones se plantea la Ecuación 2.

Ecuación 2. Cálculo de escenarios posibles.

$$\text{Numero de vías} \times \text{Sentido de la vía} \times \text{Tipo de camión} \times \text{Puntos de muestreo} = n^{\circ} \text{ escenarios}$$

Ejemplo 1. Teniendo como supuesto cuatro USM por vía principal, tendríamos:

$4 \times 2 \times 9 \times 4 = 288$ escenarios posibles.

El anterior ejemplo evidencia que dentro de la muestra deben estar estadísticamente representados 288 casos posibles. Si consideramos como mínimo un tamaño de muestra de 44 UPM⁴ para cada combinación posible garantizando representatividad, esto nos lleva a considerar un tamaño de muestra de 12.672 muestras.

Este tamaño está muy por encima del límite de 1600 muestras que teníamos impuestas desde el principio, razón por la cual, se hizo necesario restringir algunas variables, y empezar a simular valores de confianza y error máximo admisible que se ajustaran a nuestro número máximo de muestras, lo que implica que los resultados obtenidos en espectros de carga y evaluación de coeficientes de agresividad media van a estar enfocados a ser representativos de los puntos de toma de información de pesaje escogidos.

Bajo estas consideraciones y en reunión con los representantes del IDU se llegó al acuerdo de manejar los siguientes parámetros:

Número de corredores a analizar: Tres (3). Avenida Boyacá, Avenida Ciudad de Cali y Avenida Carrera 68.

Confiabilidad del 85%

Error máximo admisible del 10%

Con estos parámetros, el tamaño final de muestra resultante fue de 1839⁵ registros a obtener y usando el volumen vehicular como variable auxiliar se determinó los sitios o estaciones de muestreo. A continuación se presenta los análisis y resultados obtenidos en la selección de las estaciones de muestreo.

b. Escogencia de las estaciones de muestreo:

En el proceso de selección de las estaciones de muestreo, se tiene en las vías principales un reto adicional, la presencia de finitos puntos de muestreo; es decir, una vía principal tiene información de volúmenes en muchas intersecciones que se pueden utilizar para el análisis muestral, sin embargo, no es deseable tener en cada uno de estas estaciones información sobre los pesos de los vehículos, dado que existen muchas de estas intersecciones cercanas entre sí. Lo anterior implicó la escogencia de una variable auxiliar que delimitara los posibles puntos de muestreo y además brindara información complementaria al estudio.

Dado que la SDM cuenta con información de tránsito en puntos estratégicos de la ciudad que miden el flujo vehicular, tal como se describió en el capítulo 5, en especial las bases de volúmenes de las estaciones maestras, se han tomado las estaciones de muestreo en aquellos sitios donde exista una estación maestra, aprovechando que estas bases cuentan con una segmentación por tipo de camión, que permite tener un estimado en estos sitios del tamaño de la población que estamos estudiando.

⁴ Se toman 44 como un número mínimo de muestras para tomar en cada segmento dado que en la literatura se encuentra que a partir de ese valor se puede asumir la distribución normal de los datos; MOOD, GRAYLES and BOYS. INTRODUCTION OF STATISTICS 1998

⁵ Este valor de 1839 registros, aunque representara un mayor número de muestras a tomar de acuerdo al límite inicial de 1600 muestras, se consideró como susceptible de ser obtenido en campo, por tanto entre las partes se aceptó esta muestra para los tres corredores.

Otra ventaja de contar con esta información, es la posibilidad de obtener el tiempo necesario para cumplir con las tipificaciones definidas en la muestra, según el flujo de vehículos que cumplan con dichas características.

Sin embargo, vale la pena señalar que la información registrada en las estaciones maestras tiene como intención principal ser utilizada en análisis de tránsito, por tanto, con respecto a los vehículos de transporte terrestre de carga, estas estaciones sólo reportan la información de volúmenes de camiones discriminándolos según el número de ejes que estos tienen. La anterior consideración implica que en una categoría utilizada desde el punto de vista de tránsito, se pueden tener varias categorías utilizadas por la resolución 4100 de 2004. Por este motivo, en la Tabla 4-2 se presenta la homologación utilizada entre la información de volúmenes de camiones registrados en las estaciones maestras con respecto a la clasificación de los vehículos de transporte terrestre de carga, para determinar la muestra en cada una de las estaciones, según la tipología de vehículos de transporte de carga en sus primeras nueve (9) categorías de la resolución 4100 de 2004.

Tabla 4-2. Homologación entre designación de camiones según información de tránsito y designación de vehículos de transporte terrestre de carga resolución 4100 de 2004.

DESIGNACIÓN SEGÚN TRÁNSITO	DESIGNACIÓN SEGÚN RESOLUCIÓN 4100 DE 2004	CONFIGURACIÓN
C2P Y C2G: En el caso del C2P es un camión pequeño de dos ejes y C2G es un camión grande de dos ejes.	La designación de este tipo de vehículo corresponde al tipo 2, descrito como un camión de dos ejes o un camión sencillo.	
C3: Esta clasificación desde el punto de vista del tránsito corresponde a los vehículos tipo camión de tres (3) ejes.	Cumplen con esta definición el camión tipo 3, descrito como un camión de 3 ejes o dobletrque, y 2S1, descrito como un tractocamión de dos ejes y un semirremolque de un eje.	 
C4: corresponde a los vehículos tipo camión de cuatro (4) ejes.	Cumplen con esta definición el camión tipo 4, descrito como un Camión de cuatro ejes, 2S2 , descrito como un Tractocamión de dos ejes con semirremolque de dos ejes, y 3S1 , descrito como un Tractocamión de tres ejes con semirremolque de un eje.	  
C5: Vehículos tipo camión de cinco (5) ejes.	Vehículos que cumplen con esta definición son el camión tipo 2S3 , descrito como un Tractocamión de dos ejes con semirremolque de tres ejes, y 3S2 , descrito como un Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes.	 
>C5: Esta clasificación desde el punto de vista del tránsito corresponde a los vehículos tipo camión de más de cinco (5) ejes.	Camión tipo 3S3 , descrito como un Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes.	

Fuente: Elaboración propia.

- Estaciones Seleccionadas

Para el caso de este estudio, siguiendo la priorización de corredores anteriormente expuesto, se definieron cuatro (4) estaciones de muestreo sobre la avenida Boyacá, tres (3) estaciones sobre la avenida Ciudad de Cali y dos (2) estaciones sobre la avenida Carrera 68, que cumplieran con las características de contar con un estudio de flujo segmentado por tipo de camión, los cuales se presentan a continuación:

Avenida Boyacá:

- Avenida Boyacá con Calle 170
- Avenida Boyacá con Calle 72
- Avenida Boyacá con Calle 13 (Avenida Centenario)⁶
- Avenida Boyacá con Carrera 1 (Avenida Caracas)

Avenida Ciudad de Cali:

- Avenida Ciudad de Cali con Calle 80
- Avenida Ciudad de Cali con Calle 13 (Avenida Centenario)
- Avenida Ciudad de Cali con Diagonal 3 (Avenida Manuel Cepeda Vargas)

Avenida Carrera 68:

- Avenida Carrera 68 con Calle 26 (Avenida El Dorado)
- Avenida Carrera 68 con Autopista Sur

Además, proporcional al flujo de vehículos que circulan por el punto de muestreo, se asignó el tamaño de muestra⁷, que al carecer de marco muestral se garantiza aleatoriedad en el proceso de captura (entiéndase como escogencia del vehículo escogido para pesaje) mediante un proceso de muestreo sistemático según tipo de vehículo.

Es importante resaltar que la inferencia obtenida por cada uno de los puntos de muestreo solo puede asegurarse a su zona de influencia, cualquier otra inferencia puede llegar a ser aventurada por las razones anteriormente ya expuestas (Variable auxiliar, marco muestral, flujo vehicular, etc.)

c. Cálculo del tamaño muestral:

El cálculo del tamaño de la muestra en este caso estaba dado por las consideraciones propias del estudio y la asignación de un tamaño de 1600 mediciones. Por lo anterior, nos dedicaremos a mostrar la expresión con la que se simulaban los niveles de confianza y

⁶ La avenida Centenario se conoce también como la Calle 17, siendo el principal corredor de carga de Bogotá D.C.

⁷ Esto se ve reflejado de la Tabla 4-3 hasta la Tabla 4-11.

error máximo admisible estimado, así como los factores que hacen de la muestra una herramienta importante para este estudio.

El tamaño adecuado de la muestra para una encuesta relativa a la población está determinado en gran medida por tres factores:

- Prevalencia estimada de la variable considerada (en este caso, sobrepeso del vehículo);
- Nivel deseado de confiabilidad;
- Margen de error aceptable.

En nuestro caso, se desea estimar el peso de un porcentaje de vehículos por tipo y sentido en un punto de muestreo, es decir deseamos estimar una proporción.

- a. El nivel de confianza o seguridad (1-a). El nivel de confianza prefijado da lugar a un coeficiente (Z_α). Para una seguridad del 85% = 1.04, para una seguridad del 99% = 2.58.
- b. La precisión que deseamos para nuestro estudio.
- c. Una idea del valor aproximado del parámetro que queremos medir (en este caso una proporción). Esta idea se puede obtener revisando la literatura, por estudio pilotos previos. En caso de no tener dicha información utilizaremos el valor $p = 0.5$ (50%).

$$n = \frac{Z_\alpha^2 * p * q}{d^2}$$

Remplazando y despejando los valores dentro de la formula se llega a simular de manera apropiada los valores de confianza y error propuestos en este estudio. De la Tabla 4-3 a la Tabla 4-11 se exponen los resultados del cálculo de muestras según tipo de camión y por sentido vial en cada una de las estaciones seleccionadas previamente. Este cálculo muestral se halló a partir del total de volumen de camiones según la distribución porcentual de estos en las categorías anteriormente expuestas. Asimismo, al final de estas tablas se muestran la cantidad de días en el que se conseguirá estas muestras de pesaje. Finalmente, en la Tabla 4-12 se muestra el resumen de muestras a tomar en cada uno de los corredores así como el tiempo de pesaje en semanas por corredor y el total del estudio.

Tabla 4-3. Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Boyacá x Calle 170

	MAESTRA AV. BOYACÁ X CALLE 170										TOTAL ESTACIÓN	
	Sentido Norte - Sur					Sentido Sur - Norte					N-S	S-N
	MUESTRAS POR CONGLOMERADOS											
	TOTAL VOL. 1098					TOTAL VOL. 1398						
	TIPO DE CAMION					TIPO DE CAMION					Días	
	C2	C3	C4	C5	>C5	C2	C3	C4	C5	>C5	4	5
	892	155	3	24	24	939	246	30	68	116		
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULOS TIPO CAMION	81,3%	14,1%	0,3%	2,2%	2,2%	67,2%	17,6%	2,1%	4,8%	8,3%	100%	100%
MUESTRAS	27	24	3	13	13	27	25	15	20	22	80	109

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-4. Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Boyacá x Calle 72

	AV. BOYACÁ X CALLE 72										TOTAL ESTACIÓN	
	Sentido Norte - Sur					Sentido Sur - Norte					N-S	S-N
	MUESTRAS POR CONGLOMERADOS											
	TOTAL VOL. 2313					TOTAL VOL. 2658						
	TIPO DE CAMION					TIPO DE CAMION					Días	
	C2	C3	C4	C5	>C5	C2	C3	C4	C5	>C5	6	6
	1570	242	82	168	250	1903	237	84	146	288		
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULOS TIPO CAMION	67,9%	10,5%	3,6%	7,3%	10,8%	71,6%	8,9%	3,2%	5,5%	10,8%	100%	100%
MUESTRAS	27	25	21	24	25	27	25	21	23	25	122	121

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-5. Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Boyacá x Calle 17 (Av. Centenario)

	AV. BOYACÁ X CALLE 17 (AV. CENTENARIO)										TOTAL ESTACIÓN	
	Sentido Norte - Sur					Sentido Sur - Norte					N-S	S-N
	MUESTRAS POR CONGLOMERADOS											
	TOTAL VOL. 2533					TOTAL VOL. 4030						
	TIPO DE CAMION					TIPO DE CAMION					Días	
	C2	C3	C4	C5	>C5	C2	C3	C4	C5	>C5	5	6
	1654	328	62	156	333	2814	420	107	305	384		
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULOS TIPO CAMION	65,3%	12,9%	2,4%	6,2%	13,1%	69,8%	10,4%	2,7%	7,6%	9,5%	100%	100%
MUESTRAS	27	25	19	24	25	27	26	22	25	26	120	126

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-6. Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Boyacá x Carrera 1 (Avenida Caracas)

	AV. BOYACÁ X CARRERA 1 (AV. CARACAS)										TOTAL ESTACIÓN	
	Sentido Oeste - Este					Sentido Este - Oeste					O-E	E-O
	MUESTRAS POR CONGLOMERADOS											
	TOTAL VOL. 1485					TOTAL VOL. 1221						
	TIPO DE CAMION					TIPO DE CAMION					Días	
	C2	C3	C4	C5	>C5	C2	C3	C4	C5	>C5	5	5
	840	238	43	208	156	706	193	16	148	158		
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULOS TIPO CAMION	56,6%	16,0%	2,9%	14,0%	10,5%	57,8%	15,8%	1,3%	12,1%	12,9%	100%	100%
MUESTRAS	27	25	17	24	24	26	24	11	23	24	117	108

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-7. Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Carrera 68 x Calle 26

	AV. CARRERA 68 X CALLE 26										TOTAL ESTACIÓN	
	Sentido Norte - Sur					Sentido Sur - Norte					N-S	S-N
	MUESTRAS POR CONGLOMERADOS											
	TOTAL VOL. 1551					TOTAL VOL. 1614						
	TIPO DE CAMION					TIPO DE CAMION					Días	
	C2	C3	C4	C5	>C5	C2	C3	C4	C5	>C5	4	4
	1412	62	22	19	36	1432	114	11	24	33		
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULOS TIPO CAMION	91,0%	4,0%	1,4%	1,2%	2,3%	88,7%	7,1%	0,7%	1,5%	2,0%	100%	100%
MUESTRAS	27	19	13	12	16	27	22	9	13	16	87	87

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-8. Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Carrera 68 x Autopista Sur

	AV. CARRERA 68 X AUTOPISTA SUR										TOTAL	
	Sentido Norte - Sur					Sentido Sur - Norte					N-S	S-N
	MUESTRAS POR CONGLOMERADOS											
	TOTAL VOL. 948					TOTAL VOL. 208						
	TIPO DE CAMION					TIPO DE CAMION					Dias	
	C2	C3	C4	C5	>C5	C2	C3	C4	C5	>C5	4	2
	818	65	10	21	34	205	3	0	0	0		
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULOS TIPO CAMION	86,3%	6,9%	1,1%	2,2%	3,6%	98,6%	1,4%	0,0%	0,0%	0,0%	100%	100%
MUESTRAS	27	20	8	13	16	24	3	0	0	0	84	27

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-9. Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Ciudad de Cali x Calle 80

	AV. CIUDAD DE CALI X CALLE 80										TOTAL ESTACIÓN	
	Sentido Norte - Sur					Sentido Sur - Norte					N-S	S-N
	MUESTRAS POR CONGLOMERADOS											
	TOTAL VOL.	1318				TOTAL VOL.	1068					
	TIPO DE CAMION					TIPO DE CAMION					Días	
	C2	C3	C4	C5	>C5	C2	C3	C4	C5	>C5	3	4
	1198	83	9	5	23	845	136	30	11	46		
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULOS TIPO CAMION	90,9%	6,3%	0,7%	0,4%	1,7%	79,1%	12,7%	2,8%	1,0%	4,3%	100%	100%
MUESTRAS	26	20	7	4	13	26	23	14	8	17	71	88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-10. Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Ciudad de Cali x Calle 17 (Av. Centenario)

	AV. CIUDAD DE CALI X CALLE 17 (AV. CENTENARIO)										TOTAL	
	Sentido Norte - Sur					Sentido Sur - Norte					N-S	S-N
	MUESTRAS POR CONGLOMERADOS											
	TOTAL VOL.		5559			TOTAL VOL.		5652				
	TIPO DE CAMION					TIPO DE CAMION					Días	
	C2	C3	C4	C5	>C5	C2	C3	C4	C5	>C5	6	6
	3737	490	233	477	622	3415	616	340	502	779		
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULOS TIPO CAMION	67,2%	8,8%	4,2%	8,6%	11,2%	60,4%	10,9%	6,0%	8,9%	13,8%	100%	100%
MUESTRAS	27	26	24	25	26	27	26	25	26	26	128	129

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-11. Cálculo de la muestra por tipo de camión – Estación Av. Ciudad de Cali x Diagonal 3 (Av. Manuel Cepeda Vargas)

	AV. CIUDAD DE CALI X DIAGONAL 3 (AV. MANUEL CEPEDA VARGAS)										TOTAL	
	Sentido Norte - Sur					Sentido Sur - Norte					N-S	S-N
	MUESTRAS POR CONGLOMERADOS											
	TOTAL VOL.	3146				TOTAL VOL.	2869					
	TIPO DE CAMION					TIPO DE CAMION					Dias	
	C2	C3	C4	C5	>C5	C2	C3	C4	C5	>C5	6	6
	2171	258	132	261	324	1779	281	143	244	422		
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULOS TIPO CAMION	69,0%	8,2%	4,2%	8,3%	10,3%	62,0%	9,8%	5,0%	8,5%	14,7%	100%	100%
MUESTRAS	27	24	22	24	25	26	25	23	24	25	123	123

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-12. Cálculo de la muestra total en los tres corredores

MUESTRA TOTAL PARA LOS TRES CORREDORES										
P	NC	Error	AV. BOYACÁ		AV. 68		AV. CALI		TOTAL	TIEMPO TOTAL (Semanas)
			Muestra	Tiempo de pesaje (semanas)	Muestra	Tiempo de pesaje (semanas)	Muestra	Tiempo de pesaje (semanas)		
0,5	85%	10%	903	6,3	285	2,0	651	3,7	1839	12

Fuente: Elaboración propia.

d. Metodología estadística para el análisis de datos obtenidos.

Para el análisis de los datos obtenidos del muestreo realizado en cada punto se emplearan un conjunto de metodologías estadísticas, que tienen como fin principal, dar un panorama claro y preciso del comportamiento de los pesos de los vehículos que pertenecen a la muestra.

Se usara la estadística descriptiva que se dedica a analizar y representar los datos, las primeras conclusiones obtenidas tras un análisis descriptivo, es un estudio calculando una serie de medidas de tendencia central, para ver en qué medida los datos se agrupan o dispersan en torno a un valor central.

Las tablas de contingencia se emplean para registrar y analizar la relación entre dos o más variables, habitualmente de naturaleza cualitativa (nominales u ordinales).

La inferencia estadística es el paso que comprende los métodos y procedimientos para deducir propiedades (hacer inferencias) de una población, a partir de una pequeña parte de la misma (muestra), y será la que permita establecer el comportamiento de la población, en este caso permitirá establecer la proporción de vehículos con sobrepeso que circulan por las vías de Bogotá.

4.5 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La información tomada en campo es consignada en el formato diseñado (ver Figura 4-3), se clasifica según fecha y período de aforo. Esta clasificación permite un manejo eficiente y adecuado de los datos en el proceso de oficina.

Las hojas de campo con la información recopilada durante el período de aforo, una vez organizadas, fueron revisadas por personal auxiliar en oficina; para que de esta manera se garantizara el proceso de depuración de la información, minimizando la posibilidad de transcribir datos erróneos o inconsistentes.

Posteriormente, la información se transcribe a medio magnético, con un estricto control de calidad, con el objeto de identificar posibles errores e implantar los correctivos necesarios.

Por último, la información obtenida al final de este proceso es organizada en bases de datos, entregándose a la Entidad los datos de campo en archivos del tipo MS – Excel en los anexos de este informe. Estas bases de datos son las utilizadas por el área de pavimentos para la evaluación y elaboración de los espectros de carga y los análisis de CAM.

4.6 TOMA DE INFORMACIÓN DE CARGAS APLICADAS AL PAVIMENTO

Esta sección incluye el procedimiento y los equipos aplicados para caracterizar los vehículos pesados y la carga que aplican a la estructura de pavimento en los tramos homogéneos establecidos en la caracterización del tránsito y las consideraciones estadísticas.

4.6.1 EQUIPO DE PESAJE

- BÁSCULA PARA PESAJE POR EJES PORTÁTIL:

Imagen 4-1. Dispositivo de pesaje en funcionamiento

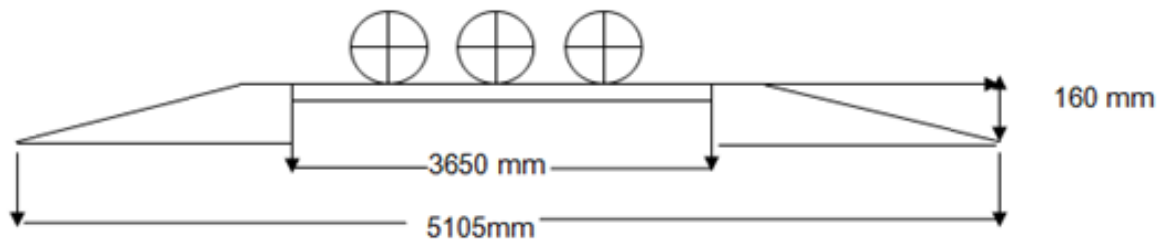


CARACTERÍSTICAS GENERALES:

- Fácilmente transportable
- Puede ser operada por una sola persona.
- Pesa cada grupo de ejes y los suma para obtener el total del camión.
- Imprime datos generales tanto del camión, como del conductor, el peso de cada grupo de ejes, y los totaliza.
- Almacena en la memoria cada operación, con los datos del vehículo, del conductor, lectura de pesos, hora y fecha.

- Software de control en PC.
- Dos (2) Plataformas de pesaje de Dimensiones: 3650 x 800 mm. Estas plataformas y rampas son construidas en acero al carbón de estructura resistente y superficie antideslizante.
- Capacidad: 25,000 kg. (c/u)
- Graduación mínima: 10 kg.
- Peso unitario: 900 kg.
- Cuatro (4) Rampas de acceso (2 por cada una)
- 1 Juego de cables de interconexión

Figura 4-2. Esquema vista perfil de la báscula



Fuente: Braunker Ingeniería Ltda.

Imagen 4-2. Indicador de peso HB8212



Fuente: Braunker Ingeniería Ltda.

CARACTERÍSTICAS DEL INDICADOR DE PESO HB8212:

Numero de Divisiones 300 ~ 10 000

Sensibilidad 0.6 μ V/conteo

Velocidad de Conversión A/D 20 veces / s

Numero de Celdas de Carga Hasta 8 de 350 Ω (280 mA)

Unidades kg, t, g, lb, oz

Display 7 dígitos, 12 mm de altura (H), tipo tubo fluorescente verde

Teclado 18 teclas, tipo membrana

Tara Sustractiva, 100 % (Max)

Temperatura de operación -10 ~ 40 oC

Máxima humedad 85 %, humedad relativa (RH), no condensada

Alimentación indicador 110 VAC (opción 220 VAC) $\square$ } 10 % / 60 Hz, con cable

Alimentación celdas de carga 12 VDC $\square$ } 5 %, 280 mA

Calibración (ajuste) Cero (0 ~ 30 mV) / Span (0.6 ~ 120 μ V/conteo), por teclado

Memorias Hasta 1000 registros de pesaje

Carcasa Lámina acerada, alta resistencia

Batería NiCd / 60 mAh (recargable), 15 días de autonomía para memoria SRAM

Adaptador NO

Interfaces RS232 x 1, Salidas puntos de corte x 3 , Entradas control externo x 4

Dimensiones indicador 20.5 (W) $\times$ 15.5 (L) $\times$ 10.5 (H) cm

Funciones Impresión registros de pesaje, Acumulación, Doble pesaje camionera

Comparación, Chequeo de peso (semáforos), RS232, RS485, Salida análoga 4~20 mA / 0~10 V

CARACTERÍSTICAS CELDAS DE CARGA:

Imagen 4-3. Celdas de carga Sensortronics (made in u.s.a.)



Fuente: Braunker Ingeniería Ltda.

Imagen 4-4. Sensores de peso “celdas de carga”



Fuente: Braunker Ingeniería Ltda.

MARCA : SENSORTRONICS
MODELO : 65023 Shear Beam
CAPACIDAD TOTAL : 20000 Lbs c/u X 6 celdas de carga = 120.000 Lbs
CAPACIDAD EN USO : 40.000Kg Poder de sobrecapacidad del 200%
PROTECCION IP67 / IP68: ANTIPOLUCION / ANTIOXIDANTE

Imagen 4-5. Tarjeta y caja sumatoria.



Fuente: Braunker Ingeniería Ltda.

Cada báscula cuenta con una tarjeta sumatoria cuya función es ajustar de manera individual cada celda de carga y la caja de juntas elaborada en acero inoxidable con protección IP67 que protege la tarjeta electrónica.

La báscula ofrecida está calibrada de acuerdo con lo establecido en la Norma ICONTEC 2031 para básculas comerciales, con pesas patrones fabricados, calibrados y certificados de acuerdo con la Norma ICONTEC 1848.

Dentro del ajuste del equipo de acuerdo a lo estipulado en la NTC 2031 del ICONTEC para equipos de pesaje Clase III

- Toma de datos, previo a la ejecución de ajustes
- Ajuste de cero interno (cero offset)
- Verificación de excentricidad
- Pruebas de carga creciente
- Pruebas con carga decreciente
- Pruebas de excentricidad
- Pruebas de constancia de cero
- Verificación de repetitividad.
- Ajuste de $S_n = (\text{compensación de la relación carga / indicación})$
- Toma de datos , posterior a los ajustes efectuados
- Ubicación del sello de mantenimiento y verificación de calibración

El informe con el certificado de calibración, verificación y ajuste de las básculas se presenta en los anexos de este informe.

4.6.2 PROCEDIMIENTO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL OPERATIVO DE PESAJE

En el desarrollo del operativo de pesaje se ejecutaron las siguientes actividades generales:

- Calibración de la báscula por una empresa debidamente certificada por la Superintendencia de Industria y Comercio.

Previo a toda la labor de pesaje de los vehículos de transporte terrestre de carga, las básculas fueron inspeccionadas en los laboratorios de Braunker Ingeniería Ltda para su respectiva calibración. Los resultados de esta calibración así como las certificaciones por parte de la superintendencia de industria y comercio de las masas patrón utilizadas en la calibración se presentan en los anexos de este informe.

- Capacitación de personal en la labor de bandereros.

Previo al inicio de la labor de pesajes en las estaciones seleccionadas, un personal de seis (6) hombres fue capacitado en las técnicas de control de tráfico, señalización y comportamiento frente a los conductores en un operativo de pesaje. En esta capacitación, el grupo técnico de tránsito elaboró una cartilla con los aspectos importantes que en la labor del banderero se debe tener en cuenta y se dictó una conferencia con explicación de las técnicas utilizadas en esta labor. Esta cartilla se presenta como parte de los anexos del presente informe.

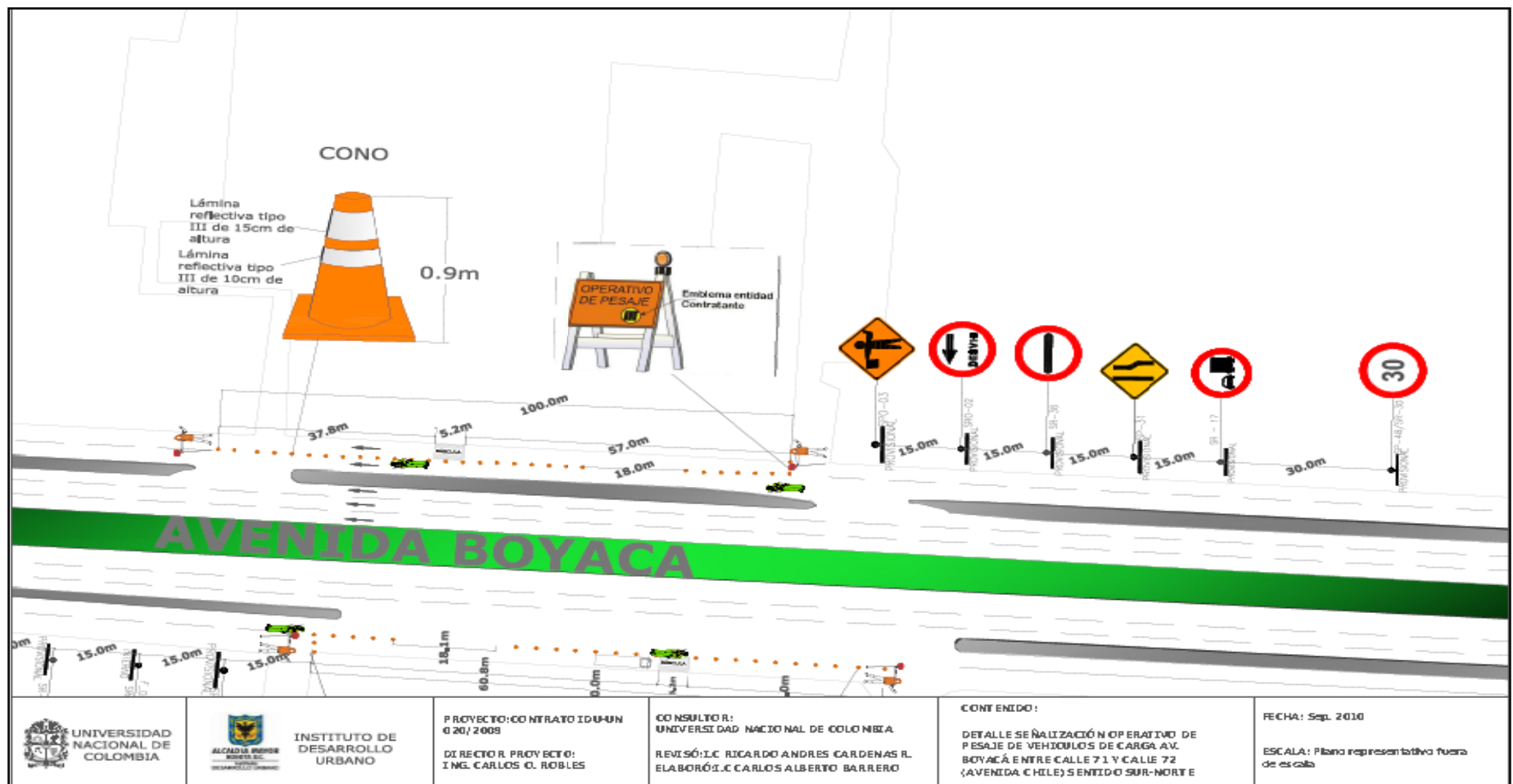
- Identificación de los puntos de pesaje.

Una vez identificados los tramos homogéneos, el punto de pesaje de cada uno de ellos se ubicó en un sitio donde generara el menor impacto al tránsito vehicular que circula.

- Elaboración de un Plan de Manejo de Tránsito (PMT) para aprobación por parte de la SDM.

Luego de la inspección preliminar del sitio de localización de las básculas en campo, se desarrolla un PMT para presentarse ante la SDM para su aprobación, en el cual se indicaba la labor a ejecutar, los requerimientos de espacio para el operativo de pesaje, señalización a implementar en el sitio de operativo y análisis de tránsito con evaluación de niveles de servicio para determinar el impacto que sobre la movilidad tendría la ejecución de esta labor. Los PMT elaborados en el desarrollo de este concepto se entregan en los anexos de este informe así como los resultados de aprobación por parte de la SDM. En esta aprobación del PMT, la SDM tiene la potestad de restringir los horarios de toma de información según ellos consideren pertinente para la no afectación de la movilidad en el sector de implementación del operativo. En la Imagen 4-6 se presenta un ejemplo de señalización para la ejecución del operativo de pesaje y en la Imagen 4-7 un ejemplo del resultado de aprobación de un PMT por parte de la SDM.

Imagen 4-6. Ejemplo de señalización típica para el desarrollo de un operativo de pesaje de vehículos de transporte terrestre de carga presentado en el PMT para aprobación de SDM



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 4-7. Resultado aprobación de PMT por parte de la SDM

PLANES DE MANEJO DE TRÁFICO DE ALTO IMPACTO OBRAS IDU - OCTUBRE 14 DE 2010 COI-41 SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD											
No.	DIRECCIÓN DE OBRA	CONTRATISTA	INICIO	FIN	HORAS TRABAJO	No. CONTRATO	OBSERVACIONES	APROBADO	LOCALIDAD	ING. RESPONSABLE	No. RADICADO SDM
2383	VIAS ACCESO MUELLE NACIONAL TERMINAL DE PASAJEROS DEL AEROPUERTO EL DORADO	CONSORCIO CONSTRUCTOR NUEVO DORADO	15-oct-10	5-nov-10	23:00 - 5:00	CONTRATO DE CONCESIÓN 8000169 DE 2006	SE APRUEBA PMT PARA DEMOLICION DE ESQUINA NORTE ENTRE CALZADAS B Y C DE VIAS DE ACCESO AL TERMINAL DE PASAJEROS (MUELLE NACIONAL) DEL AEROPUERTO. Se deberá implementar toda la señalización propuesta en el PMT de acuerdo a las especificaciones técnicas del Manual de Señalización vial, Resolución 1050 de 2004 así como implementar la señalización luminosa y de transición acorde a lo indicado en los conceptos técnicos No 17 y 18 disponibles en la página web de la secretaría. La movilización de vehículos de carga se realizará de acuerdo al Decreto 094 de 2009 y lo establecido en el Código Nacional de Tránsito, ley 789 de 2002. El presente PMT no autoriza el traslado de carga Extradimensionada ni Estrepada. La afectación de a calzada será exclusivamente en el horario desrito solo un carril, en caso de presentarse represamiento para el ingreso al Aeropuerto, se deberá establecer medidas de contingencia para habilitar de inmediato la capacidad total de la calzada. Se debe instalar señalización de entrada y salida de volquetas a 200m. Las volquetas se ubicarán solo dentro de la zonas de trabajo. Debe contar con presencia de auxiliares de tránsito. La interventoría o quien haga sus veces deberá verificar la implementación y seguimiento del PMT. Se debe garantizar el paso seguro de peatones mediante auxiliares de tránsito debidamente capacitados. PARA PRORROGAS Y REPROGRAMACIONES ES OBLIGATORIO ANEXIAR COPIA DEL COI EN EL QUE SE APRORÓ Y REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PMT. DE NO PRESENTARSE NO SE JARA APROBACION	SI	FONTIBON	CLAUDIA LOPEZ	18104
2384	AVENIDA CIUDAD DE CALI ENTRE DIAGONAL 84 A Y CALLE 75 A	UNIVERSIDAD NACIONAL CARLOS ORLANDO ROBLES ROA	19-oct-10	11-nov-10	09:00-15:00	NA	PMT APROBADO. Se aprueba PMT para cierre de carril externo sentido norte-sur y sur-norte, para localización del operativo de pesaje sobre la Avenida Ciudad de Cali. Costados Oriental y Occidental. No se autoriza afectación cercana a la intersección de la Av 80. Las señalización relacionada en el PMT deberá estar de conformidad con la resolución 1050 del 2004 y ser retiradas una vez finalicen las labores. Se alerta que no se podrá generar represamiento de vehículos pesados. Solo se autoriza dentro del cerramiento una vehiculo y ninguno en espera. De no llevarse la maquinaria en el punto deberá instalarse señal luminosa de conformidad con la resolución 1050 del 2004. De presentarse algún accidente que implique el cierre de un carril adicional al autorizado deberá levantarse la autorización hasta tanto se normalice el tránsito. Debe garantizarse el ingreso a establecimientos presentes en la zona.	SI	CORREDOR	DIANA TORRES	18108

Fuente: COI - Secretaria Distrital de Movilidad.

- Transporte del equipo de pesaje y elementos del operativo.

Una vez aprobado por parte de la SDM el desarrollo de un operativo de pesaje, los elementos del operativo como señales, conos y el equipo de pesaje eran transportados hasta cada una de los puntos de pesaje en ambos sentidos viales.

- Señalización del sitio del operativo, según plano aprobado por la SDM

Antes de la instalación del equipo de pesaje, las señales preventivas y los conos se ubican según lo indicado en los planos de señalización aprobados por la SDM, para indicar a los conductores del cierre de un carril para la instalación y ejecución del operativo. En la Imagen 4-8 se observa la implementación de la señalización en el operativo.

Imagen 4-8. Implementación de la señalización para el operativo de pesaje en campo según plano aprobado por la SDM.



Fuente: Elaboración propia.

- Instalación del equipo en el sitio donde se realizará el operativo.

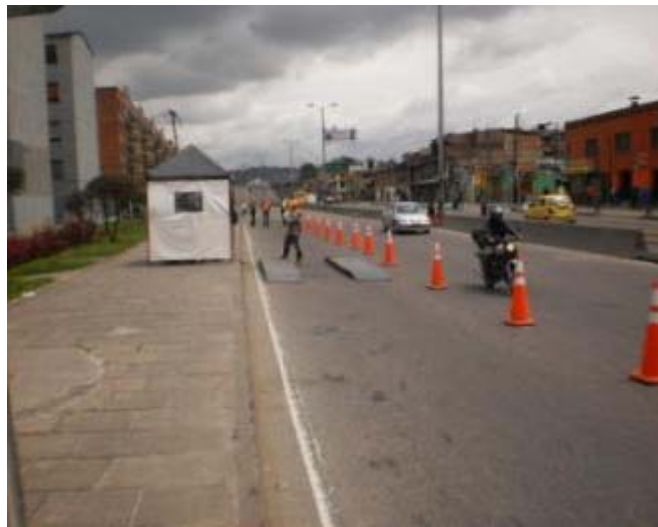
En la Imagen 4-9 y en la Imagen 4-10 se presentan la instalación de las basculas y una vista general de la disposición de un operativo una vez queda totalmente instalado para el inicio de la labor de pesaje de los vehículos.

Imagen 4-9. Descargue e Instalación de las básculas.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 4-10. Instalación operativo de pesaje finalizado



Fuente: Elaboración propia.

- Inicio del pesaje por ejes de los vehículos.

Una vez queda instalado y verificado el funcionamiento de la bascula, se da inicio al operativo de pesaje, en donde se empiezan a detener los vehículos tipo camión por parte de los agentes de tránsito para que ingresen a bascula y se inicie el procedimiento de pesaje por ejes de estos vehículos. De la Imagen 4-11 a la Imagen 4-15 se presentan imágenes del procedimiento para el ingreso y pesaje de los vehículos de transporte terrestre de carga.

Imagen 4-11. Agente de tránsito dando instrucción de ingreso a los camiones hacia la báscula.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 4-12. Agente de tránsito ubicado en el sector de pesaje dando instrucción al conductor para su ingreso a la báscula.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 4-13. Ejemplo de las instrucciones de ingreso por parte de los bandereros al conductor.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 4-14. Ejemplo de pesaje por ejes de un vehículo tipo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 4-15. Resultado de peso de un eje en el indicador de peso de la báscula.



Fuente: Elaboración propia.

- Procesar la información recolectada (grabar).

A los vehículos ingresados en el área de pesaje se le indicaba ingresar eje por eje según las indicaciones del banderero. Cada uno de estos ejes era pesado y se recolectaba la información en el formato diseñado para la toma de información que se muestra en la Figura 4-3.

- Terminación del operativo de pesaje y levantamiento de Equipos y señalización dispuesta.

Una vez culminada la labor de pesaje en cada estación, diariamente se realizaba la desinstalación del operativo, dejando en condiciones normales de circulación cada sentido vial intervenido.

4.7 PROCESO DE TOMA DE INFORMACIÓN

Con base en la muestra seleccionada para cada punto y su distribución a lo largo del día, se procede a direccionar los vehículos pesados a la báscula de tal forma que se toman:

- Fecha: se anota el día de la semana, el mes y el año de la observación.
- Hoja: ____ De: ____: corresponde al control secuencial comenzando en uno, del número de formatos diligenciados por turno, anotándose al final del turno el total de los mismos luego de la palabra “De”.
- Estación: se anota utilizando las convenciones: Av: Avenida, K: Carrera, T: Transversal, C: Calle y D: Diagonal. Se registra la dirección de la vía sobre la cual se realiza el pesaje.

