

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA - INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DEL TRANSPORTE Y VÍAS DE COMUNICACIÓN
POSTGRADO EN CIENCIAS DEL TRANSPORTE



TESIS DE MAESTRIA

**IMPLEMENTACION DE UN SIG PARA LA GESTION DE DATOS DE
CONTEOS DE LA RED VIAL FUNDAMENTAL DE CARRETERAS DE
BOLIVIA**



MAESTRANTE:

Ing. Ruby Isabel AGUILAR REY

ASESOR:

Ing. MSc. Waldo Agustín YANAGUAYA APAZA

La Paz – Bolivia, 2020



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE INGENIERÍA - INGENIERÍA CIVIL



**POSTGRADO EN CIENCIAS
DEL TRANSPORTE**



**ADMINISTRADORA BOLIVIANA
DE CARRETERAS**

TESIS DE MAESTRIA

**“IMPLEMENTACION DE UN SIG PARA LA GESTION DE DATOS DE
CONTEOS DE LA RED VIAL FUNDAMENTAL DE CARRETERAS DE
BOLIVIA”**

TESIS DE MAESTRIA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

“MAGISTER EN INGENIERÍA VIAL”

MAESTRANTE: Ing. Ruby Isabel AGUILAR REY

ASESOR: Ing. MSc. Waldo Agustín YANAGUAYA APAZA

La Paz - Bolivia

Dedicatoria

A mi familia. A mi esposo quien ha estado a mi lado todo este tiempo que he trabajado. A mis amados padres por el amor brindado.

A mis amigos y a todos los que me prestaron ayuda, a todos ellos dedico este documento con cariño y un muy grande agradecimiento.

Así que no depende del que quiere, ni del que corre, sino de Dios que tiene misericordia.

Romanos 9:16

Todo lo puedo en Cristo que me fortalece.

Filipenses 4:13

Agradecimientos

Agradecida siempre a mi Dios, Jesús, por mi vida y la fortaleza que de él viene.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Postgrado en Ciencias del Transporte, por promover la especialización profesional.

Al Ing. M.Sc. Juan Luis Maldonado Tarifa, coordinador de la maestría, por el apoyo incondicional durante los estudios de postgrado y la realización de esta tesis.

Al Ing. M.Sc. Waldo Yanaguaya Apaza, asesor de la tesis, por la entereza y dirección técnica y científica durante el desarrollo y elaboración de la misma.

A los ingenieros M.Sc. Primitivo Condarco y M.Sc. Oscar Espinosa, tribunales de tesis, por todo el conocimiento y consejo brindado.

Un agradecimiento especial a la Administradora Boliviana de Carreteras, Subgerencia de Conservación Vial, Ing. Juan Marcelo Pardo Solís, por brindar la información necesaria que ha permitido el desarrollo y el aporte al contenido del presente documento de investigación.



IMPLEMENTACION DE UN SIG PARA LA GESTION DE DATOS DE CONTEOS DE LA RED VIAL FUNDAMENTAL DE CARRETERAS DE BOLIVIA

INDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. ESTADO DEL ARTE	1
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS	3
1.5. OBJETIVOS	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos	4
1.6. HIPÓTESIS	5
1.7. ALCANCES, LÍMITES Y DELIMITACIÓN	5
1.8. MARCO METODOLÓGICO	7
1.8.1. Tipo de estudio	7
1.8.2. Diseño de la Investigación	7
1.8.3. Definición de variables.	7
1.8.4. Unidad de análisis.	9
1.8.5. Determinación de la Población y Muestra.	11
1.9. METODOLOGÍA.....	12
1.9.1. Etapas de la metodología empleada.	12
CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO	14
2.1. SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS DE BOLIVIA	14
2.1.1. Red Vial Fundamental (RVF)	14
2.1.2. Redes Departamentales.....	21
2.1.3. Redes Municipales	21
2.2. CONTEOS VEHÍCULARES DE TRÁFICO	22
2.2.1. Tipos de Conteos de Volúmenes de Tráfico.....	23



2.2.2. Métodos de Conteos de Volúmenes de Tráfico.....	25
2.2.3. Tecnología comúnmente empleada en las estaciones de conteo vehicular.....	26
2.2.4. Estaciones de Conteos Vehiculares	28
2.3. CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN DE TRÁFICO	31
2.3.1. Volumen Vehicular	32
2.3.2. Parámetros de los volúmenes de flujo de tráfico.....	32
2.3.3. Variación de los Volúmenes de Tráfico	37
2.3.4. Clasificación del Tráfico	40
2.4. TASAS DE CRECIMIENTO DEL TPDA	42
2.4.1. Método basado en la Evolución del TPDA	42
2.4.2. Método basado en un Modelo Microeconómicos	43
2.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	45
2.5.2. Componentes de un SIG.....	47
2.5.3. Funciones del SIG	48
2.5.4. Ventajas de un SIG	49
2.5.5. SIG y Tráfico.....	50
2.6. MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR LA MATRIZ ORIGEN DESTINO A PARTIR DE LOS CONTEOS VEHICULARES	51
2.6.1. Relación entre la matriz Origen-Destino y los volúmenes en arcos.....	51
2.6.2. Procedimiento de Asignación.....	52
2.6.3. Formulación General.....	52
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS, TRATAMIENTO Y RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN DE CONTEOS VOLUMÉTRICOS EN LA RVF DE BOLIVIA.....	55
3.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	55
3.1.1. Etapas en la determinación de series de volúmenes de tráfico confiables	55
3.1.2. Herramienta Tecnológicas	58
3.2. INVENTARIO DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE EN LAS ESTACIONES DE CONTEO VEHICURAL EN LA RVF DE CARRETRAS DE BOLIVIA	59
3.2.1. Recolección de información existente en las estaciones de conteo en la RVF	59
3.2.2. Características de la información.....	60
3.2.3. Selección del periodo de estudio	63



3.3. UBICACIÓN PRECISA DE LAS ESTACIONES DE CONTEO VEHICULAR EN LA RVF DE CARRETERAS DE BOLIVIA	63
3.4. PRIMER ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE VOLÚMENES DE TRÁFICO	69
3.4.1. Análisis estadístico a las series de volúmenes de tráfico horarios – Identificación de errores graves y lagunas en las series de datos.	69
3.5. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL VOLUMEN DE TRÁFICO	73
3.5.1. Cálculo del TPD, DD y factor estacional horario	73
3.5.2. Cálculo del TPDM y factor estacional diario	76
3.5.3. Cálculo del TPDA y factor estacional mensual.....	77
3.6. ANÁLISIS A LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESTACIONAL DE VOLÚMENES DE TRÁFICO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ...	78
3.6.1. Variación horaria del volumen de tráfico.....	78
3.6.2. Variación mensual del volumen de tráfico	86
3.7. TASAS DE CRECIMIENTO DEL TPDA	90
3.7.1. Determinación de tasas de crecimiento de las variables socio-económicas	90
3.7.2. Evolución histórica del tráfico vehicular	95
3.7.3. Método basado en un Modelo Microeconómicos	97
3.7.4. Análisis a las variables socio-económicas y su efecto en los resultados obtenidos	110
CAPÍTULO 4. IMPLMENTACIÓN DE UN SIG PARA LA GESTIÓN DE DATOS DE CONTEOS DE VOÚMNES DE TRÁFICO Y RESULTADOS OBTENIDOS	116
4.1. METODOLOGÍA GENERAL	116
4.1.1. Etapas en la Implementación de un SIG para la gestión de datos de Conteo	116
4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SIG	120
4.2.1. Verificación de la ubicación de las estaciones de conteo	120
4.2.2. Tramificación del Red Vial Fundamental de Bolivia	121
4.2.3. Verificación del Número de Estaciones de Conteo Vehicular en la RVF.....	124
4.2.4. Mapas de Tráfico	125
4.2.5. Ejemplo de Aplicación: Determinación de la matriz origen-destino (O-D) a partir de conteos vehiculares en inmediaciones de los Municipios de Comarapa y Pampa Grande para el año 2015.....	142



CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
5.1. RED VIAL FUNDAMENTAL DE BOLIVIA	148
5.2. INFORMACIÓN DE VOLUMENES DE TRÁFICO	150
5.3. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE VOLÚMENES DE TRÁFICO Y HERRAMIENTA TECNOLÓGICA EMPLEADA	153
5.4. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO A LOS VOLÚMENES DE TRÁFICO.....	154
5.5. ANÁLISIS A LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE VOLÚMENES DE TRÁFICO Y RESULTADOS OBTENIDOS	157
5.6. TASAS DE CRECIMIENTO DEL TPDA	161
5.7. IMPLEMENTACIÓN DEL SIG PARA LA GESTION DE DATOS DE CONTEO	164
CAPÍTULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169
CAPÍTULO 7. ANEXOS	172



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Historia Institucional del sistema de administración de Carreteras de Bolivia. Fuente: Cuba, 2011, Balboa y Choque, 2017	xvi
Tabla 1.1. Utilidad de los volúmenes de tráfico. Fuente: En base a †Cal y Mayor, Cárdenas, 2018.....	3
Tabla 1.2. Alcances y límites de la investigación. Fuente: Elaboración propia.....	6
Tabla 1.3. Delimitación de la investigación. Fuente: Elaboración propia	6
Tabla 2.1. Longitud en kilómetros de Caminos Según Red y Superficie de Rodadura. Fuente: INE, 2019	16
Tabla 2.2. Rutas que conforman la Red Vial Fundamental. Fuente: Arteaga, 2013 y ABC, 2018.....	17
Tabla 2.3. Criterios para la colocación de estaciones de conteo temporales. Fuente: SCT, 2016, FHWA, 2018.....	31
Tabla 2.4. Características de las vías según la variación horaria durante el día. Fuente: Propia en base †Cal y Mayor, Cárdenas, 2018	38
Tabla 2.5. Coeficiente k relacionados al tipo de carreteras. Fuente: ABC, 2007, †Cal y Mayor, Cárdenas, 2018	39
Tabla 3.1. Información Recolectada de la ABC en la gestión 2018-2019. Fuente: Propia en base a datos proporcionados ABC año 2018 y 2019.....	59
Tabla 3.2. Características de la Información recolectada en las estaciones de conteo. Fuente Elaboración propia.....	61
Tabla 3.3. Estaciones de conteo vehicular y tramos de la RVF, según ABC y el presente estudio. Fuente: Propia en base a datos proporcionados ABC año 2018 y 2019.	62
Tabla 3.4. Cronograma de datos para registros de volúmenes de tráfico en las estaciones de conteo Ruta 1. Fuente: Propia en base a datos proporcionados por ABC año 2018 ...	64
Tabla 3.5. Inventario de Estaciones de Conteo Vehicular en la RVF de carreteras de Bolivia. Fuente Propia en base a datos proporcionados por ABC año 2018	66
Tabla 3.6. Posición relativa del dato (z) para un nivel de confianza del 99%. Estación 55 Reten de Peaje San Carlos, Ruta 4. Ambos sentidos (1+2). Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018.....	71
Tabla 3.7. Cronograma de Conteos vehiculares definidos por la ABC en la RVF de carreteras de Bolivia. Periodo 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018.....	72



Tabla 3.8. Ajuste de fechas en el registro de datos. Estación 44 Reten de Peaje Suticollo, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia.....	72
Tabla 3.9. Determinación del TPD, factor estacional horario, factor de distribución direccional, para un día. Fuente Elaboración propia.....	74
Tabla 3.10. Factor estacional horario para diferentes periodos de horas. Estación 44 Reten de Peaje Suticollo, Ruta 4. Fuente Elaboración propia	75
Tabla 3.11. Características del flujo de tráfico en la RVF de Bolivia. Fuente: Elaboración propia.....	81
Tabla 3.12. Características del flujo de tráfico en la RVF de Bolivia. Fuente: Elaboración propia.....	85
Tabla 3.13. Bolivia: Tasas de crecimiento del parque automotor. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	91
Tabla 3.14. Bolivia: Tasas de crecimiento del parque automotor, para dos grupos de vehículos, pasajeros y carga. Periodo 2013-2016. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	91
Tabla 3.15. Bolivia: Tasas de crecimiento del producto interno bruto. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	92
Tabla 3.16. Bolivia: Tasas de crecimiento de la población. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	93
Tabla 3.17. Bolivia: Tasas de crecimiento del combustible, según producto para gasolina automotor y diésel oil. Fuente: Elaboración propia con datos del INE	94
Tabla 3.18. Tasas de crecimiento del TPDA para las estaciones de conteo vehicular en el departamento de Cochabamba. Fuente: Elaboración propia	96
Tabla 3.19. Tasas de crecimiento del TPDA en función al promedio de estaciones que se encuentran en el departamento y con registro de más de 10 años, a nivel departamental, mediante Evolución del tráfico. Fuente: Elaboración propia.....	97
Tabla 3.20. Combinaciones de variables para la determinación de tasas de crecimiento del TPDA. Fuente: Elaboración propia.....	98
Tabla 3.21. Tasas de crecimiento y elasticidad del TPDA respecto al Parque automotor a nivel departamental y nacional. Fuente: Elaboración propia con datos del INE, 2018....	103
Tabla 3.22. Tasas de crecimiento y elasticidad del TPDA (pasajeros y carga) respecto al Parque automotor (pasajeros y carga) a nivel departamental y nacional. Fuente: Elaboración propia con datos del INE, 2018	103



Tabla 3.23. Tasas de crecimiento y elasticidad del TPDA (pasajeros y carga) respecto a la Población (pasajeros) y Producto interno bruto (carga) a nivel departamental y nacional. Fuente: Elaboración propia con datos del INE, 2018.....	104
Tabla 3.24. Tasas de crecimiento y elasticidad del TPDA (pasajeros y carga) respecto a la Gasolina (pasajeros) y Diesel Oil (carga) a nivel nacional. Fuente: Elaboración propia con datos del INE, 2019.....	104
Tabla 3.25. Descripción de abreviaturas empleadas en los gráficos de evolución del TPDA. Fuente: Elaboración propia.....	105
Tabla 3.26. Error medio cuadrático, por departamentos. Fuente: Elaboración propia	108
Tabla 3.27. Funciones de mejor ajuste por departamento. Fuente: Elaboración propia .	108
Tabla 3.28. Análisis y resultados obtenidos al Crecimiento del TPDA: Evolución del TPDA y Modelo econométrico en base a las variables socio-económicas a nivel departamental y nacional. Fuente: Elaboración propia.....	109
Tabla 3.29. Tasas de crecimiento del TPDA de mejor ajuste mediante la Evolución del TPDA y Modelo econométrico en base a las variables socio-económicas a nivel departamental y nacional. Fuente: Elaboración propia.....	110
Tabla 3.30. Bolivia: Distribución relativa del parque automotor por departamentos, 2003-2016. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	111
Tabla 3.31. Clasificación vehicular según ABC, Código de tránsito e INE. Fuente: Elaboración propia con datos INE (2018)	113
Tabla 3.32. Bolivia: Variables socio-económicas periodo 2011 – 2017. Fuente: Elaboración propia con datos del INE 2018 y 2019.	115
Tabla 4.1. Bolivia: Resultados del Análisis estadístico a la Población. Censo 2012 Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	122
Tabla 4.2. Descripción de los componentes del feature class ESTACIONES_RVF en el SIG. Fuente: Elaboración propia con datos del ABC y base de datos GeoBolivia, 2018	127
Tabla 4.3. Descripción de los componentes del feature class ESTACIONES_RVF en el SIG. Fuente: Elaboración propia con datos del ABC y base de datos GeoBolivia, 2018	131
Tabla 4.4. Resultados obtenidos sobre la evaluación al número de estaciones de conteo vehicular por ruta en la RVF de Bolivia. Fuente: Elaboración propia	134
Tabla 4.5. Datos de Conteo Vehicular TPDA en inmediaciones de los Municipios de Comarapa y Pampa Grande. Fuente: Elaboración propia.....	143



INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Elección del periodo de estudio. Fuente Elaboración propia.....	65
Gráfico 3.2. Mapa de Ubicación de las estaciones de conteo vehicular en la RVF de Bolivia Clasificada por Rutas Periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018.....	67
Gráfico 3.3. Mapa de Ubicación de las estaciones de conteo vehicular en la RVF de Bolivia Clasificada por Tipo de superficie de rodadura. Periodo 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018.....	68
Gráfico 3.4. Distribución de probabilidad, intervalos y nivel de confianza. Fuente: Moya, 1999.....	69
Gráfico 3.5. Histograma de variación horaria. Estación 55 Reten de Peaje San Carlos, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018.....	70
Gráfico 3.6.	70
Gráfico 3.7. Volúmenes de tráfico a nivel mensual, Diagrama de cajas y bigotes. Red Vial Fundamental, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia	77
Gráfico 3.8. Histograma de composición vehicular porcentual del TPDA, histograma de variación horaria del volumen de tráfico. Estación 44 Reten de Peaje Suticollo, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia.....	79
Gráfico 3.9. Mapa caracterización del tipo de vía mediante el coeficiente k. Periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia	80
Gráfico 3.10. Mapa Características del flujo de tráfico en la Red vial Fundamental de Bolivia: Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia	82
Gráfico 3.11. Curvas de duración de flujo de tráfico, Rutas 1 y 2. Fuente: Elaboración propia	83
Gráfico 3.12. Variación del volumen de tráfico mensual TPDM. Ruta4. Fuente: Elaboración propia.....	86
Gráfico 3.13. Histograma de variación mensual del TPDM. Estación 44, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia	89
Gráfico 3.14. Variación del factor estacional mensual, intervalos de confianza, nivel de significancia del 95%. Estación 44, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia	90
Gráfico 3.15. Bolivia: Evolución del Producto Interno Bruto, 1999-2017. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	92
Gráfico 3.16. Bolivia: Evolución del Población, 2000-2017. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	93



Gráfico 3.17. Bolivia: Evolución del Combustible según producto, 1992-2019(p). Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2019).....	94
Gráfico 3.18. Tendencia de crecimiento del TPDA estaciones de conteo vehicular en la Ruta 4. Fuente Elaboración propia.....	96
Gráfico 3.19. Cronograma de información y Periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos ABC, 2018 e INE 2018, 2019.....	98
Gráfico 3.20. Bolivia: Parque Automotor, PIB per cápita, Combustible (Gasolina – Diesel Oil). Fuente: Elaboración propia basado en datos del INE 2018 y 2019.....	99
Gráfico 3.21. Esquema gráfico de los efectos individuales (α_i). Fuente: Elaboración propia	101
Gráfico 3.22. Depto.: La Paz: Crecimiento del TPDA: Evolución del TPDA y Modelo econométrico en base a las variables socio-económicas a nivel departamental y nacional. Estación 1 GUAQUI, Ruta 1, 1991-1998, 2013-2014. Fuente: Elaboración propia	106
Gráfico 3.23. Depto.: Cochabamba: Crecimiento del TPDA: Evolución del TPDA y Modelo econométrico en base a las variables socio-económicas a nivel departamental y nacional. Estación 44 reten peaje Suticollo, Ruta 4, 1991-1998, 2009, 2013-2014. Fuente: Elaboración propia	107
Gráfico 3.24. Bolivia: Evolución del parque automotor 1999-2017. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	111
Gráfico 3.25. Evolución del parque automotor por departamentos 2003-2016. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	112
Gráfico 3.26. Bolivia: Evolución relativa del parque automotor, por tipo de servicio (Índices simples año base: 1999=1). Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	113
Gráfico 3.27. Bolivia: Evolución del parque automotor 1999-2017, según clasificación vehicular ABC. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	114
Gráfico 3.28. Pando: Crecimiento del parque automotor y crecimiento del TPDA estación de conteo 171. Fuente: Elaboración propia con datos INE (2018) y ABC (2018).....	114
Gráfico 3.29. Bolivia: Índices: Parque Automotor, PIB per cápita, Combustible (Gasolina – Diesel Oil). Fuente: Elaboración propia basado en datos del INE 2018 y 2019	115
Gráfico 4.1. Diagrama de cajas y bigotes Población, Censo 2012. Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2018).....	121
Gráfico 4.2. Descripción de la Geodatabase conformada en el proyecto de investigación. Fuente: Elaboración propia con datos de ABC y base de datos GeoBolivia, 2018	126
Gráfico 4.3. Mapa TPDA promedio periodo de estudio 2013-2017, clasificación por grupo vehicular, factor de distribución direccional, evaluación al número de estaciones en la RVF	