- Sentido: Se anota el sentido de circulación de pesaje identificándolo con letras según sea el caso. Teniendo en cuenta que: N: Norte; S: Sur; W: Occidente; E: Oriente. El operador registra el movimiento vehicular que le corresponde pesar anotando primero la letra del acceso de origen del vehículo y luego la letra del acceso de destino del vehículo, Ejemplo: “N-S”, W-S”.
- Digitador: nombre completo del operador de la báscula que registra el peso.
- Supervisor: nombre completo del Auxiliar de Ingeniería o del Ingeniero de Apoyo encargado de la Supervisión de la toma de información.
- Hora: se registra la hora en formato militar (HH:MM). Ejemplo: 13:15, 18:00.
- Tipo del vehículo: se anota el tipo de vehículo según la designación de la resolución 4100 de 2004 del ministerio de transporte. 2, 3, 4, 2S1, 2S2, 2S3, 3S1, 3S2 o 3S3.

- Placa: Se anotan los tres últimos dígitos de la placa del camión.
- 1er Eje: Columna donde se anotan todas las características del primer eje del vehículo al ser pesado. En esta columna se encontrará:

Tipo de Eje: en este campo se tienen dos opciones de selección, S o Ta, que representan a los ejes sencillo o tándem respectivamente.

No. De Llantas: Se selecciona el número de llantas en total del primer eje que se está pesando.

Peso: Se anota el peso en kilogramos que refleja el indicador de peso de la báscula.

- 2do Eje: Columna donde se anotan todas las características del segundo eje del vehículo al ser pesado. En esta columna se encontrará:

Tipo de Eje: en este campo se tienen dos opciones, S, o Ta, que representan a los ejes sencillo o Tándem.

No. De Llantas: Se selecciona el número de llantas en total del segundo eje que se está pesando.

Peso: Se anota el peso en kilogramos que refleja el indicador de peso de la báscula.

- 3er Eje: Columna donde se anotan todas las características del segundo eje del vehículo al ser pesado. En esta columna se encontrará:

Tipo de Eje: en este campo se tienen tres opciones, S, Ta, Tr que representan a los ejes sencillo, tándem o trídem respectivamente.

No. De Llantas: Se selecciona el número de llantas en total del tercer eje que se está pesando.

Peso: Se anota el peso en kilogramos que refleja el indicador de peso de la báscula.

Para el registro de la información se empleó el formato presentado en la Figura 4-3:

4.7.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La información consignada en los formatos diseñados, se clasificó según fecha y período de pesaje.

Las hojas de campo con la información recopilada durante el período de aforo, una vez organizadas, fueron revisadas por personal auxiliar en oficina; de esta manera se garantizó el proceso de depuración de la información, minimizando la posibilidad de transcribir datos erróneos o inconsistentes.

Posteriormente, la información se transcribió a medio magnético (ver Tabla 4-13), con un estricto control de calidad, con el objeto de identificar posibles errores e implantar los correctivos necesarios en su momento oportuno.

Esta información obtenida al final de este proceso se organizó en bases de datos, que se entregan a la Entidad los datos de campo en archivos del tipo MS – Excel.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 020 DE 2008			CONCEPTO No. 10 ESPECTROS DE CARGA						CIUDAD DE BOGOTÁ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU						
FECHA:			SUPERVISOR:												
ESTACIÓN:			DIGITADOR:												
SENTIDO:			Página No. De												
ID	HORA	TIPO DE VEHICULO	PLACA	1er EJE			2do EJE			3er EJE					
				Tipo de Eje	No. Llantas	Peso	Tipo de Eje	No. Llantas	Peso	Tipo de Eje	No. Llantas	Peso			
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S	Ta	Tr	2 4 6 6
				S	Ta	2 4		S	Ta	2 4		S</			

Página 4-37

Tabla 4-13. Ejemplo información de pesaje transcrita a medio magnético en formato MS EXCEL.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 020 DE 2008				CONCEPTO No. 10 ESPECTROS DE CARGA				UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU					
FECHA:		12/10/2013		DIGITADOR		JIM CASTAÑEDA						  ALFONSO PARRA JEFE INSTITUCIONAL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO	
ESTACION:		AV. BOYACÁ AV. CARACAS		SENTIDO:		Este - Oeste							
SUPERVISOR		ING. CARLOS ALBERTO BARRERO											
ID	HORA	TIPO DE VEHICULO	PLACA	1er EJE			2do EJE			3er EJE			Peso Bruto Vehicular (Kg)
				Tipo de Eje	No. Llantas	Peso	Tipo de Eje	No. Llantas	Peso	Tipo de Eje	No. Llantas	Peso	
1	10:48	3	199	S	2	5700	TA	4	6640				12340
2	10:49	2	026	S	2	3880	S	4	4510				8390
3	10:50	352	728	S	2	4200	TA	8	18270	TA	8	21250	43720
4	19:51	2	881	S	2	2650	S	4	3220				5870
5	10:54	252	349	S	2	2890	S	4	6220	TA	8	6510	15620
6	10:56	353	577	S	2	4960	TA	8	6800	TR	12	6160	17970
7	10:57	2	511	S	2	3180	S	4	4470				7650
8	10:58	253	956	S	2	3350	S	4	5140	TR	12	6160	14650
9	11:02	353	126	S	2	4300	TA	8	23300	TR	12	23340	50940
10	11:05	352	761	S	2	5770	TA	8	19500	TA	8	20730	46000
11	11:08	352	686	S	2	5090	TA	8	20010	TA	8	20180	45280
12	11:09	3	786	S	2	8440	TA	8	28600				37040
13	11:13	2	286	S	2	3200	S	4	4090				7290
14	11:14	352	693	S	2	5140	TA	8	19100	TA	8	19600	43840
15	11:15	352	670	S	2	4890	TA	8	8180	TA	8	6430	19500
16	11:16	3	404	S	2	8000	TA	8	28610				36610
17	11:20	2	635	S	2	4600	S	4	14400				19000
18	11:21	2	893	S	2	2410	S	4	3010				5420
19	11:22	352	303	S	2	5240	TA	8	20500	TA	8	21300	47040
20	11:23	2	173	S	2	2540	S	4	2840				5380
21	11:24	353	264	S	2	5020	TA	8	22570	TR	12	23810	51400
22	11:26	3	770	S	2	4230	TA	8	6100				10330
23	11:27	352	101	S	2	5560	TA	8	18900	TA	8	20800	45260
24	11:28	2	069	S	2	3900	S	4	7120				11020
25	11:29	353	412	S	2	5020	TA	8	18900	TR	12	29000	52920
26	11:30	353	377	S	2	4800	TA	8	19300	TR	12	27700	51800
27	11:31	2	774	S	2	3140	S	4	3710				6850
28	11:47	353	549	S	2	4500	TA	8	13300	TR	12	15350	33150
29	11:48	3	490	S	2	8090	TA	8	29500				37590
30	11:52	353	823	S	2	4520	TA	8	7190	TR	12	6000	17710
31	11:53	2	188	S	2	3140	S	4	5390				8530
32	11:54	2	025	S	2	4600	S	4	4300				8900
33	11:55	352	332	S	2	5510	TA	8	19290	TR	8	21300	46100
34	12:05	2	701	S	2	2990	S	4	3600				6590
35	12:06	2	800	S	2	4090	S	4	12830				16920
36	12:10	3	571	S	2	4090	TA	8	6310				10400

TIPO DE EJE:
S: SENCILLO TA: TÁNDEM TR: TRÍDEM
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 4-16. Ejemplo Base de datos en MS EXCEL que se entrega al IDU.

Microsoft Excel - TOTAL ESTACIÓN AV. BOYACÁ CALLE 17 (AV. CENTENARIO)																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1					1er EJE			2do EJE			3er EJE			Peso Bruto Vehicular (Kg)		
2	ID	FECHA	TIPO DE VEHICULO	PLACA	Tipo de Eje	No. Llantas	Peso (Kg)	Tipo de Eje	No. Llantas	Peso (Kg)	Tipo de Eje	No. Llantas	Peso (Kg)			
3	1	05/10/2010	3	359	S	2	7010	TA	8	24590				31600		
4	2	05/10/2010	2	053	S	2	3210	S	4	4140				7350		
5	3	05/10/2010	3	703	S	2	7280	TA	8	17060				24340		
6	4	05/10/2010	2	078	S	2	3850	S	4	11210				15060		
7	5	05/10/2010	3	336	S	2	4890	TA	8	7150				12040		
8	6	05/10/2010	3	347	S	2	5820	TA	8	10410				16230		
9	7	05/10/2010	3S3	603	S	2	5180	TA	8	14770	TR	12	15210	35160		
10	8	05/10/2010	2	517	S	2	4990	S	4	12520				17510		
11	9	05/10/2010	3	316	S	2	4560	TA	8	7120				11680		
12	10	05/10/2010	2	039	S	2	2540	S	4	3400				5940		
13	11	05/10/2010	3	061	S	2	4360	TA	8	5860				10220		
14	12	05/10/2010	2	703	S	2	4650	S	4	12390				17040		
15	13	05/10/2010	2	250	S	2	3490	S	4	3620				7110		
16	14	05/10/2010	2	292	S	2	2130	S	4	3020				5150		
17	15	05/10/2010	3	669	S	2	8210	TA	8	25400				33610		
18	16	05/10/2010	3S3	704	S	2	4510	TA	8	6720	TR	12	5910	17140		
19	17	05/10/2010	2	307	S	2	3550	S	4	5900				9450		
20	18	05/10/2010	3S2	057	S	2	4990	TA	8	6880	TA	8	4690	16560		
21	19	05/10/2010	2	434	S	2	2740	S	4	2980				5720		
22	20	05/10/2010	2	944	S	2	2660	S	4	9400				12060		
23	21	05/10/2010	3S3	383	S	2	4800	TA	8	7220	TR	12	6440	18460		
24	22	05/10/2010	2	151	S	2	2740	S	4	13920				16660		
25	23	05/10/2010	2	388	S	2	2610	S	4	4390				7000		
26	24	05/10/2010	2	055	S	2	2460	S	4	5390				7850		
27	25	05/10/2010	3S3	756	S	2	5190	TA	8	19990	TR	12	23890	49070		
28	26	05/10/2010	2	618	S	2	2020	S	4	3060				5080		
29	27	05/10/2010	3S3	723	S	2	5000	TA	4	21910	TR	12	26960	53870		
30	28	05/10/2010	2S2	492	S	2	4950	S	4	6640	TA	4	9080	20670		
31	29	05/10/2010	2	394	S	2	3550	S	4	4490				8040		
32	30	05/10/2010	3S2	354	S	2	4170	TA	8	7350	TA	8	4880	16400		
33	31	05/10/2010	3S3	948	S	2	4830	TA	8	7180	TR	12	6280	18290		
34	32	05/10/2010	2	717	S	2	3460	S	4	3730				7190		

Fuente: Elaboración propia.

5 ANÁLISIS DESCRIPTIVO Y ESTADÍSTICO DE LA MUESTRA TOMADA EN CAMPO

A continuación se presenta un análisis estadístico resumido de la toma de información para las 9 estaciones de muestreo en los tres (3) corredores viales analizados (Avenida Boyacá, Avenida Carrera 68 y Avenida Ciudad de Cali). Este resumen detalla, en tres partes generales, características de la muestra tomada en campo y análisis del peso bruto vehicular: en la primera parte se entrega una descripción general de toda la muestra tomada en las nueve estaciones, luego se presenta la descripción de los resultados por cada corredor y finalmente un análisis descriptivo por cada estación de pesaje; en la segunda parte se realiza un análisis descriptivo por eje de todas las estaciones y en la tercera parte se realiza un análisis del sobrepeso por tipo de vehículo y por tipo de eje.

5.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

5.1.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO GENERAL

En este capítulo se presenta una descripción general de la muestra y el peso bruto vehicular PBV por tipo de vehículo para las nueve (9) estaciones de pesaje seleccionadas.

De la Tabla 5-1 a la Tabla 5-3 se presenta una comparación entre la muestra planificada según el cálculo muestral y la muestra tomada en campo.

Estas tablas se han dividido en cinco (5) columnas principales iniciando con la ESTACIÓN en donde se localiza la estación de muestreo; TIPO, donde se especifica la tipología del vehículo camión; MUESTRA PLANIFICADA, donde se localiza el número de vehículos- (según tipo y sentido vial)- que se debían tomar según el cálculo muestral; MUESTRA TOMADA EN CAMPO, donde se localiza el número de vehículos- (según tipo y sentido vial)- tomados en campo; DIFERENCIA, donde se especifican los valores adicional o faltante entre la muestra tomada en campo y la muestra planificada. En esta última columna se han resaltado en color gris los valores negativos que representan el número de vehículos de diferencia existente para cumplir con la muestra planificada. Este caso se presentó en una única tipología de camión correspondiente al C4, que es un camión de 4 ejes, y esta particularidad sucedió tan solo en 4 de las 18 estaciones de pesaje. En las demás estaciones se logró tomar información en ocasiones muy superior a lo planificado, lo que es importante en el desarrollo de un análisis estadístico.

Tabla 5-1. Resumen de toma de información en el corredor de la Avenida Boyacá por tipo de vehículo según numero de ejes.

CORREDOR AVENIDA BOYACÁ							
ESTACIÓN	TIPO	MUESTRA PLANIFICADA		MUESTRA TOMADA EN CAMPO		DIFERENCIA	
		Norte-Sur	Sur-Norte	Norte-Sur	Sur-Norte	Norte-Sur	Sur-Norte
Av. Boyacá x Av. San José (Calle 170)	C2	26	27	138	161	112	134
	C3	24	25	81	41	57	16
	C4	3	15	16	21	13	6
	C5	13	20	78	56	65	36
	>C5	13	22	112	57	99	35
Av. Boyacá x Av. Centenario (Calle 17)	C2	27	27	232	191	205	164
	C3	25	26	137	117	112	91
	C4	19	22	29	20	10	-2
	C5	24	25	74	70	50	45
	>C5	25	26	107	78	82	52
Av. Boyacá x Av. Caracas	C2	27	26	81	130	54	104
	C3	25	24	68	58	43	34
	C4	17	11	8	12	-9	1
	C5	24	23	105	95	81	72
	>C5	24	24	101	78	77	54
Av. Boyacá x Av. Chile (Calle 72)	C2	27	27	92	97	65	70
	C3	25	25	80	75	55	50
	C4	21	21	20	33	-1	12
	C5	24	23	52	71	28	48
	>C5	25	25	73	71	48	46

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-2. Resumen de toma de información en el corredor de la Avenida Ciudad de Cali por tipo de vehículo según numero de ejes.

CORREDOR AVENIDA CIUDAD DE CALI							
ESTACIÓN	TIPO	MUESTRA PLANIFICADA		MUESTRA TOMADA EN CAMPO		DIFERENCIA	
		Norte-Sur	Sur-Norte	Norte-Sur	Sur-Norte	Norte-Sur	Sur-Norte
Av. Ciudad de Cali x Av. Medellín (Calle 80)	C2	26	26	190	205	164	179
	C3	20	23	66	57	46	34
	C4	7	14	30	11	23	-3
	C5	4	8	29	24	25	16
	>C5	13	17	46	29	33	12
Av. Ciudad de Cali x Av. Américas (Calle 6)	C2	27	27	148	126	121	99
	C3	26	26	84	85	58	59
	C4	24	25	50	49	26	24
	C5	25	26	42	74	17	48
	>C5	26	26	80	121	54	95
Av. Ciudad de Cali x Av. Centenario (Calle 17)	C2	27	27	112	74	85	47
	C3	26	26	46	35	20	9
	C4	24	25	28	33	4	8
	C5	25	26	39	47	14	21
	>C5	26	26	68	42	42	16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-3. Resumen de toma información en el corredor de la Avenida Carrera 68 por tipo de vehículo según número de ejes.

CORREDOR AVENIDA CARRERA 68							
ESTACIÓN	TIPO	MUESTRA PLANIFICADA		MUESTRA TOMADA EN CAMPO		DIFERENCIA	
		Norte-Sur	Sur-Norte	Norte-Sur	Sur-Norte	Norte-Sur	Sur-Norte
Av. Cra 68 x Av. 26	C2	27	27	94	110	67	83
	C3	19	22	28	54	9	32
	C4	13	9	17	14	4	5
	C5	12	13	15	24	3	11
	>C5	16	16	22	26	6	10
Av. Cra 68 x Autopista Sur	C2	27	24	94	82	67	58
	C3	20	3	23	39	3	36
	C4	8	0	8	16	0	16
	C5	13	0	16	15	3	15
	>C5	16	0	21	57	5	57

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-4 se presenta una descripción estadística de la muestra y el peso bruto vehicular por tipo de vehículo (según resolución 4100 de 2004) de todas las estaciones de pesaje: en la primera columna se especifica el tipo de vehículo; en la segunda, la muestra total tomada en campo de cada tipología de vehículo; en la tercera columna, el mínimo peso bruto vehicular obtenido para cada tipo de vehículo; en la cuarta columna, el máximo peso bruto vehicular; en la quinta columna, el rango, que corresponde a la diferencia entre el máximo y el mínimo PBV; y en la sexta columna, el promedio o media aritmética del peso bruto vehicular para cada tipo de vehículo.

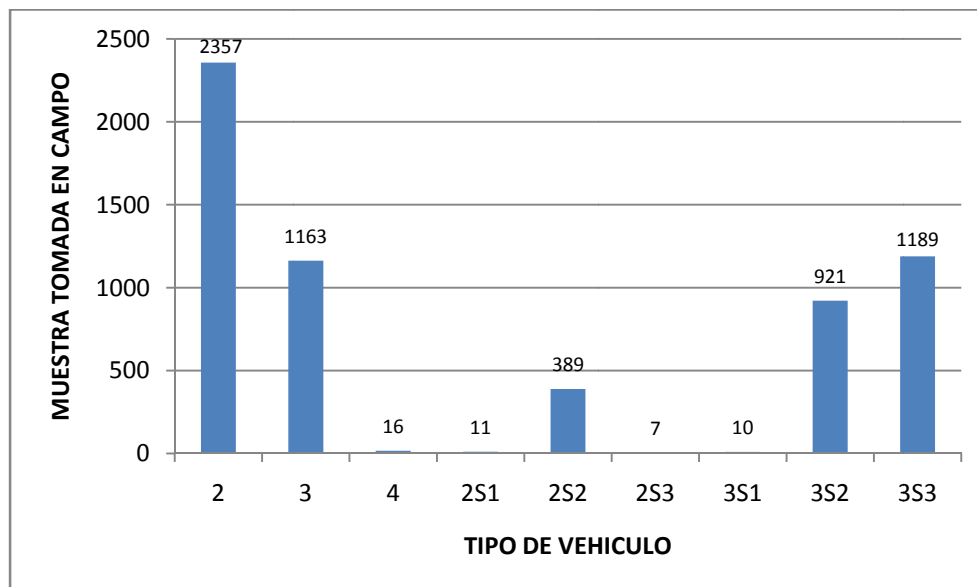
Tabla 5-4. Muestra tomada en campo y estadísticas del peso bruto vehicular PBV por tipo de vehículo según resolución 4100 de 2004.

TIPO DE VEHICULO	MUESTRA TOMADA EN CAMPO	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	RANGO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
2	2357	2520	28970	26450	9643
3	1163	5140	38190	33050	18804
4	16	10960	41680	30720	22511
2S1	11	8500	22870	14370	14678
2S2	389	8730	40660	31930	16764
2S3	7	14650	37600	22950	22537
3S1	10	14580	25560	10980	17395
3S2	921	8130	53840	45710	27553
3S3	1189	9250	66650	57400	34352
TOTAL	6063	2520	66650	64130	19494

Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 5-1 se presenta la muestra tomada en campo por tipo de vehículo en todas las estaciones de pesaje, y en la Gráfica 5-2, la muestra tomada en campo por tipo de vehículo según el número de ejes.

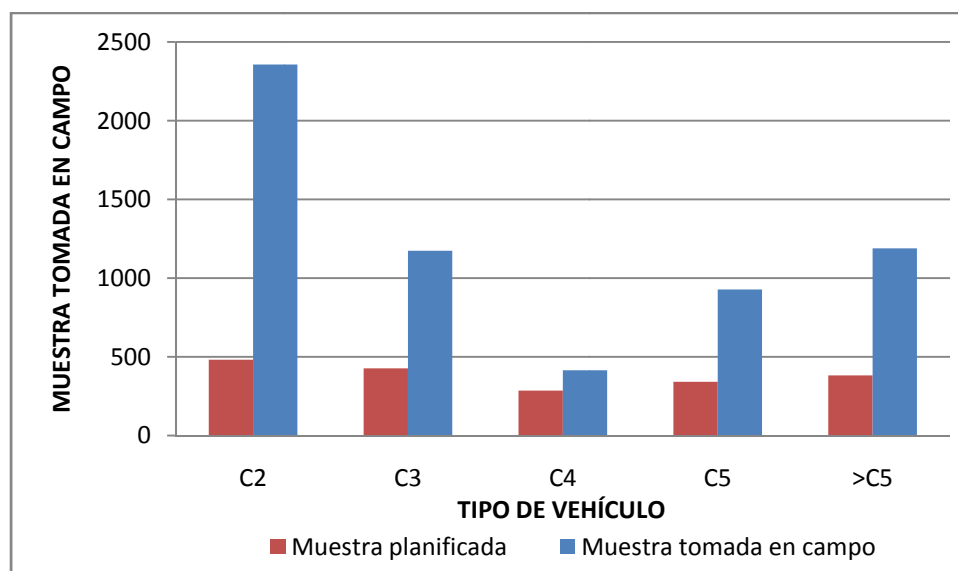
Gráfica 5-1. Muestra total tomada en campo por tipo de vehículo.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Gráfica 5-2 la muestra tomada en campo fue muy superior a la planificada, a excepción del tipo C4 como se observa en la Tabla 5-1 y Tabla 5-2.

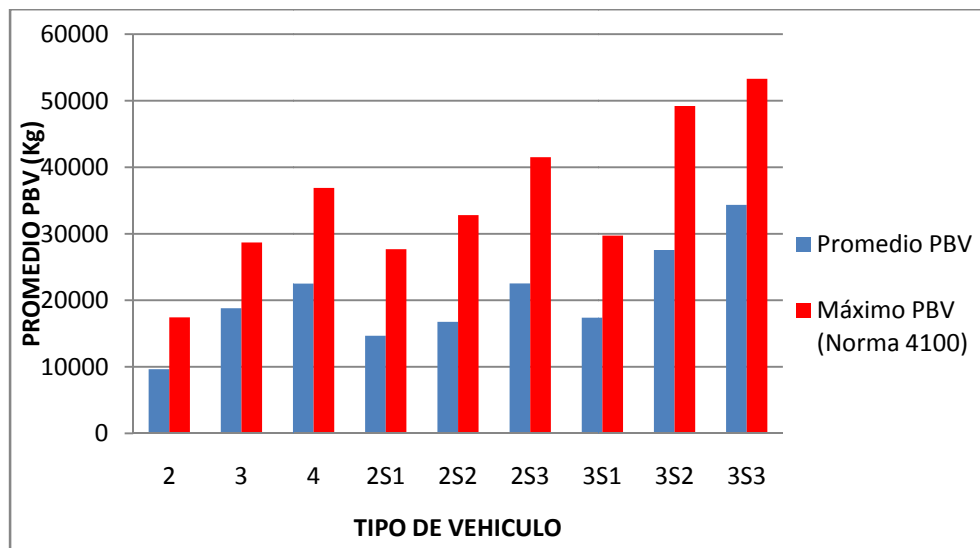
Gráfica 5-2. Muestra total tomada en campo y muestra planificada por tipología de vehículo según numero de ejes.



Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 5-3 se presenta el promedio del peso bruto vehicular por tipo de vehículo para todas las estaciones de pesaje y sentidos viales, así como el máximo peso bruto vehicular permitido según la resolución 4100 de 2004.

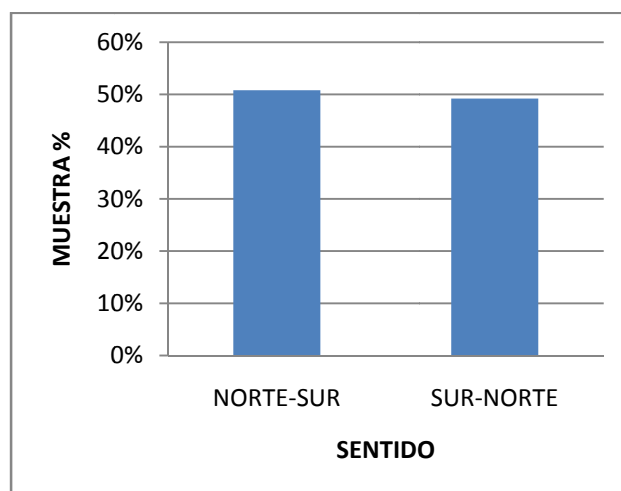
Gráfica 5-3. Promedio del peso bruto vehicular por tipo de vehículo y máximo PBV permitido según resolución 4100 de 2004.



Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 5-4 se presenta en porcentaje la muestra total tomada en campo por sentido. Para el sentido norte-sur se obtuvo un 51% y para el sentido sur-norte el 49%, presentando así una muestra proporcional para ambos sentidos.

Gráfica 5-4. Porcentaje de la muestra tomada en campo por sentido.



Fuente: Elaboración propia.

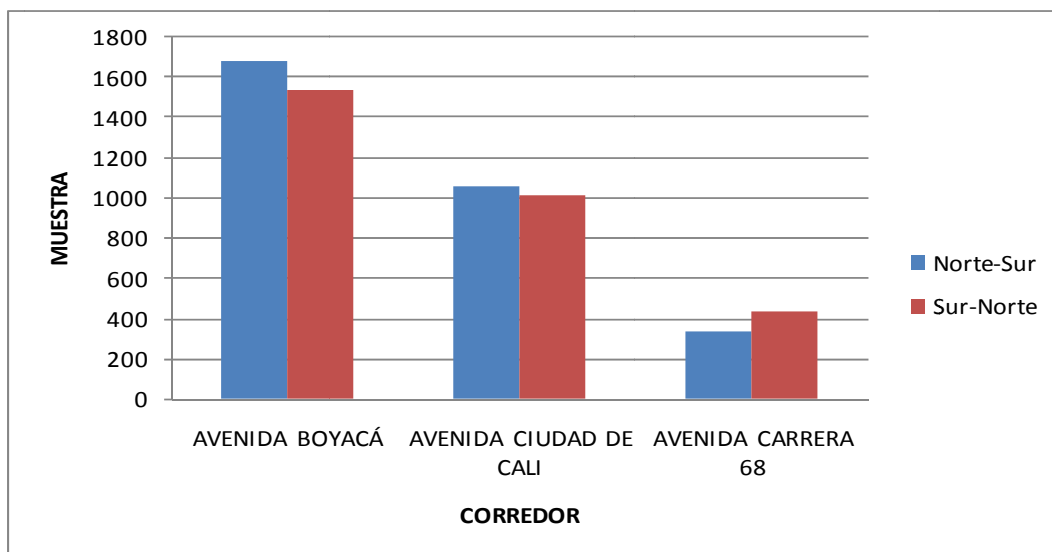
5.1.2 ANÁLISIS DESCRIPTIVO POR CORREDOR

En esta sección se presenta un análisis estadístico descriptivo de la muestra y el peso bruto vehicular tomados en campo para cada corredor, los cuales están compuestos por las siguientes estaciones de pesaje:

- Corredor Avenida Boyacá: Av. San José (calle 170), Av. Calle 72, Av. Centenario (calle 13) y Av. Caracas (Carrera 1).
- Corredor Avenida Ciudad de Cali: calle 80, Av. Centenario (calle 13) y diagonal 3 (Av. Américas).
- Corredor Avenida Carrera 68: Av. Calle 26 y Autopista Sur.

En la Gráfica 5-5 se presenta la muestra tomada en campo por corredor y sentido vial. El corredor de la Avenida Boyacá es el que concentra la mayor cantidad de muestra ya que estuvo compuesto por mayor cantidad de estaciones de pesaje y presenta un mayor flujo vehicular.

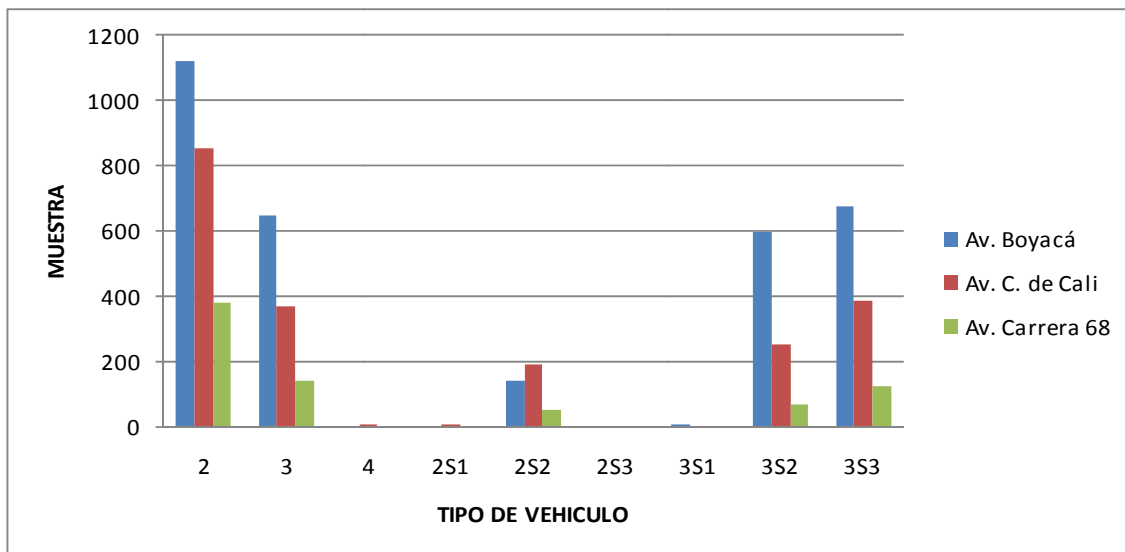
Gráfica 5-5. Muestra tomada en campo por corredor y sentido vial.



Fuente: Elaboración propia.

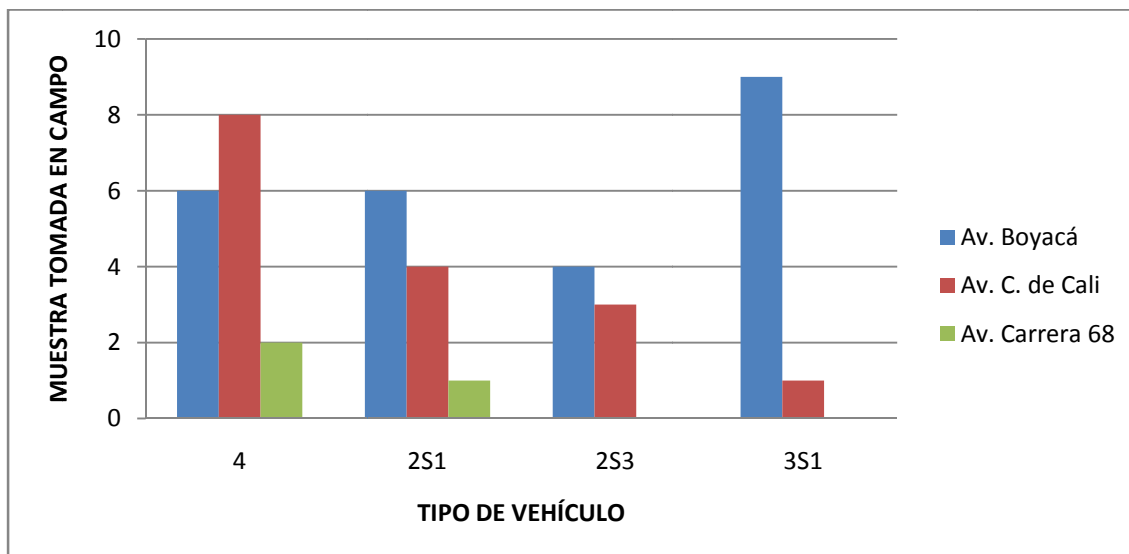
En la Gráfica 5-6 se presenta la muestra tomada en cada corredor por tipología de vehículo en ambos sentidos viales. La información de los vehículos tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 se presenta en la Gráfica 5-7 debido a que la muestra fue muy baja y no se identifica claramente en la Gráfica 5-6.

Gráfica 5-6. Muestra tomada en campo por tipo de vehículo en cada corredor.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5-7. Muestra tomada en campo de los vehículos tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 en cada corredor.

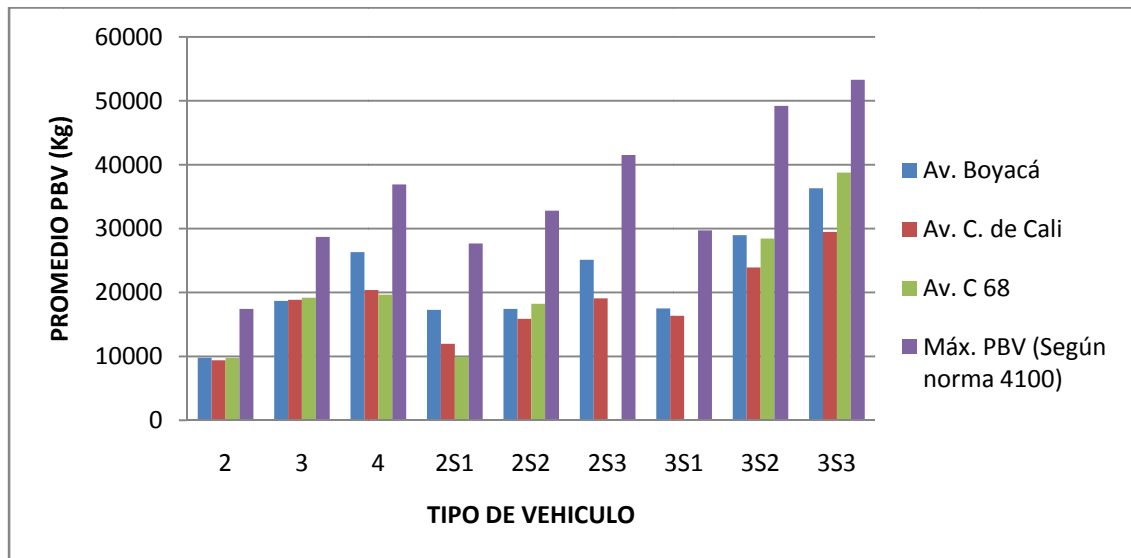


Fuente: Elaboración propia.

Los vehículos tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 presentaron una muestra en campo muy baja debido al bajo flujo vehicular de los mismos.

En la Gráfica 5-8 se presenta el promedio del peso bruto vehicular para cada tipo de vehículo por corredor, así como el máximo peso bruto vehicular permitido según la resolución 4100 de 2004.

Gráfica 5-8. Promedio del peso bruto vehicular para cada tipo de vehículo y corredor.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-5 se relaciona la muestra y el peso bruto vehicular por corredor para los diferentes tipos de vehículo. La fila “Muestra” especifica la cantidad de vehículos tomados en campo según cada tipo de vehículo y corredor; “Mín PBV (Kg)” especifica el mínimo peso bruto vehicular tomado en campo de cada tipo de vehículo; “Máx. PBV (Kg)” especifica el máximo peso bruto vehicular tomado en campo de cada tipo de vehículo; “Rango (Kg)” es la diferencia entre el máximo y el mínimo peso bruto vehicular tomado para cada tipo de vehículo; “Promedio PBV (Kg)” es el promedio o media aritmética del peso bruto vehicular para cada tipo de vehículo y “Desviación típica” es la desviación típica o estándar del peso bruto vehicular para cada tipo de vehículo.

Tabla 5-5. Descripción de la muestra y el peso bruto vehicular por tipo de vehículo y por corredor.

TIPO DE VEHICULO	2	3	4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3
AVENIDA BOYACÁ									
Muestra	1122	651	6	6	144	4	9	599	677
Mín PBV (Kg)	2520	5140	10960	11920	10610	14650	14580	8130	9250
Máx PBV (Kg)	28970	37660	41680	22870	40660	37600	25560	53840	66650
Rango (Kg)	26450	32520	30720	10950	30050	22950	10980	45710	57400
Promedio PBV (Kg)	9792	18688	26307	17273	17419	25127	17512	28974	36312
Desviación típica.	4322.1	8330.1	12232.3	3965.9	5514.8	11992.8	3479.7	12980.9	13751.8
AVENIDA CIUDAD DE CALI									
Muestra	855	369	8	4	192	3	1	252	386
Mín PBV (Kg)	2750	6920	11270	8500	8730	16450	16340	12830	12810
Máx PBV (Kg)	21980	38190	36070	14340	31080	24110	16340	51580	59160
Rango (Kg)	19230	31270	24800	5840	22350	7660	0	38750	46350
Promedio PBV (Kg)	9396	18860	20376	11975	15869	19083	16340	23925	29472
Desviación típica.	3793.47	8668.60	10008.70	2486.24	4983.74	4354.87	-	11801.50	13480.59
AVENIDA CARRERA 68									
Muestra	380	143	2	1	53	0	0	70	126
Mín PBV (Kg)	3510	7790	13600	9920	9360	-	-	10780	15210
Máx PBV (Kg)	23470	35410	25720	9920	31970	-	-	52390	62100
Rango (Kg)	19960	27620	12120	0	22610	-	-	41610	46890
Promedio PBV (Kg)	9763	19190	19660	9920	18227	-	-	28458	38764
Desviación típica.	3846.4	8837.7	8570.1	-	5100.7	-	-	13779.0	13624.7

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5-6 describe la muestra y el peso para cada eje según su ubicación en el vehículo contando desde el cabezote hacia el semirremolque. A continuación se describen las columnas de esta tabla:

1. Muestra: es la cantidad de ejes tomados en campo según su posición en el vehículo y la fila “Peso Bruto Vehicular” corresponde a la cantidad de vehículos tomados en campo en cada corredor.
2. Rango: Diferencia entre el máximo y el mínimo peso de cada tipo de eje.
3. Mínimo: es el mínimo peso de cada eje obtenido en campo.
4. Máximo: es el máximo peso de cada eje obtenido en campo.
5. Media: es el promedio o media aritmética del peso de cada tipo de eje y del peso bruto vehicular.
6. Desv. Típica: desviación típica o desviación estándar del peso de cada tipo de eje.
7. Asimetría: el coeficiente de asimetría nos dice que tan uniformes se distribuyen los datos alrededor de la media aritmética (distribución normal), lo cual se da cuando el coeficiente es igual a cero. Si el coeficiente es positivo se tiene una asimetría positiva, lo cual quiere decir que hay más datos superiores a la media, y al contrario, si el

coeficiente es negativo, la simetría es negativa y quiere decir que hay más datos inferiores a la media aritmética.

8. Curtosis: el Coeficiente de Curtosis analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución. Si el coeficiente de curtosis es mayor a cero tenemos que los valores están muy cerca a la media, al contrario, si el coeficiente es menor a cero, tenemos que los datos se alejan de la media.

Los coeficientes de asimetría y curtosis nos ayudan a determinar si una distribución se puede considerar como una distribución normal, esto se da cuando ambos coeficientes están dentro del intervalo ± 0.5 .

Tabla 5-6. Descripción de la muestra y el peso bruto vehicular por corredor y posición del eje.