de Bolivia. Depto. La Paz. Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia.	135
Gráfico 4.4. Mapa Análisis de características del tráfico mediante gráficas, periodo de estudio 2013-2017, en la RVF de Bolivia. Depto. Cochabamba. Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia.	136
Gráfico 4.5. Cochabamba: Histograma de Composición vehicular porcentual del TPDA. Periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia.	137
Gráfico 4.6. Cochabamba: Histograma de Variación Horaria del volumen de tráfico. Periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia.	137
Gráfico 4.7. Cochabamba: Histograma de variación mensual del volumen de tráfico. Periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia.	138
Gráfico 4.8. Cochabamba: Variación del factor estacional mensual por año y promedio del periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia.	138
Gráfico 4.9. Cochabamba: Tráfico Promedio Diario mensual por año del periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia.	139
Gráfico 4.10. Mapa Análisis de características del tráfico mediante gráficas, periodo de estudio 2013-2017, en la RVF de Bolivia. Depto. Pando. Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia.	140
Gráfico 4.11. Mapa Consulta Mediante Gráficos. Tráfico promedio Diario Anual: La paz, Cochabamba, Santa Cruz. Periodo 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia.	141
Gráfico 4.12. Localización de las estaciones de conteo vehicular en inmediaciones a los Municipios de Comarapa y Pampa Grande. Fuente: Elaboración propia	143
Gráfico 4.13. Diagrama de la Red. Fuente: Elaboración propia	144



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación de la estación de conteo vehicular Achica Arriba, Ruta 1, tramo La Paz-Oruro. Fuente: Propia en base a la visita a la estación de conteo en el mes de enero 2020.....	10
Figura 1.2. Formulario de campo para conteo de clasificación de vehículos diaria por sentido. Fuente: Propia en base ABC Provia, 2016.....	10
Figura 1.3. Registro del volumen de tráfico: Fuente: Propia en base a la visita a la estación de conteo Achica Arriba, en el mes de enero 2020	10
Figura 1.4. Resumen de conteo vehicular ambos sentidos. Fuente: Base de datos ABC SIS-COV	11
Figura 1.5. Metodología General Implementación del SIG para la gestión de conteos en la RVF de Bolivia. Fuente: Propia	13
Figura 2.1. Identificación del número de Ruta en la RVF. Fuente: DS N° 25134, 1998, ABC Provia, 2016	15
Figura 2.2. Mapa de la Red Vial Fundamental de Bolivia. Fuente: ABC, 2015.....	20
Figura 2.3. Diagrama conceptual de los Tipos, Métodos y Tecnologías comúnmente empleadas para realizar los Conteos Vehiculares de Tráfico. Fuente: Propia en base FHWA, 2004, FHWA, 2014, Garber y Hoel, 2015, Kraemer et all, 2003	22
Figura 2.4. Definición de instalación de nuevas estaciones de conteo temporal. Fuente: SCT, 2016, FHWA, 2018	31
Figura 2.5. Esquema de registro de datos en una Estación de conteo Permanente. Fuente: Propia	32
Figura 2.6. Clasificación por Tipo de Vehículo, Categorías de vehículos y tamaño y peso de vehículos. Fuente: Propia en base ABC, 2011 y ABC, 2017.....	41
Figura 2.7. Elementos constitutivos de un SIG. Fuente: FAO, 1992.....	47
Figura 2.8. Componentes de SIG. Fuente: ESRI, 2008, Vila y Vargas, 2008, Vialfa, 2011, TeachTarget, 2017.....	48
Figura 2.9. Funciones de un SIG. Fuente: Meneses y Cardenas, 2011	49
Figura 2.10. Ventajas de los SIG. Fuente: ESRI, 2006	49
Figura 3.1. Etapas de la metodología en la determinación de volúmenes de tráfico confiables. Fuente: Elaboración propia	57
Figura 4.1. Sistema de Gestión de datos de Conteos Vehiculares mediante un SIG. Fuente Elaboración propia	116



Figura 4.2. Información de tráfico y Red Vial Fundamental de Bolivia consideradas en el SIG. Fuente Elaboración propia	118
Figura 4.3. Diseño Base de datos. Fuente: Elaboración propia	119
Figura 4.4. Arquitectura del Sistema de Gestión de Conteos Vehiculares. Fuente: Elaboración propia	120
Figura 4.5. Elaciones empleadas para la tramificación del RVFde Bolivia. Fuente: Elaboración propia	123
Figura 4.6. Criterios y categorías definidas para determinar el número de estaciones de conteo vehicular en la RVF de Bolivia. Fuente: Elaboración propia en base a Garber y Hoel (2005) y FHWA	124

ABREVIATURAS

ABC	Administradora Boliviana de Carreteras
COM	Consumo de Combustible, gasolina automotor y diesel oil
DD	Factor de Distribución Direccional
FHWA	Federal Highway Administration
INE	Instituto Nacional de Estadística
PTC	Plataforma Tecnológica Española de carreteras
PA	Parque Automotor
PIB	Producto Interno Bruto
PO	Población
RVF	Red Vial Fundamental de Carreteras de Bolivia
SCT	Secretaria de Comunicaciones y Transporte
SI	Sistema Internacional
SNC	Servicio Nacional de Caminos
TPDA	Tráfico Promedio Diario Anual
TPDM	Tráfico Promedio Diario Mensual
TPD	Tráfico promedio Diario
TH	Tráfico Horario
fe	Factores Estacionales
VHP	Volumen Horario de Proyecto



TESIS DE MAESTRIA

IMPLEMENTACION DE UN SIG PARA LA GESTION DE DATOS DE CONTEOS DE LA RED VIAL FUNDAMENTAL DE CARRETERAS DE BOLIVIA

RESUMEN

El manejo actual de la información de conteos de tráfico vehicular en nuestro país consiste en el conteo manual de volúmenes de tráfico, a partir de una red de estaciones de conteos temporales, la recopilación de información y su posterior almacenamiento digital en una base de datos. Este documento de investigación describe el proceso de Implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la gestión de datos de conteos vehiculares en la Red Vial Fundamental (RVF) de Bolivia, el cual toma en cuenta criterios de procesamiento y análisis de datos en la ingeniería de tráfico. Este sistema es una herramienta valiosa para las autoridades encargadas de la administración de la RVF para realizar la planificación y mantenimiento de la misma, y sus resultados marcan nuevas pautas sobre el conocimiento del comportamiento del tráfico vehicular. El SIG planteado utilizó datos de conteos en un periodo desde el año 2013 al año 2017 sin embargo, sus metodologías de tratamiento y análisis de información pueden utilizarse como una base para la gestión de datos de conteos vehiculares en la RVF ampliando la cobertura temporal de datos.

La información de conteos de tráfico vehicular está afectada en su calidad generalmente por errores sistemáticos y graves (humanos), por ello se realizó el control y calidad de datos mediante un análisis estadístico y probabilístico que permitió identificar valores atípicos, para luego someterlos a un test de homogeneidad y normalidad, con el fin de mejorar la calidad de los datos de conteos de tráfico. Como resultado se obtuvieron datos consistentes y confiables que permitieron determinar las características y parámetros del flujo vehicular en los diferentes tramos de la RVF de Bolivia los cuales se integraron en una Geodatabase y PostgreSQL, sostenidas por software (ArcGIS y Geo Portal Web) y administrado por un Servidor en una computadora portátil (hardware). Este sistema proporciona información de tráfico vehicular relacionado con la espacialidad geográfica de la RVF, lo que permitió realizar diversos análisis a nivel espacial, temporal, composición y caracterización el flujo vehicular, determinar tasas de crecimiento del TPDA relacionadas con el crecimiento de las variables socio-económicas y, como ejemplo, una estimación puntual de la matriz O-D a partir de datos de conteo vehicular.

PALABRAS CLAVE

Estaciones de Conteo, Sistema de Información Geográfica (SIG), Geodatabase, PostgreSQL, Red Vial Fundamental (RVF), Tráfico promedio Diario Anual (TPDA), Errores Sistemáticos y Graves, Composición Vehicular, Tasas de crecimiento, Matriz Origen Destino (O-D).



MASTER'S THESIS

IMPLEMENTATION OF A GIS FOR THE MANAGEMENT OF COUNT DATA OF THE FUNDAMENTAL ROAD NETWORK OF BOLIVIA ROADS

ABSTRACT

The current management of vehicle traffic count information in our country consists of manually counting traffic volumes, from a network of temporary count stations, the collection of information and its subsequent digital storage in a database. This research document describes the process of Implementation of a Geographic Information System (GIS) for the management of vehicle count data in the Fundamental Road Network (RVF) of Bolivia, which takes into account data processing and analysis criteria in traffic engineering. This system is a valuable tool for the authorities in charge of the administration of the RVF to carry out its planning and maintenance, and its results set new guidelines on the knowledge of vehicle traffic behavior. The proposed GIS used count data in a period from 2013 to 2017, however, its data analysis and treatment methodologies can be used as a basis for the management of vehicle count data in the RVF, expanding the temporal data coverage.