	MUESTRA	RANGO (Kg)	MINIMO (Kg)	MAXIMO (Kg)	MEDIA (Kg)	DESV. TÍPICA	ASIMETRÍA	CURTOSIS
AVENIDA BOYACÁ								
1er eje kg	3218	16630	630	17260	4362	1284.1	0.935	5.43
2do eje kg	3218	28200	1310	29510	10834	6678.9	0.650	-0.91
3er eje kg	1439	31520	1480	33000	13355	7576.3	0.190	-1.50
Peso Bruto Vehicular kg	3218	64130	2520	66650	21168	14146.4	0.878	-0.49
AVENIDA CIUDAD DE CALI								
1er eje kg	2070	12660	1070	13730	4081	1191.2	1.07	3.63
2do eje kg	2070	29910	1290	31200	9067	6048.0	1.25	0.50
3er eje kg	838	26750	2570	29320	10159	6740.6	1.04	-0.45
Peso Bruto Vehicular kg	2070	56410	2750	59160	17261	11465.7	1.43	1.35
AVENIDA CARRERA 68								
1er eje kg	775	10830	1220	12050	4020	1255.24	1.01	2.53
2do eje kg	775	27300	1800	29100	10002	6585.85	0.93	-0.37
3er eje kg	250	32740	2860	35600	13914	7952.33	0.28	-1.36
Peso Bruto Vehicular kg	775	58590	3510	62100	18510	13557.45	1.26	0.44

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO POR ESTACIÓN

En este capítulo se realiza una descripción de la muestra y el peso bruto vehicular por cada estación de pesaje y sentido vial.

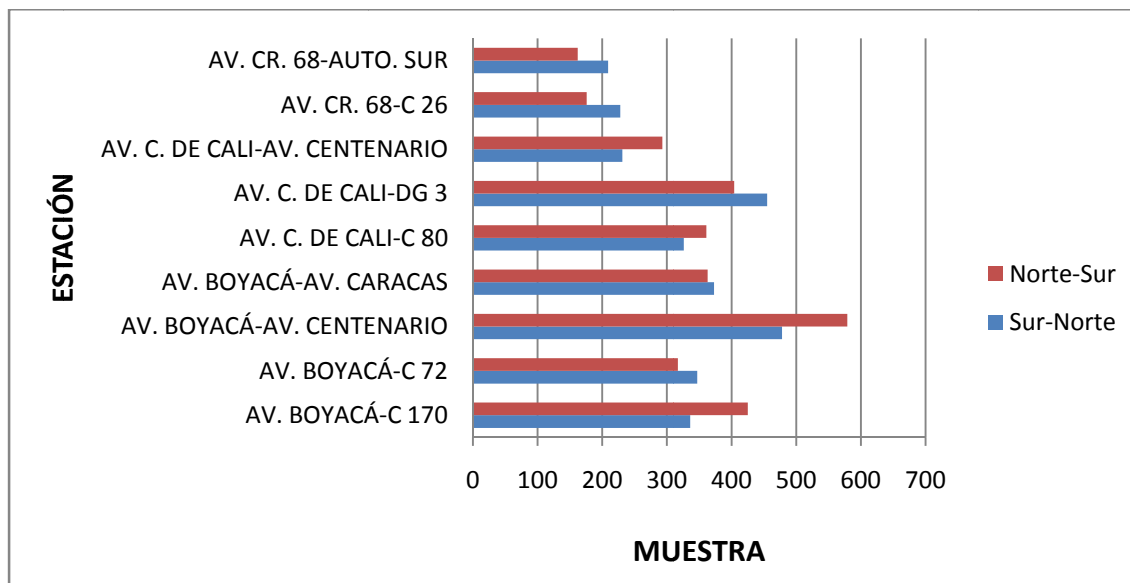
Tabla 5-7. Muestra de vehículos tomada en campo por estación, sentido y tipo de vehículo.

TIPOLOGIA DE VEHICULO										
ESTACIÓN	2	3	4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	Total
AV. BOYACÁ-C 170	299	120	0	2	37	1	0	133	169	761
NORTE-SUR	138	80	0	1	16	1	0	77	112	425
SUR-NORTE	161	40	0	1	21	0	0	56	57	336
AV. BOYACÁ-C 72	189	153	1	2	50	0	2	123	144	664
NORTE-SUR	92	80	0	0	20	0	0	52	73	317
SUR-NORTE	97	73	1	2	30	0	2	71	71	347
AV. BOYACÁ-AV. CENTENARIO	423	252	3	2	45	2	1	144	185	1057
NORTE-SUR	232	137	0	0	29	0	0	74	107	579
SUR-NORTE	191	115	3	2	16	2	1	70	78	478
AV. BOYACÁ-AV. CARACAS	211	126	2	0	12	1	6	199	179	736
NORTE-SUR	81	68	1	0	4	0	3	105	101	363
SUR-NORTE	130	58	1	0	8	1	3	94	78	373
AV. C. DE CALI-C 80	395	123	2	0	39	2	0	51	75	687
NORTE-SUR	190	66	1	0	29	2	0	27	46	361
SUR-NORTE	205	57	1	0	10	0	0	24	29	326
AV. C. DE CALI-DG 3	274	165	3	4	95	0	1	116	201	859
NORTE-SUR	148	81	1	3	48	0	1	42	80	404
SUR-NORTE	126	84	2	1	47	0	0	74	121	455
AV. C. DE CALI-AV. CENTENARIO	186	81	3	0	58	1	0	85	110	524
NORTE-SUR	112	46	2	0	26	0	0	39	68	293
SUR-NORTE	74	35	1	0	32	1	0	46	42	231
AV. CR. 68-C 26	204	81	2	1	29	0	0	39	48	404
NORTE-SUR	94	27	1	1	16	0	0	15	22	176
SUR-NORTE	110	54	1	0	13	0	0	24	26	228
AV. CR. 68-AUTO. SUR	176	62	0	0	24	0	0	31	78	371
NORTE-SUR	94	23	0	0	8	0	0	16	21	162
SUR-NORTE	82	39	0	0	16	0	0	15	57	209
TOTAL GENERAL	2357	1163	16	11	389	7	10	921	1189	6063

Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 5-9 se presenta la muestra tomada en campo en cada estación y sentido.

Gráfica 5-9. Muestra total de vehículos tomada en campo por estación y sentido.

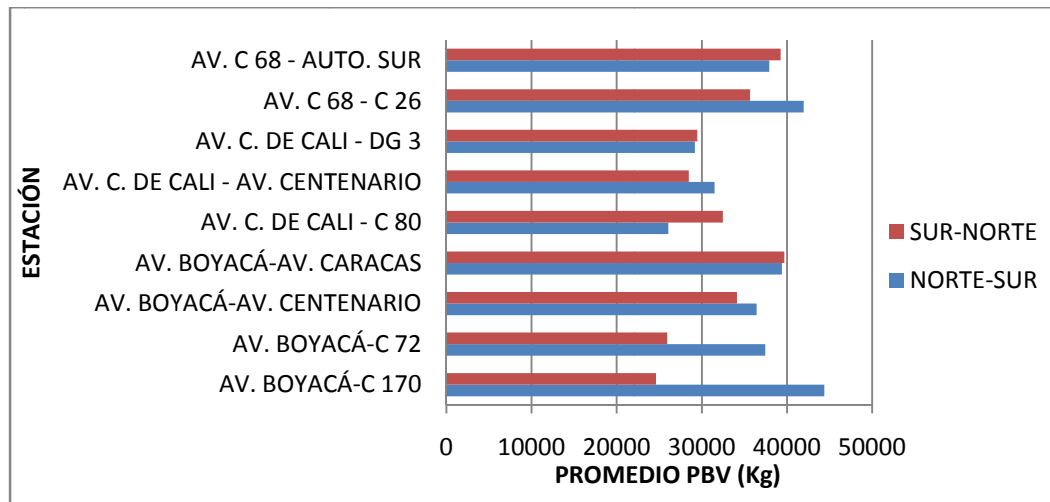


Fuente: Elaboración propia.

Debido a la extensión de los resultados estadísticos se presenta en esta sección la información más representativa, y como complemento a esta, se presentan los siguientes anexos:

Anexo 2.1: presenta el promedio del peso bruto vehicular de los vehículos tipo 2, 3, 2S2, 3S2 y 3S3 (ver Gráfica 5-10) en cada estación y sentido. Los vehículos tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 no se tuvieron en cuenta debido a que la muestra que se tomó no fue la esperada según los datos de la población, con las que se contaba al inicio del estudio.

Gráfica 5-10. Promedio del peso bruto vehicular del camión tipo 3S3 en todas las estaciones de pesaje por sentido vial.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2.2: presenta una relación mediante tablas de la muestra tomada en campo y una descripción estadística del peso bruto vehicular en cada estación por tipo de vehículo y sentido. Estas tablas se dividieron en 5 columnas: en la primera se especifica el total de la estación, el sentido y el tipo de vehículo camión; MUESTRA, la muestra tomada en campo; MÍNIMO PBV (Kg), es el mínimo peso bruto vehicular; MÁXIMO PBV (Kg), es el máximo peso bruto vehicular y PROMEDIO PBV (Kg) es el promedio del peso bruto vehicular. Como ejemplo se presenta a continuación la relación de la Av. Boyacá con Calle 170 en la Tabla 5-8.

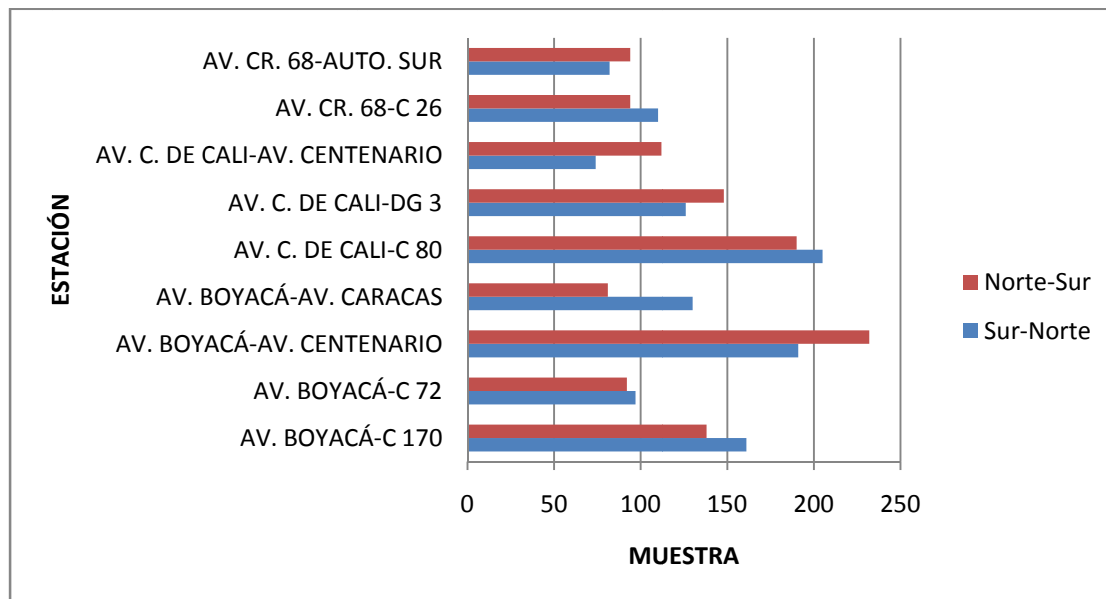
Tabla 5-8. Descripción de la muestra y estadísticas del peso bruto vehicular de los diferentes tipos de vehículo en la estación de la Av. Boyacá con Calle 170.

AV. BOYACÁ-CALLE 170				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	761	3600	55990	20709
NORTE-SUR	425	3720	55990	25290
2	138	3720	19400	9947
3	80	9330	34960	18638
2S1	1	11920	11920	11920
2S2	16	12760	31700	17471
2S3	1	37600	37600	37600
3S2	77	14920	53840	33579
3S3	112	15510	55990	44373
SUR-NORTE	336	3600	49430	14915
2	161	3600	17210	9291
3	40	5140	34790	17052
2S1	1	19890	19890	19890
2S2	21	10710	28860	17504
3S2	56	12820	46060	18619
3S3	57	12040	49430	24624

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2.3: presenta una figura para cada tipo de vehículo en la cual se presenta la muestra tomada en cada estación por sentido. Como ejemplo se presenta la Gráfica 5-11 de los vehículos tipo 2.

Gráfica 5-11. Muestra tomada en campo por estación y sentido del vehículo tipo 2.



Fuente: Elaboración propia.

5.2 ANÁLISIS DESCRIPTIVO POR EJES

En este capítulo se realiza una descripción de la muestra y el peso de los ejes clasificándolos por tipo y ubicación en el vehículo (iniciando en el cabezote y en dirección hacia el semirremolque). En la Tabla 5-9 se presenta la muestra y una descripción estadística del peso por eje según su ubicación, su tipo y el número de llantas.

Tabla 5-9. Descripción de la muestra y el peso por ubicación del eje, tipo y número de llantas.

	Muestra	Mínimo Peso (Kg)	Máximo Peso (Kg)	Rango (Kg)	Promedio de Peso (Kg)	Desviación estandar
1er EJE	6063	630	17260	16630	4222	1258
Sencillo	6047	630	12060	11430	4207	1216.1
2 Llantas	6047	630	12060	11430	4207	1216.1
Tandem	16	6240	17260	11020	9819	3176.3
4 Llantas	16	6240	17260	11020	9819	3176.3
2do EJE	6063	1290	31200	29910	10124	6507
Sencillo	2764	1290	23130	21840	6310	3349.2
2 Llantas	9	1410	13060	11650	5597	3761.3
4 Llantas	2755	1290	23130	21840	6312	3348.2
Tandem	3299	1430	31200	29770	13320	6784.5
4 Llantas	13	6000	24630	18630	13381	7607.8
8 Llantas	3286	1430	31200	29770	13320	6782.4
3er EJE	2527	1480	35600	34120	12351	7508
Sencillo	21	2860	10240	7380	5836	2122.8
2 Llantas	6	2860	7660	4800	4848	1944.7
4 Llantas	15	4000	10240	6240	6231	2121.8
Tandem	1309	2150	28120	25970	9932	6375.2
4 Llantas	57	2720	11960	9240	6714	2496.2
6 Llantas	1	5750	5750	0	5750	
8 Llantas	1251	2150	28120	25970	10081	6460.5
Tridem	1197	1480	35600	34120	15111	7736.9
8 Llantas	1	21300	21300	0	21300	
10 Llantas	2	24070	24910	840	24490	594.0
12 Llantas	1194	1480	35600	34120	15090	7733.8
TOTAL	14653	630	35600	34970	8066	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-10 se presenta la muestra tomada en campo de los ejes según su tipología en cada estación de pesaje.

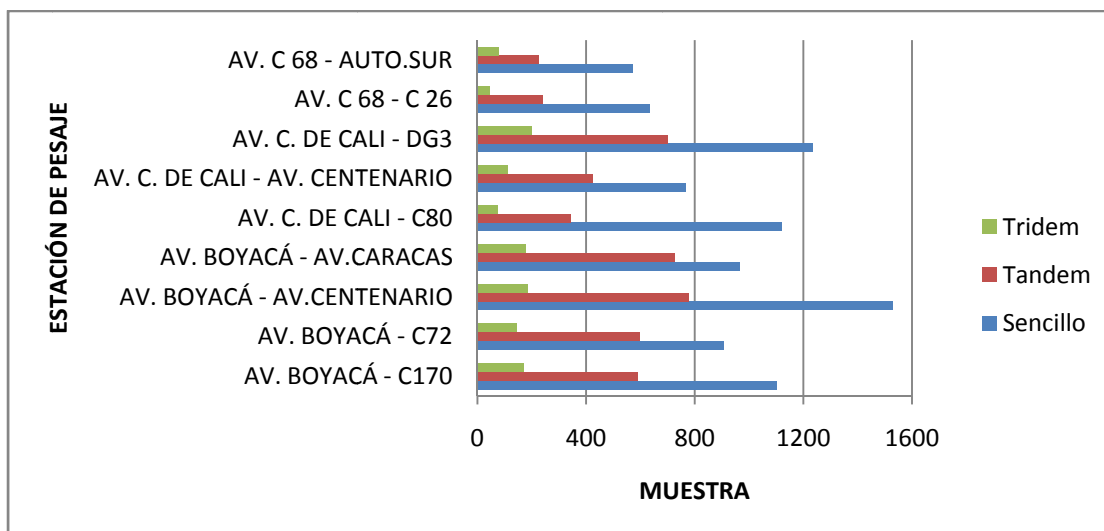
Tabla 5-10. Muestra tomada en campo por tipo de eje.

Tipo de vehículo	Sencillo	Tándem	Trídem	Total
AV. BOYACÁ - C170	1102	592	170	1864
AV. BOYACÁ - C72	908	597	144	1649
AV. BOYACÁ - AV.CENTENARIO	1529	777	187	2493
AV. BOYACÁ - AV.CARACAS	964	725	180	1869
AV. C. DE CALI - C80	1121	343	77	1541
AV. C. DE CALI - AV. CENTENARIO	766	425	111	1302
AV. C. DE CALI - DG3	1234	700	201	2135
AV. C 68 - C 26	637	240	48	925
AV. C 68 - AUTO.SUR	571	226	78	875
Total general	8832	4625	1196	14653

Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 5-12 se presenta la muestra tomada en campo de cada tipo de eje por estación de pesaje.

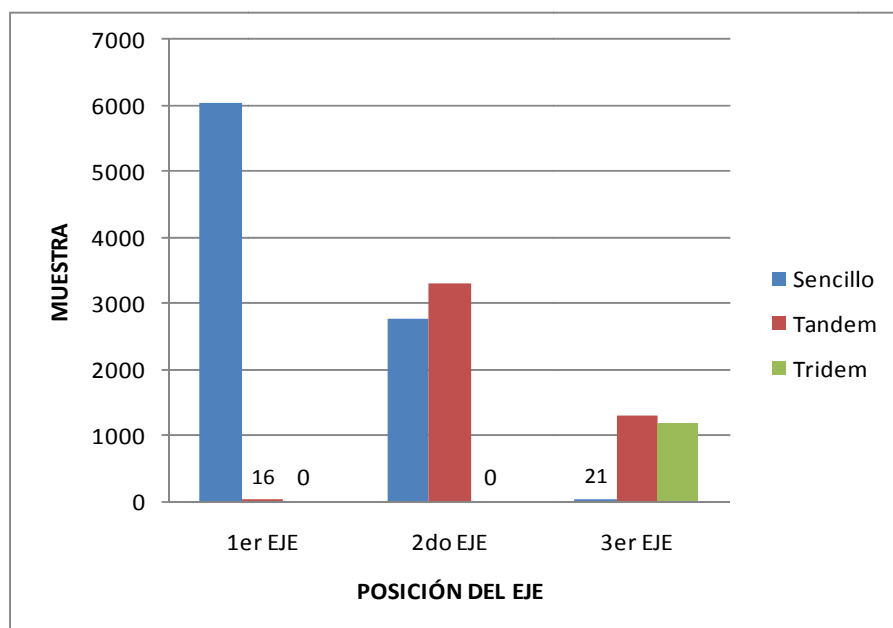
Gráfica 5-12. Muestra tomada en campo por tipo de eje en cada estación.



Fuente: Elaboración propia.

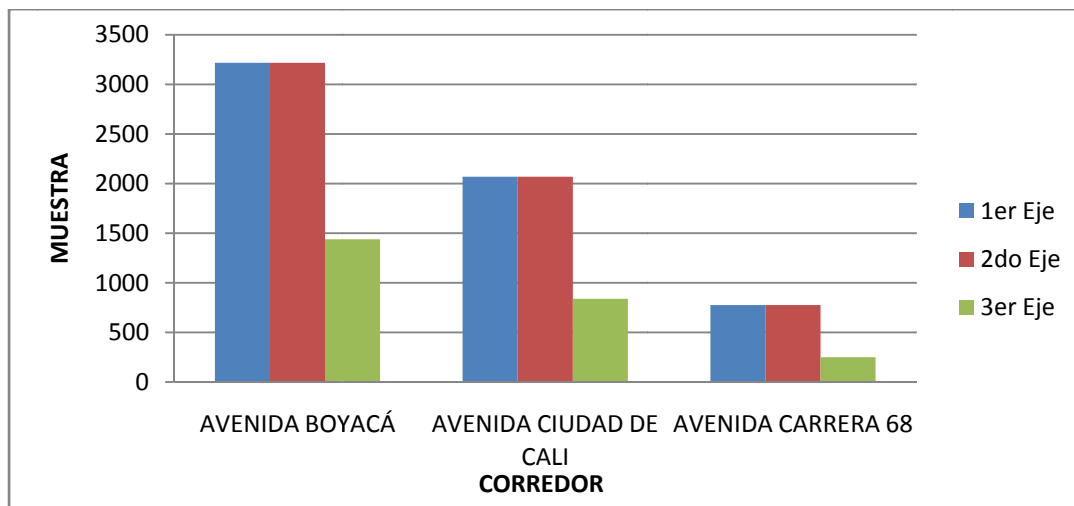
En la Gráfica 5-13 se presenta la muestra tomada en campo de cada tipo de eje según su ubicación en el vehículo para todas las estaciones de pesaje.

Gráfica 5-13. Muestra tomada en campo por ubicación del eje y tipo.



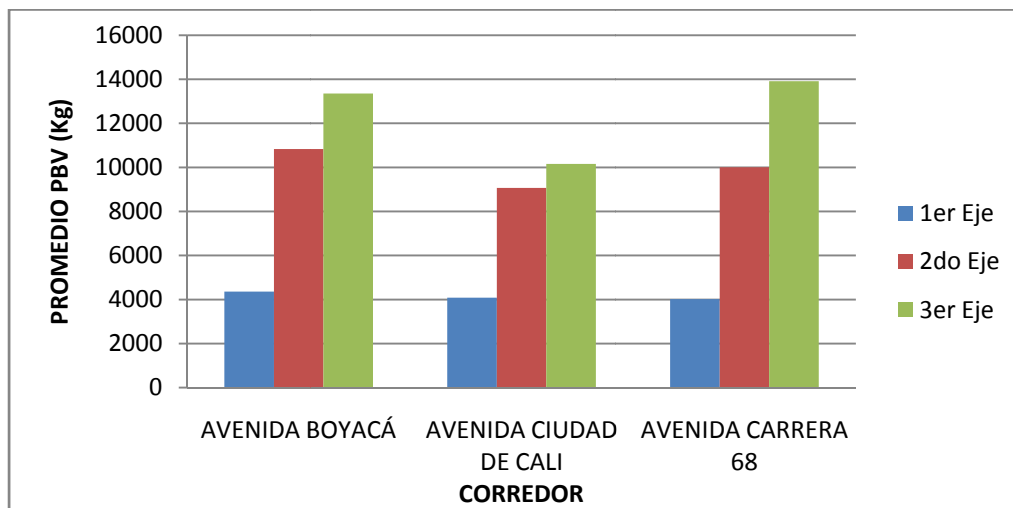
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5-14. Muestra tomada en campo de los ejes según su ubicación en el vehículo para cada corredor.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5-15. Promedio del peso de cada tipo de eje por corredor.



Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 5-11 a la Tabla 5-13 se presenta una descripción de la muestra y del peso por eje según su ubicación en el vehículo en las diferentes estaciones de pesaje. Estas tablas se dividen en 8 columnas:

1. Muestra: es la cantidad de ejes tomados en campo según la posición en el vehículo por corredor.
2. Rango: Diferencia entre el máximo y el mínimo peso de cada tipo de eje.
3. Mínimo: es el mínimo peso de cada eje obtenido en campo.
4. Máximo: es el máximo peso de cada eje obtenido en campo.

5. Media: es el promedio o media aritmética del peso de cada eje.
6. Desv. Típica: desviación típica o desviación estándar del peso de cada eje.
7. Asimetría: el coeficiente de asimetría nos dice que tan uniformes se distribuyen los datos (en este caso el peso por eje) alrededor de la media aritmética (distribución normal), lo cual se da cuando el coeficiente es igual a cero. Si el coeficiente es positivo se tiene una asimetría positiva, lo cual quiere decir que hay más datos superiores a la media, y al contrario, si el coeficiente es negativo, la simetría es negativa y quiere decir que hay más datos inferiores a la media aritmética.
8. Curtosis: el Coeficiente de Curtosis analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución. Si el coeficiente de curtosis es mayor a cero tenemos que los valores están muy cerca a la media, al contrario, si el coeficiente es menor a cero, tenemos que los datos se alejan de la media.

Tabla 5-11. Descripción de la muestra y el peso de los ejes según su ubicación en el vehículo en el corredor de la Avenida Boyacá.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO CORREDOR AVENIDA BOYACÁ								
	N	RANGO (Kg)	MÍNIMO (Kg)	MÁXIMO (Kg)	MEDIA (Kg)	DESV. TÍP.	ASIMETRÍA	CURTOSIS
AVENIDA BOYACÁ X AVENIDA SAN JOSÉ (CALLE 170)								
1er eje	761	10500	1560	12060	4277	1222.36	0.82	3.23
2do eje	761	27400	1430	28830	10406	6788.38	0.86	-0.59
3er eje	342	27450	1920	29370	13409	8065.64	0.29	-1.55
Peso Bruto Vehicular	761	52390	3600	55990	20709	14824.92	1.05	-0.24
AVENIDA BOYACÁ X AVENIDA CALLE 72								
1er eje	664	8310	1430	9740	4576	1225.58	0.76	1.46
2do eje	664	24920	1620	26540	10691	6140.59	0.74	-0.79
3er eje	321	25470	1480	26950	11225	7130.94	0.70	-1.09
Peso Bruto Vehicular	664	48910	3050	51960	20693	12147.45	1.04	0.14
AVENIDA BOYACÁ X AVENIDA CENTENARIO (CALLE 13)								
1er eje	1057	16630	630	17260	4234	1420.29	1.29	8.81
2do eje	1057	27160	1310	28470	10261	6814.55	0.78	-0.77
3er eje	379	30900	2100	33000	12996	7622.80	0.31	-1.40
Peso Bruto Vehicular	1057	63660	2990	66650	19154	13600.76	1.09	0.08
AVENIDA BOYACÁ X AVENIDA CARACAS (C 1)								
1er eje	736	9390	1110	10500	4439	1157.90	0.56	2.20
2do eje	736	28110	1400	29510	12230	6650.34	0.21	-1.21
3er eje	397	26850	2150	29000	15375	6925.59	-0.43	-1.17
Peso Bruto Vehicular	736	53010	2520	55530	24963	15136.08	0.35	-1.37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-12. Descripción de la muestra y el peso de los ejes según su ubicación en el vehículo en el corredor de la Avenida Ciudad de Cali.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO CORREDOR AVENIDA CIUDAD DE CALI								
	N	RANGO (Kg)	MÍNIMO (Kg)	MÁXIMO (Kg)	MEDIA (Kg)	DESV. TÍP.	ASIMETRÍA	CURTOSIS
AVENIDA CIUDAD DE CALI X CALLE 80								
1er eje	687	12660	1070	13730	3995	1219.33	1.51	6.52
2do eje	687	25360	1290	26650	8598	5657.10	1.37	1.02
3er eje	167	23450	2570	26020	10202	6732.81	1.07	-0.37
Peso Bruto Vehicular	687	52020	2750	54770	15073	10011.52	1.81	3.26
AVENIDA CIUDAD DE CALI X AVENIDA CENTENARIO (CALLE 13)								
1er eje	524	8500	1460	9960	4234	1171.09	0.97	3.06
2do eje	524	29440	1760	31200	9570	6343.36	1.28	0.66
3er eje	254	24770	3320	28090	10200	6792.43	1.16	-0.16
Peso Bruto Vehicular	524	55560	3600	59160	18748	12020.14	1.35	1.09
AVENIDA CIUDAD DE CALI X DIAGONAL 3 (AVENIDA AMERICAS)								
1er eje	859	7210	1390	8600	4057	1173.13	0.78	1.60
2do eje	859	25530	1570	27100	9135	6144.59	1.12	-0.01
3er eje	417	26480	2840	29320	10117	6728.04	0.95	-0.66
Peso Bruto Vehicular	859	50800	3260	54060	18103	11954.33	1.23	0.56

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-13. Descripción de la muestra y el peso de los ejes según su ubicación en el vehículo en el corredor de la Avenida Carrera 68.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO CORREDOR AVENIDA CARRERA 68								
	N	RANGO (Kg)	MÍNIMO (Kg)	MÁXIMO (Kg)	MEDIA (Kg)	DESV. TÍP.	ASIMETRÍA	CURTOSIS
AVENIDA CARRERA 68 X AVENIDA CALLE 26								
1er eje	404	10830	1220	12050	3981	1327.48	1.14	3.17
2do eje	404	27300	1800	29100	9569	6373.75	1.02	-0.01
3er eje	117	32740	2860	35600	13048	8072.33	0.55	-1.07
Peso Bruto Vehicular	404	58540	3560	62100	17329	12668.90	1.45	1.27
AVENIDA CARRERA 68 X AUTOPISTA SUR								
1er eje	371	7380	1660	9040	4062	1171.85	0.83	1.35
2do eje	371	25910	1800	27710	10474	6786.46	0.85	-0.69
3er eje	133	29200	4200	33400	14675	7796.22	0.05	-1.50
Peso Bruto Vehicular	371	58510	3510	62020	19797	14370.04	1.08	-0.20

Fuente: Elaboración propia.

5.3 ANÁLISIS DE LA SOBRECARGA

En esta sección se presenta una descripción estadística de la sobrecarga del peso bruto vehicular y la sobrecarga por eje para cada estación de pesaje y tipo de vehículo.

En la Tabla 5-14 se presenta el porcentaje de vehículos con sobrepeso en su PBV para cada tipo, corredor y sentido. En esta tabla no se presentan los vehículos tipo 2S1, 2S3 y 3S1 ya que no se presentó ningún vehículo con sobrepeso para estas tipologías en ninguna de las estaciones de pesaje.

Tabla 5-14. Porcentaje de vehículos con sobrepeso según su tipo, corredor y sentido.

TIPO DE VEHÍCULO	AVENIDA BOYACÁ		TOTAL
	NORTE-SUR	SUR-NORTE	
2	3.0%	6.4%	4.8%
3	15.9%	19.7%	17.5%
4	0.0%	25.0%	20.0%
2S2	1.5%	0.0%	0.7%
3S2	2.0%	2.8%	2.4%
3S3	6.2%	3.3%	5.0%
GENERAL	6.0%	7.0%	6.5%
TIPO DE VEHÍCULO	AVENIDA CIUDAD DE CALI		TOTAL
	NORTE-SUR	SUR-NORTE	
2	3.0%	2.0%	2.5%
3	14.2%	34.4%	23.0%
4	0.0%	0.0%	0.0%
2S2	0.0%	0.0%	0.0%
3S2	0.0%	0.7%	0.4%
3S3	0.5%	2.1%	1.3%
GENERAL	3.7%	6.1%	4.9%
TIPO DE VEHÍCULO	AVENIDA CARRERA 68		TOTAL
	NORTE-SUR	SUR-NORTE	
2	2.2%	2.7%	2.4%
3	6.4%	36.8%	24.3%
4	0.0%	0.0%	0.0%
2S2	0.0%	0.0%	0.0%
3S2	0.0%	2.6%	1.4%
3S3	0.0%	5.1%	3.3%
GENERAL	2.1%	8.7%	5.7%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-15 se presenta el porcentaje de vehículos con sobrepeso para las nueve (9) estaciones de pesaje.

Finalmente se determinó el porcentaje total de vehículos con sobrepeso en las nueve estaciones de pesaje para todas las tipologías de vehículos en 5.8%, siendo el vehículo tipo 3 el que presenta un porcentaje de vehículos superior a todas las demás tipologías con un 20.0%.

Tabla 5-15. Porcentaje de vehículos con sobrepeso según tipología para las nueve estaciones de pesaje.

TIPO DE VEHÍCULO	VEHÍCULOS CON SOBREPESO
2	3.6%
3	20.0%
4	6.7%
2S1	0%
2S2	0.3%
2S3	0%
3S1	0%
3S2	1.8%
3S3	3.6%
GENERAL	5.8%

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 5-16 a la Tabla 5-18 se presenta el porcentaje de vehículos con sobrepeso en cada estación por sentido y tipo de vehículo. Se designa como N.A. (no aplica) en las estaciones de pesaje en las cuales no se tomó muestra de cierto tipo de vehículo.

Tabla 5-16. Descripción del sobrepeso del peso bruto vehicular por estación, sentido vial y tipo de vehículo en el corredor de la Avenida Boyacá.

CORREDOR AVENIDA BOYACÁ										
ESTACIÓN	SENTIDO VIAL	TIPO DE VEHICULO								
		2	3	4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3
AVENIDA BOYACÁ - CALLE 170	NORTE-SUR	4%	21%	N.A.	0%	0%	0%	N.A.	4%	17%
	SUR-NORTE	0%	13%	N.A.	0%	0%	N.A.	N.A.	0%	0%
	TOTAL ESTACIÓN	2%	18%	N.A.	0%	0%	0%	N.A.	2%	11%
AVENIDA BOYACÁ - CALLE 72	NORTE-SUR	3%	11%	N.A.	N.A.	5%	N.A.	N.A.	4%	0%
	SUR-NORTE	13%	11%	0%	0%	0%	N.A.	0%	0%	0%
	TOTAL ESTACIÓN	8%	11%	0%	0%	2%	N.A.	0%	2%	0%
AVENIDA BOYACÁ - AVENIDA CENTENARIO	NORTE-SUR	2%	15%	N.A.	N.A.	0%	N.A.	N.A.	1%	4%
	SUR-NORTE	2%	17%	33%	0%	0%	0%	0%	3%	1%
	TOTAL ESTACIÓN	2%	16%	33%	0%	0%	0%	0%	2%	3%
AVENIDA BOYACÁ - AVENIDA CARACAS	ESTE-OESTE	14%	26%	0%	N.A.	0%	0%	0%	6%	10%
	OESTE-ESTE	5%	4%	0%	N.A.	0%	N.A.	0%	0%	0%
	TOTAL ESTACIÓN	10%	14%	0%	N.A.	0%	0%	0%	3%	4%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-17. Descripción del sobrepeso del peso bruto vehicular por estación, sentido vial y tipo de vehículo en el corredor de la Avenida Ciudad de Cali.

CORREDOR AVENIDA CIUDAD DE CALI										
ESTACIÓN	SENTIDO VIAL	TIPO DE VEHICULO								
		2	3	4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3
AVENIDA CIUDAD DE CALI - CALLE 80	NORTE-SUR	3%	3%	0%	N.A.	0%	0%	N.A.	0%	0%
	SUR-NORTE	3%	28%	0%	N.A.	0%	N.A.	N.A.	0%	7%
	TOTAL ESTACIÓN	3%	15%	0%	N.A.	0%	0%	N.A.	0%	3%
AVENIDA CIUDAD DE CALI - AVENIDA CENTENARIO	NORTE-SUR	4%	9%	0%	N.A.	0%	N.A.	N.A.	0%	1%
	SUR-NORTE	3%	40%	0%	N.A.	0%	0%	N.A.	0%	2%
	TOTAL ESTACIÓN	3%	22%	0%	N.A.	0%	0%	N.A.	0%	2%
AVENIDA CIUDAD DE CALI - DIAGONAL 3	NORTE-SUR	2%	22%	0%	0%	0%	N.A.	0%	0%	0%
	SUR-NORTE	0%	18%	0%	0%	0%	N.A.	N.A.	1%	1%
	TOTAL ESTACIÓN	1%	20%	0%	0%	0%	N.A.	0%	1%	0%

Fuente: Elaboración propia.

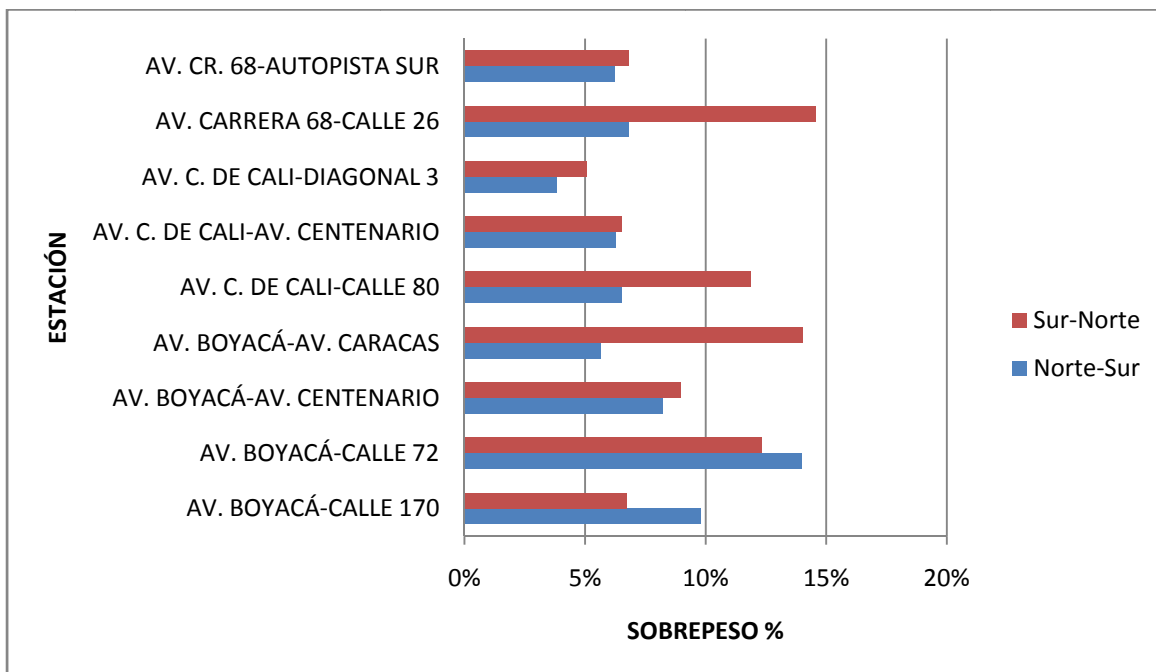
Tabla 5-18. Descripción del sobrepeso del peso bruto vehicular por estación, sentido vial y tipo de vehículo en el corredor de la Avenida Carrera 68.

CORREDOR AVENIDA CARRERA 68										
ESTACIÓN	SENTIDO VIAL	TIPO DE VEHICULO								
		2	3	4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3
AVENIDA CARRERA 68 - CALLE 26	NORTE-SUR	2%	0%	0%	0%	0%	N.A.	N.A.	0%	0%
	SUR-NORTE	4%	28%	0%	N.A.	0%	N.A.	N.A.	4%	12%
	TOTAL ESTACIÓN	3%	19%	0%	0%	0%	N.A.	N.A.	3%	6%
AVENIDA CARRERA 68 - AUTOPISTA SUR	NORTE-SUR	2%	13%	N.A.	N.A.	0%	N.A.	N.A.	0%	0%
	SUR-NORTE	1%	26%	N.A.	N.A.	0%	N.A.	N.A.	0%	2%
	TOTAL ESTACIÓN	2%	21%	N.A.	N.A.	0%	N.A.	N.A.	0%	1%

Fuente: Elaboración propia.

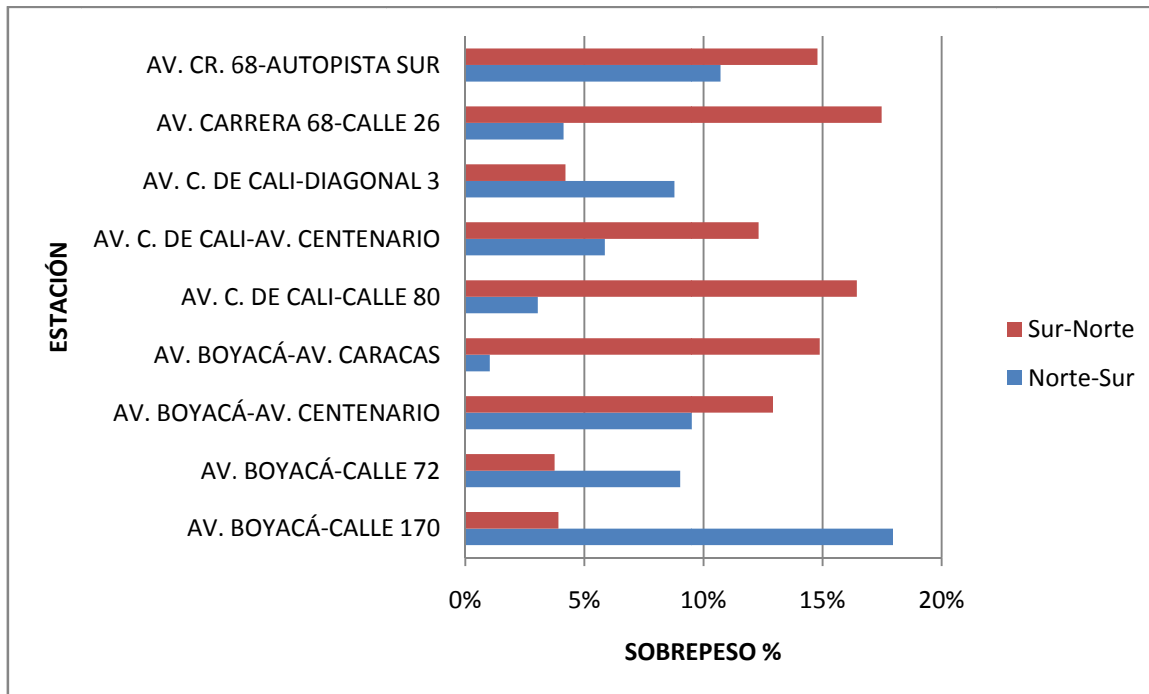
De la Gráfica 5-16 a la Gráfica 5-18 se presenta el sobrepeso de cada tipo de eje por estación y sentido vial.

Gráfica 5-16. Sobre peso del eje sencillo por estación de pesaje y sentido vial.



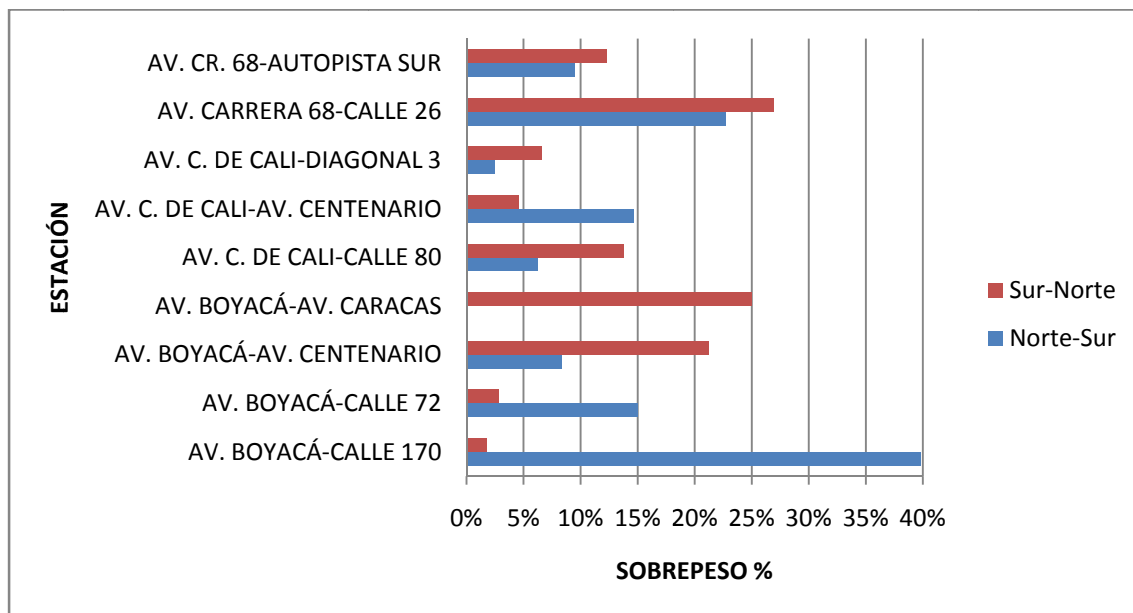
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5-17. Sobre peso del eje tándem por estación de pesaje y sentido vial.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5-18. Sobre peso del eje tridem por estación de pesaje y sentido vial.

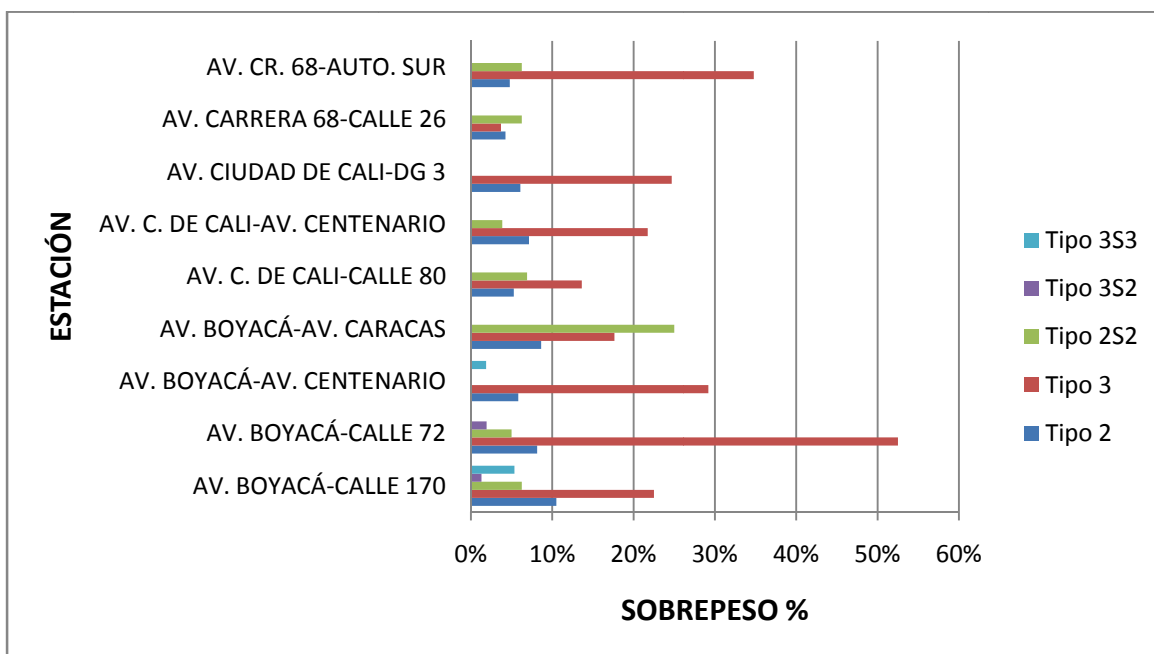


Fuente: Elaboración propia.

Como complemento a esta información se presentan los siguientes anexos:

- **Anexo 2.4:** porcentaje de ejes con sobrepeso por estación de pesaje, sentido vial y tipología de vehículo. Como ejemplo se presenta en la Gráfica 5-19 el sobrepeso del eje sencillo en sentido norte-sur.

Gráfica 5-19. Sobre peso del eje sencillo en sentido norte-sur en cada estación de pesaje por tipología de vehículo.



Fuente: Elaboración propia.

- **Anexo 2.5:** presenta una figura para cada estación de pesaje en la cual se grafica la frecuencia relativa acumulada del sobrepeso por cada tipo de eje. A continuación se presenta como ejemplo en la Tabla 5-19 el cálculo para la estación de la Av. Ciudad de Cali con Calle 80, y en la Gráfica 5-20 se representan los resultados de manera grafica:

Tabla 5-19. Cálculo de la frecuencia relativa acumulada para la estación de la Av. Ciudad de Cali con Calle 80.

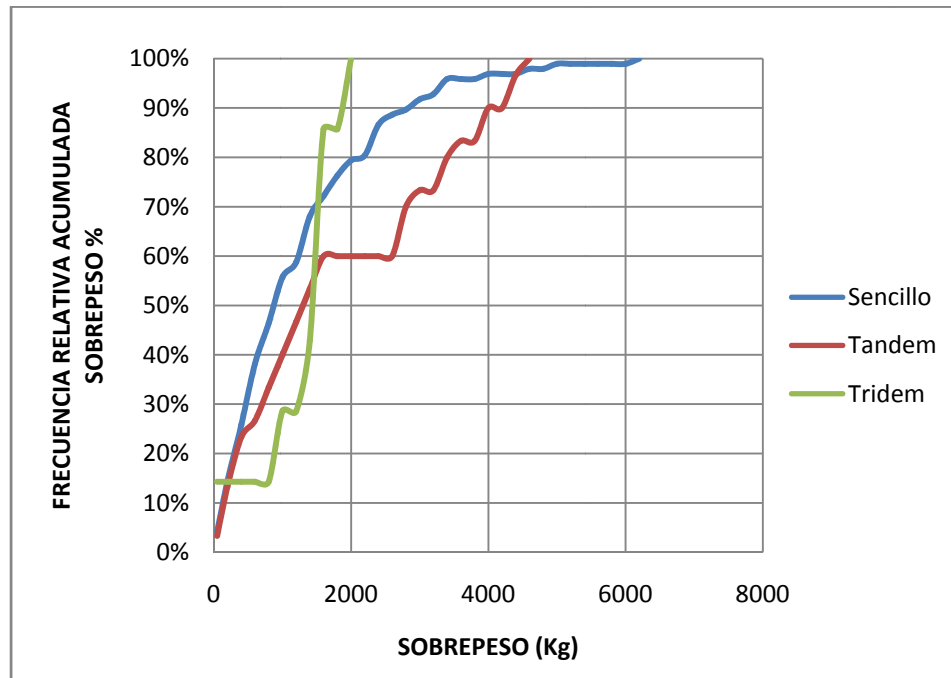
AVENIDA CIUDAD DE CALI x CALLE 80									
Intervalos de clase Sobrepeso (Kg)	EJE SENCILLO			EJE TÁNDEM			EJE TRÍDEM		
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia relativa acumulada
50	4	4%	4%	1	3%	3%	1	14%	14%
200	10	10%	14%	3	10%	13%	0	0%	14%
400	11	11%	26%	3	10%	23%	0	0%	14%
600	12	12%	38%	1	3%	27%	0	0%	14%
800	8	8%	46%	2	7%	33%	0	0%	14%
1000	9	9%	56%	2	7%	40%	1	14%	29%
1200	3	3%	59%	2	7%	47%	0	0%	29%
1400	9	9%	68%	2	7%	53%	1	14%	43%
1600	4	4%	72%	2	7%	60%	3	43%	86%
1800	4	4%	76%	0	0%	60%	0	0%	86%
2000	3	3%	79%	0	0%	60%	1	14%	100%
2200	1	1%	80%	0	0%	60%			
2400	6	6%	87%	0	0%	60%			
2600	2	2%	89%	0	0%	60%			
2800	1	1%	90%	3	10%	70%			
3000	2	2%	92%	1	3%	73%			
3200	1	1%	93%	0	0%	73%			
3400	3	3%	96%	2	7%	80%			
3600	0	0%	96%	1	3%	83%			
3800	0	0%	96%	0	0%	83%			
4000	1	1%	97%	2	7%	90%			
4200	0	0%	97%	0	0%	90%			
4400	0	0%	97%	2	7%	97%			
4600	1	1%	98%	1	3%	100%			
4800	0	0%	98%						
5000	1	1%	99%						
5200	0	0%	99%						
5400	0	0%	99%						
5600	0	0%	99%						
5800	0	0%	99%						
6000	0	0%	99%						
6200	1	1%	100%						

Fuente: Elaboración propia.

- Intervalos de clase Sobrepeso (Kg): intervalos de sobrepeso.
- Frecuencia Absoluta: cantidad de ejes cuyo peso se ubica dentro del intervalo.
- Frecuencia Relativa: es la relación entre la frecuencia absoluta y el número total de muestra.

- Frecuencia Relativa Acumulada: es la suma acumulada de la frecuencia relativa.

Gráfica 5-20. Frecuencia relativa acumulada del sobrepeso para cada tipo de eje en la Av. Ciudad de Cali con Calle 80.



Fuente: Elaboración propia.

6 ESPECTROS DE CARGA

6.1 GENERALIDADES DE LOS ESPECTROS DE CARGA¹³

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

La importancia de ese factor es exponencialmente mayor en vías de alto y muy alto tránsito vehicular, como sucede en los ejes carreteros troncales, aunque no exclusivamente, en donde un gran porcentaje de los vehículos son de carga y muy pesados.

Para fines de diseño, rehabilitación, modernización, reconstrucción, preservación y operación de carreteras, se propone que la mejor caracterización del tránsito vehicular es en términos de lo que denomina espectros de carga de cada uno de los diferentes tipos de ejes.

Los espectros de carga se calculan usualmente para cada tipo de eje: sencillo dual, tandem y tridem. Se definen como la relación entre el número de ejes con cierto rango de carga y el número total de ese tipo de eje, expresado en porcentaje.

6.1.1 ASPECTOS IMPORTANTES DE LOS ESPECTROS DE CARGA¹⁴

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

Cada punto del espectro de carga representa el porcentaje de ejes de un cierto tipo que circula con cierto nivel de carga.

El área bajo la curva de cada espectro de carga debe ser unitaria.

El espectro de carga caracteriza al tránsito pesado en el tramo carretero en donde se hace la medición. El seguimiento en el tiempo permite valorar la evolución de la distribución de las cargas, aspecto que está relacionado con la intensidad de las actividades económicas en el sector transporte.

Los valores máximos permiten identificar los niveles de carga más usuales; niveles que se pueden asociar a si los vehículos circulan vacíos o con carga completa.

Permite identificar los tramos carreteros en donde los niveles de carga exceden el reglamento y en qué porcentaje.

Se pueden asociar comportamientos del tránsito de vehículos de carga similares y establecer espectros regionales.

¹³ Tomado de: Quinta Conferencia Magistral “ Alfonso Rico Rodríguez”, Autor: Paul Garnica Anguas, 2010

¹⁴ Ibid

Permiten diseñar y revisar la capacidad estructural de un pavimento con datos realmente representativos de una red carretera.

Son indicadores de la severidad que se puede esperar de los distintos deterioros en una carretera a lo largo del tiempo. Esto puede ser de particular interés para los responsables de la conservación y mantenimiento de una red carretera en términos de desempeño.

Tomado de: Quinta Conferencia Magistral “Alfonso Rico Rodríguez”, Autor: Paul Garnica Anguas, 2010

6.1.2 VALORACIÓN DEL TRÁNSITO¹⁵

Dentro de la evaluación del tránsito, el ingeniero Fredy Reyes explica la influencia del espectro real de cargas en la evaluación del tránsito:

“...Por coeficientes de agresividad que permiten transformar el número de vehículos pesados contados (promedio diario anual) en un número acumulado de ejes típicos durante el periodo de servicio.

Este coeficiente tiene en cuenta la naturaleza de la estructura (rígida o flexible), de la vía y de los trabajos: construcción nueva o refuerzo. En efecto el espectro de cargas es diferente en autopistas, vías nacionales, regionales o locales....

...el CAM es una mayoración de las cargas reales que transitan sobre la vía, el cual es función de las combinaciones de las cargas de los vehículos pesados.”

6.1.3 ESTUDIOS ANTERIORES DE ESPECTROS DE CARGA

6.1.3.1 Espectros de carga vehicular para la zona urbana de Bogotá D.C.¹⁶

En este estudio se determinó el tipo de carga que se estaba transportando en Bogotá y que salía y entraba por la vía Bogotá – Melgar. Posteriormente, analizaron los vehículos de carga que salían de Bogotá por la vía a Briceño, y trazaron las curvas de espectros de carga para cada vehículo de carga. Calcularon el Coeficiente de Agresividad Media (CAM) para el año 2000 al 2004.

Se presentan textualmente las conclusiones de este trabajo:

...“El porcentaje de vehículos de pasajeros es mayor al de vehículos de carga en general para todos los sectores de estudio.

Las busetas conforman el 69% de los vehículos de pasajeros que transitan por la zona urbana de la ciudad.

El mayor porcentaje de camiones que circulan por Bogotá son los C2 pequeños, que conforman el 52.6% del volumen de vehículos de carga, seguidos por el C2 grande en un porcentaje de 27.9%.

¹⁵ Reyes, F. Diseño Racional de Pavimentos. Centro Editorial Javeriano, 2003.

¹⁶ Castellanos, A. et al. Universidad de los Andes, 2004.

Las pruebas de hipótesis planteadas en lo referente al cumplimiento de las normas sobre pesajes fueron positivas, lo cual quiere decir que la muestra está dentro de los límites permitidos por la resolución vigente, esto se presenta en todos los años objeto del estudio.

El tipo de camión más representativo es el C2 durante todos los años de estudio y el que menos se presenta es el C3-S1.

Después de un análisis estadístico se encontró que el coeficiente de variación de la muestra se encuentra en rangos desde 21.01% hasta 105.23%, lo cual indica una alta variabilidad que puede atribuirse al amplio rango del tipo de carga transportada, lo anterior, debido a que en las observaciones se tienen datos de camiones que van vacíos hasta aquellos que contienen maquinaria y equipo de construcción.

Teniendo en cuenta que el mayor valor posible del CAM es 1.0, lo cual indica que las repeticiones de ejes equivalentes que transitan por el pavimento generan el mayor daño a la estructura, por medio del presente estudio se puede establecer que las cargas aplicadas en las zonas de análisis el daño surgido por causa de la fatiga de las capas es mínimo. Lo anterior, puede explicarse al observar que el promedio de las cargas está cumpliendo con las normas establecidas para que el daño sea leve.

Después de analizar los datos, encontramos que aunque en el año 2004 se presentan los valores mínimos de peso bruto promedio, en este año el CAM es el más alto, lo que puede ocasionarse debido a la distribución de la carga en los ejes del vehículo, lo cual representa mayor agresividad en el daño de la estructura de pavimento en estudio.

Del análisis de las curvas de espectros de carga, observamos que la mayoría de ellas está sesgada a la izquierda, lo cual puede ocasionarse por múltiples razones:

La mayoría de vehículos van con cargas muy bajas o vacíos.

Pueden estar siendo tomados como C2 vehículos con características inferiores a las establecidas por la normatividad del INVIAS, razón por la cual los cálculos se ven afectados, llevando esto a unos coeficientes de agresividad menores a los esperados.”

6.1.4 A GUIDE TO AXLE LOAD SURVEYS AND TRAFFIC COUNTS FOR DETERMINING TRAFFIC LOADING ON PAVEMENTS¹⁷

El deterioro de caminos pavimentados por el tráfico se debe tanto a la magnitud de la carga como el número de veces que estas cargas se aplican. Para fines de diseño del pavimento se debe tener en cuenta no sólo el número total de vehículos que utilizará la carretera, sino también las cargas por vehículo o carga por eje. Por lo tanto, el conteo de tráfico e información de cargas por eje son esenciales para el diseño del pavimento.

El objetivo de esta guía técnica es ayudar en la planificación y ejecución de los conteos de tráfico y mediciones de cargas por eje. La guía muestra cómo analizar los datos para obtener cargas de tráfico actuales y proporciona la orientación sobre la predicción de los futuros niveles de tráfico, prediciendo el tráfico total de cargas que un pavimento tendrá durante su periodo de diseño.

Las cargas del tráfico se expresan normalmente en términos de millones de "ejes estándar" (MSA) sobre el periodo de diseño del pavimento. Nombran que el concepto de

¹⁷ TRL Limited Old Wokingham Road - Department for International Development, 2004

eje estándar se consolidó durante la prueba AASHTO llevada a cabo en los EE.UU. (Highway Research Board, 1962). En este estudio se evaluó el desempeño del pavimento, con respecto a un eje de 8,16 toneladas (18.000 libras) fue arbitrariamente definido como un "eje estándar". Los factores de equivalencia (EFs) fueron derivados a continuación, para otras cargas por eje, de tal manera que los efectos dañinos de los ejes más pesados y ligeros pueden ser expresados en términos del número de pasadas del eje estándar que producen el mismo daño (Liddle, 1962).

La relación entre la carga por eje y el eje estándar equivalente (o daño del pavimento) es una función de potencia tal que un pequeño aumento en la carga provoca un gran aumento en el daño del pavimento. Como consecuencia, algunos de los mayores errores en el diseño de pavimentos se han hecho debido a información inadecuada sobre la carga por eje. Por ejemplo, la hipótesis errónea de que los operadores de vehículos no sobrecargan sus vehículos o que los máximos pesos legales por eje rara vez se superan, han dado lugar a sub-dimensionamiento y a fallas prematuras en el pavimento.

Un amplio estudio en Asia de una muestra de 13.000 camiones cargados mostraron que la sobrecarga era evidente en 31% de los camiones de 2 ejes, 85% de los camiones de 3 ejes, el 74% de los camiones de 4 ejes y 75% de los camiones de 5 ejes. En otro estudio de Asia, y Hartanto Sastrowiyoto (1990) demostraron que, con exclusión de camiones que circulan vacíos, la sobrecarga era evidente en el 77% de camiones pesados de 2 ejes, el 70% de camiones de 3 ejes, y el 60% de los camiones de 4 ejes. En estudios previos en África (e.g. Jones, 1977 y Jones y Gulilat, 1977) encontraron que hasta un 70% de los vehículos comerciales estaban sobrecargados. Estas cifras son confirmadas por los estudios en todo el mundo.

Pero no es sólo el hecho de que tantos vehículos están sobrecargados, sino también la magnitud o el grado de sobrecarga que a menudo es muy sorprendente. En un ejemplo en una carretera nacional en África, se encontró que la sobrecarga era tal que el factor medio de equivalencia de los vehículos comerciales fue de más de cinco veces el valor que se habría obtenido si los vehículos fueron cargados a los límites legales (Rolt, 1981).

Así, si los pavimentos son para estar adecuadamente diseñados, la importancia del conocimiento preciso sobre la magnitud y la frecuencia de las cargas por eje que están en las carreteras es evidente. En cualquier proyecto de carreteras que este siendo diseñado, o evaluado en la etapa de factibilidad, se recomienda que se clasifique el tráfico por conteo y pesaje de cargas por eje de los vehículos comerciales se lleve a cabo. Lo ideal sería que esos estudios deben llevarse a cabo varias veces durante el año para reflejar los cambios estacionales en el número de vehículos y la magnitud de las cargas.

6.1.5 PARÁMETROS PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO

Los espectros son la representación gráfica de la carga por eje representada por medio de histogramas para cada tipo de vehículo, en estos histogramas se observa la carga máxima permitida por tipo de vehículo.

Para el caso de aplicación en Bogotá, se tendrá como referencia la resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004 modificada por la resolución 1782 de mayo de 2009 del Ministerio de Transporte, donde reglamente las tipologías, configuración y peso máximo permitido para los vehículos de carga.

Estas configuraciones de camiones cumplen una distribución con respecto al número de llantas por ejes, como se describe en el artículo 9 de la resolución 4100 del 28 de

diciembre de 2004 modificada por la resolución 1782 de mayo de 2009 del Ministerio de Transporte y se presentan en la Tabla 6-1; esta variación en un tipo de eje en función al número de llantas se tiene en cuenta para el análisis de resultados esperados.

Tabla 6-1. Pesos Máximos por eje autorizados el Ministerio de Transporte

Tipo de eje	Peso máximo por eje (kg)
Eje sencillo	
Dos llantas	6.000
Cuatro llantas	11.000
Eje tandem	
Cuatro llantas	11.000
Seis llantas	17.000
Ocho llantas	22.000
Eje tridem	
Seis llantas	16.500
Ocho llantas	19.000
Diez llantas	21.500
Doce llantas	24.000

Fuente: Resolución 4100 de 2004 modificada resolución 1782 de 2009 - Ministerio de Transporte

Se presenta en Tabla 6-2 la distribución de cargas de los ejes de acuerdo la resolución mencionada cumpliendo las dos condiciones establecidas en la misma: el peso máximo bruto por camión y por eje no deben ser superados.

Tabla 6-2. Distribución de Pesos máximos por eje en las diferentes configuraciones de vehículos de carga, según la Resolución 4100 de 2004 modificada resolución 1782 de 2009 - Ministerio de Transporte

Vehículo	Designación	Configuración
Camiones	2	 6 ton 11 ton
	3	 6 ton 22 ton
	4	 12 ton 22 ton
Tracto-camión con semirremolque	2-S1	 5 ton 11 ton 11 ton
	2-S2	 5 ton 10 ton 17 ton
	2-S3	 6 ton 11 ton 23,5 ton
	3-S1	 5 ton 14 ton 10 ton
	3-S2	 5 ton 21,5 ton 21,5 ton
	3-S3	 6 ton 22 ton 24 ton

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el eje de referencia utilizado en el país es 80 kN, y como no hay equivalencia entre este y el de 130 kN, se contempla la formulación de Liddle, que se define con el eje estándar de 80 kN o 130 kN.

Para el estudio en mención se empleara la metodología de análisis de CAM y dimensionamiento de estructuras de pavimentos de Laboratoire Centrale de Ponts et Chaussées presentada en el documento “*Conception et Dimensionnement des structures de Chaussée*”(1994), esta guía técnica se fundamenta en evaluar una gran diversidad de técnicas de pavimentos, similares a las utilizadas en nuestro contexto distrital, así como en enfatizar por un desarrollo de conocimiento y técnicas de innovación sobre los materiales y los métodos de construcción de pavimentos actuales.

El principio de esta metodología es la introducción de la base de la mecánica para el análisis de los pavimentos, validando los criterios propuestos por medio de observaciones en campo instrumentadas.

Con los datos recolectados de pesaje se realizan los espectros de carga de los vehículos de carga mencionados en la Tabla 6-2 y que la muestra representara el espectro real de cargas. De esta manera, se realizan los espectros de carga para los vehículos de carga tipo 2, 3, 2S2, 3S2 y 3S3; para los vehículos tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 se tomaron datos pero debido a su configuración no son muy usuales en el medio urbano, es preciso plantear en un nuevo proyecto estudios de caso para estas configuraciones y determinar sus espectro real en la ciudad.

El análisis de espectros de carga se realiza por medio de un formato general donde se muestra la siguiente información:

- Peso máximo permitido por eje de acuerdo a la configuración del vehículo en estudio (en número y en el espectro).
- Espectro de carga por eje.
- Intervalo de pesaje.
- Marca más frecuente, en toneladas.
- Frecuencia de la marca más frecuente.
- Tamaño de la muestra.
- Pesajes en número superiores al permitido.
- Porcentaje de vehículos con sobrecarga con respecto al tamaño de la muestra y los pesajes superiores al permitido.

El intervalo de clase de peso por eje varia cada 0,5 ton para tener una mejor distribución de los datos encontrados.

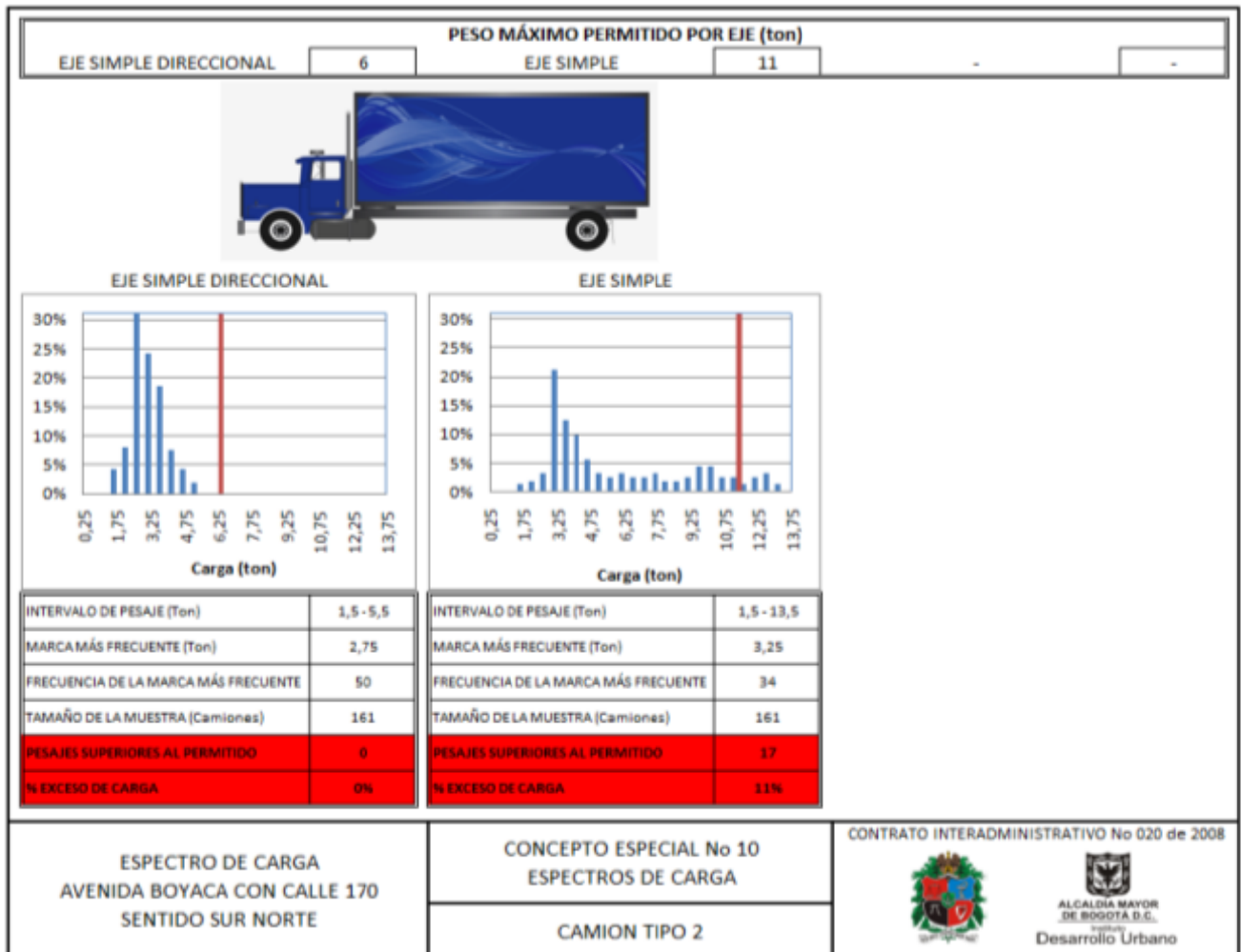
Los resultados de frecuencia se presentan en forma porcentual y la presentación gráfica de los espectros de carga por eje de un mismo vehículo se presenta a una misma escala en marca de clase (toneladas) y porcentaje.

De los resultados encontrados en la hoja de cálculo, se calcula la carga promedio excedida con respecto a las marcas mayores a la permitida y a la frecuencia de cada una de las marcas excedidas.

En la Figura 6-1 y en la Figura 6-2 se observa dos ejemplos del formato de Espectros de Carga realizado para el desarrollo del concepto especial No 10, espectro de carga del camión tipo 2 medido en la avenida Boyacá sentido sur- norte y espectro de carga del camión tipo 3S3 medido en la avenida Boyacá sentido norte sur respectivamente.

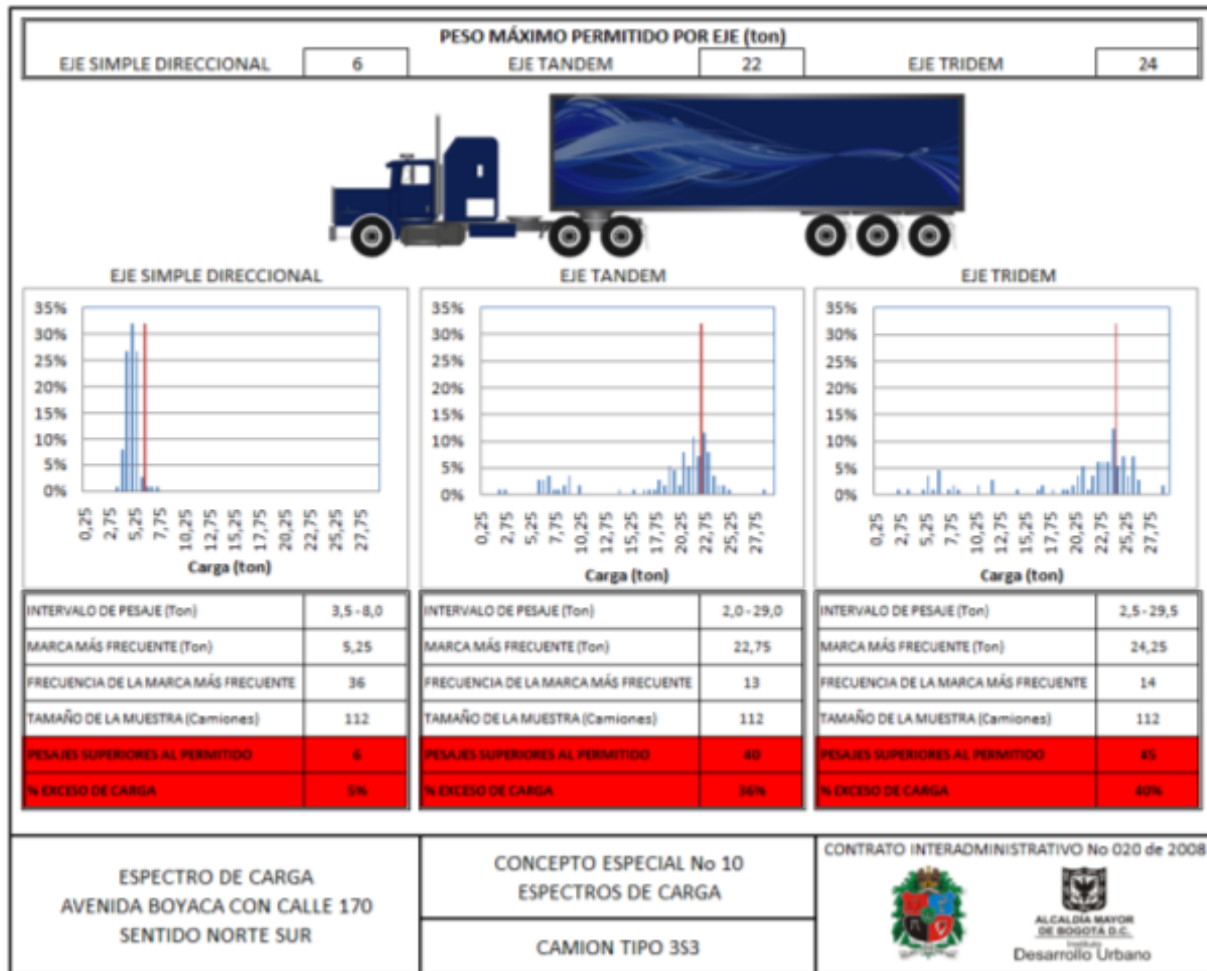
Los formatos de Espectros de Carga de los vehículos medidos en los diferentes sitios de pesaje se presentan en el Anexo 1. Espectros de Carga.

Figura 6-1. Ejemplo del formato Espectros de carga camión tipo 2, Avenida Boyacá sentido Sur Norte



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-2. Ejemplo del formato Espectros de carga camión tipo 3S3, Avenida Boyacá sentido Norte Sur



Fuente: Elaboración propia.

6.2 ESPECTROS AVENIDA BOYACÁ

En el corredor de la avenida Boyacá se tienen ocho puntos de medición de pesaje de acuerdo a las estaciones de pesaje y el sentido de avance.

De los espectros realizados, en la Tabla 6-3 se compila la información en porcentaje de los ejes excedidos con respecto a la muestra total por cada tipo de camión en cada punto de medición.

Tabla 6-3. Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la muestra total de ejes

CAMIÓN TIPO EJE MEDIDO PUNTO DE MEDICIÓN	2		3		2S2			3S2			3S3		
	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
CL 170 - SENTIDO NORTE SUR	2%	19%	23%	20%	6%	13%	0%	36%	3%	0%	5%	36%	40%
CL 170 - SENTIDO SUR NORTE	0%	11%	25%	15%	0%	14%	0%	13%	0%	0%	4%	5%	2%
CL 72 - SENTIDO NORTE SUR	0%	16%	53%	18%	10%	5%	5%	29%	8%	15%	0%	4%	15%
CL 72 - SENTIDO SUR NORTE	7%	28%	25%	12%	10%	17%	0%	30%	0%	3%	3%	3%	3%
CL 17 - SENTIDO NORTE SUR	1%	10%	29%	18%	3%	7%	0%	26%	0%	3%	2%	12%	8%
CL 17 - SENTIDO SUR NORTE	2%	14%	24%	20%	0%	13%	0%	40%	1%	16%	1%	10%	22%
AV. CARACAS - SENTIDO OESTE ESTE	0%	17%	18%	4%	25%	50%	0%	15%	0%	0%	0%	1%	0%
AV. CARACAS - SENTIDO ESTE OESTE	1%	26%	29%	26%	0%	0%	0%	53%	6%	19%	13%	27%	24%
Promedio	2%	18%	28%	17%	7%	15%	1%	30%	2%	7%	3%	12%	14%
desviación estándar	0,02	0,07	0,11	0,06	0,08	0,15	0,02	0,13	0,03	0,08	0,04	0,13	0,14

Fuente: Elaboración propia.

En función a la magnitud de carga excedida, en la Tabla 6-4 se presenta el porcentaje de exceso de carga calculada ponderadamente con los pesajes reportados por encima de las cargas por eje permitidas por eje.

Tabla 6-4. Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la magnitud de carga por eje permitida

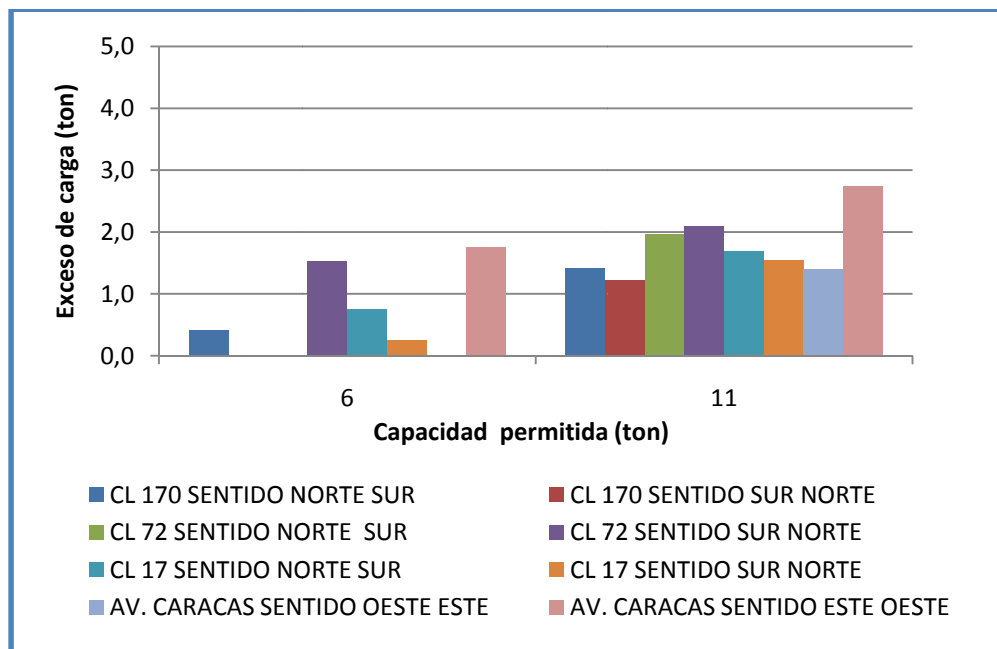
CAMIÓN TIPO EJE MEDIDO PUNTO DE MEDICIÓN	2		3		2S2			3S2			3S3		
	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
CL 170 - SENTIDO NORTE SUR	7%	13%	20%	14%	5%	28%	0%	9%	3%	12%	13%	6%	6%
CL 170 - SENTIDO SUR NORTE	0%	11%	15%	13%	0%	18%	0%	32%	0%	0%	58%	3%	5%
CL 72 - SENTIDO NORTE SUR	0%	18%	12%	6%	10%	78%	4%	9%	5%	9%	0%	6%	4%
CL 72 - SENTIDO SUR NORTE	26%	19%	23%	8%	12%	13%	0%	9%	0%	8%	54%	3%	4%
CL 17 - SENTIDO NORTE SUR	13%	15%	15%	8%	5%	5%	0%	7%	0%	5%	38%	7%	13%
CL 17 - SENTIDO SUR NORTE	4%	14%	21%	11%	0%	10%	0%	9%	6%	6%	4%	6%	5%
AV. CARACAS - SENTIDO OESTE ESTE	0%	13%	9%	9%	5%	20%	0%	7%	0%	0%	0%	1%	0%
AV. CARACAS - SENTIDO ESTE OESTE	29%	25%	29%	21%	0	0%	0%	14%	3%	3%	5%	5%	5%
Promedio	10%	16%	18%	11%	5%	21%	1%	12%	2%	6%	21%	5%	5%
desviación estándar	0,12	0,04	0,06	0,05	0,05	0,24	0,02	0,08	0,02	0,04	0,25	0,02	0,04

Fuente: Elaboración propia.