The information of vehicle traffic counts is generally affected by systematic and serious (human) errors, therefore, the control and quality of data was performed through a statistical and probabilistic analysis that allowed outliers to be identified, to then submit them to a test of homogeneity and normality, in order to improve the quality of the traffic count data. As a result, consistent and reliable data were obtained that allowed determining the characteristics and parameters of vehicular flow in the different sections of the RVF of Bolivia, which were integrated into a Geodatabase and PostgreSQL, supported by software (ArcGIS and Geo Portal Web) and managed by a Server on a laptop (hardware). This system provides vehicular traffic information related to the geographic spatiality of the RVF, which made it possible to carry out various analyzes at the spatial and temporal level, composition and characterization of vehicular flow, to determine growth rates of the TPDA related to the growth of socio-economic variables. and, as an example, a point estimate of the O-D matrix from vehicle count data.

KEYWORDS

Counting Stations, Geographic Information System (GIS), Geodatabase, PostgreSQL, Fundamental Road Network (RVF), Average Annual Daily Traffic (TPDA), Systematic and Serious Errors, Vehicle Composition, Growth Rates, Destination Origin Matrix (O-D).



CONOCIENDO LA HISTORIA INSTITUCIONAL DEL SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE CARRETERAS DE BOLIVIA

Desde épocas precolombinas los caminos fueron las vías que el hombre construyó para permitir el emplazamiento de la red caminera del Tahuantinsuyo (Qhapaq Ñan) siendo un sistema de caminos que abarcaba enormes distancias. En la época colonial, los españoles quedaron tan impresionados con la eficiencia de la red caminera del Tahuantinsuyo que permitieron que se mantuviera incluso hasta el periodo de los Virreinos. Es imprescindible destacar la importancia que tiene el acceso y apertura de caminos desde tiempos inmemoriales para descubrir nuestra historia caminera (Balboa y Choque, 2017)

Durante la república el empleo de caminos fue a paso lento por los elevados costos para su construcción y mantenimiento que no permitieron su desarrollo y ampliación. La participación del estado era prácticamente inexistente (Cuba, 2011). La Constitución de 1839 se ve forzada a incorporar, entre otros la tarea expresa de “refacción y compostura de los caminos públicos”, tarea delegada a las juntas municipales de los cantones para exigir el trabajo eficiente y gratuito como una participación patriótica, lo que motivó que la sociedad civil se organizara en comités de fomento caminero, como fue el caso de la Sociedad de Propietarios de Yungas. (Balboa y Choque, 2017)

Según el artículo de investigación “EL ARCHIVO DOCUMENTAL DEL EX SERVICIO NACIONAL DE CAMINOS” por Balboa y Choque (2017), describe de manera detallada la historia institucional del sistema de administración de carreteras de Bolivia, desde los años 1939 hasta el año 2012. En el año 2006 por Ley N° 3506 de 27/10/2006, el Gobierno Nacional dispuso la liquidación del Servicio Nacional de Caminos SENAC, debido a los múltiples problemas que confrontaba esa entidad, que obstaculizaban su misión, y por diversos decretos y leyes dispuso que se organizara toda la documentación histórica y contemporánea correspondiente al periodo 1939 a 2012 con relación a la construcción y administración de Caminos carreteros a nivel local, departamental y nacional. El mismo año por Decreto Supremo N° 28946, Ley N° 3507 de 27/10/2006, se crea la Administradora Boliviana de Carreteras. En fecha 31/12/2012 el Servicio Nacional de Caminos –Residual entregó a la ABC, toda la documentación histórica correspondiente al periodo 1939 a 2012, como símbolo de la riqueza patrimonial documental histórica. Se establece como la historia viva de la institucionalización desde su creación, pues registra cada una de las actividades realizadas en la creación de autopistas, vías y caminos carreteros a nivel nacional y local mucho antes que se forme la Administradora Boliviana de Carreteras ABC.

Se presenta la tabla 1.1, donde detalla la historia institucional del sistema de administración de carreteras de Bolivia, mediante decretos y leyes, según Cuba, 2011, Balboa y Chura, 2017.



Tabla 1.1. Historia Institucional del sistema de administración de Carreteras de Bolivia. Fuente: Cuba, 2011, Balboa y Choque, 2017

AÑO	INSTITUCION	LEY, CONVENIOS, RESOLUCIONES	MISION	OBSERVACIONES
1939	Dirección General de Obras Publicas dependiente de la Prefectura del Departamento de La Paz			
1941	Dirección de Vialidad Dirección General de Obras Publicas			
1955	Servicio Cooperativo Boliviano Americano de Caminos (SCBAC)	Convenio binacional entre Estados Unidos de Norteamérica y Bolivia	Mejoramiento de carreteras a nivel troncal, primeramente.	
1961	Servicio Nacional de Caminos (SENAC)	Resolución Suprema N° 101676 de 21/02/1961	Entidad de decreto público, con autonomía técnica administrativa y financiera con la misión de proseguir las labores camineras iniciadas por SCBAC.	
1962 -1994, 1997	SENAC, bajo tuición directa del Ministerio de Mtransportes, Comunicaciones y Aeronáutica Civil Servicio Nacional de Caminos (SNC)	Artículo 18 de la Ley N° 1788 del 16 de septiembre de 1997	Servicio Nacional de Caminos, funciones de planificación, construcción, mantenimiento y administración de las carreteras de la red fundamental.	
1995	SNC, fue dividida entre las Prefecturas de Departamento y los Gobiernos Municipales	Por mandato de la Ley de Descentralización	Reestructurar las funciones administrativas	
1998	Servicio Nacional de caminos (SNC)	Administrativa N°1654, promulgada el 08/07/1995. Decreto Supremo N° 25134, 21 de agosto de 1998.	SNC, conformado por la red fundamental, redes departamentales y redes municipales, a efectos de la responsabilidad que se debe asumir para la inversión en la construcción, mejoramiento y/o mantenimiento.	
2000	Servicio Nacional de Caminos (SENAC), Proceso de institucionalización	Ley de Reactivación Económica, N° 2064, Capítulo VI, artículos del 58 al 63, 03/04/2000	Mejorar los servicios, garantizar la eficiencia y la transparencia	
2006	Servicio Nacional de Caminos en Liquidación (SNC-L)	Ley N° 3506 de 27 de octubre de 2006	La organización de la documentación inactiva desde 1939.	Gobierno Nacional dispuso la liquidación del SENAC, debido a los múltiples problemas que confrontaba esa entidad, que obstaculizaban su misión.
	ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS (ABC)	Decreto Supremo N° 28946, Ley N° 3507 de 27/10/2006.	La integración nacional mediante la planificación y la Gestión de la Red Vial Fundamental (RVF), las cuales comprenden actividades de planificación, administración, estudios y diseños, construcción, mantenimiento, conservación y operación de la RVF y sus accesos.	
2008	Servicio Nacional de Caminos en Liquidación (SNC-L)	Ley N° 3506 y el Decreto Supremo N° 29135		Periodo 01/12/2006 y el 30/11/2008, el régimen de liquidación fue llevado a cabo por el SNC-L, que conforme la Ley , cerró sus operaciones el 30/11/2008.
2008-2010	Servicio Nacional de Caminos "Residual" (SNC-R)	Decreto Supremo N° 29823 de 28/11/2008	Con la finalidad de asumir, proseguir y concluir el régimen de liquidación del Servicio Nacional de Caminos	Servicio Nacional de Caminos "Residual", con vigencia hasta el 31/12/2010
2010-2012	Servicio Nacional de Caminos "Residual" (SNC-R)	Decreto Supremo N° 752 de 30/11/2010 y Decreto Supremo N° 1118 de 29/12/2010		Amplia la vigencia del Servicio Nacional de Caminos "Residual", hasta el 30/06/2012
		Decreto Supremo N° 1275 de 29/06/2012		En fecha 31/12/2012, cierre definitivo de operaciones administrativas del Servicio Nacional de Caminos "Residual"
2012	ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS (ABC)			El SNC -R entregó a la ABC, toda la documentación histórica y contemporánea correspondiente a 1939 - 2012, con relación a la construcción y administración de Caminos carreteros a nivel local, departamental y nacional.



CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. ANTECEDENTES

El conocimiento oportuno y permanente del uso de la infraestructura vial es básico para el análisis y la toma de decisiones sobre la misma. La ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS (ABC) es la principal entidad nacional a cargo del gerenciamiento de la red vial fundamental de Bolivia (RVF). La Subgerencia de Conservación Vial, perteneciente a la Gerencia Nacional Técnica de la ABC, incluye entre sus actividades la operación de un sistema de conteo vehicular de carreteras del país, que permite conocer los volúmenes vehiculares en las estaciones o puntos de control, a lo largo y ancho de todo el territorio nacional.

Para conocer el tráfico que circula por las distintas carreteras de la RVF de Bolivia, la ABC a definido aproximadamente 228 estaciones¹ de conteo vehiculares ubicadas en la RVF, donde se vienen realizando desde el año 2013, periódicamente campañas de conteos vehiculares manuales. Las campañas se realizan el mismo día en toda la RVF, una vez al mes durante 24 horas, todos los meses del año.

Toda la información generada de las campañas de conteo de tráfico, en la RVF, es almacenada por el personal técnico autorizado, en una base de datos denominada Sistema de Conteos Vehiculares (SIS-COV).

En las últimas décadas las investigaciones sobre las características de los volúmenes de tráfico en la RVF, como ser su distribución y composición del volumen de tráfico, variación horaria y mensual del volumen de tráfico, relación entre el volumen horario de proyecto y el tráfico promedio diario anual, ajustes y expansión de volúmenes de tráfico, volúmenes de tráfico futuros, etc. se han desarrollado muy localmente, en función al desarrollo de la infraestructura vial de nuestro país, que se ha concentrado en la estrategia de establecer “corredores bi-oceánicos”, es decir, una red de carreteras que conecte las redes vecinas en las fronteras occidentales y orientales del país para hacer posible la circulación del transporte de carga entre los países vecinos (ABC, 2017), donde se han definido tramos que requieren la construcción y/o rehabilitación de la carretera; es en este sentido que se cuenta con estudios tráfico locales, realizados por la misma institución ABC, empresas consultoras y/o constructoras, enmarcados en los lineamientos técnicos de los manuales de carreteras ABC.

¹ El número de estaciones de conteo y los volúmenes de tráfico, fueron proporcionado por la ABC en el año 2018. Por lo tanto, el número de estaciones es referencial, ya que puede existir un mayor número de estaciones en funcionamiento para los años posteriores.



Es importante mencionar que el manual de diseño de conservación vial (ABC Volumen V, 2011) y el libro de conservación vial (ABC Provia, 2016) no especifican sobre el análisis y tratamiento que se debe realizar a la información de conteos de tráfico, ni el análisis que se deben realizar a los volúmenes y características del tráfico en las diferentes estaciones de conteo de tráfico. No se cuenta con un documento normativo que permita establecer procedimientos e instrucciones para el análisis y tratamiento de los conteos de tráfico, determinación de los volúmenes y características del tráfico en las estaciones de conteo de tráfico ubicadas en la RVF de Bolivia.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El tránsito que circula por un sistema vial no es uniforme a través del tiempo, están sujetos a ser solicitados y cargados por volúmenes de tráfico, los cuales poseen características espaciales (ocupan un lugar) y temporales (consumen tiempo). Estas variaciones son el reflejo de las actividades sociales y económicas de una zona particular en estudio.

Uno de los factores más importantes que debe considerarse en el análisis de la sección específica dentro del sistema vial y en general en un proyecto de todo tipo de obra vial es estimar el volumen de tráfico que circula y circulara a lo largo de la misma. Los análisis que involucran al tráfico nos plantean generalmente el requisito básico de conocer de manera ajustada su magnitud, o lo que en su forma técnica conocemos como Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), es decir el volumen promedio diario de tráfico registrado durante un periodo de tiempo, dato que se obtiene mediante el ejercicio de realizar conteos de tráfico vehicular (†Cal y Mayor, Cárdenas, 2018).

Los estudios sobre volúmenes de tránsito se realizan con el propósito de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos sobre secciones específicas dentro del sistema vial, dichos datos se expresan en relación con el tiempo y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de metodologías que permite estimar de manera razonable, la calidad del servicio que el sistema presta a los usuarios de las diferentes carreteras (Instituto Nacional de Vías, 2010-2011).

De manera general y específica dependiendo de la unidad de tiempo en que se expresan los volúmenes de tráfico, se utilizan y sirven a una variedad de aplicaciones como se detalla en la tabla 1.1 (†Cal y Mayor, Cárdenas, 2018).

Por otro lado, sabemos que la administración de los datos de conteos de tráfico, llevada adelante por la institución ABC, tiene una cobertura de tiempo de conteos limitada, pero de gran importancia, y su distribución está en puntos principales de la red vial fundamental, por lo que la aplicación de una gestión de esta información en un ámbito de mayor control, a través de un SIG, puede valorizar aún más esta información en cuanto a su calidad.



Tabla 1.1. Utilidad de los volúmenes de tráfico. Fuente: En base a *†Cal y Mayor, Cárdenas, 2018*

UTILIDAD DE LOS VOLÚMENES DE TRÁFICO	
USO GENERAL	USO ESPECÍFICO SEGÚN LA UNIDAD DE TIEMPO
<p>En la planeación vial:</p> <ul style="list-style-type: none">• Para realizar una clasificación sistemática de redes viales.• Estimación de los cambios anuales en los volúmenes de tránsito.• Modelos de asignación y distribución del tránsito.• Desarrollo de programas de mantenimiento, mejoras y prioridades.• Análisis económicos.• Estimación del control del consumo de combustibles. <p>En proyectos viales</p> <ul style="list-style-type: none">• Aplicación a normas de proyectos geométricos.• Requerimientos de nuevas viabilidades.• Diseños de pavimentos. <p>Ingeniería de tránsito</p> <ul style="list-style-type: none">• Análisis de capacidad y niveles de servicio.• Caracterización de flujos vehiculares.• Zonificación de velocidades.• Necesidades de dispositivos para el control del tránsito.• Estudios de estacionamientos <p>Seguridad vial</p> <ul style="list-style-type: none">• Cálculo de índices de accidentabilidad y mortalidad.• Evaluación de mejoras por seguridad. <p>Investigación</p> <ul style="list-style-type: none">• Nuevas metodologías de capacidades y niveles de servicio.• Análisis de investigación en el campo de los accidentes y la seguridad.• Estudios sobre ayudas, programas o dispositivos para el cumplimiento de las normas de tránsito.• Estudio de antes y después.• Estudios sobre medio ambiente y la energía.	<p>I. Volúmenes de tráfico promedio horario (TH)</p> <ul style="list-style-type: none">• Determinar la longitud y magnitud de los periodos de máxima demanda.• Evaluar deficiencias de capacidad.• Establecer controles en el tránsito, colocación de señales, semáforos, etc <p>II. Volúmenes de tráfico promedio diario (TPD)</p> <ul style="list-style-type: none">• Medir la demanda actual en las vías.• Evaluar flujos de tránsito actuales con respecto al sistema vial.• Definir el sistema arterial de calles y carreteras.• Estimar áreas donde se requiera de nuevas viabilidades o mejoramiento de las existentes. <p>III. Volúmenes de tráfico anual (TA)</p> <ul style="list-style-type: none">• Sirven para determinar patrones de viajes sobre áreas geográficas.• Estimar gastos de operación vehicular.• Calcular índices de accidentabilidad.• Indicar las variaciones y tendencias de los volúmenes de tránsito.

Gestionar la información de conteos de tráfico a través de un SIG, permitirá manejar esta información de manera eficiente y precisa en una base de datos geográfica. Mejorará el almacenamiento de datos, su procesamiento, su análisis, su verificación, toma de decisiones, y el uso de los resultados será beneficiado para amplios propósitos.

Una particularidad importante dentro de un SIG es la relación de una base de datos de una variable con su posición geográfica y la posibilidad de establecer otras relaciones de diferentes variables, de manera de plantear un análisis entre las anteriores y obtener resultados ya sean tabulares o gráficos. Es decir que sería posible relacionar los datos de



los conteos de tráfico y su composición vehicular, con las características principales de los tramos de la red vial fundamental donde circulan, como su geometría y su contexto cartográfico, entre otros; permitiría definir TPDA sobre las vías y otras de características similares en la RVF.

El trabajo de investigación se enmarca en proponer una mejor gestión de la información de conteos de tráfico vehicular en la Red Vial Fundamental de las carreteras de Bolivia, aplicando un sistema de información geográfico; generando información básica e importante para los estudios de tráfico vehicular.

La investigación toma en cuenta las características espaciales de la red vial fundamental, las estaciones de conteos de tráfico en cuanto a su posición, cantidad, frecuencia de toma de datos y toda la información disponible de conteos; y a partir de aquello define relaciones espaciales como su ubicación geográfica, la construcción de enlaces, sobre la RVF con la información de conteos; generando información de tráfico vehicular de distinto nivel que permite plantear una metodología de análisis, tratamiento y procesamiento de datos de conteos de tráfico, obteniendo resultados tabulados en tablas, gráficos y mapas que serán datos fundamentales en la planificación vial y el diseño de pavimentos en nuevos proyectos viales o para proyectos de refuerzo de pavimento en carreteras existentes.

Conforme aumenta el tamaño del área considerada dentro de la red de transporte y se presentan cambios en el uso del suelo y la población, se eleva la necesidad de cuantificar la demanda del tráfico en carreteras, es mediante las matrices Origen-Destino, las cuales miden la cantidad de transporte llevado a cabo entre dos puntos en un cierto intervalo de tiempo. Debido a la complejidad y costo para obtenerlos se han desarrollado métodos de bajo costo para estimar las matrices Origen-Destino, a partir de los conteos vehiculares.

La investigación plantea y desarrolla un modelo matemático sencillo que permite estimar la matriz Origen-Destino a partir de conteos vehiculares (TPDA) en un tramo específico de la RVF de Bolivia, como una aplicación al uso de los datos de conteos de tráfico y como una primera aproximación a la determinación de la matriz Origen-Destino.

Con la finalidad de obtener un nivel de confiabilidad adecuado en la estimación, será necesario combinar los resultados de estudios Origen-Destino pasados, con los conteos vehiculares. La ventaja radica en que los conteos vehiculares son más sencillos de realizar; regularmente se cuenta con un buen número de ellos y se obtiene una mejor estimación de las matrices Origen-Destino al combinar las dos fuentes de información mencionadas.



1.3. ESTADO DEL ARTE

Las investigaciones, proyectos y manuales guías referentes a la Implementación de un SIG para la Gestión de datos de conteos de la Red Vial Fundamental de carreteras de Bolivia, así como los temas transversales encontrados a nivel local o nacional e internacional se describen a continuación.

➤ **Servicio Nacional de Caminos. Gerencia de Planificación y Desarrollo Tecnológico. Estadística Vial 1999-2003 (2004).**

El Servicio nacional de Caminos, organismo técnico dependiente del Ministerio de Servicios y Obras Públicas, descentralizado del Viceministerio de Transportes, por intermedio de la Gerencia de Planificación y Desarrollo Tecnológico, presenta la Décimo Octava versión de la Estadística Vial correspondiente a las gestiones 1999 al 2003. Los procesos de Descentralización Administrativa y de Institucionalización, que se implementaron en el SNC en las gestiones 1996 y 2001 respectivamente, han permitido al SNC identificar la necesidad de reiniciar las actividades referidas a la estimación del tráfico vehicular en la Red Vial Fundamental de carreteras del país.