La desviación estándar calculada, con respecto al porcentaje de exceso debido a la magnitud de carga, reporta una baja dispersión de los datos en general, salvo en mediciones puntuales de algunos ejes donde se reporto una sola carga excedida y su magnitud fue muy alta, estos casos son 78% de exceso reportado en el segundo eje de un camión tipo 2S2 medido en la CI 72 sentido norte sur, 58% de exceso reportado en el primer eje de un camión tipo 3S3 medido en la CI 170 sentido sur norte y 54% de exceso reportado en el primer eje de un camión tipo 3S3 medido en la CI 72 sentido sur norte, los cuales aumentan de manera significativa la dispersión de los datos, pero que como se menciona de acuerdo a los reportes de pesaje fueron mediciones puntuales y no el comportamiento general de estos camiones, sin embargo se tienen en cuenta ya que hacen parte del espectro evaluado en los sitios de pesaje.

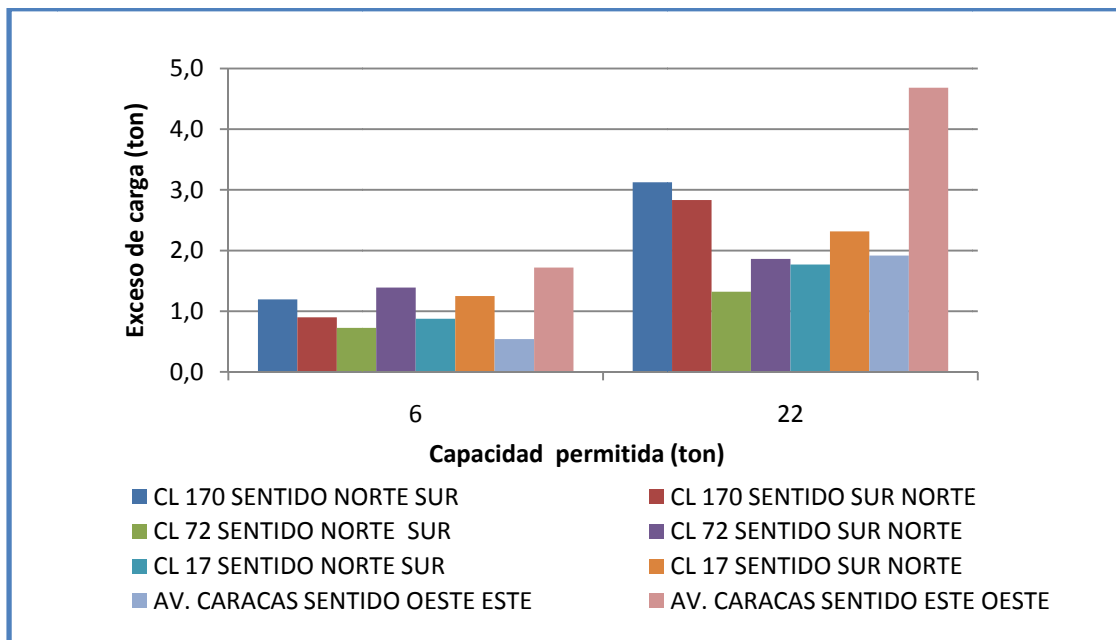
De la Gráfica 6-1 a la Gráfica 6-5 se observa el exceso de carga de cada camión con respecto a la carga por eje definida en el estudio.

Gráfica 6-1. Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 2



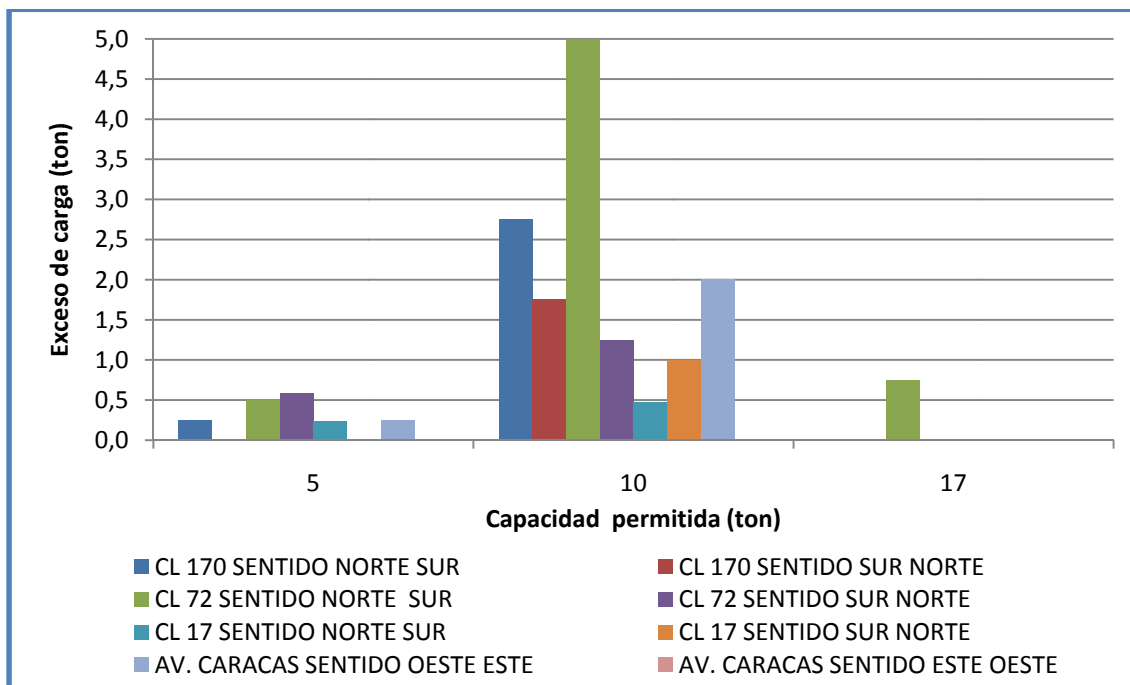
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6-2. Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 3



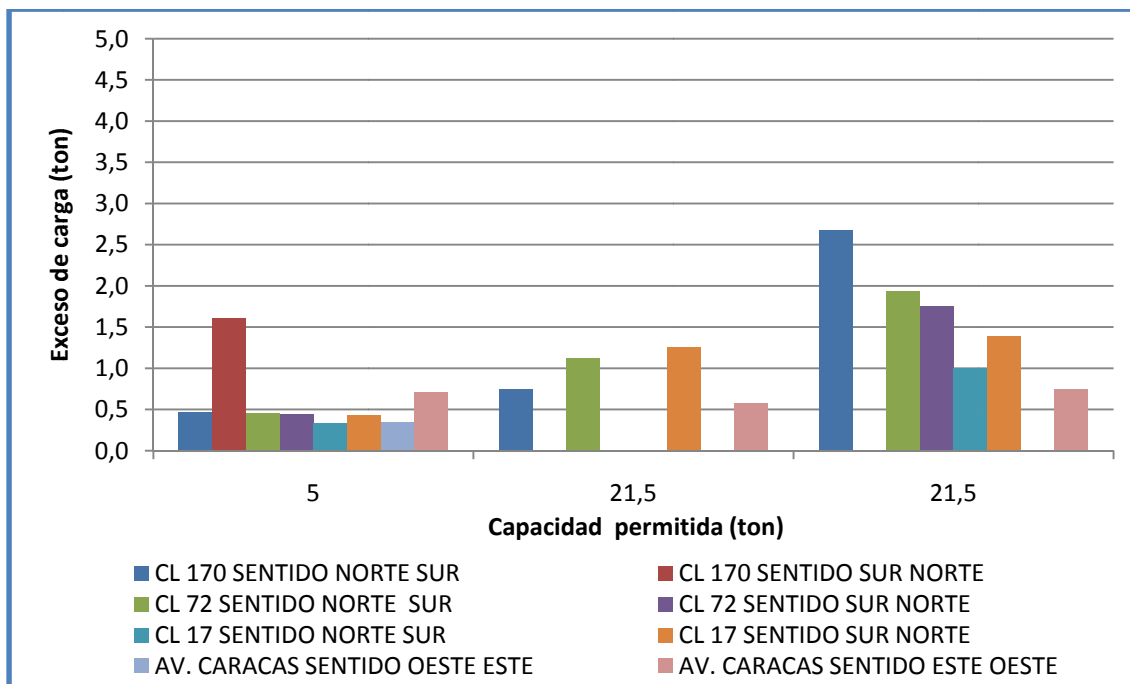
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6-3. Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 2S2



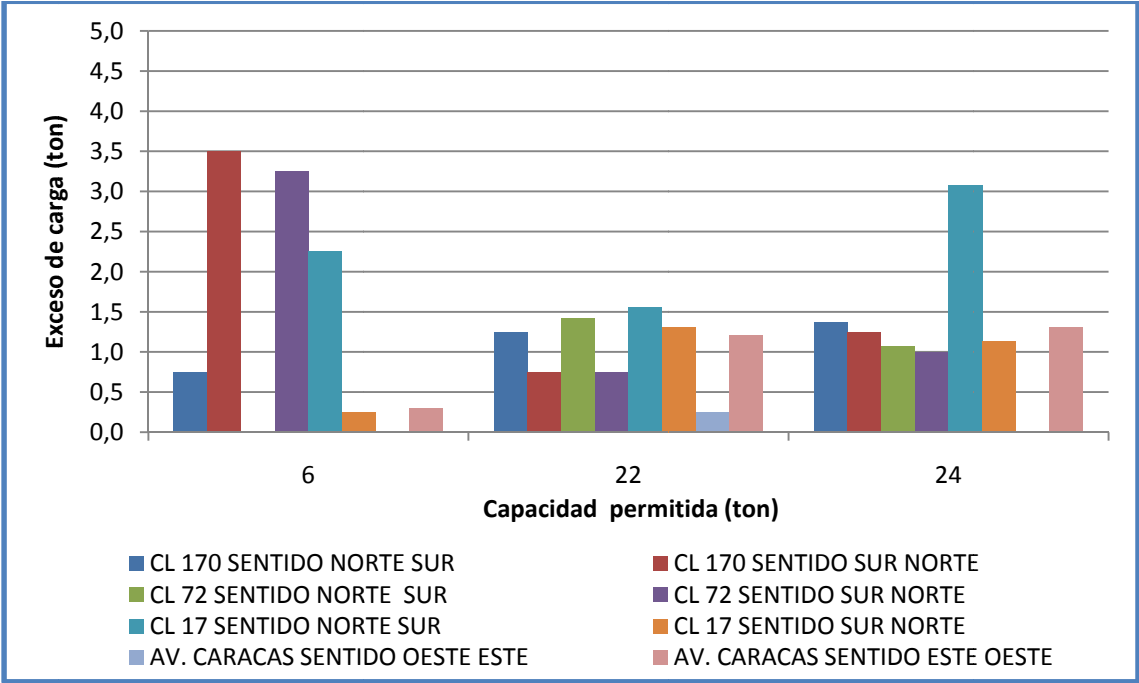
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6-4. Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 3S2



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6-5. Exceso de carga en la avenida Boyacá del camión tipo 3S3



Fuente: Elaboración propia.

De las graficas referenciadas se observa que el camión que transita por el corredor de la avenida Boyacá con mayor sobrecarga con respecto los otros camiones es el tipo 3.

En la Tabla 6-5 se observan los valores promedio de carga excedida, los cuales se usaran para calcular la disminución de vida útil con respecto a las cargas máximas permitidas.

Tabla 6-5. Cargas promedio excedida por tipo de vehículo en la avenida Boyacá

CAMIÓN TIPO	2		3		2S2			3S2			3S3		
EJE MEDIDO	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
PUNTO DE MEDICIÓN	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
Carga definida en el estudio (ton)	6	11	6	22	5	10	17	5	21,5	21,5	6	22	24
Promedio de exceso de carga (ton)	6,59	12,76	7,07	24,48	5,23	12,12	17,09	5,60	21,96	22,69	7,29	23,06	25,28
Promedio de exceso de carga (%)	10%	16%	18%	11%	5%	21%	1%	12%	2%	6%	21%	5%	5%

Fuente: Elaboración propia.

6.3 ESPECTROS AVENIDA 68

En el corredor de la avenida 68 se tienen cuatro puntos de medición de pesaje de acuerdo a las estaciones de pesaje y el sentido de avance.

De los espectros realizados, en la Tabla 6-6 se compila la información en porcentaje de los ejes excedidos con respecto a la muestra total por cada tipo de camión en cada punto de medición.

Tabla 6-6. Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la muestra total de ejes

CAMIÓN TIPO EJE MEDIDO PUNTO DE MEDICIÓN	2		3		2S2			3S2			3S3		
	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
AUTO SUR - SENTIDO NORTE SUR	0%	12%	26%	28%	0%	0%	0%	20%	20%	2%	12%	12%	12%
AUTO SUR - SENTIDO SUR NORTE	1%	9%	35%	17%	0%	13%	0%	13%	13%	0%	14%	14%	10%
CL 26 - SENTIDO NORTE SUR	1%	7%	4%	0%	75%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	14%	23%
CL 26 - SENTIDO SUR NORTE	0%	22%	41%	30%	0%	15%	0%	0%	0%	8%	12%	12%	27%
Promedio	1%	12%	26%	19%	19%	7%	0%	19%	8%	12%	2%	13%	18%
desviación estándar	0,01	0,07	0,16	0,14	0,38	0,08	0,00	0,17	0,10	0,10	0,04	0,01	0,08

Fuente: Elaboración propia.

En función a la magnitud de carga excedida, en la Tabla 6-7 se presenta el porcentaje de excedencia de carga calculada ponderadamente con los pesajes reportados por encima de las cargas por eje permitidas por eje.

Tabla 6-7. Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la magnitud de carga por eje permitida

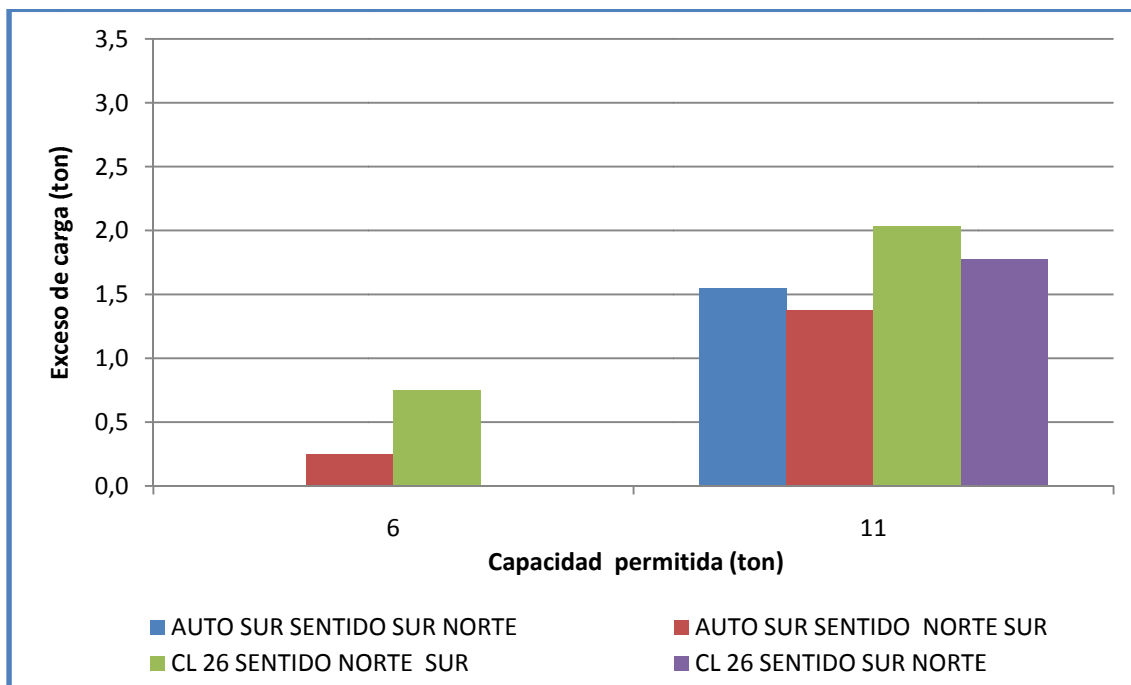
CAMIÓN TIPO EJE MEDIDO PUNTO DE MEDICIÓN	2		3		2S2			3S2			3S3		
	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
AUTO SUR - SENTIDO NORTE SUR	0%	14%	18%	16%	0%	0%	0%	8%	1%	1%	4%	4%	11%
AUTO SUR - SENTIDO SUR NORTE	4%	13%	15%	3%	0%	8%	0%	5%	0%	10%	0%	2%	5%
CL 26 - SENTIDO NORTE SUR	13%	19%	13%	0%	58%	0%	0%	5%	0%	6%	0%	2%	1%
CL 26 - SENTIDO SUR NORTE	0%	16%	16%	15%	0%	23%	0%	10%	0%	12%	8%	7%	14%
Promedio	4%	15%	15%	8%	15%	8%	0%	7%	0%	7%	3%	4%	8%
desviación estándar	0,06	0,03	0,02	0,08	0,29	0,11	0,00	0,03	0,01	0,05	0,04	0,03	0,06

Fuente: Elaboración propia.

La desviación estándar calculada, con respecto al porcentaje de excedencia debido a la magnitud de carga, reporta una baja dispersión de los datos en general, salvo en una medición puntual del primer eje de un camión tipo 2S2 medido en la CL 26 sentido norte sur donde se reportó una excedencia de 58%, este valor aumenta de manera significativa la dispersión de los datos en este eje para este tipo de camión siendo del orden de 0.29, sin embargo este valor en magnitud en este primer eje es alrededor de 2,92 ton de excedencia, por esta razón y debido a que hace parte del espectro evaluado en los sitios de pesaje se tiene en cuenta para la evaluación de disminución de vida útil.

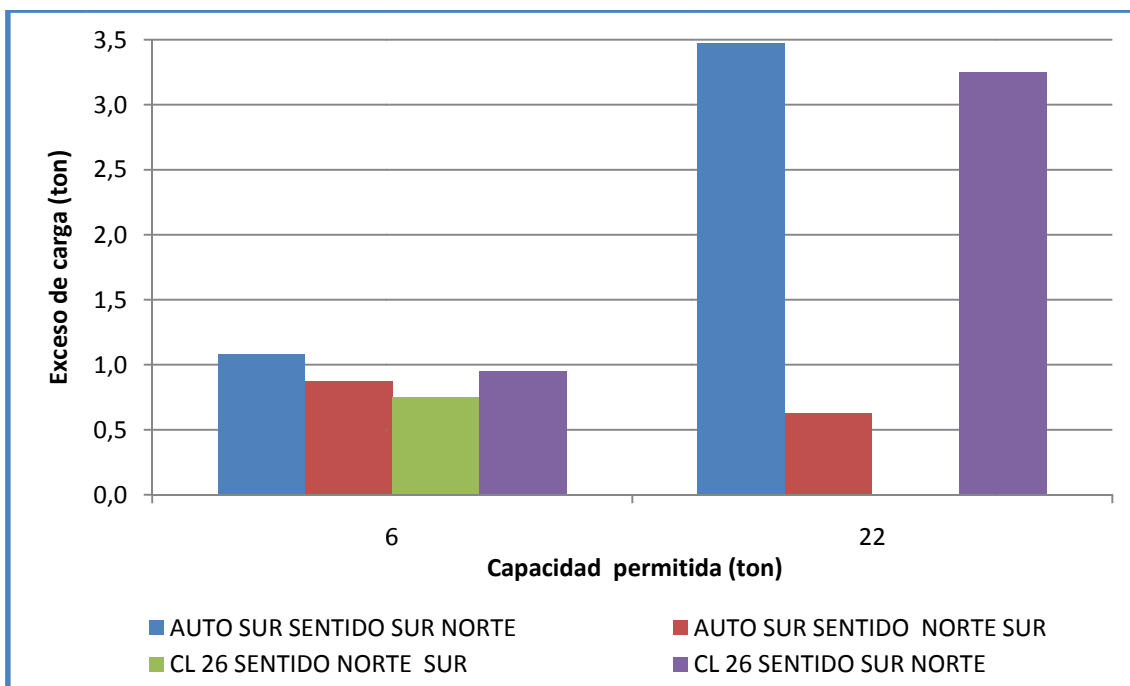
De la Gráfica 6-6 a la Gráfica 6-10 se observa el exceso de carga de cada camión con respecto a la carga por eje definida en el estudio.

Gráfica 6-6. Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 2



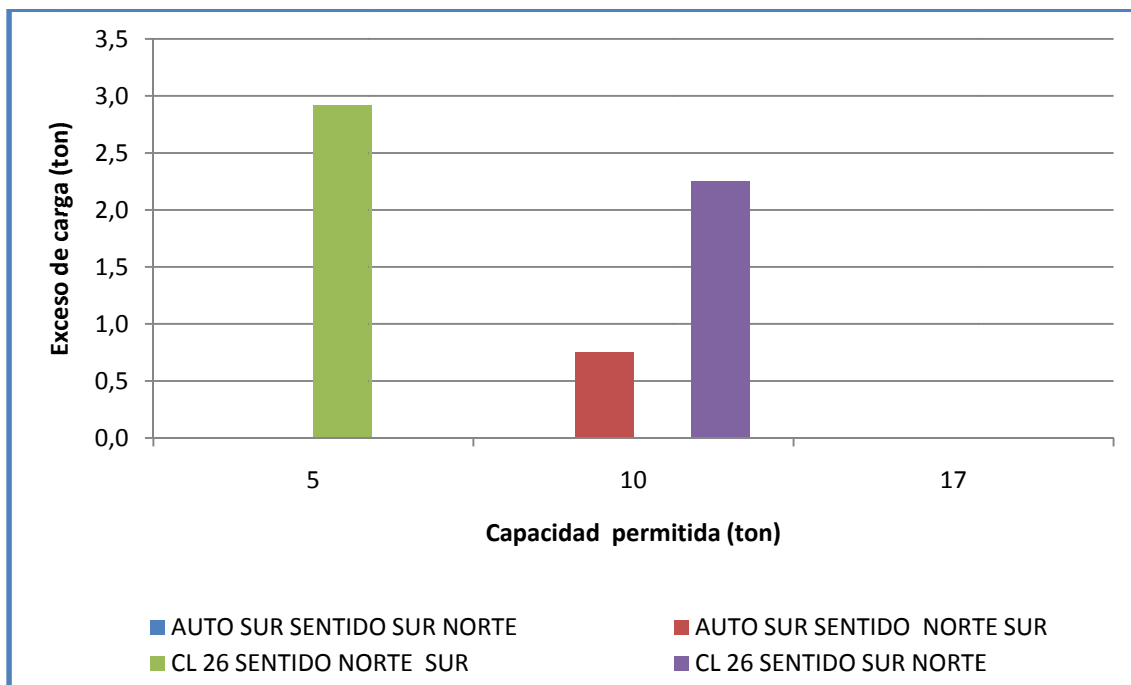
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6-7. Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 3



Fuente: Elaboración propia.

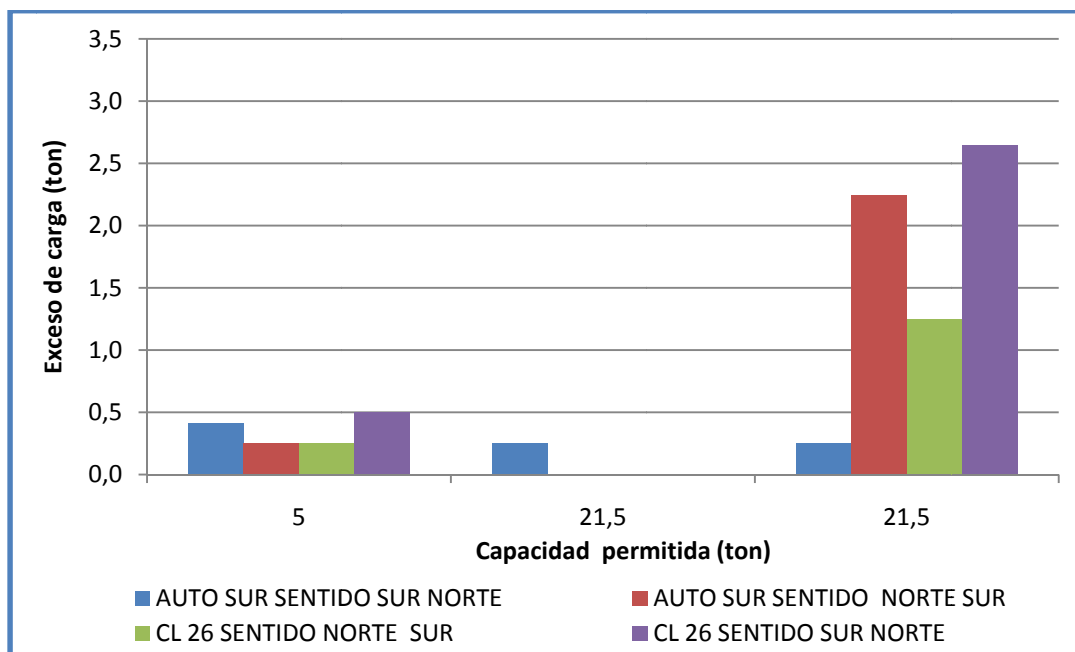
Gráfica 6-8. Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 2S2



Fuente: Elaboración propia.

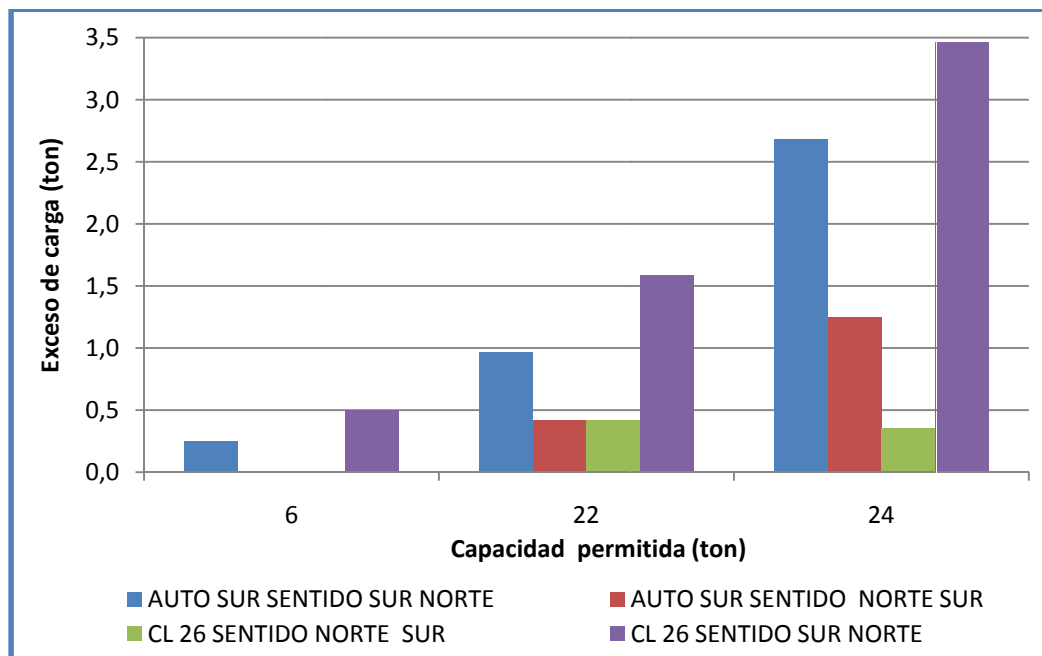
En la Gráfica 6-8 se observa la mala distribución de la carga en los vehículos donde se presenta sobrecargas puntuales.

Gráfica 6-9. Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 3S2



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6-10. Exceso de carga en la avenida 68 del camión tipo 3S3



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las graficas los vehículos de carga con mayor exceso de carga es el tipo 3 y tipo 3S3.

En la Tabla 6-8 se observan los valores promedio de carga excedida, los cuales se usaran para calcular la disminución de vida útil con respecto a las cargas máximas permitidas en la Avenida 68.

Tabla 6-8. Cargas promedio excedida por tipo de vehículo en la avenida 68

CAMIÓN TIPO	2		3		2S2			3S2			3S3		
EJE MEDIDO	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
PUNTO DE MEDICIÓN													
Carga permitida (ton)	6	11	6	22	5	10	17	5	21,5	21,5	6	22	24
Promedio de exceso de carga (ton)	6,25	12,68	6,92	23,84	5,73	10,75	17,00	5,35	21,56	23,10	6,19	22,85	25,94
Promedio de exceso de carga (%)	4%	15%	15%	8%	15%	8%	0%	7%	0%	7%	3%	4%	8%

Fuente: Elaboración propia.

6.4 ESPECTROS AVENIDA CALI

En el corredor de la avenida Ciudad de Cali se tienen seis puntos de medición de pesaje de acuerdo a las estaciones de pesaje y el sentido de avance.

De los espectros realizados, en la Tabla 6-9 se compila la información en porcentaje de los ejes excedidos con respecto a la muestra total por cada tipo de camión en cada punto de medición.

Tabla 6-9. Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la muestra total de ejes

CAMIÓN TIPO EJE MEDIDO PUNTO DE MEDICIÓN	2		3		2S2			3S2			3S3		
	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
CL 80 - SENTIDO NORTE SUR	0%	11%	14%	6%	3%	14%	0%	19%	4%	4%	0%	0%	7%
CL 80 - SENTIDO SUR NORTE	0%	17%	46%	32%	0%	20%	0%	13%	0%	4%	0%	14%	14%
DG 3 - SENTIDO NORTE SUR	0%	12%	25%	31%	0%	2%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	3%
DG 3 - SENTIDO SUR NORTE	0%	7%	21%	15%	2%	9%	0%	11%	1%	3%	1%	2%	7%
CL 17 - SENTIDO NORTE SUR	0%	14%	22%	11%	0%	8%	0%	31%	0%	5%	0%	9%	15%
CL 17 - SENTIDO SUR NORTE	1%	11%	26%	46%	0%	9%	0%	17%	2%	17%	2%	5%	5%
Promedio	0%	12%	25%	23%	1%	10%	0%	15%	1%	6%	1%	5%	8%
desviación estándar	0,01	0,03	0,11	0,15	0,01	0,06	0,00	0,09	0,02	0,06	0,01	0,06	0,05

En función a la magnitud de carga excedida, en la Tabla 6-10 se presenta el porcentaje de excedencia de carga calculada ponderadamente con los pesajes reportados por encima de las cargas por eje permitidas por eje.

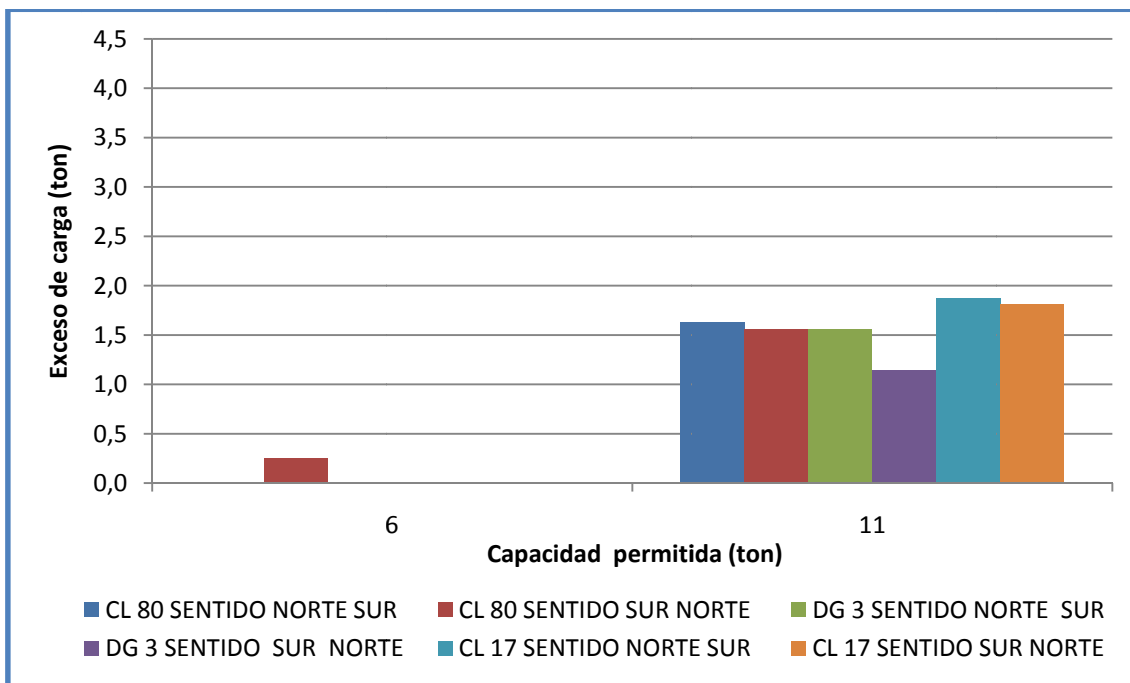
Tabla 6-10. Porcentajes de ejes medidos que exceden su carga con respecto a la magnitud de carga por eje permitida

CAMIÓN TIPO EJE MEDIDO PUNTO DE MEDICIÓN	2		3		2S2			3S2			3S3		
	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
CL 80 - SENTIDO NORTE SUR	0%	15%	13%	9%	5%	20%	0%	5%	1%	3%	0%	0%	7%
CL 80 - SENTIDO SUR NORTE	4%	14%	17%	11%	0%	23%	0%	5%	0%	3%	0%	3%	6%
DG 3 - SENTIDO NORTE SUR	0%	14%	19%	0%	0%	2%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	3%
DG 3 - SENTIDO SUR NORTE	0%	10%	14%	11%	5%	16%	0%	10%	3%	6%	4%	1%	5%
CL 17 - SENTIDO NORTE SUR	0%	17%	18%	0%	0%	13%	0%	7%	0%	2%	0%	6%	8%
CL 17 - SENTIDO SUR NORTE	0%	16%	17%	19%	0%	23%	0%	14%	3%	4%	4%	14%	3%
Promedio	1%	14%	16%	8%	2%	16%	0%	8%	1%	3%	1%	4%	5%
desviación estándar	0,02	0,02	0,02	0,07	0,03	0,08	0,00	0,04	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02

La desviación estándar calculada, con respecto al porcentaje de excedencia debido a la magnitud de carga, reporta una baja dispersión de los datos en todos los ejes de los camiones evaluados, por ende se toma el promedio de los porcentajes para determinar las cargas de excedencia y evaluar la disminución de la vida útil en la avenida Ciudad de Cali.

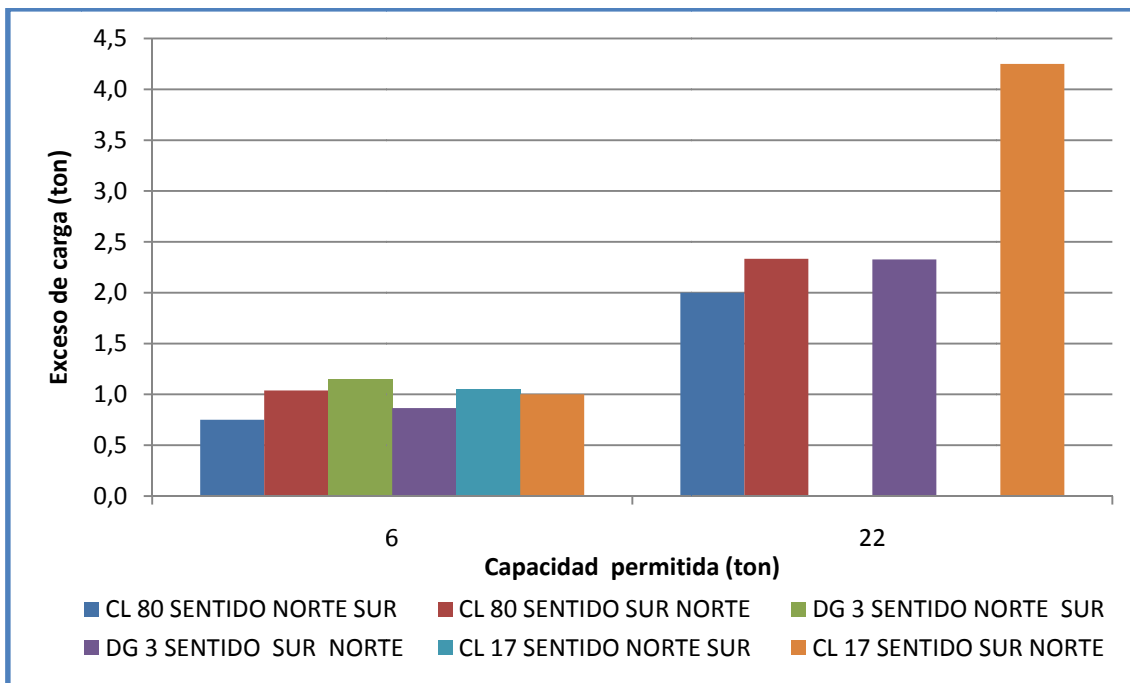
De la Gráfica 6-11 a la Gráfica 6-15 se observa el exceso de carga de cada camión con respecto a la carga por eje definida en el estudio.

Gráfica 6-11. Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 2



Fuente: Elaboración propia.

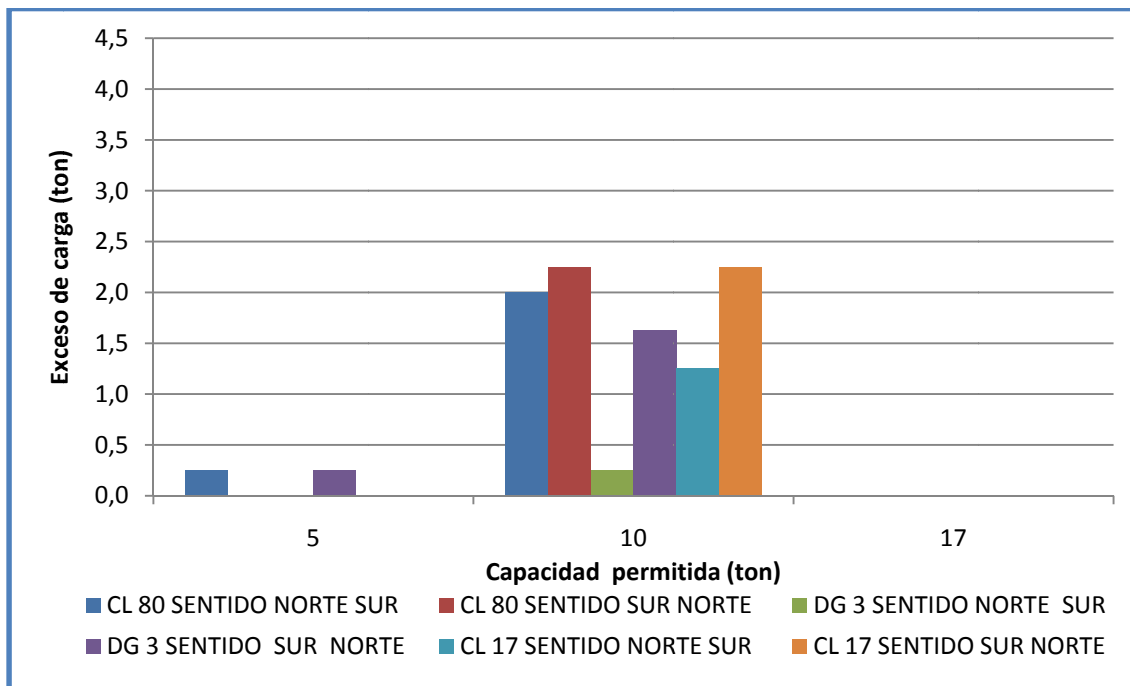
Gráfica 6-12. Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 3



Fuente: Elaboración propia.

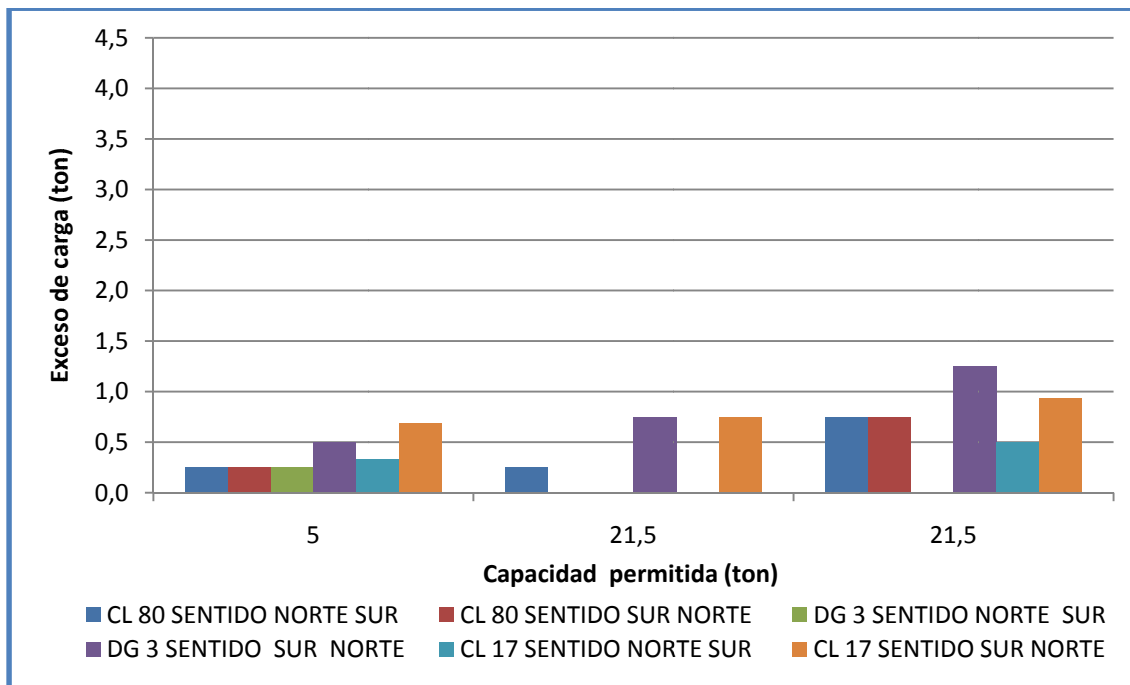
El camión tipo 3 presenta una sobrecarga significativa a lo largo del corredor de la avenida Ciudad de Cali, observándose valores de hasta 4,3 ton de sobrecarga promedio en el eje tándem estando por encima inclusive de la carga máxima de un eje trídém.

Gráfica 6-13. Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 2S2



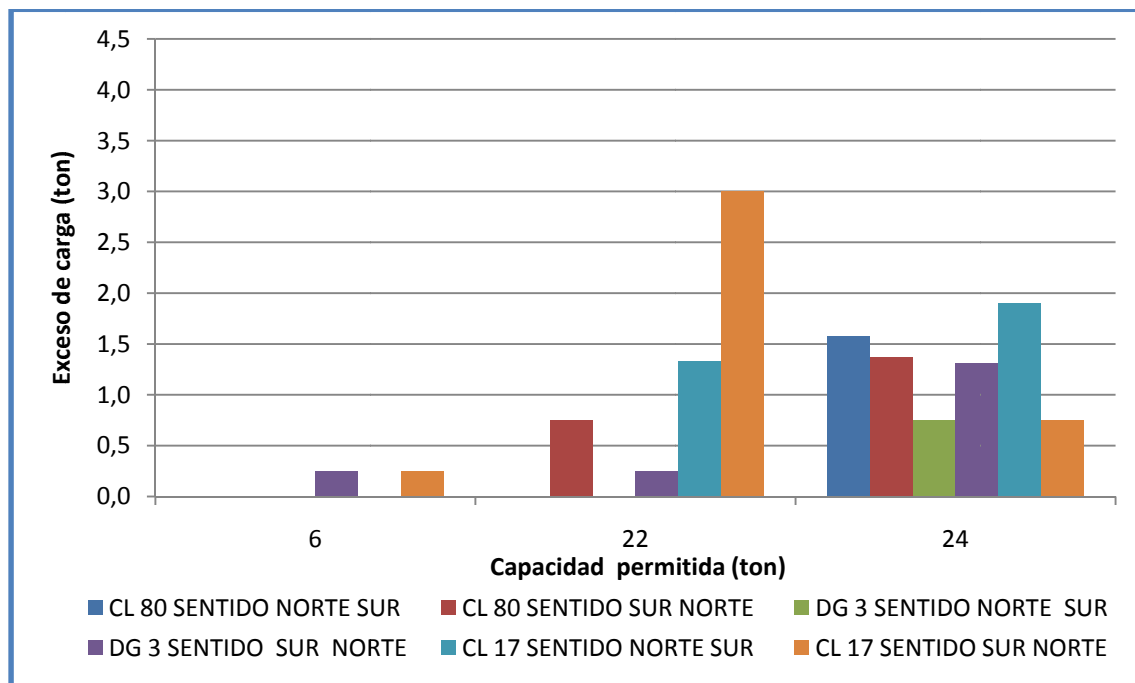
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6-14. Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 3S2



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6-15. Exceso de carga en la avenida Ciudad de Cali del camión tipo 3S3



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6-11 se observan los valores promedio de carga excedida, los cuales se usaran para calcular la disminución de vida útil con respecto a las cargas máximas permitidas en la avenida Ciudad de Cali.

Tabla 6-11. Cargas promedio excedida por tipo de vehículo en la Ciudad de Cali

CAMIÓN TIPO	2		3		2S2			3S2			3S3		
EJE MEDIDO	1er	2do	1er	2do	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er
PUNTO DE MEDICIÓN													
Carga permitida (ton)	6	11	6	22	5	10	17	5	21,5	21,5	6	22	24
Promedio de exceso de carga (ton)	6,04	12,59	6,98	23,82	5,08	11,60	17,00	5,38	21,79	22,20	6,08	22,89	25,28
Promedio de exceso de carga (%)	1%	13%	14%	7%	2%	13%	0%	7%	1%	3%	1%	4%	5%

7 COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA

El coeficiente de agresividad media se evalúa para los vehículos de carga, este coeficiente se calcula sobre una carga de referencia de 13 ton, teniendo en cuenta el número y tipo eje evaluado, y la estructura en la cual se utilizara este dato de CAM.

Este coeficiente combina el daño de los ejes de un tipo de vehículo y representa el daño calculado a partir de la distribución de carga obtenida en los espectros de carga, siendo un promedio entre vehículos que transitan vacíos, cargados con límites permitidos y cargados con sobrecarga.

7.1 COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA EN LA AVENIDA BOYACÁ

Para el cálculo de la avenida Boyacá se tiene la información de pesaje de cuatro puntos en los dos sentidos de avance.

La Tabla 7-1 y Tabla 7-2 presenta el valor de coeficiente de agresividad media para cada configuración evaluada.

En la Tabla 7-1 se observa que los vehículos de carga tipo 3, 3S2 y 3S3 son los que producen un coeficiente CAM muy alto, debido a sus altos índices de sobrecarga coincidiendo con los porcentajes de excedencia de carga reportados en la Tabla 6-5.

Con respecto al camión tipo 2, se observa valores de CAM normales pero que no son consecuentes con el porcentaje de excedencia de carga reportado en la Tabla 6-5, evaluando el espectro de carga de este vehículo se observan vehículos sobrecargados y también un gran porcentaje de vehículos tipo 2 vacíos lo que compensa la excedencia de carga reportada.

Haciendo un análisis de CAM con respecto al sentido de avance, se deduce un comportamiento marcado de sobrecarga en los vehículos de carga.

La Tabla 7-2 presenta los valores obtenidos de CAM para los vehículos tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 en los sitios donde se obtuvo muestra de estos vehículos, la cual debido a su bajo tránsito en la ciudad son valores calculados con restricción de muestra. Es importante señalar que estos valores pueden cambiar drásticamente en función que la muestra aumente de manera importante.

Tabla 7-1. Coeficiente de agresividad media para la avenida Boyacá

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	CALLE 170		CALLE 72		CALLE 17		AV. CARACAS	
		SENTIDO N – S	SENTIDO S – N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO S - N	SENTIDO N – S	SENTIDO E - W	SENTIDO W - E
2		0,20	0,13	0,22	0,41	0,15	0,19	0,44	0,22
3		5,69	4,07	5,50	2,95	4,24	5,09	7,73	2,75
2S2		0,38	0,26	0,52	0,43	0,22	0,13	0,06	0,50
3S2		7,06	0,58	7,13	1,14	6,71	3,75	9,64	3,48
3S3		26,66	3,38	14,47	4,13	13,54	15,52	20,62	11,57

Tabla 7-2. Coeficiente de agresividad media para la avenida Boyacá (continuación)

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	CALLE 170		CALLE 72		CALLE 17		AV. CARACAS	
		SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO S - N	SENTIDO N - S	SENTIDO E - W	SENTIDO W - E
4		-	-	-	-	12,81	-	-	-
2S1		-	-	-	0,19	0,06	-	-	-
2S3		-	-	-	-	2,31	-	-	-
3S1		-	-	-	0,06	-	-	0,10	0,03

7.2 COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA EN LA AVENIDA 68

Para el cálculo de la Avenida 68 se tiene la información de pesaje de dos puntos en los dos sentidos de avance.

En la Avenida 68 no se obtuvieron mediciones para los vehículos de carga tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 que pudieran arrojar un valor característico de CAM de estos tipos de vehículos.

La Tabla 7-3 presenta el valor de coeficiente de agresividad media para cada configuración evaluada. Se observa que los vehículos de carga tipo 3, 3S2 y 3S3 son los que producen un coeficiente CAM alto, siendo el de mayor agresividad el camión tipo 3.

Con respecto al sentido de avance se deduce un comportamiento marcado de mayor sobrecarga en los vehículos de carga.

Tabla 7-3. Coeficiente de agresividad media para la Avenida 68

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	AUTOPISTA SUR		CALLE 26	
		SENTIDO S – N	SENTIDO N – S	SENTIDO S – N	SENTIDO N – S
2		0,17	0,12	0,27	0,15
3		7,68	3,87	7,64	0,94
2S2		0,12	0,57	0,34	0,37
3S2		6,21	3,36	5,70	1,90
3S3		5,31	4,83	4,72	5,09

7.3 COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA EN LA AVENIDA CALI

Para el cálculo de la avenida Ciudad de Cali se tiene la información de pesaje de tres puntos en los dos sentidos de avance.

En la avenida Ciudad de Cali no se obtuvieron mediciones para los vehículos de carga tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 que pudieran arrojar un valor característico de CAM de estos tipos de vehículos.

La Tabla 7-4 presenta el valor de coeficiente de agresividad media para cada configuración evaluada. Se observa que los vehículos de carga tipo 3, 3S2 y 3S3 son los que producen un coeficiente CAM alto, siendo el de mayor agresividad el tipo 3.

Se mantiene un comportamiento marcado de sobrecarga en función al sentido de avance de los vehículos de carga.

Tabla 7-4. Coeficiente de agresividad media para la avenida Cali

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	DIAGONAL 3		CALLE 17		CALLE 80	
		SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N
2		0,14	0,10	0,20	0,15	0,13	0,21
3		5,97	3,51	3,57	13,42	2,66	7,11
2S2		0,05	0,21	0,17	0,18	0,26	0,62
3S2		2,05	2,88	2,44	4,10	4,03	2,89
3S3		2,29	2,60	3,12	2,75	1,63	3,81

7.4 ANÁLISIS GENERAL DEL COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA

De acuerdo al análisis realizado en los tres corredores, Av. Boyacá, Av. 68 y Av. Cali, se obtiene un CAM general ponderado por cada tipo de camión en función a las mediciones realizadas en cada estación de pesaje y al CAM obtenido en cada sitio. La Tabla 7-5 presenta este cálculo.

Tabla 7-5. Cálculo de CAM ponderado por tipo de vehículo de carga

CAM AVENIDA CALI					
TIPO DE CAMIÓN	2	3	2S2	3S2	3S3
TRAMO					
DIAGONAL 3 SENTIDO N-S	0,14	5,97	0,05	2,05	2,29
	6%	7%	12%	5%	7%
DIAGONAL 3 SENTIDO S-N	0,10	3,51	0,21	2,88	2,60
	5%	7%	12%	8%	10%
CALLE 17 SENTIDO N-S	0,20	3,57	0,17	2,44	3,12
	5%	4%	7%	4%	6%
CALLE 17 SENTIDO S-N	0,15	13,42	0,18	4,10	0,01
	3%	3%	8%	5%	4%
CALLE 80 SENTIDO N-S	0,13	2,66	0,26	4,03	1,63
	8%	6%	7%	3%	4%
CALLE 80 SENTIDO S-N	0,21	7,11	0,62	2,89	3,81
	9%	5%	3%	3%	2%
CAM AVENIDA 68					
AUTOPISTA SUR SENTIDO S-N	0,17	7,68	0,12	6,21	5,31
	3%	3%	4%	2%	5%
AUTOPISTA SUR SENTIDO N-S	0,12	3,87	0,57	3,36	4,83
	4%	2%	2%	2%	2%
CALLE 26 SENTIDO S-N	0,27	7,64	0,34	5,70	4,72
	4%	2%	4%	2%	2%
CALLE 26 SENTIDO N-S	0,15	0,94	0,37	1,90	5,09
	5%	5%	3%	3%	2%
CAM AVENIDA BOYACÁ					
AV. CARACAS SENTIDO E-O	0,44	7,73	0,06	9,64	20,62
	6%	5%	2%	10%	7%
AV. CARACAS SENTIDO O-E	0,22	2,75	0,50	3,48	11,57
	3%	6%	1%	11%	8%
CALLE 170 SENTIDO N-S	0,20	5,69	0,38	7,06	26,66
	6%	7%	4%	8%	9%
CALLE 170 SENTIDO S-N	0,13	4,07	0,26	0,58	3,38
	7%	3%	5%	6%	5%
CALLE 17 SENTIDO N-S	0,15	4,24	0,22	6,71	13,54
	10%	12%	7%	8%	9%
CALLE 17 SENTIDO S-N	0,19	5,09	0,13	3,75	15,52
	8%	10%	4%	8%	7%
CALLE 72 SENTIDO N-S	0,22	5,50	0,52	7,13	14,47
	4%	7%	5%	6%	6%
CALLE 72 SENTIDO S-N	0,41	2,95	0,43	1,14	4,13
	4%	6%	8%	8%	6%
CAM GENERAL INFORMATIVO	0,19	4,91	0,25	4,45	9,67

8 FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO

Los factores de equivalencia AASHTO se obtienen por medio de las siguientes ecuaciones de regresión obtenidas de los resultados de los ensayos de la prueba AASHTO.

A continuación se presenta la Ecuación 3 para el cálculo de factores de equivalencia para una estructura de pavimento flexible.

Ecuación 3 Calculo de factores de equivalencia AASHTO

$$F_{eq} = \left(\frac{W_{18}}{W_{90}} \right)^{0.02} \left(\frac{S_{90}}{S_{18}} \right)^{0.02} \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{1000} \left(\frac{W_{18}}{W_{90}} \right)^{0.02} \left(\frac{S_{90}}{S_{18}} \right)^{0.02}} \right)^{0.02} \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{1000} \left(\frac{W_{18}}{W_{90}} \right)^{0.02} \left(\frac{S_{90}}{S_{18}} \right)^{0.02}} \right)^{0.02}$$

En estas ecuaciones, W_{18} es el número de aplicaciones de carga por eje al final del tiempo; W_{90} es el número de aplicaciones de carga de un eje simple de 18 kip (80 kN) para el tiempo; S_{18} es la carga en kip de un eje simple, un conjunto de ejes en tandem, o un conjunto de ejes tridem; S_{90} es un código de eje (1 para eje simple, 2 para ejes tandem, y 3 para ejes tridem); R es el número estructural, el cual es función de la rigidez y módulo de cada capa y de la condición de drenaje de la Base y la Subbase; F_{eq} es el índice de servicio final, el cual indica la condición del pavimento al ser considerado que falla; es función de R ; y F_{eq} es el valor de F_{eq} cuando R es igual a 18 kip y F_{eq} es igual a 1.

Para cada uno de los corredores evaluados se obtienen los factores de equivalencia según las condiciones actuales.

8.1 FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO PARA LA AVENIDA BOYACÁ

Para el cálculo de los factores de equivalencia de la avenida Boyacá se tiene la información de pesaje de cuatro puntos en los dos sentidos de avance.

La Tabla 8-1 y la Tabla 8-2 presentan los valores de los factores de equivalencia AASHTO para cada configuración de vehículo evaluado, calculados para un W_{18} con S_{18} y S_{90} respectivamente. Se observa que los vehículos de carga tipo 3, 3S2 y 3S3 son los que producen un factor de equivalencia mayor. Se observa un mayor valor en función al sentido de avance de los vehículos de carga.

Tabla 8-1. Factores de equivalencia AASHTO para la avenida Boyacá (y)

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	CALLE 170		CALLE 72		CALLE 17		AV. CARACAS	
		SENTIDO N – S	SENTIDO S – N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO S - N	SENTIDO N – S	SENTIDO E - W	SENTIDO W - E
2		0,16	0,11	0,16	0,32	0,12	0,13	0,28	0,16
3		4,74	1,78	2,72	1,49	1,92	2,37	2,89	1,47
2S2		0,16	0,14	0,20	0,19	0,13	0,08	0,06	0,39
3S2		2,06	0,37	2,00	0,43	1,91	1,30	2,66	1,11
3S3		4,74	1,02	2,97	1,04	2,47	2,65	3,66	2,65

Tabla 8-2. Factores de equivalencia AASHTO para la avenida Boyacá (y)

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	CALLE 170		CALLE 72		CALLE 17		AV. CARACAS	
		SENTIDO N – S	SENTIDO S – N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO S - N	SENTIDO N – S	SENTIDO E - W	SENTIDO W - E
2		0,17	0,12	0,18	0,34	0,14	0,14	0,30	0,18
3		4,25	1,51	2,43	1,32	1,65	2,08	2,27	1,36
2S2		0,18	0,16	0,21	0,21	0,15	0,09	0,07	0,44
3S2		1,99	0,38	1,92	0,45	1,82	1,29	2,54	1,15
3S3		4,25	0,97	2,77	1,02	2,29	2,58	3,33	2,58

En general los factores de equivalencia disminuyen con el aumento de a valores de factores de equivalencia mayores a 1, este comportamiento es inverso con los valores menores a 1, creciendo levemente.

8.2 FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO PARA LA AVENIDA 68

Para el cálculo de los factores de equivalencia de la Avenida 68 se tiene la información de pesaje de dos puntos en los dos sentidos de avance.

La Tabla 8-3 y la Tabla 8-4 presentan los valores de los factores de equivalencia AASHTO para cada configuración de vehículo evaluado, calculados para un con y respectivamente. Se observa que los vehículos de carga tipo 3, 3S2 y 3S3 son los que producen un factor de equivalencia mayor. Se observa un mayor valor en función al sentido de avance de los vehículos de carga.

Tabla 8-3. Factores de equivalencia AASHTO para la Avenida 68 (y)

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	AUTOPISTA SUR		CALLE 26	
		SENTIDO S - N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO N - S
2		0,15	0,12	0,11	0,19
3		3,13	1,89	3,15	0,59
2S2		0,09	0,19	0,16	1,28
3S2		2,48	1,49	1,76	0,84
3S3		3,41	3,08	3,18	3,51

Tabla 8-4. Factores de equivalencia AASHTO para la Avenida 68 (y)

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	AUTOPISTA SUR		CALLE 26	
		SENTIDO S – N	SENTIDO N – S	SENTIDO S – N	SENTIDO N – S
2		0,17	0,12	0,20	0,12
3		2,59	1,69	2,63	0,58
2S2		0,10	0,21	0,19	1,08
3S2		2,32	1,36	1,70	0,84
3S3		3,14	2,87	2,87	3,31

8.3 FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO PARA LA AVENIDA CALI

Para el cálculo de los factores de equivalencia de la avenida Ciudad de Cali se tiene la información de pesaje de tres puntos en los dos sentidos de avance.

La Tabla 8-5 y Tabla 8-6 presentan los valores de los factores de equivalencia AASHTO para cada configuración de vehículo evaluado, calculados para un con y respectivamente. Se observa que los vehículos de carga tipo 3, 3S2 y 3S3 son los que producen un factor de equivalencia mayor. Se observa un mayor valor en función al sentido de avance de los vehículos de carga.

Tabla 8-5. Factores de equivalencia AASHTO para la avenida Cali (y)

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	DIAGONAL 3		CALLE 17		CALLE 80	
		SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N
2		0,10	0,09	0,15	0,14	0,12	0,16
3		2,68	1,62	1,67	4,82	1,32	3,11
2S2		0,04	0,12	0,08	0,11	0,13	0,21
3S2		0,75	0,93	0,91	1,16	1,25	0,92
3S3		1,56	1,64	2,07	1,64	1,18	2,41

Tabla 8-6. Factores de equivalencia AASHTO para la avenida Cali (y)

TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	DIAGONAL 3		CALLE 17		CALLE 80	
		SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N	SENTIDO N - S	SENTIDO S - N
2		0,11	0,11	0,17	0,15	0,13	0,18
3		2,31	1,40	1,45	3,78	1,19	2,64
2S2		0,04	0,14	0,09	0,12	0,15	0,24
3S2		0,76	0,92	0,90	1,12	1,21	0,91
3S3		1,51	1,58	1,93	1,51	1,14	2,22

8.4 ANÁLISIS GENERAL DE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA AASHTO

De acuerdo al análisis realizado en los tres corredores, Av. Boyacá, Av. 68 y Av. Cali, se obtienen los factores de equivalencia general ponderada por cada tipo de camión en función a las mediciones realizadas en cada estación de pesaje. La Tabla 8-7 y Tabla 8-8 presentan los factores de equivalencia para un variando el en y respectivamente.

Tabla 8-7. Factores AASHTO ponderado por tipo de vehículo de carga (y

FACTORES AASHTO AVENIDA CALI					
TIPO DE CAMIÓN	2	3	2S2	3S2	3S3
TRAMO					
DIAGONAL 3 SENTIDO N-S	0,10 6%	2,68 7%	0,04 12%	0,75 5%	1,56 7%
DIAGONAL 3 SENTIDO S-N	0,09 5%	1,62 7%	0,12 12%	0,93 8%	1,64 10%
CALLE 17 SENTIDO N-S	0,15 5%	1,67 4%	0,08 7%	0,91 4%	2,07 6%
CALLE 17 SENTIDO S-N	0,14 3%	4,82 3%	0,11 8%	1,16 5%	1,64 4%
CALLE 80 SENTIDO N-S	0,12 8%	1,32 6%	0,13 7%	1,25 3%	1,18 4%
CALLE 80 SENTIDO S-N	0,16 9%	3,11 5%	0,21 3%	0,92 3%	2,41 2%
FACTORES AASHTO AVENIDA 68					
AUTOPISTA SUR SENTIDO S-N	0,15 3%	3,13 3%	0,09 4%	2,48 2%	3,41 5%
AUTOPISTA SUR SENTIDO N-S	0,12 4%	1,89 2%	0,19 2%	1,49 2%	3,08 2%
CALLE 26 SENTIDO S-N	0,11 4%	3,15 2%	0,16 4%	1,76 2%	3,18 2%
CALLE 26 SENTIDO N-S	0,19 5%	0,59 5%	1,28 3%	0,84 3%	3,51 2%
FACTORES AASHTO AVENIDA BOYACÁ					
CALLE 170 SENTIDO N-S	0,16 6%	4,74 7%	0,16 4%	2,06 8%	4,74 9%
CALLE 170 SENTIDO S-N	0,11 7%	1,78 3%	0,14 5%	0,37 6%	1,02 5%
CALLE 72 SENTIDO N-S	0,16 4%	2,72 7%	0,20 5%	2,00 6%	2,97 6%
CALLE 72 SENTIDO S-N	0,32 4%	1,49 6%	0,19 8%	0,43 8%	1,04 6%
CALLE 17 SENTIDO S-N	0,12 8%	1,92 10%	0,13 4%	1,91 8%	2,47 7%
CALLE 17 SENTIDO N-S	0,13 10%	2,37 12%	0,08 7%	1,30 8%	2,65 9%
AVENIDA CARACAS E-O	0,28 6%	2,89 5%	0,06 2%	2,66 10%	3,66 7%
AVENIDA CARACAS O-E	0,16 3%	1,47 6%	0,39 1%	1,11 11%	2,65 8%
FACTORES AASHTO GENERAL INFORMATIVO	0,15	2,35	0,16	1,37	2,51

Tabla 8-8. Factores AASHTO ponderado por tipo de vehículo de carga (y

FACTORES AASHTO AVENIDA CALI					
TIPO DE CAMIÓN	2	3	2S2	3S2	3S3
TRAMO					
DIAGONAL 3 SENTIDO N-S	0,11	2,31	0,04	0,76	1,51
	6%	7%	12%	5%	7%
DIAGONAL 3 SENTIDO S-N	0,11	1,40	0,14	0,92	1,58
	5%	7%	12%	8%	10%
CALLE 17 SENTIDO N-S	0,17	1,45	0,09	0,90	1,93
	5%	4%	7%	4%	6%
CALLE 17 SENTIDO S-N	0,15	3,78	0,12	1,12	1,51
	3%	3%	8%	5%	4%
CALLE 80 SENTIDO N-S	0,13	1,19	0,15	1,21	1,14
	8%	6%	7%	3%	4%
CALLE 80 SENTIDO S-N	0,18	2,64	0,24	0,91	2,22
	9%	5%	3%	3%	2%
FACTORES AASHTO AVENIDA 68					
AUTOPISTA SUR SENTIDO S-N	0,17	2,59	0,10	2,32	3,14
	3%	3%	4%	2%	5%
AUTOPISTA SUR SENTIDO N-S	0,12	1,69	0,21	1,36	2,87
	4%	2%	2%	2%	2%
CALLE 26 SENTIDO S-N	0,20	2,63	0,19	1,70	2,87
	4%	2%	4%	2%	2%
CALLE 26 SENTIDO N-S	0,12	0,58	1,08	0,84	3,31
	5%	5%	3%	3%	2%
FACTORES AASHTO AVENIDA BOYACÁ					
CALLE 170 SENTIDO N-S	0,17	4,25	0,18	1,99	4,25
	6%	7%	4%	8%	9%
CALLE 170 SENTIDO S-N	0,12	1,51	0,16	0,38	0,97
	7%	3%	5%	6%	5%
CALLE 72 SENTIDO N-S	0,18	2,43	0,21	1,92	2,77
	4%	7%	5%	6%	6%
CALLE 72 SENTIDO S-N	0,34	1,32	0,21	0,45	1,02
	4%	6%	8%	8%	6%
CALLE 17 SENTIDO S-N	0,14	1,65	0,15	1,82	2,29
	8%	10%	4%	8%	7%
CALLE 17 SENTIDO N-S	0,14	2,08	0,09	1,29	2,58
	10%	12%	7%	8%	9%
AVENIDA CARACAS E-O	0,30	2,27	0,07	2,54	3,33
	6%	5%	2%	10%	7%
AVENIDA CARACAS O-E	0,18	1,36	0,44	1,15	2,58
	3%	6%	1%	11%	8%
FACTORES AASHTO GENERAL INFORMATIVO	0,16	2,03	0,17	1,34	2,35

En general, al aumentar el valor de disminuyen los factores de equivalencia con valores mayores a 1; los factores de equivalencia menores a 1 aumentan de manera mínima.

9 ANÁLISIS DE LA VIDA ÚTIL

Para el cálculo de la vida útil se obtuvo información de las estructuras en los corredores evaluados, esta información es principalmente espesores de capas y valor SN.

Para el cálculo del daño unitario se tiene el espectro de carga de cada tipo de vehículo. El daño se observa en el deterioro de las capas de la estructura de pavimento. El daño unitario se calcula por medio de la Ecuación 4.

Ecuación 4. Cálculo de daño unitario

— —

Para determinar el valor de ΔI por medio del software de cálculo de esfuerzos y deformaciones en un sistema multicapa se debe tener en cuenta los parámetros ΔI , los cuales están directamente relacionados. La presión de contacto se calcula con base en la Ecuación 5.

Ecuación 5. Presión de contacto

El valor de la distancia entre llantas ΔI , es constante para las diferentes variaciones de carga, (0,375 m).

Con base en la Ecuación 5 se determina los valores de ΔI en función a una carga dada. La Tabla 9-1 y la Tabla 9-2 muestran los valores calculados en un eje simple de llanta simple y un eje simple de llanta doble, respectivamente. Con estos datos preliminares se ubicaran las cargas permitidas por eje y las excedidas para realizar el análisis correspondiente a la disminución de vida útil.

Tabla 9-1. Valores de ΔI con respecto a la variación de ΔI en un eje sencillo de llanta simple

P (Ton)	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
q_0	0,52	0,533	0,54	0,547	0,567	0,6	0,658	0,691
a (m)	0,0553	0,0773	0,0940	0,1078	0,1185	0,1262	0,1301	0,1357

Tabla 9-2. Valores de ΔI con respecto a la variación de ΔI en un eje sencillo de llanta doble

P (Ton)	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
q_0	0,547	0,547	0,55	0,56	0,59	0,647	0,7	0,76
a (m)	0,0540	0,0763	0,0932	0,1066	0,1161	0,1215	0,1262	0,1294

9.1 ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL EN LA AVENIDA BOYACÁ

Para la Avenida Boyacá se evalúa una estructura de pavimento flexible, para determinarla se consultó la base de datos del Instituto de Desarrollo Urbano obteniendo datos de espesores de capas, entre otros, a lo largo del corredor de la Avenida Boyacá.

La Tabla 9-3 muestra los valores obtenidos de la base de datos y que se utilizan como recurso en la evaluación de la vida útil del pavimento

Tabla 9-3. Coeficientes estructurales y espesores Avenida Boyacá

Capa	Coeficiente estructural (a_i)	Coeficiente de drenaje (m_i)	Espesores estructura 1 (cm)
Concreto Asfáltico	0,42	1	13
Base Granular	0,14	0,9	35
Subbase Granular	0,12	0,9	30

Con base a la información de la estructura se definen los módulos elásticos de las capas y se realiza la modelación de las estructuras con cada carga permitida y excedida por eje de acuerdo a los valores mencionados en la Tabla 6-5.

En la Tabla 9-4 se presenta los resultados de reducción de vida útil de cada tipo de camión por tipo de eje. En esta tabla se observan dos filas por cada tipo de llanta, la primera hace referencia a la carga permitida y la segunda a la carga excedida.

Se observa que en general la reducción de vida útil del pavimento esta por el orden de 22% en los vehículos evaluados a excepción del camión tipo 3 que tiene un valor de reducción de la vida útil del pavimento de 31%.

Tabla 9-4. Reducción de vida útil por tipo de vehículo en la Avenida Boyacá

Camión tipo	Eje sencillo	P (Ton)		a (m)		N	% reducción vida útil	Eje vehículo
2	llanta simple	3,00	5,95	12,66	117,0E-6	1121964	11%	Eje simple direccional
		3,19	5,96	13,06	120,0E-6	1000000		
	llanta doble	2,75	6,30	11,78	127,0E-6	772822	34%	Eje simple
		3,19	6,66	12,35	139,0E-6	512681		
3	llanta simple	3,00	5,95	12,66	117,0E-6	1121964	36%	Eje simple direccional
		3,54	6,32	13,36	129,0E-6	719837		
	llanta doble	2,75	6,30	11,78	127,0E-6	772822	27%	Eje tandem
		3,06	6,55	12,19	136,0E-6	566135		
2S2	llanta simple	2,50	5,62	11,90	105,0E-6	1834847	12%	Eje simple direccional
		2,61	5,69	12,09	108,0E-6	1614316		
	llanta doble	2,50	6,10	11,42	119,0E-6	1038770	44%	Eje simple
		3,03	6,53	12,16	135,0E-6	585448		
	llanta doble	2,13	5,80	10,80	107,0E-6	1684039	4%	Eje tandem
		2,14	5,81	10,82	108,0E-6	1614316		
3S2	llanta simple	2,50	5,62	11,90	105,0E-6	1834847	28%	Eje simple direccional
		2,80	5,82	12,37	113,0E-6	1314163		
	llanta doble	2,69	6,26	11,70	125,0E-6	830644	7%	Eje tandem
		2,75	6,31	11,78	127,0E-6	772822		
	llanta doble	2,69	6,26	11,70	125,0E-6	830644	13%	Eje tandem
		2,84	6,38	11,90	129,0E-6	719837		
3S3	llanta simple	3,00	5,95	12,66	117,0E-6	1121964	40%	Eje simple direccional
		3,64	6,38	13,48	131,0E-6	671218		
	llanta doble	2,75	6,30	11,78	127,0E-6	772822	10%	Eje tandem
		2,88	6,40	11,96	130,0E-6	695009		
	llanta doble	3,00	6,50	12,12	134,0E-6	605572	15%	Eje tridem
		3,16	6,63	12,32	139,0E-6	512681		

9.2 ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL EN LA AVENIDA 68

Para la Avenida 68 se evalúa una estructura de pavimento flexible, para determinarla se consultó la base de datos del Instituto de Desarrollo Urbano obteniendo datos de espesores de capas, entre otros, en el corredor de la avenida 68 entre Cl 26 y autopista Sur.

La Tabla 9-5 muestra los valores obtenidos de la base de datos y que se utilizan como recurso en la evaluación de la vida útil del pavimento

Tabla 9-5. Coeficientes estructurales y espesores Avenida 68

Capa	Coeficiente estructural (a_i)	Coeficiente de drenaje (m_i)	Espesores estructura 1 (cm)
Concreto Asfáltico	0,42	1	10
Base Granular	0,14	0,9	40
Subbase Granular	0,12	0,9	40

Con base a la información de la estructura se definen los módulos elásticos de las capas y se realiza la modelación de las estructuras con cada carga permitida y excedida por eje de acuerdo a los valores mencionados en la Tabla 6-8.

En la Tabla 9-6 se presenta los resultados de reducción de vida útil de cada tipo de camión por tipo de eje. En esta tabla se observan dos filas por cada tipo de llanta, la primera hace referencia a la carga permitida y la segunda a la carga excedida.

Se observa que los vehículos tipo 2S2, 3S2 y 3S3 influyen en general una reducción de vida útil del pavimento de 13% y los vehículos de carga tipo 2 y 3 influyen en una reducción de la vida útil del pavimento de 20% aproximadamente.

Tabla 9-6. Reducción de vida útil por tipo de vehículo en la Avenida 68

Camión tipo	Eje sencillo	P (Ton)		a (m)		N	% reducción vida útil	Eje vehículo
2	llanta simple	3,00	5,95	12,66	133,0E-6	626546	10%	Eje simple direccional
		3,13	6,05	12,84	136,0E-6	566135		
	llanta doble	2,75	6,30	11,78	138,0E-6	529786	29%	Eje simple
		3,17	6,64	12,33	149,0E-6	373856		
3	llanta simple	3,00	5,95	12,66	133,0E-6	626546	26%	Eje simple direccional
		3,46	6,26	13,26	142,0E-6	465259		
	llanta doble	2,75	6,30	11,78	138,0E-6	529786	18%	Eje tandem
		2,98	6,49	12,09	144,0E-6	436602		
2S2	llanta simple	2,50	5,62	11,90	123,0E-6	893830	22%	Eje simple direccional
		2,86	5,85	12,47	130,0E-6	695009		
	llanta doble	2,50	6,10	11,42	132,0E-6	648413	16%	Eje simple
		2,69	6,26	11,70	137,0E-6	547593		
	llanta doble	2,13	5,80	10,80	122,0E-6	927620	0%	Eje tandem
		2,13	5,80	10,80	122,0E-6	927620		
3S2	llanta simple	2,50	5,62	11,90	123,0E-6	893830	14%	Eje simple direccional
		2,68	5,74	12,19	127,0E-6	772822		
	llanta doble	2,69	6,26	11,70	137,0E-6	547593	0%	Eje tandem
		2,70	6,27	11,71	137,0E-6	547593		
	llanta doble	2,69	6,26	11,70	137,0E-6	547593	15%	Eje tandem
		2,89	6,42	11,97	142,0E-6	465259		
3S3	llanta simple	3,00	5,95	12,66	133,0E-6	626546	7%	Eje simple direccional
		3,09	6,01	12,79	135,0E-6	585448		
	llanta doble	2,75	6,30	11,78	138,0E-6	529786	9%	Eje tandem
		2,86	6,40	11,93	141,0E-6	480448		
	llanta doble	3,00	6,50	12,12	145,0E-6	423081	14%	Eje tridem
		3,16	6,63	12,32	139,0E-6	512681		

9.3 ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL EN LA AVENIDA CALI

En la avenida Ciudad de Cali se evalúa una estructura de pavimento flexible, para determinarla se consultó la base de datos del Instituto de Desarrollo Urbano obteniendo datos de espesores de capas, entre otros, en el corredor de la avenida Cali entre CL 80 y CL 3.

La Tabla 9-7 muestra los valores obtenidos de la base de datos y que se utilizan como recurso en la evaluación de la vida útil del pavimento

Tabla 9-7. Coeficientes estructurales y espesores Avenida Ciudad de Cali

Capa	Coeficiente estructural (a_i)	Coeficiente de drenaje (m_i)	Espesores estructura 1 (cm)
Concreto Asfáltico	0,39	1	16
Base Granular	0,115	0,9	60
Sub-base Granular	0,1	0,9	65

Con base a la información de la estructura se definen los módulos elásticos de las capas y se realiza la modelación de las estructuras con cada carga permitida y excedida por eje de acuerdo a los valores mencionados en la Tabla 6-11.

En la Tabla 9-8 se presenta los resultados de reducción de vida útil de cada tipo de camión por tipo de eje. En esta tabla se observan dos filas por cada tipo de llanta, la primera hace referencia a la carga permitida y la segunda a la carga excedida.

Se observa que en general la reducción de vida útil del pavimento es de 15% aproximadamente, sin embargo el camión tipo 3 induce una reducción de la vida útil del pavimento de 31% aproximadamente.

Tabla 9-8. Reducción de vida útil por tipo de vehículo en la avenida Ciudad de Cali

Camión tipo	Eje sencillo	P (Ton)		a (m)		N	% reducción vida útil	Eje vehículo
2	llanta simple	3,00	5,95	12,66	112,0E-6	1368348	0%	Eje simple direccional
		3,02	5,96	12,69	112,0E-6	1368348		
	llanta doble	2,75	6,30	11,78	125,0E-6	830644	36%	Eje simple
		3,15	6,62	12,30	138,0E-6	529786		
3	llanta simple	3,00	5,95	12,66	112,0E-6	1368348	37%	Eje simple direccional
		3,49	6,28	13,30	124,0E-6	861531		
	llanta doble	2,75	6,30	11,78	125,0E-6	830644	25%	Eje tandem
		2,98	6,49	12,09	133,0E-6	626546		
2S2	llanta simple	2,50	5,62	11,90	99,0E-6	2397479	4%	Eje simple direccional
		2,54	5,64	11,97	100,0E-6	2290418		
	llanta doble	2,50	6,10	11,42	116,0E-6	1166605	40%	Eje simple
		2,90	6,42	11,99	130,0E-6	695009		
	llanta doble	2,13	5,80	10,80	103,0E-6	2002459	0%	Eje tandem
		2,13	5,80	10,80	103,0E-6	2002459		
3S2	llanta simple	2,50	5,62	11,90	99,0E-6	2397479	23%	Eje simple direccional
		2,72	5,81	12,20	105,0E-6	1834847		
	llanta doble	2,69	6,26	11,70	123,0E-6	893830	4%	Eje tandem
		2,72	6,27	11,75	124,0E-6	861531		
	llanta doble	2,69	6,26	11,70	123,0E-6	893830	10%	Eje tandem
		2,77	6,31	11,82	126,0E-6	801097		
3S3	llanta simple	3,00	5,95	12,66	112,0E-6	1368348	4%	Eje simple direccional
		3,04	5,98	12,72	113,0E-6	1314163		
	llanta doble	2,75	6,30	11,78	125,0E-6	830644	13%	Eje tandem
		2,86	6,39	11,94	129,0E-6	719837		
	llanta doble	3,00	6,50	12,12	133,0E-6	626546	18%	Eje tridem
		3,16	6,63	12,32	139,0E-6	512681		

10 CONCLUSIONES

Por medio de los espectros de carga realizados para los vehículos tipo 2, 3, 2S2, 3S2 y 3S3 en cada uno de los dieciocho puntos de medición se encontró que en promedio por la avenida Boyacá existe una sobrecarga de 1,1 ton por eje (simple, tandem o tridem), en la avenida 68 de 0,84 ton por eje y en la avenida Ciudad de Cali de 0,66 ton por eje por cada tipo de camión que pasa por estos corredores arteriales de la ciudad. En ese contexto los vehículos que mas producen daño por esta sobrecarga es el camión tipo 2 y tipo 3, hipótesis que se puede comprobar por medio de los valores de coeficientes de agresividad (método racional o AASHTO) y por el análisis de reducción de vida útil del pavimento.