En virtud a esas apreciaciones, esta edición tiene como objetivo difundir la información actualizada de la Red Vial Fundamental, presentando datos de Tráfico Promedio Diario Anual para el periodo de 1999 al 2003, la composición vehicular e indicadores de transporte.

➤ **SIMPLIFIED TRANSPORT DEMAND MODELING- ESTIMATION OF O-D MATRICES AND TRANSPORT MODELS FROM TRAFFIC COUNTS, edited by Juan de Dios Ortúzar, 1992.**

Conventional methods for collecting origin-destination information from, for example, home or roadside interviews tend to be costly, labour intensive and time disruptive to the trip makers. The problem is even more acute in developing countries, where rapid changes in land use and population shorten the "shelf-life" of data. The need for developing low-cost methods to estimate the present and future O-D matrices is apparent.

Traffic counts can be seen as the result of combining a trip matrix and a route-choice pattern. As such, they provide direct information about the sum of all O-D pairs which use the counted links. Traffic counts are very attractive as a data source because they are non-disruptive to travellers, they are generally available, they are relatively inexpensive to collect, and their automatic collection is well advanced. The idea of estimating trip matrices or demand models from traffic counts deserves serious consideration and the last decade has seen the development of a number of approaches attempting just that.



➤ **U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA)**

La Administración Federal de Carreteras (FHWA) es una agencia dentro del Departamento de Transporte de los EE. UU. Que apoya a los gobiernos estatales y locales en el diseño, construcción y mantenimiento del sistema de carreteras de su nación. Es responsable de garantizar que las carreteras y autopistas de Estados Unidos continúen entre las más seguras y tecnológicamente más sólidas del mundo. Cuenta con varias guías, las que brindan métodos, pautas de control de calidad y recolección, análisis y procesamiento de datos de las estaciones de conteo, se describen a continuación.

- Highway Performance Monitoring System Traffic Data for High Volume Routes (HPMS) (2004): El objetivo de esta guía es investigar y documentar información y procedimientos que se utilizan para estimar e informar datos de tráfico en rutas de alto volumen. Se centra en la recopilación precisa de datos de tráfico, así como en el proceso que acompañan la recopilación de estos datos, desarrolla las mejores prácticas y directrices para mejorar la calidad de las estimaciones de TPDA en estas rutas de alto volumen.
- Highway Performance Monitoring System Field Manual (2016): Esta guía proporciona una descripción completa del programa HPMS y describe en detalle la recopilación de datos y requisitos de informes para HPMS. Incluye información detallada sobre procedimientos técnicos, un glosario de términos y varias tablas para ser utilizadas como referencia por quienes recopilan e informan datos de HPMS.
- Traffic Monitoring Guide (2016): Esta guía de Monitoreo de Tráfico (TMG) está destinada a proporcionar la información más actualizada, orientación a las agencias estatales de carreteras sobre las políticas, normas, procedimientos y equipos típicamente usado en un programa de monitoreo de tráfico. El TMG presenta recomendaciones para ayudar a mejorar y avanzar programas actuales con una visión hacia el futuro de la supervisión del tráfico. Obtener datos de tráfico de buena calidad necesarios para ser utilizados en los sistemas inteligentes de transporte (ITS) para apoyar la coordinación de las funciones de planificación y operaciones a niveles federales y estatales.
- Traffic Data Computation Method (2018): El objetivo de la guía es proporcionar sucintamente métodos computacionales para datos de tráfico seleccionados. Puede ser empleado por cualquier usuario involucrado en la recolección, procesamiento, análisis, utilización e informes de datos de tráfico. Se presenta una guía detallada para determinación de volúmenes de tráfico.



1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

La actual gestión de información de conteos de tráfico en nuestro país tiene procedimientos que implican actividades de campo como los conteos de tráfico, su posterior almacenamiento, y análisis de la misma; sin embargo, no se cuenta con un documento normativo que permita establecer procedimientos e instrucciones para el análisis y tratamiento de los conteos de tráfico (control de calidad), determinación de los volúmenes y características del tráfico en las estaciones de conteo de tráfico ubicadas en la RVF de Bolivia. Otra característica que es difícil de tomar en cuenta en el análisis actual es la representatividad y el comportamiento del conjunto de los datos de conteos desde el punto de vista de su distribución espacial y geográfico.

En este sentido, podríamos preguntarnos:

- ✓ ¿Existe una metodología planteada para el control de calidad de los datos, determinación de los volúmenes, características del tráfico, que use el análisis espacial y geográfico en las estaciones de conteo de tráfico ubicadas en la RVF de Bolivia?
- ✓ ¿Es posible proponer un modelo que relacione el crecimiento del tráfico con el crecimiento de las variables socioeconómicas como el Parque Automotor, Producto Interno Bruto, Población y Consumo de Combustible, a nivel nacional y departamental?
- ✓ ¿Existe un Sistema de Información Geográfico que gestione una base de datos de conteos vehiculares y que pueda relacionarlos con la RVF desde el punto de vista espacial y geográfico?

La problemática se presenta al no contar con un sistema de información geográfico (SIG) que gestione la información de conteos de tráfico, de manera ordenada y en todo su récord disponible, relacionados con las características de la red vial fundamental como su ubicación geográfica, sus características geométricas y la fisiografía del contexto, factor que limita y dificulta la aplicación de esta información desde el planeamiento del transporte hasta el diseño de pavimentos, diseño geométrico vial e intersecciones, así como la definición del TPDA en otros tramos; una aplicación imprecisa de los datos de conteos de tráfico puede llevar a grandes errores que impliquen una mala calidad de servicio de la vía y un consecuente impacto negativo por pérdidas económicas asociadas al uso de ésta.



1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Implementar sistema de información geográfica (SIG) para la gestión de datos de conteo de tráfico vehicular de la Red Vial Fundamental (RVF) de carreteras de Bolivia y mejorar el análisis de tráfico vehicular, con la finalidad de contar con información confiable, precisa y oportuna que permita realizar diseños efectivos desde el planeamiento del transporte hasta el diseño de pavimentos, diseño geométrico, vial e intersecciones.

1.5.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Revisar la información de conteos de tráfico, nombre de la estación, ruta y tramo carretero al que pertenece, ubicación geográfica, cobertura de información disponible.
- Realizar un análisis y tratamiento a los volúmenes horarios, mensuales y anuales de tráfico, mediante el análisis estadístico a los datos en cada estación, por comparaciones entre estaciones de conteos vecinas y un análisis estadístico mediante el diagrama de cajas y bigotes con la finalidad de identificar valores atípicos y contar con una buena calidad de información.
- Determinar las características de los volúmenes de tráfico: Variación horaria del volumen de tráfico expresado en vehículos por hora y en porcentaje, factor de nocturnidad (factor de expansión horaria), composición del volumen vehicular, variación mensual de tráfico, tráfico promedio diario anual (TPDA) y mensual (TPDM), distribución direccional del TPDA por sentido, factores estacionales, k.
- Diseñar una hoja de cálculo que permita cumplir de manera eficiente el análisis y tratamiento a los volúmenes horarios, mensuales y anuales, determinar las características de los volúmenes de tráfico.
- Determinar las tasas de crecimiento del tráfico promedio diario anual (TPDA) mediante el análisis a la evolución histórica del TPDA y un modelo microeconómico que relaciona el crecimiento del tráfico con el crecimiento de variables socioeconómicas.
- Revisar la información geográfica de la red vial fundamental. Definir tramos homogéneos en la RVF, tomando en cuenta la superficie de rodadura y las características demográficas y socioeconómicas. Construir la red vial fundamental de carreteras de Bolivia en un SIG



- Estimar la matriz Origen-Destino mediante la aplicación de métodos estadísticos mediante modelos matemáticos a partir de los conteos vehiculares en un tramo específico de la RVF de Bolivia.
- Establecer un SIG para desarrollar herramientas de gestión de los conteos de tráfico. Determinar las posibilidades de aplicación y resultados del manejo del SIG planteado.

1.6. HIPÓTESIS

La hipótesis principal del trabajo de investigación es la siguiente:

Los datos de conteos de tráfico vehicular, en la Red Vial Fundamental de las carreteras de Bolivia, se pueden gestionar a través de un sistema de información geográfico para mejorar el análisis de tráfico y obtener resultados que permitan diseños efectivos desde el planeamiento del transporte hasta el diseño de pavimentos, diseño geométrico, vial e intersecciones.

Las hipótesis secundarias, también son del tipo descriptivas:

- Se puede implementar una base de datos geográfica de conteos vehiculares de la RVF, a partir de los datos generados en la ABC.
- Existe una influencia directa de los conteos vehiculares con las características espaciales de la RVF y las de su contexto geográfico, la ubicación de las estaciones de conteos y otros.

Hipótesis nula de la hipótesis principal

- H1: Hipótesis principal, de trabajo o alterna.
- H0: Hipótesis nula: Los datos de conteos vehiculares, en la Red Vial Fundamental de las carreteras de Bolivia, no se pueden gestionar a través de un sistema de información geográfico para mejorar el análisis de tráfico y obtener resultados que permitan diseños efectivos desde el planeamiento del transporte hasta el diseño de pavimentos, diseño geométrico, vial e intersecciones.

1.7. ALCANCES, LÍMITES Y DELIMITACIÓN

Se presentan los alcances y límites a nivel metodológico, técnico e interinstitucional, enmarcados y delimitados a nivel geográfico, temporal y espacial, que se describen en las tablas 1.2 y 1.3, presentadas a continuación:



Tabla 1.2. Alcances y límites de la investigación. Fuente: Elaboración propia

Nº	ALCANCES	LÍMITES
1	Alcance metodológico: modelo en cuanto al procesamiento y análisis de datos sobre los volúmenes de tráfico, recolectados de las estaciones de conteo.	Plantear una metodología para obtener de manera confiable y segura los volúmenes de tráfico, sus características, determinar las tasas de crecimiento del tráfico mediante la evolución futura del TPDA y un modelo econométrico tomando en cuenta variables socio-económicas, que pretendan predecir de manera aproximada el crecimiento del TPDA, estimar la matriz origen destino a través de los datos de conteos de tráfico en un tramo específico, como una aplicación al uso del TPDA y una primera aproximación a la matriz O-D.
2	Alcance técnico: información de calidad utilizada por planificadores, diseñadores y ejecutores de proyectos viales, encaminados a una mejor capacidad de servicio del sistema de tránsito e infraestructura vial.	Generar un documento que contenga los resultados de la metodología propuesta. Los volúmenes de tráfico deben ser actualizados como mínimo en periodos de un año, esto para ser útiles dentro del sistema de información nacional con fines técnicos.
3	Alcance interinstitucional: integración de los responsables de la administración del sistema de tráfico, del sistema vial, así como de la divulgación de información de volúmenes de tráfico indicados.	Brindar herramientas técnicas, estadísticas e informativas a las oficinas responsables del diseño y planificación vial, para que optimicen su funcionamiento operacional. Elaborar un SIG a partir de los resultados obtenidos, para la gestión de datos de Conteos en la Red Vial Fundamental de carreteras de Bolivia.

Tabla 1.3. Delimitación de la investigación. Fuente: Elaboración propia

DELIMITACIÓN	
Geográfica:	La obtención de toda la información se lo hace a nivel nacional en las rutas del Red Vial Fundamental de carreteras de Bolivia, en base a la información proporcionada por la Administradora Boliviana de Carreteras
Temporal:	El análisis de la información de conteos vehiculares, se lo hace desde el año 2013 al 2017, con la RVF para el año 2018, en base a la información proporcionada por la Administradora Boliviana de Carreteras
Espacial:	Se tendrá en cuenta para el análisis y gestión de datos de conteos vehiculares un SIG con información geográfica.



1.8. MARCO METODOLÓGICO

1.8.1. Tipo de estudio

Para la realización de la presente investigación, se utilizó el tipo de estudio **No experimental**, con una investigación **aplicada**, bajo un diseño longitudinal y transversal donde la investigación da inicio con la observación de la variable independiente y sus indicadores, de acuerdo a los fenómenos que ésta presenta, para, posteriormente, analizarlos en un nivel o punto determinado y en un tiempo definido.

1.8.2. Diseño de la Investigación

Ésta se desarrolló mediante el diseño de investigación **longitudinal y transversal**, como parte del estudio no experimental, en donde se recolectaron datos de la variable independiente y sus indicadores, con la finalidad de analizar e indagar su incidencia y los valores que se han manifestado en un espacio y tiempo dado.

El procedimiento consistió plantear una metodología cuantitativa, mediante un análisis estadístico para determinar valores numéricos de volúmenes de tráfico confiables que serán representativos y válidos para tramos de la RVF. Con los volúmenes de tráfico determinados, e implementar un Sistema de Información Geográfico para una gestión de datos de conteo vehicular.

1.8.3. Definición de variables.

A. Variable Independiente

Se refiere directamente a los datos objeto de la investigación que se describe a continuación:

CONTEOS VEHICULARES. La información recolectada en las estaciones de conteos vehicular, ubicadas en RVF de carreteras del país, conteos según el sentido de circulación de tráfico, clasificación vehicular, duración y frecuencia.

B. Variables Dependientes

Se refiere básicamente al resultado de la información generada a partir de las variables dependientes, que se describe a continuación:

TRÁFICO ANUAL (TA). Es el número de vehículos que pasan durante un año. En este caso $t= 1$ año.

TRÁFICO MENSUAL (TM), Es el número de vehículos que pasan durante un mes. En este caso $t= 1$ mes.

TRÁFICO SEMANAL (TS). Es el número total de vehículos que pasan durante una semana. En este caso $t= 1$ semana



TRÁFICO DIARIO (TD). Es el número total de vehículos que pasan durante un día. En este caso $t = 1$ día.

TRÁFICO HORARIO (TH). Es el número de vehículos que pasan durante una hora. En este caso $t = 1$ hora.

TRÁNSITO EN UN PERIODO INFERIOR A UNA HORA (Q). Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora. En este caso $t < 1$ hora.

DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL, Es el volumen durante un periodo de tiempo en particular en el sentido predominante expresado como un porcentaje del volumen en ambos sentidos durante el periodo de tiempo analizado.

COMPOSICIÓN VEHICULAR. Registra el volumen respecto al tipo de vehículo, según la clasificación vehicular definida por la ABC para la RVF. Permitiendo determinar la composición del tráfico vehicular en los tramos estudiados de la RVF.

RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN HORARIO DE DISEÑO (VHD) Y EL TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA): El volumen horario de diseño se expresa a menudo como un porcentaje del volumen medio diario anual.

FACTORES DE EXPANSIÓN PARA DETERMINAR EL TPDA (FACTOR DE ESTACIONALIDAD). Para el cálculo del TPDA a partir de datos existentes de aforos se requiere conocer las variaciones diarias durante el año y, cuando no se tiene esta información se recurre a información existente con respecto a las variaciones del tráfico vehicular en una ruta durante todo el año merced al cual se puede obtener el factor de estacionalidad respectivo.

VARIACIÓN HORARIA Y FACTOR DE NOCTURNIDAD. Cuando los aforos fueron realizados durante el periodo de Xi (16 horas), se debe determinar el factor que permite expandir los volúmenes de Xi (16 horas) a volúmenes de 24 horas.

C. Variables Alternas

Se refiere a todos aquellos resultados que intervienen en el proceso de la interrelación de las variables dependientes e independientes y se las describe a continuación:

RED VIAL FUNDAMENTAL (RVF). La información relacionada a rutas y longitudes (resumen por rutas), rutas y longitudes por tramo (denominación), y longitudes por tipo de superficie, de toda la RVF de Bolivia.

PARQUE AUTOMOTOR (PA). Se refiere a analizar la tendencia del PA a nivel nacional y departamental.

PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB). Se refiere a analizar la tendencia del PIB a nivel nacional y departamental.



POBLACIÓN (PO). Se refiere al análisis de la tendencia de la PO a nivel nacional y departamental.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE (COM). Se refiere al análisis de la tendencia de la gasolina (gas) y diésel oil (die) a nivel nacional.

TASAS DE CRECIMIENTO DEL TPDA EN LA RVF. Para la estimación de los volúmenes futuros, se empleará el cálculo de las tasas de crecimiento en función a la evolución del tráfico TPDA, y variables socio-económicas como ser: parque automotor PA, producto interno bruto PIB, población PO y consumo de combustible (COM).

1.8.4. Unidad de análisis.

El sujeto de la investigación será la variación del volumen de tráfico en el tiempo; y a partir de ésta se podrá determinar las características de los volúmenes de tráfico. La variación del volumen de tráfico en el tiempo se registra de forma manual, en las estaciones de conteo vehicular, ubicadas en la RVF del país, mediante el formulario de campo para conteo de clasificación de vehículos por sentido, diseñada por la ABC Programa de Conservación Vial. Se considera como sentido 1, la dirección del flujo vehicular según la denominación asignada al tramo por la ABC, y sentido 2 el flujo en dirección opuesta. La figura 1.1 muestra la ubicación de la estación de conteo vehicular y la figura 1.2 y 1.3 muestra el registro de la planilla de conteo vehicular sentido (1) y (2), La planilla presenta dos ejes, en las abscisas se registran el volumen de tráfico por tipo de vehículo y en las ordenadas se mide el tiempo en horas.

Una vez concluidos los conteos vehiculares, los volúmenes de tráfico registrados en el formulario de campo, son digitalizados en la base de datos de la ABC, SIS-COV. La base de datos permite exportar la planilla de conteo vehicular en formato pdf, para cada sentido y ambos sentidos, como se muestra en la figura 1.4.

Para determinar el volumen de tráfico diario, por tipo de vehículo, se suman los volúmenes horarios por tipo de vehículo, desde las 0 a 24 horas, si se desea conocer el volumen de tráfico diario total, se suman todos los volúmenes de tráfico horario durante las 24 horas del día.

$$TD = \sum_{m=1; i=1}^{m=24; i=12} TH_{m; i} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

TD= Tráfico diario

TH = Tráfico horario

m = mes, semana, día, hora del año

i = Tipo de vehículo.



**Resumen de Conteo Vehicular
 Totales del Año
 (Ambos Sentidos)**

Tramo RVF: LA PAZ - ORURO
 Estación: ACHICA ARRIBA
 Ruta: 01 Fecha: Enero - Enero: 2020
 Tramo CV: LP09

CLASIFICACION:
 1: Automóviles Vagonetas y Jeep. 2: Camiones (Hasta 2 Toneladas).
 3: Minibuses (7 a 15 Asientos). 4: Microbuses Dos Ejes (16 a 21 Asientos).
 5: Buses Medianos Dos Ejes (22 a 35 Asientos). 6: Buses Grandes Tres Ejes (36 Asientos o más).
 7: Camiones Medianos Dos Ejes (Hasta 6 Toneladas). 8: Camiones Grandes Dos Ejes.
 9: Camiones Grandes Tres Ejes. 10: Camiones Semiremolque.
 11: Camiones Remolque. 12: Otros Vehículos.

HORA DE - A	CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0 - 1	45	11	34	3	14	61	14	20	17	25	14	0	258
1 - 2	24	12	25	0	9	12	8	13	16	17	16	0	152
2 - 3	22	15	24	2	11	17	16	15	12	20	16	0	170
3 - 4	30	21	38	1	6	24	13	7	20	19	3	0	182
4 - 5	29	15	59	0	2	31	26	12	12	18	7	1	212
5 - 6	57	22	116	6	6	68	16	8	11	29	5	0	344
6 - 7	151	40	242	0	10	37	14	20	16	50	6	0	588
7 - 8	140	37	230	3	9	40	15	12	18	67	2	0	573
8 - 9	121	49	192	0	8	28	11	15	8	59	2	2	495
9 - 10	148	85	209	1	4	50	8	31	26	36	14	3	615
10 - 11	134	62	156	0	5	32	6	24	50	57	4	1	531
11 - 12	116	74	151	2	0	46	7	32	36	57	3	0	524
12 - 13	150	63	160	0	2	49	10	27	32	64	3	0	560
13 - 14	145	56	166	0	2	58	7	42	40	91	14	0	621
14 - 15	166	69	223	0	9	68	27	33	38	94	3	2	732
15 - 16	161	64	212	1	6	26	9	24	36	75	7	1	622
16 - 17	180	48	250	1	6	21	21	23	18	51	6	0	625
17 - 18	155	62	248	1	5	28	19	16	19	60	7	0	620
18 - 19	210	49	166	2	11	35	20	18	13	57	3	1	585
19 - 20	211	58	272	0	6	49	9	44	27	55	14	2	747
20 - 21	142	31	190	0	7	41	6	34	20	59	5	0	535
21 - 22	113	17	106	0	4	35	10	15	19	40	7	0	366
22 - 23	135	31	160	0	7	65	5	27	36	37	7	0	510
23 - 24	24	23	153	1	7	45	5	21	20	40	3	0	342
Total	2809	1014	3782	24	156	966	302	533	560	1177	171	13	11507

Figura 1.4. Resumen de conteo vehicular ambos sentidos. Fuente: Base de datos ABC SIS-COV

1.8.5. Determinación de la Población y Muestra.

A. Población

En la presente investigación la población considerada es el volumen de tráfico que circula en todos los tramos de la RVF de Bolivia. El volumen de tráfico está compuesto por diferentes tipos de vehículos, clasificados según la ABC en 12 tipos de vehículos, donde se considera desde los vehículos livianos hasta los pesados y maquinaria (ABC Volumen V, 2011; ABC Provia, 2016)

Así también, se considera la población todas las características de la RVF de Bolivia, como su longitud por superficie y por departamento, su capacidad vial, el tipo de superficie de rodadura, su cartografía, entre otros.



B. Muestra

La muestra se considera los datos disponibles de conteos de tráfico obtenidos mediante las estaciones de conteo dispuestas en algunos tramos definidos en la RVF. Así también, define la cantidad, distribución y periodos de funcionamiento de las estaciones de conteo vehicular y la metodología de obtención de los datos.

En cuanto a la RVF, la muestra es considerada como la información disponible de sus características principales que serán obtenidas de la ABC.

1.9. METODOLOGÍA.

1.9.1. Etapas de la metodología empleada.

Para el desarrollo de la investigación, se empleará una metodología, que nos permitirán alcanzar los objetivos generales. El alcance de la metodología será desde la que nos permita tratar la información básica de conteos vehiculares, luego analizar y procesar toda la información posible y determinar las características de los volúmenes de tráfico. Con esta información será posible la gestión de datos de conteos vehiculares en la Red vial fundamental de carreteras de Bolivia, que está soportada en una Base de Datos Geográfica anidada en una Geodatabase, bajo una plataforma SIG y administrado bajo el software ArcGIS y una propuesta de Geo Portal Web (caso de estudio).

La metodología general para la implementación del SIG en la gestión de conteos vehiculares de la RVF de Bolivia, se esquematiza en la figura 1.5, presentada a continuación.

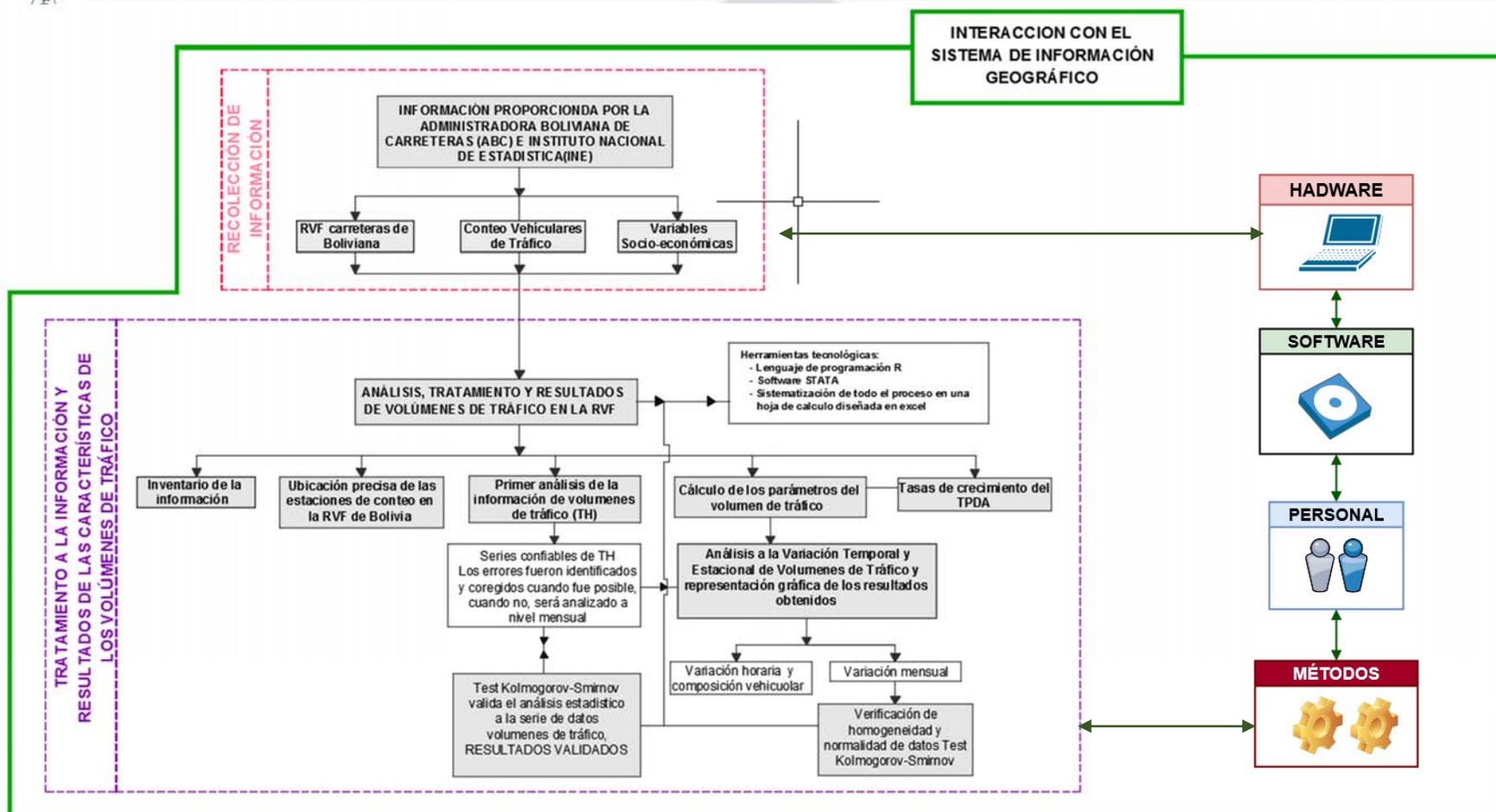


Figura 1.5. Metodología General Implementación del SIG para la gestión de conteos en la RVF de Bolivia. Fuente: Propia



CAPITULO 2

2. MARCO TEORICO

2.1. SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS DE BOLIVIA

El Sistema Nacional de Carreteras en Bolivia se clasifica en tres grupos de vías de acuerdo a su importancia y nivel de servicio, según el Decreto Supremo N° 25134, 21 de agosto de 1998.

- **RED FUNDAMENTAL**, bajo responsabilidad del Servicio Nacional de Caminos, según Decreto Supremo N° 28946, Ley N° 3507 de 27 de octubre 2006, crea la Administradora Boliviana de Carreteras, encargada de la Red Vial Fundamental
- **REDES DEPARTAMENTALES**, bajo responsabilidad de las Prefecturas a través de los Servicios Departamentales de Caminos
- **REDES MUNICIPALES**, bajo responsabilidad de los Municipios

La tabla 2.1 presenta la longitud de las carreteras del sistema nacional de carreteras, de acuerdo a los tres grupos de vías y características de la superficie de rodadura, datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE).

2.1.1. Red Vial Fundamental (RVF)

La gestión de la Red Vial Fundamental dependió del Servicio Nacional de Caminos (SNC) que desde el año 2006 pasó a denominarse Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) (Ley N° 3507, 1998). En una primera instancia, el ámbito de trabajo de la ABC, se encuentra definido por el Decreto Supremo N° 25134, 21 de agosto de 1998, en el cual se contempla una extensión total aproximada² de 10401 km², distribuidos en 17 rutas fundamentales.

Las carreteras de la RVF, se identifican con la letra "F" dentro de un escudo blanco. La letra está seguida por el numeral que identifica en orden correlativo las carreteras que conforman la red. La ampliación de la RVF se debe, en parte a la facilidad con que diferentes rutas pueden ser incorporadas a la red; basta que los tramos propuestos cumplan alguna de las siguientes condiciones: (DS N°25134 Art. 2 y 3 et all, 1998)

² El inicio o conclusión de una ruta de la red fundamental en la plaza de armas de capital de departamento o de provincia, constituye únicamente un dato referencial para el kilometraje de la ruta, por lo que los trabajos de mantenimiento o mejoramiento del tramo urbano permanecen bajo competencia del respectivo municipio. La responsabilidad del SNC no incluye los tramos urbanos que pertenecen bajo competencia del respectivo Gobierno Municipal. (DS N°25134, 1998)



- Vincular las capitales políticas de los departamentos
- Permitir la vinculación de carácter internacional conectándose con las carreteras principales existentes de los países limítrofes
- Conectar en los puntos adecuados dos o más carreteras de la red fundamental
- Cumplir con las condiciones de protección ambiental