Como se observa en el análisis de los corredores evaluados, la avenida Boyacá es el corredor que presenta mayor excedencia de carga en los sentidos que confluyen hacia la Calle 13, importante zona industrial de la ciudad, es decir de la CL 170 a la CL 13 en sentido norte sur y de la Avenida Caracas a la CL 13 en sentido sur norte. Esta influencia de la direccionalidad de la carga se debe tener en cuenta en desarrollo de proyectos viales en estructuras de pavimentos flexibles específicos en donde influya drásticamente el cambio de módulo del concreto asfáltico a lo largo del día y este sea crítico en periodos pico o de mayor desplazamiento de vehículos de carga.

Los análisis de coeficientes de daño de los vehículos de carga tipo 2, 3, 2S2, 3S2 y 3S3 definen que el camión que mayor agresividad produce al pavimento es el tipo 3, y esta agresividad aumenta de manera exponencial en función a la magnitud de la sobrecarga impuesta a la estructura de pavimento. El camión tipo 3 presenta una sobrecarga en su eje simple direccional entre 0,84 y 1,08 ton y en su eje tandem entre 1,54 y 2,42 ton, siendo estos valores muy importantes debido a que generan un alto daño en la estructura de pavimento ocasionando intervenciones tempranas y sobrecostos en el mantenimiento de la infraestructura vial.

Con respecto al análisis de la reducción de vida útil del pavimento, se estima que la reducción que generan los vehículos tipo 2, 2S2, 3S2 y 3S3 es cercano al 20% y la reducción que genera el vehículo tipo 3 es cercano al 30% actualmente debido a las sobrecargas medidas en el desarrollo del concepto.

11 RECOMENDACIONES

El desarrollo del concepto de Espectros de Carga, se fundamentó para evaluar los vehículos de carga de tipo rígidos y semirremolques referenciados en la resolución 4100 de 2004, sin embargo, de acuerdo al trabajo de campo se evidenció la baja circulación de los vehículos tipo 4, 2S1, 2S3 y 3S1 que debido a su configuración no son muy usuales en el medio urbano, por esta razón es preciso plantear en un nuevo proyecto estudios de caso para estas configuraciones y determinar sus espectros reales en la ciudad y su coeficiente de agresividad media o factor de equivalencia AASHTO.

Es indispensable adelantar una segunda fase para complementar el espectro de los vehículos de carga en las vías arteriales de la ciudad.

Realizar las mediciones al servicio de transporte público en los sitios ya estudiados para conocer la injerencia de este tipo de vehículos en la malla vial con miras a proyectarlo al Sistema Integrado de Transporte Público (SITP).

Realizar el estudio de espectros de carga en los corredores de movilidad intermedia para conocer el panorama completo de la ciudad y poder plantear coeficientes de daño de vehículos de carga y de transporte público para Bogotá y poder evaluar el eje de referencia con el cual se deben diseñar las estructuras de pavimento futuras.

Realizar mesas de trabajo con la Secretaría de Movilidad con el objeto de implementar en un corto plazo un sistema de control de pesaje interno en la ciudad, para reducir los porcentajes de exceso de carga que se presentan actualmente y que afectan de manera directa en la conservación de la infraestructura vial de la ciudad y en el aprovechamiento del recurso económico dispuesto para tal fin.

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Miner, M. A., 1945, “Cumulative Damage in Fatigue,” J. Applied Mechanics, 12, A159-A164

Asphalt Institute. The Asphalt Handbook , 1989.

Depav – Esfuerzos y deformaciones en Pavimentos, Subrutina del programa Inpaco, Ministerio de Obras Públicas y Universidad del Cauca, República de Colombia, 1993.

Huang Yang H. Pavement analysis and design.. 1ed, New Jersey Prentice Hall, 1993. 805p.

Instituto de Desarrollo Urbano. Manual de diseño de Pavimentos para Bogotá D.C. Bogotá, 2000

Laboratoire Centrale de Ponts et Chaussées. Conception et dimensionnement des structures de chaussée – Guide Technique, Paris, Diciembre de 1994.

Londoño Cipriano A. Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto. 2 ed. Medellín, Editorial Piloto, 2002. 184p

Ministère des Relations Extérieures. Guide Pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, Coopération et développement, République Française, 1984.

Miner, M. A., 1945, “Cumulative Damage in Fatigue,” J. Applied Mechanics, 12, A159-A164

Ministerio de transporte, Resoluciones 4100 de 2004 y 1782 de 2009.

Garnica Anguas Paul Espectros de carga y daño para diseño de pavimentos, México, 2009.

A.P. Castellanos & J.P. Rojas. Espectros de carga vehicular para la zona urbana de Bogotá D.C, 2005

ANEXO 1 ESPECTROS DE CARGA

Avenida Boyacá

Avenida 68

Avenida Ciudad de Cali

ANEXO 2 RESULTADOS ESTADÍSTICOS

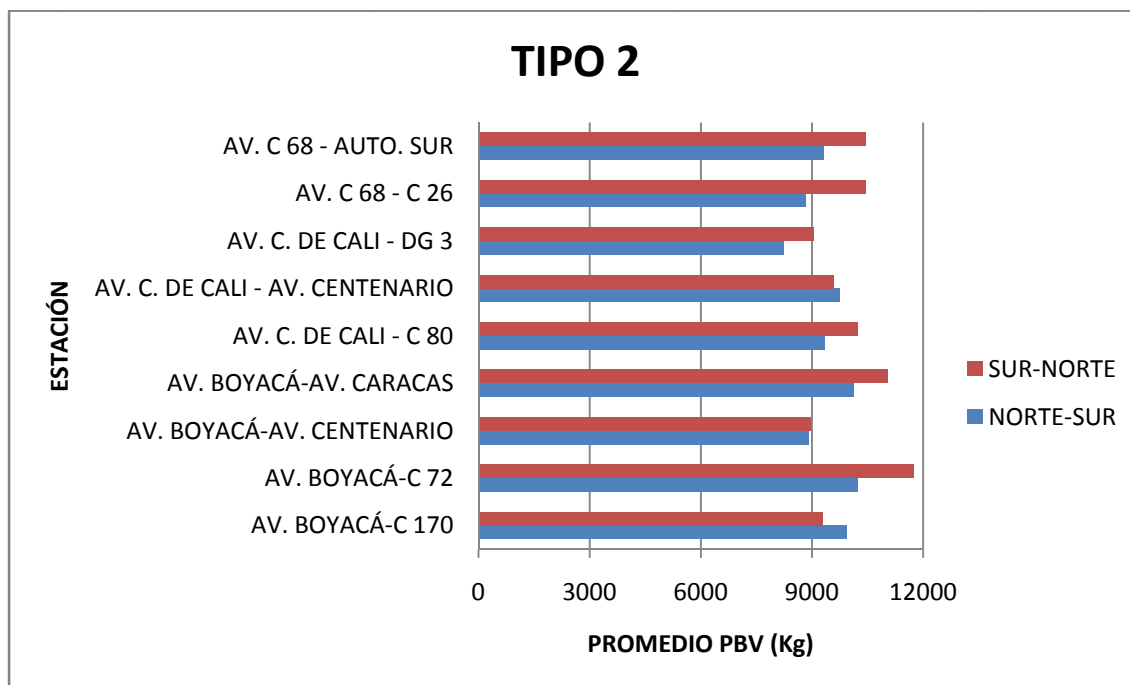
Avenida Boyacá

Avenida 68

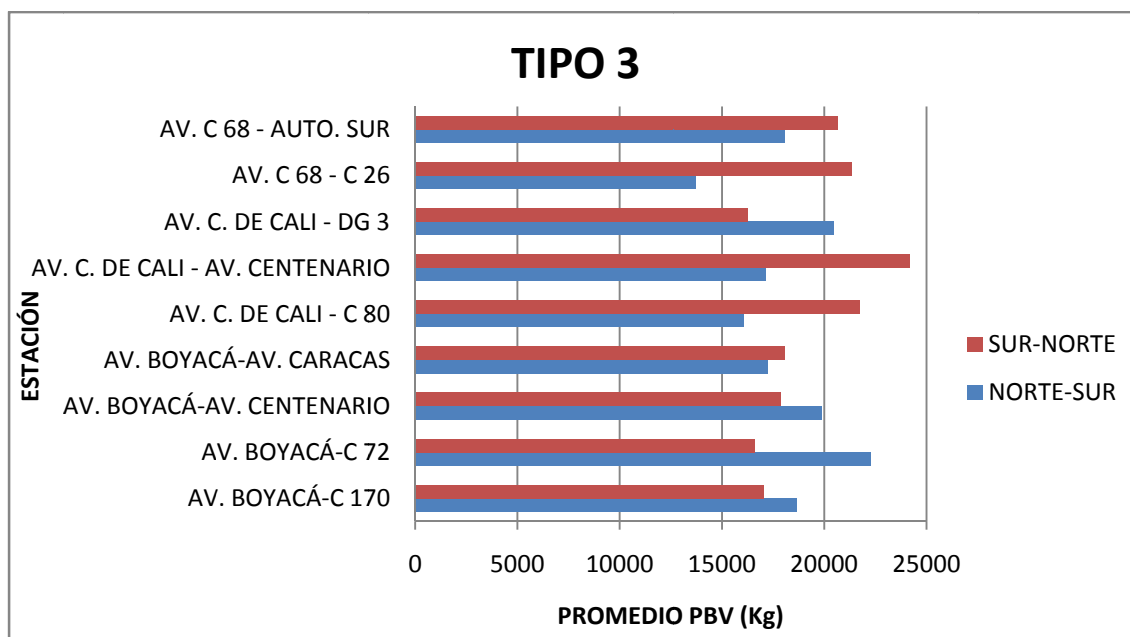
Avenida Ciudad de Cali

ANEXO 2.1. PROMEDIO DEL PESO BRUTO VEHICULAR

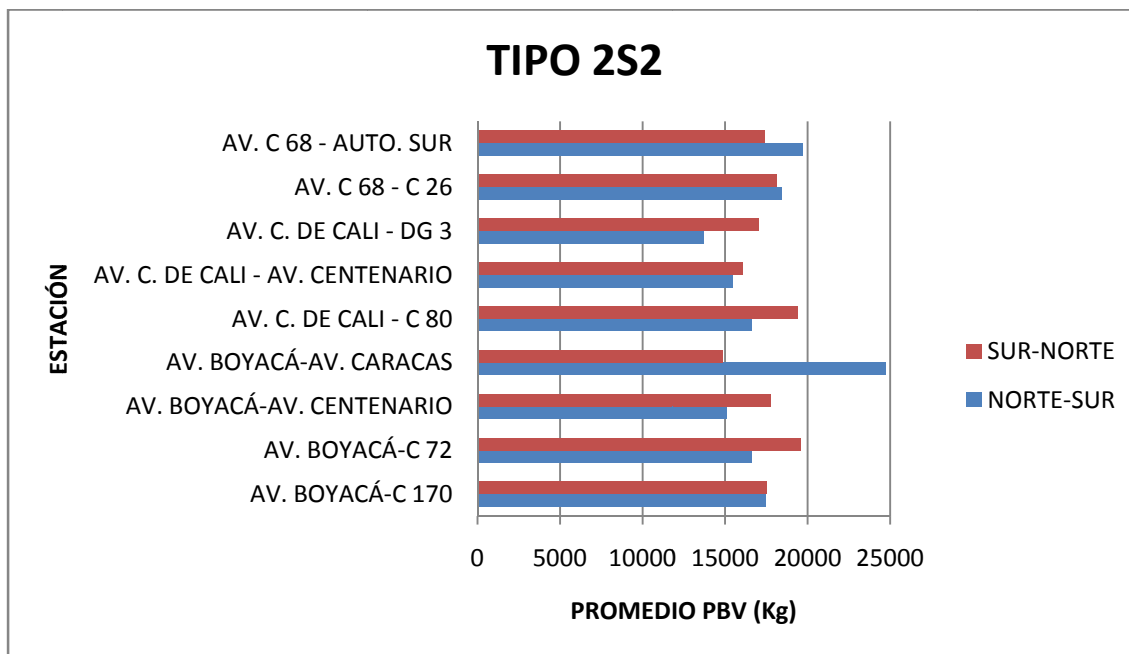
Promedio del peso bruto vehicular para cada tipo de vehículo por estación de pesaje y sentido vial.



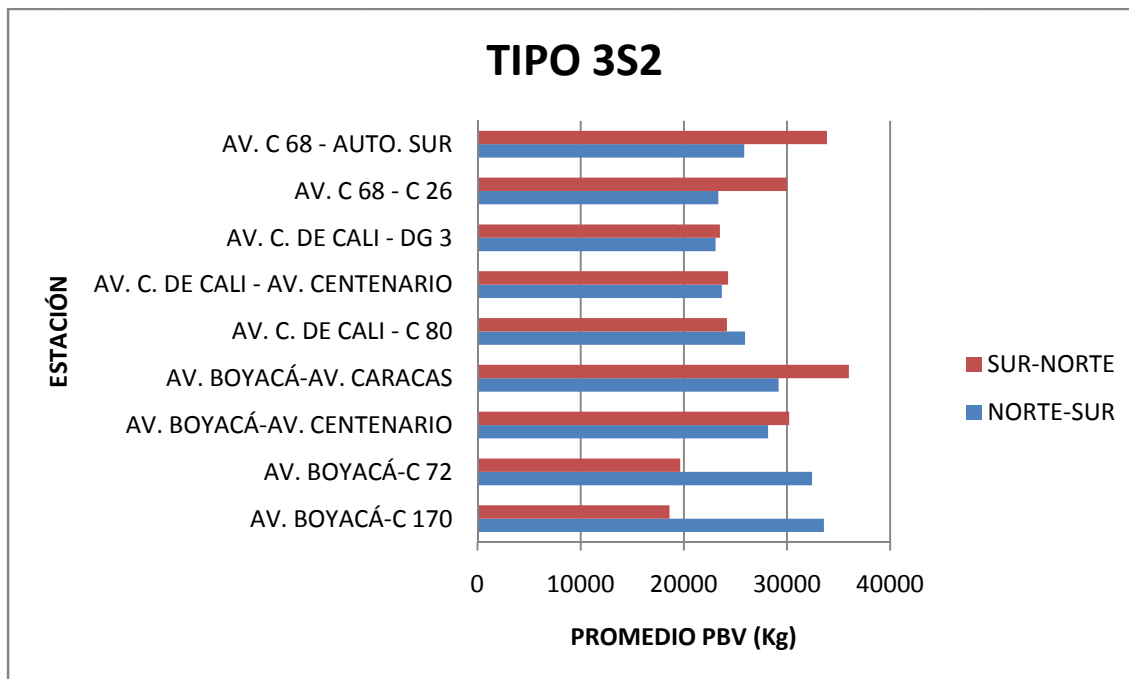
Fuente: Elaboración propia.



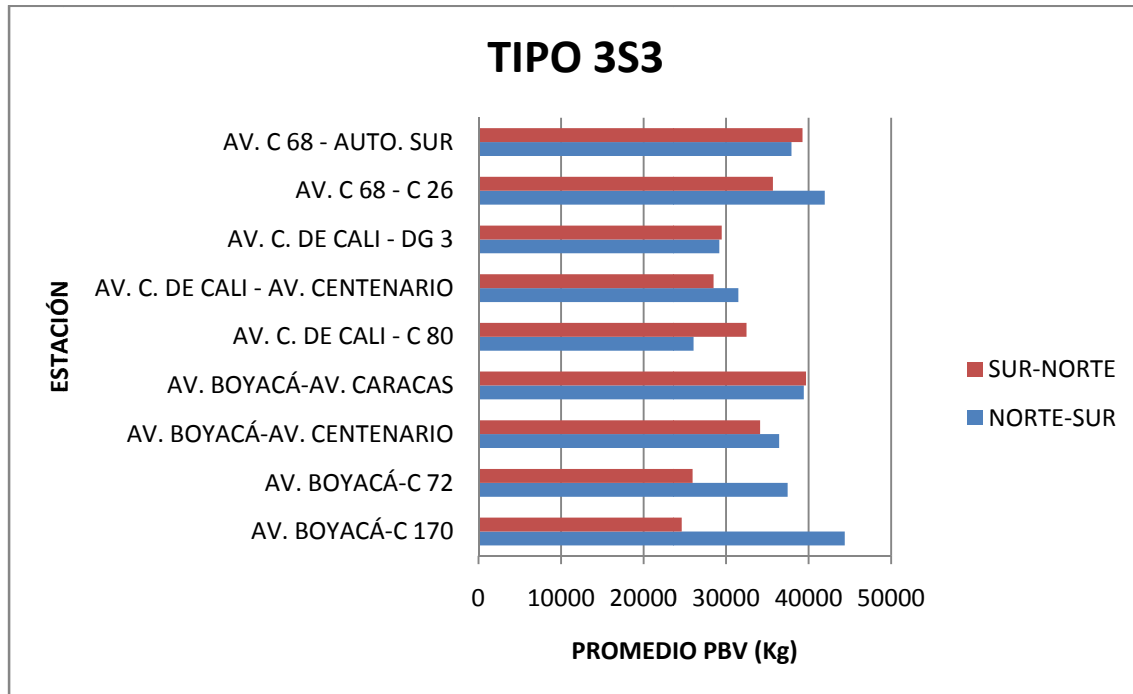
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2.2. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA

Descripción estadística de la muestra y el peso bruto vehicular para cada estación de pesaje por tipología de vehículo y sentido vial.

AV. BOYACÁ-CALLE 170				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	761	3600	55990	20709
NORTE-SUR	425	3720	55990	25290
2	138	3720	19400	9947
3	80	9330	34960	18638
2S1	1	11920	11920	11920
2S2	16	12760	31700	17471
2S3	1	37600	37600	37600
3S2	77	14920	53840	33579
3S3	112	15510	55990	44373
SUR-NORTE	336	3600	49430	14915
2	161	3600	17210	9291
3	40	5140	34790	17052
2S1	1	19890	19890	19890
2S2	21	10710	28860	17504
3S2	56	12820	46060	18619
3S3	57	12040	49430	24624

Fuente: Elaboración propia.

AV. BOYACÁ-CALLE 72				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	664	3050	51960	20693
NORTE-SUR	317	4500	51960	23588
2	92	4500	21870	10251
3	80	8090	32310	22259
2S2	20	11360	40660	16632
3S2	52	13730	50790	32432
3S3	73	13290	51960	37458
SUR-NORTE	347	3050	51670	18049
2	97	3050	24080	11745
3	73	9130	32170	16614
4	1	10960	10960	10960
2S1	2	17340	22870	20105
2S2	30	12100	31870	19602
3S1	2	17380	18430	17905
3S2	71	13940	46220	19645
3S3	71	13560	51670	25932

Fuente: Elaboración propia.

AV. BOYACÁ-AV. CENTENARIO				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	1057	2990	66650	19154
NORTE-SUR	579	3150	66650	19369
2	232	3150	28970	8922
3	137	7120	33200	19893
2S2	29	10610	26720	15117
3S2	74	11200	50140	28158
3S3	107	9250	66650	36426
SUR-NORTE	478	2990	53870	18894
2	191	2990	19280	8951
3	115	6590	36270	17848
4	3	26840	41680	34503
2S1	2	13870	17750	15810
2S2	16	12200	27520	17758
2S3	2	15070	33189	24130
3S1	1	25560	25560	25560
3S2	70	15240	51190	30209
3S3	78	14650	53870	34122

Fuente: Elaboración propia.

AV. BOYACÁ-AV. CARACAS				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	736	2520	55530	24963
ESTE-OESTE	373	2880	55530	24560
2	130	2880	22620	11047
3	58	8970	37660	18085
4	1	12800	12800	12800
2S2	8	11770	19770	14875
2S3	1	14650	14650	14650
3S1	3	15290	19770	17040
3S2	94	8130	51380	35992
3S3	78	14980	55530	39680
OESTE-ESTE	363	2520	47860	25378
2	81	2520	18360	10124
3	68	8400	30670	17245
4	1	30570	30570	30570
2S2	4	17700	28430	24735
3S1	3	14580	15740	15040
3S2	105	13280	44080	29184
3S3	101	14290	47860	39410

Fuente: Elaboración propia.

AV. CIUDAD DE CALI-CALLE 80				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	687	2750	54770	15073
NORTE-SUR	361	2750	50000	14600
2	190	2750	20020	9346
3	66	6920	30310	16065
4	1	13690	13690	13690
2S2	29	11120	29290	16591
2S3	2	16690	24110	20400
3S2	27	12830	46630	25934
3S3	46	15810	50000	26057
SUR-NORTE	326	3920	54770	15596
2	205	3920	21980	10223
3	57	9430	33810	21721
4	1	34520	34520	34520
2S2	10	11940	31080	19397
3S2	24	14050	48910	24183
3S3	29	15540	54770	32469

Fuente: Elaboración propia.

AV. CIUDAD DE CALI-AV. CENTENARIO				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	524	3600	59160	18748
NORTE-SUR	293	3710	53720	18460
2	112	3710	21170	9754
3	46	8390	37270	17144
4	2	24450	36070	30260
2S2	26	10940	30760	15459
3S2	39	14540	48240	23685
3S3	68	15350	53720	31492
SUR-NORTE	231	3600	59160	19113
2	74	3600	19690	9605
3	35	9270	38190	24190
4	1	15080	15080	15080
2S2	32	10770	29870	16042
2S3	1	16450	16450	16450
3S2	46	13910	48910	24282
3S3	42	15380	59160	28474

Fuente: Elaboración propia.

AV. CIUDAD DE CALI-DIAGONAL 3				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	859	3260	54060	18103
NORTE-SUR	404	3330	49690	17088
2	148	3330	21890	8238
3	81	8470	33060	20479
4	1	13520	13520	13520
2S1	3	8500	14340	11910
2S2	48	9520	24250	13681
3S1	1	16340	16340	16340
3S2	42	14020	42460	23079
3S3	80	14450	49690	29176
SUR-NORTE	455	3260	54060	19004
2	126	3260	17410	9042
3	84	8200	34410	16272
4	2	11270	14410	12840
2S1	1	12170	12170	12170
2S2	47	8730	28850	17018
3S2	74	13060	51580	23494
3S3	121	12810	54060	29460

Fuente: Elaboración propia.

AV. CARRERA 68-CALLE 26				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	404	3560	62100	17329
NORTE-SUR	176	3840	52390	15853
2	94	3840	23470	8819
3	27	7790	27640	13707
4	1	13600	13600	13600
2S1	1	9920	9920	9920
2S2	16	9360	30180	18394
3S2	15	12710	47180	23339
3S3	22	17060	52390	41960
SUR-NORTE	228	3560	62100	18468
2	110	3560	21320	10446
3	54	8860	34970	21344
4	1	25720	25720	25720
2S2	13	11490	31970	18141
3S2	24	10780	52390	30006
3S3	26	16150	62100	35666

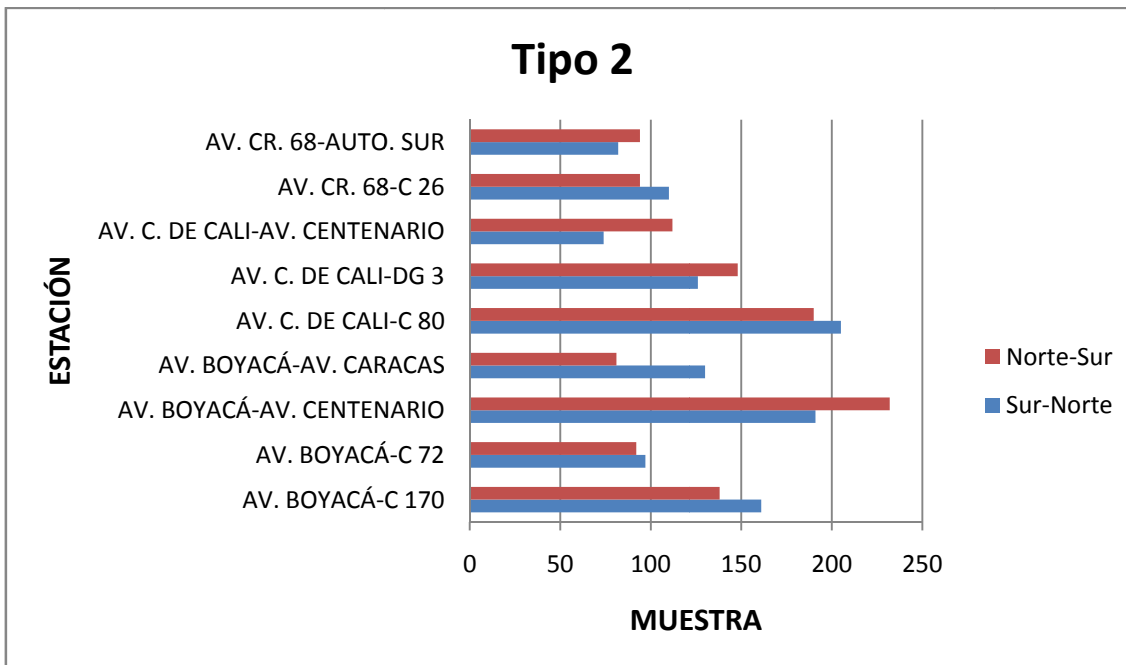
Fuente: Elaboración propia.

AV. CARRERA 68-AUTOPISTA SUR				
	MUESTRA	MÍNIMO PBV (Kg)	MÁXIMO PBV (Kg)	PROMEDIO PBV (Kg)
TOTAL ESTACIÓN	371	3510	62020	19797
NORTE-SUR	162	4440	51370	16410
2	94	4440	18400	9305
3	23	9230	30410	18088
2S2	8	12880	29370	19681
3S2	16	14830	48930	25861
3S3	21	15990	51370	37927
SUR-NORTE	209	3510	62020	22423
2	82	3510	18940	10452
3	39	9190	35410	20652
2S2	16	11780	22100	17404
3S2	15	12780	49030	33871
3S3	57	15210	62020	39252

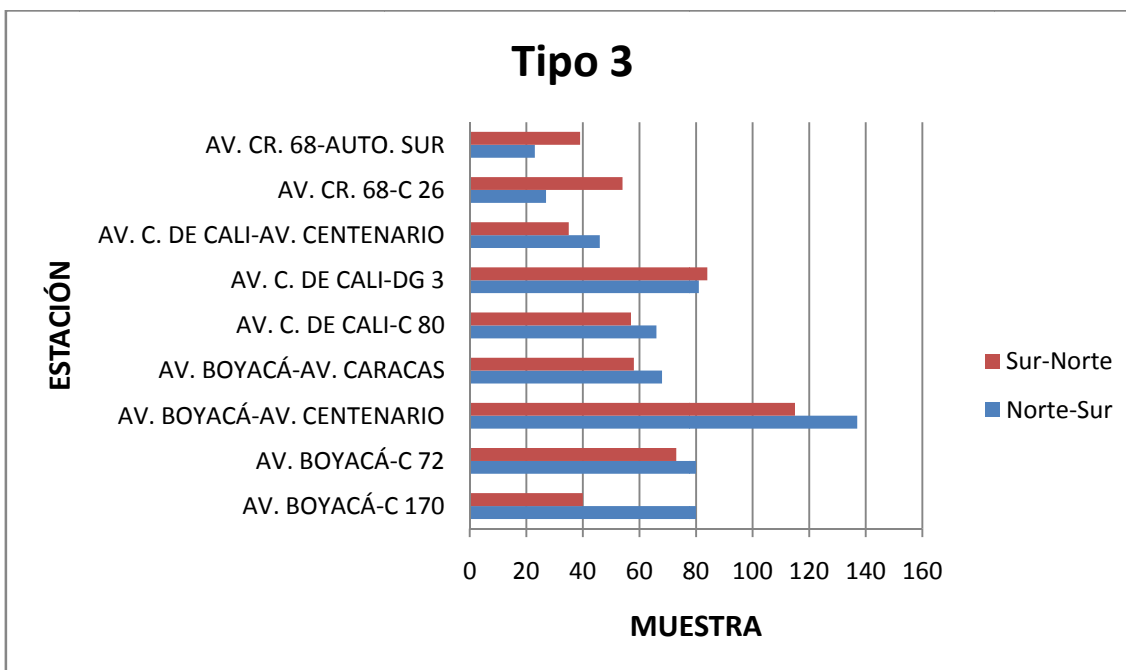
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2.3. MUESTRAS TOMADAS EN CAMPO

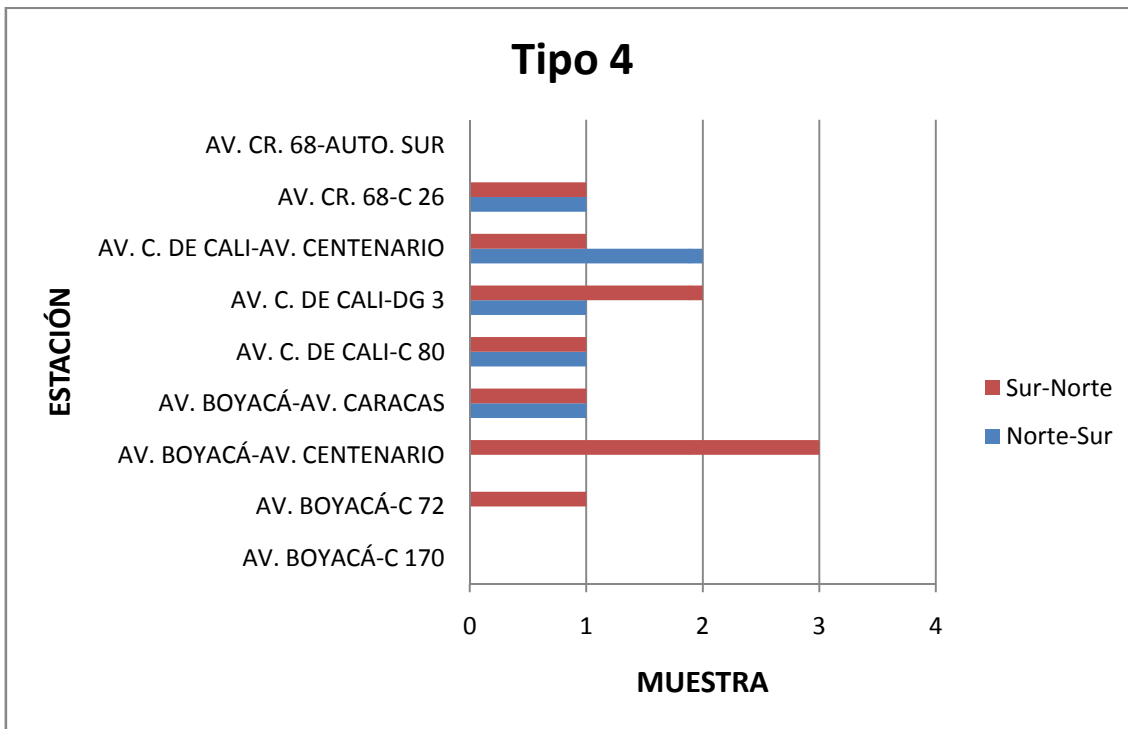
Muestra tomada en campo por tipo de vehículo para cada estación de pesaje por sentido.



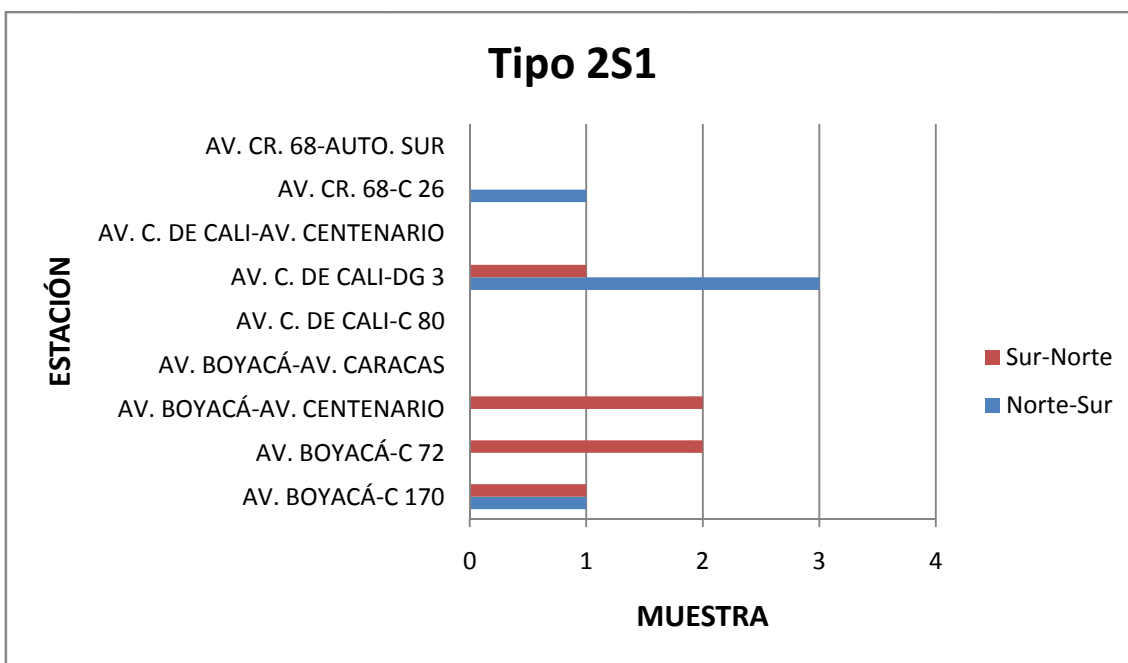
Fuente: Elaboración propia.



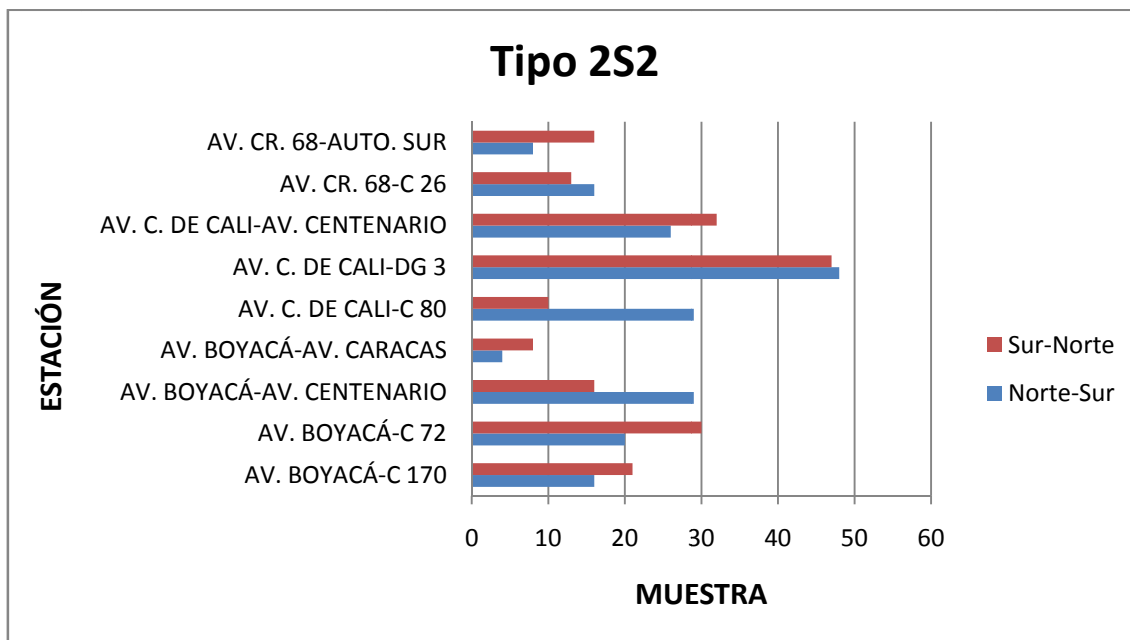
Fuente: Elaboración propia.



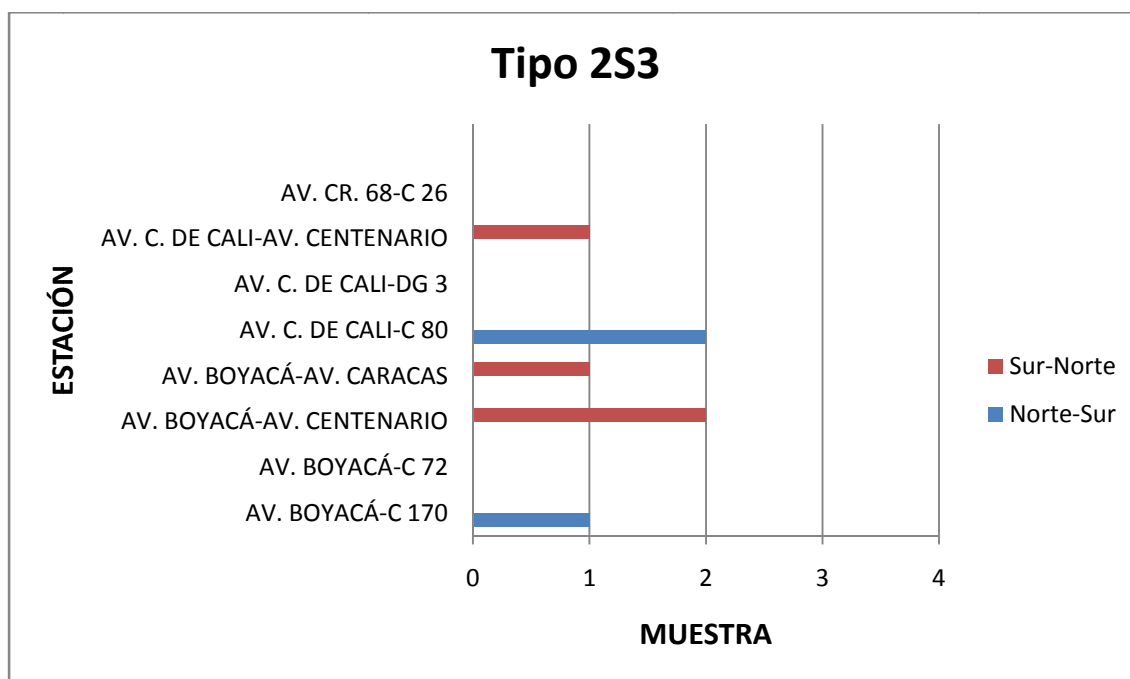
Fuente: Elaboración propia.



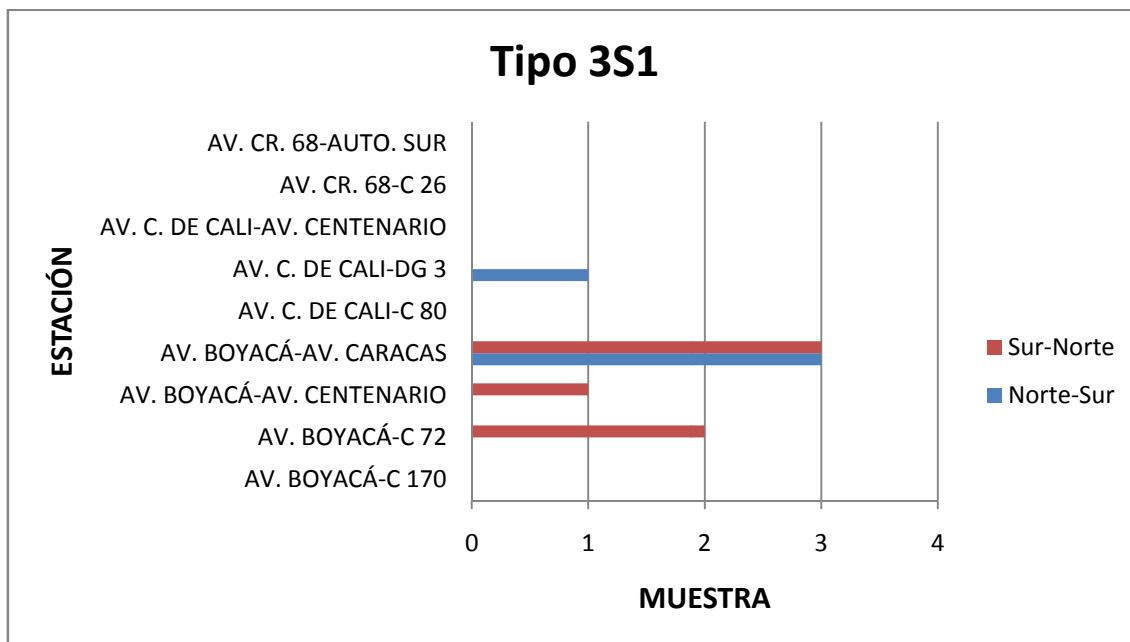
Fuente: Elaboración propia.



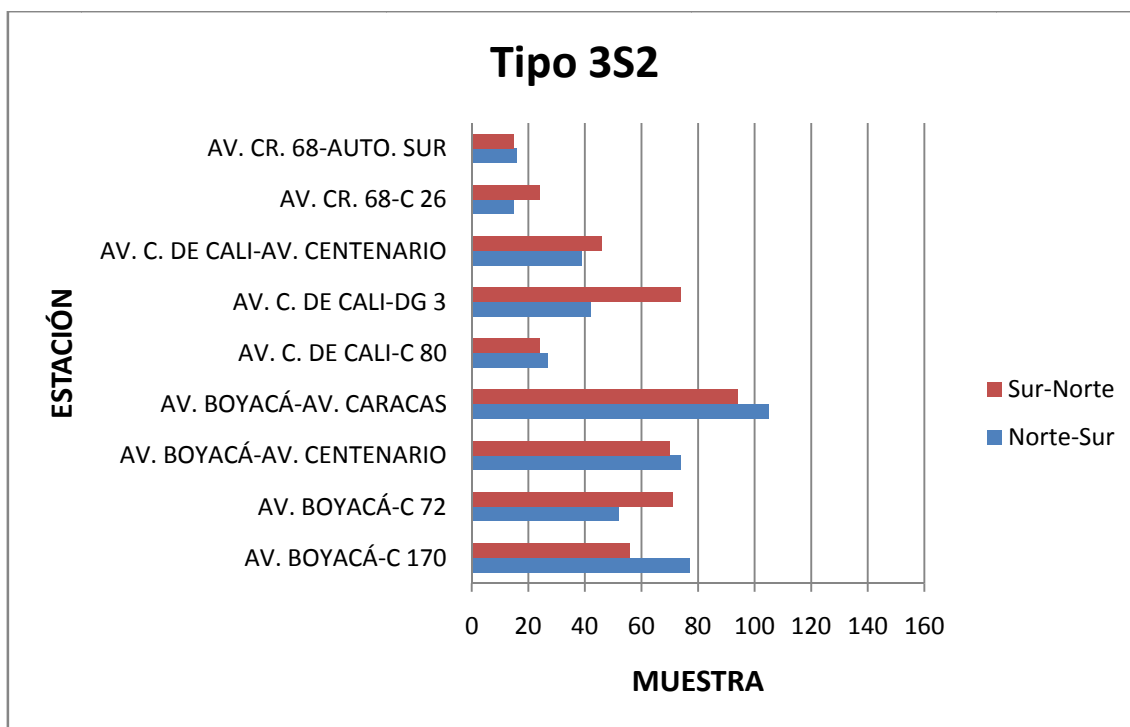
Fuente: Elaboración propia.



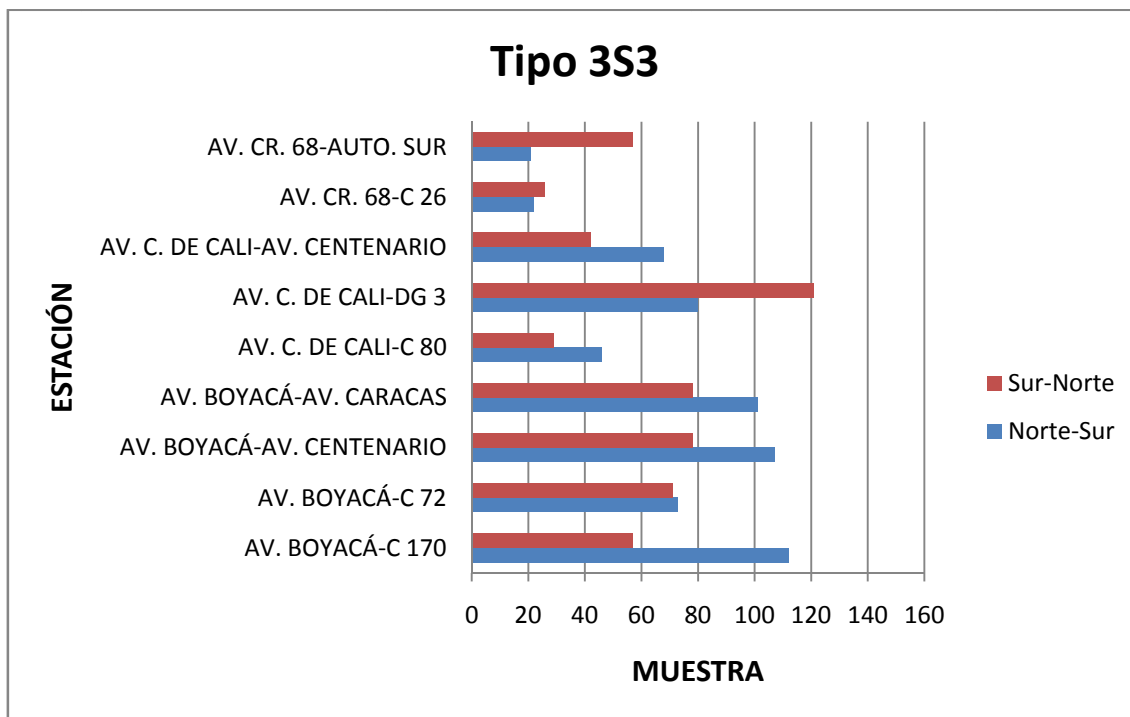
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



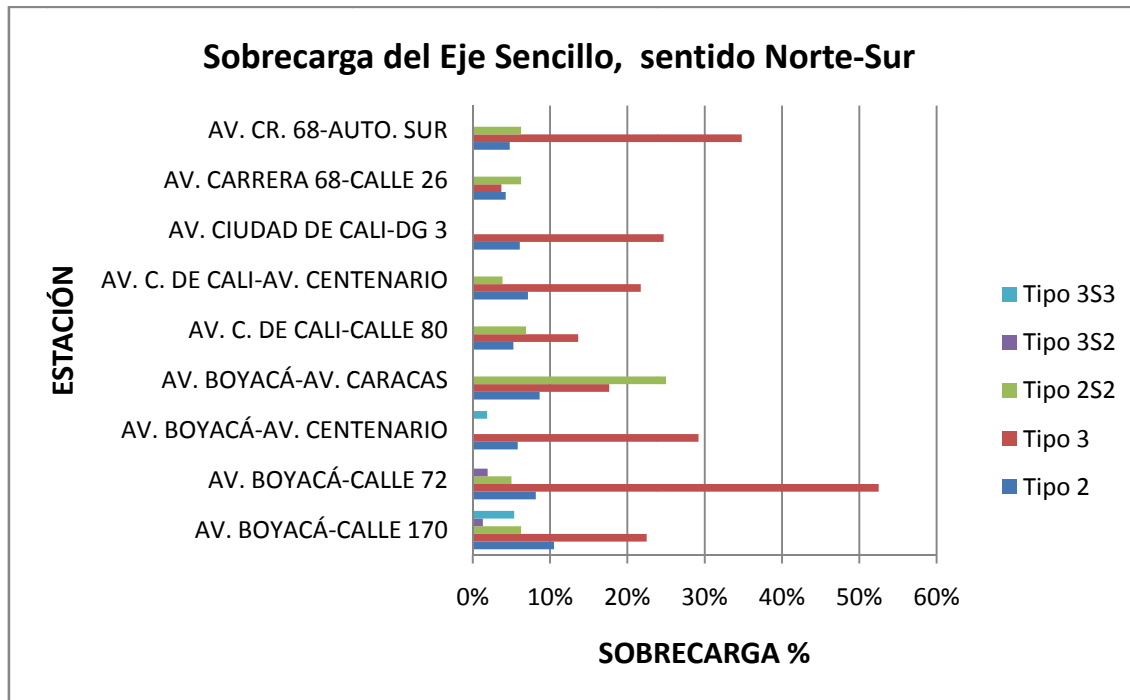
Fuente: Elaboración propia.



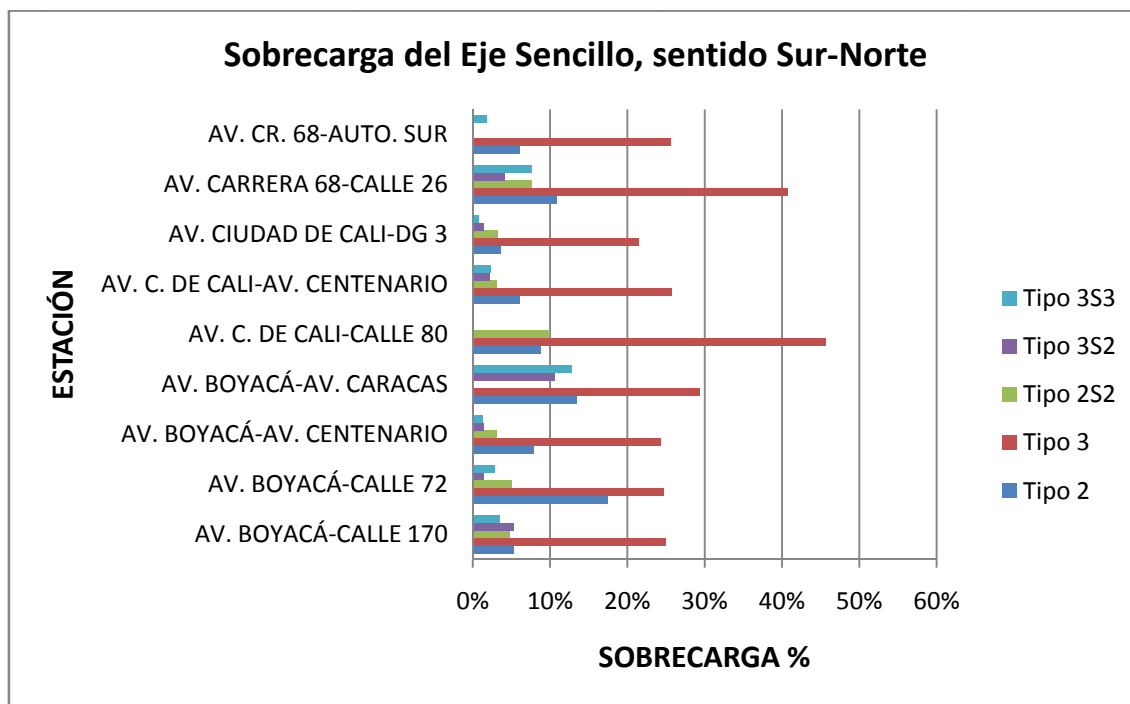
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2.4. PORCENTAJE DE EJES CON SOBRECARGA

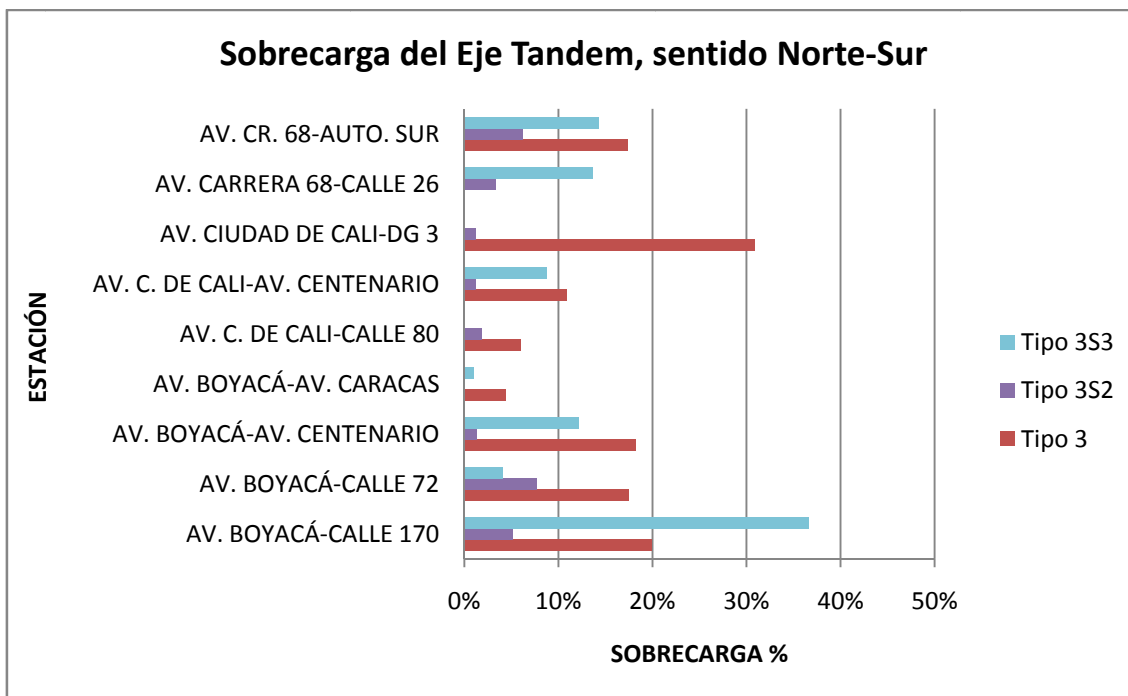
Porcentaje de ejes con sobrecarga de cada tipo, estación de pesaje, sentido vial y tipología de vehículo.



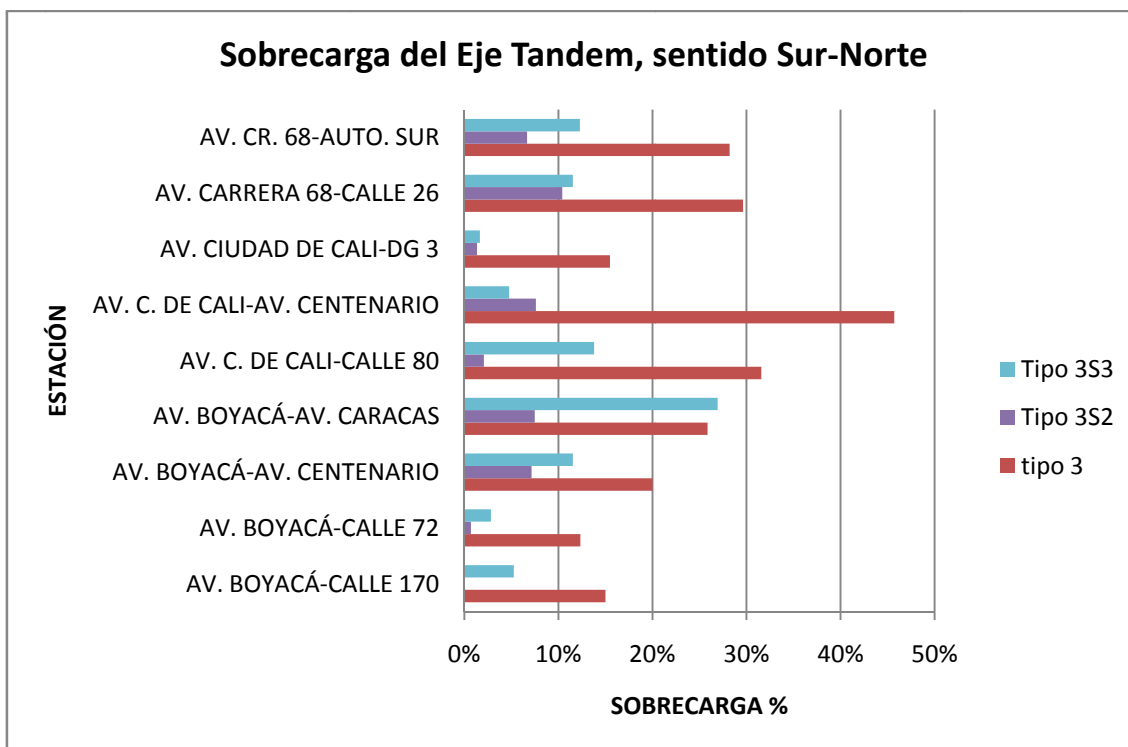
Fuente: Elaboración propia.



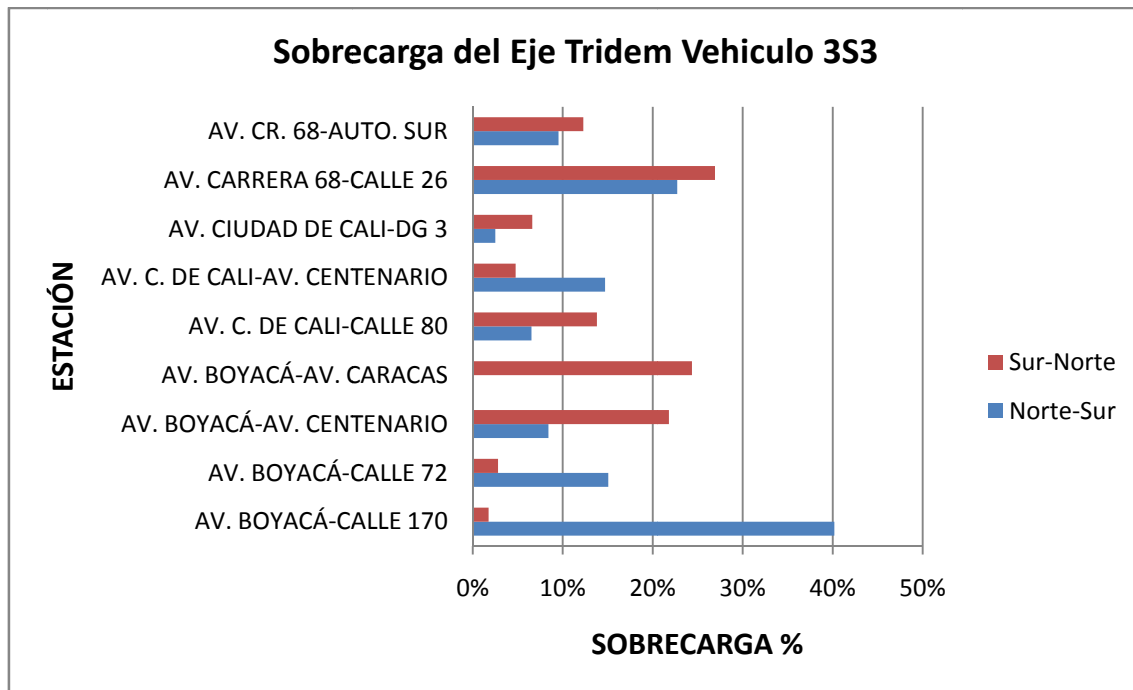
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

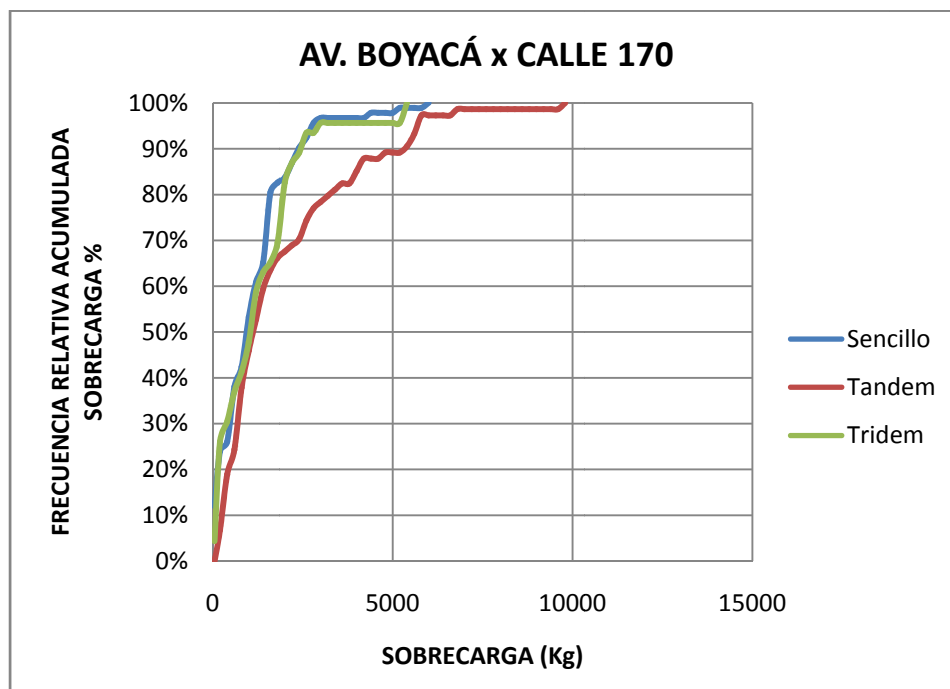


Fuente: Elaboración propia.

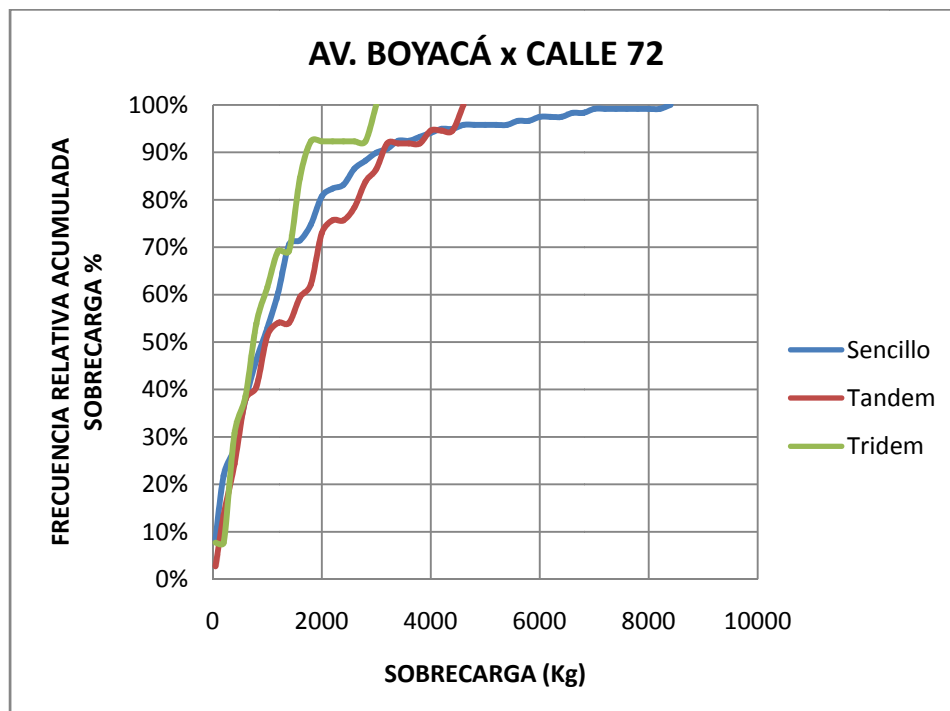
Como se puede observar el vehículo tipo 3 es el que presenta el mayor sobrecarga muy por encima de las demás tipologías de vehículos.

ANEXO 2.5. FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA DE SOBRECARGA

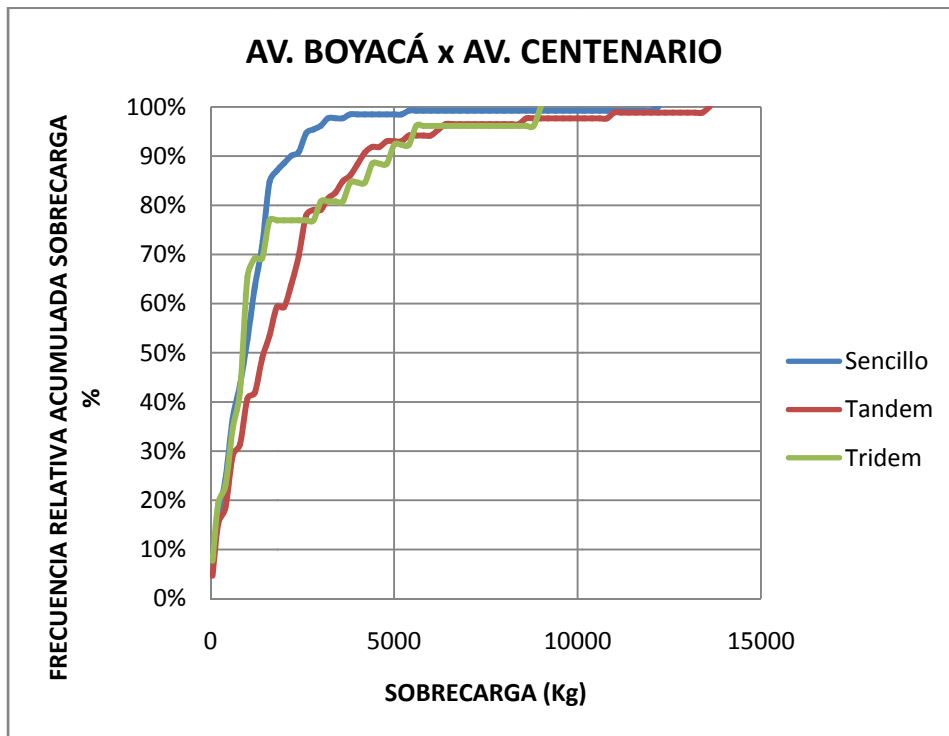
En este anexo se presenta la frecuencia relativa acumulada de la sobrecarga para cada estación de pesaje según el tipo de eje.



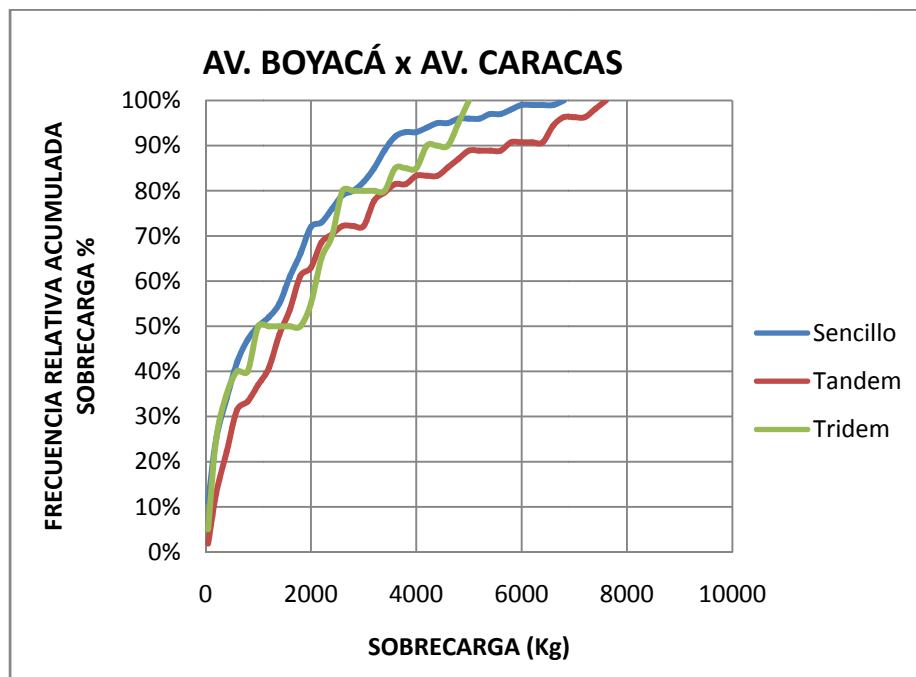
Fuente: Elaboración propia.



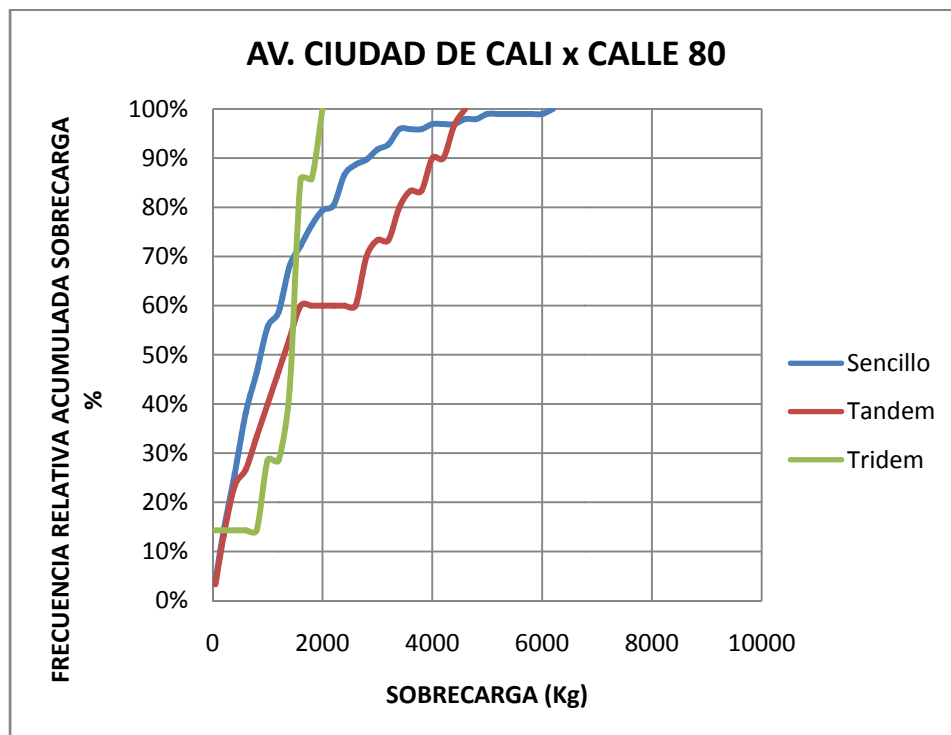
Fuente: Elaboración propia.



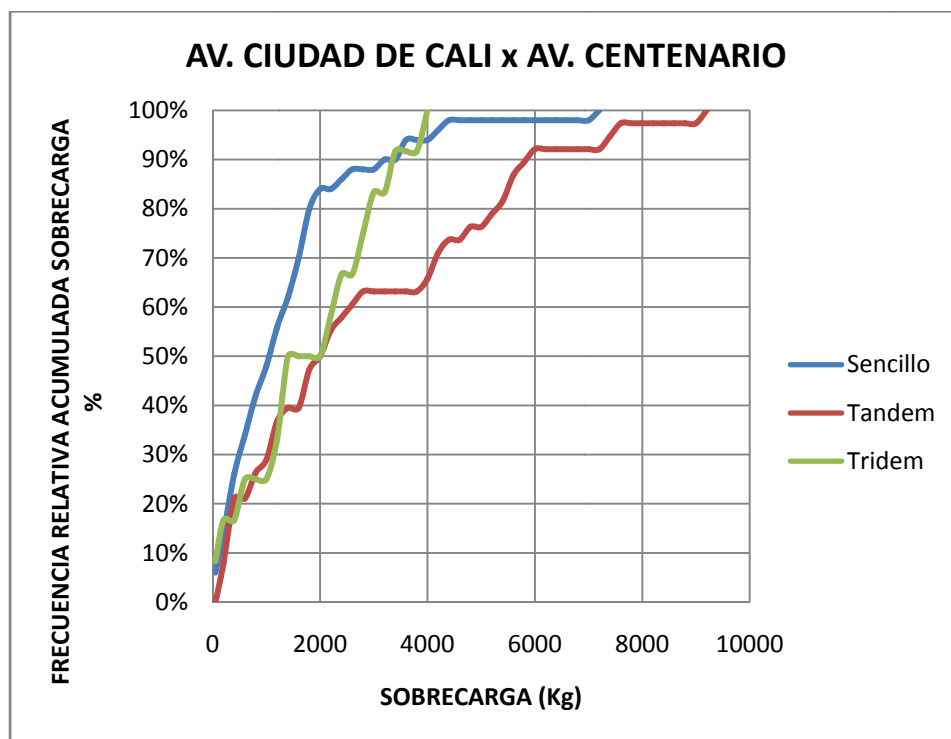
Fuente: Elaboración propia.



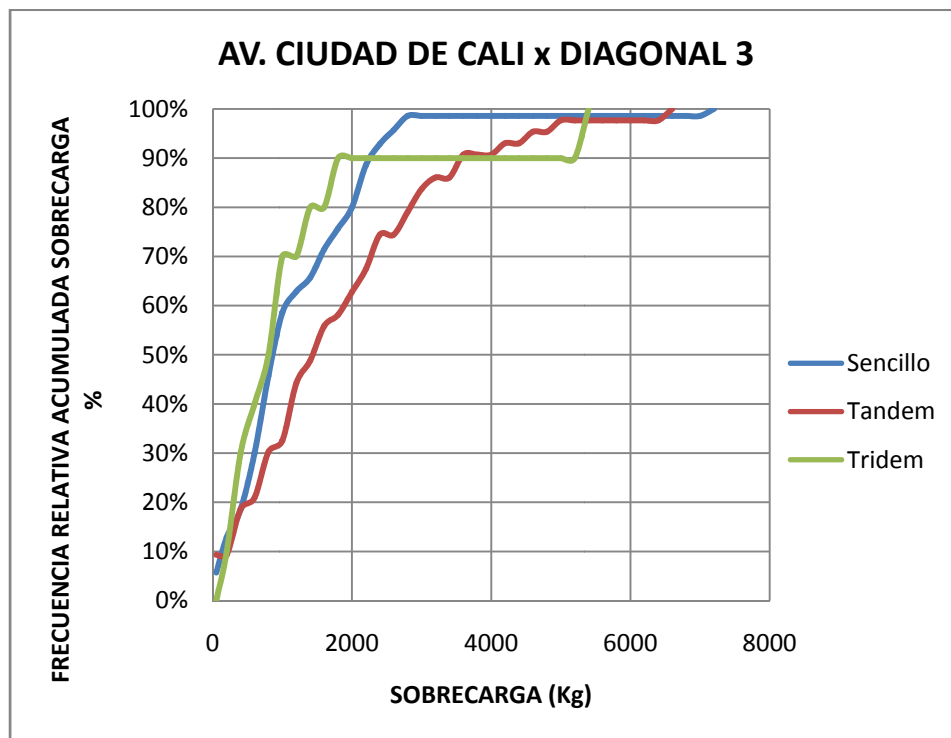
Fuente: Elaboración propia.



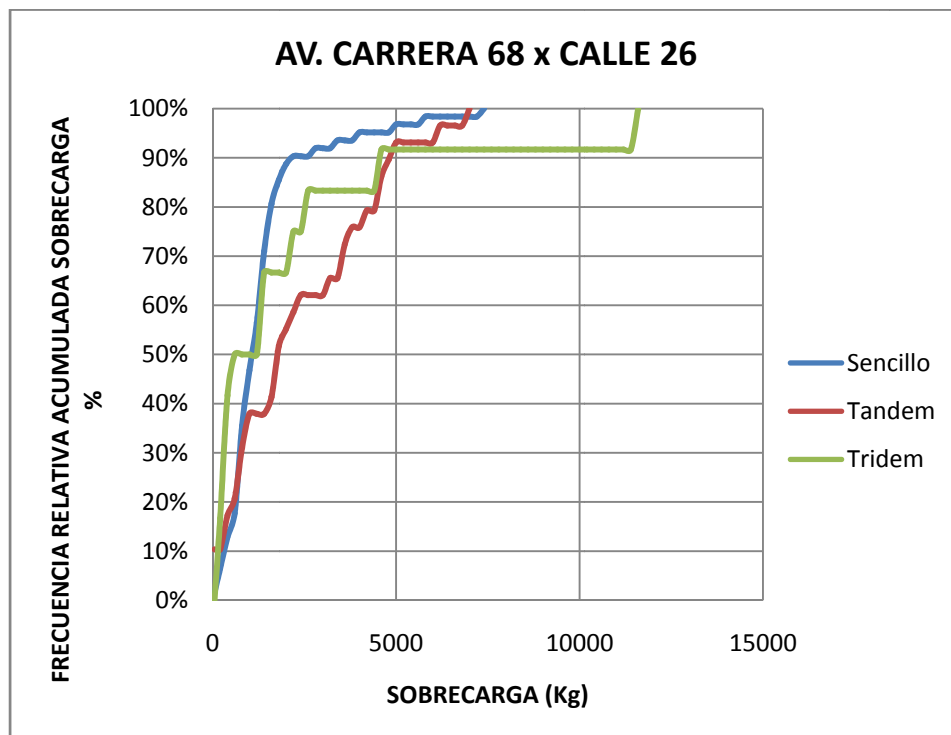
Fuente: Elaboración propia.



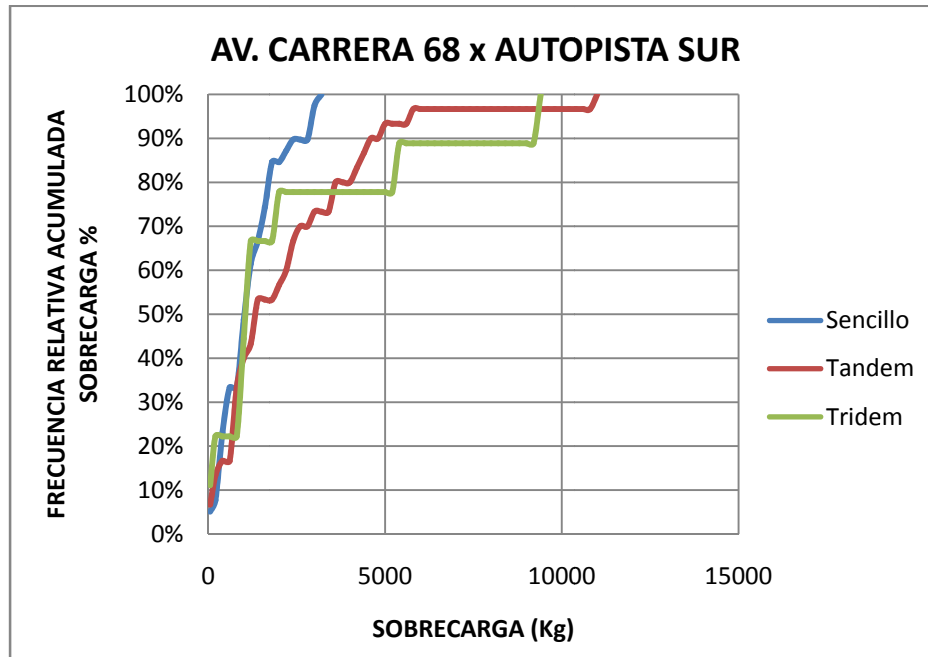
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3 INFORME DE CAMPO

ANEXO 4 CARTILLA DEL BANDERERO

ANEXO 5 ESQUEMAS DE LOCALIZACIÓN DE PMT'S

ANEXO 6 FORMATOS COI

ANEXO 7 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS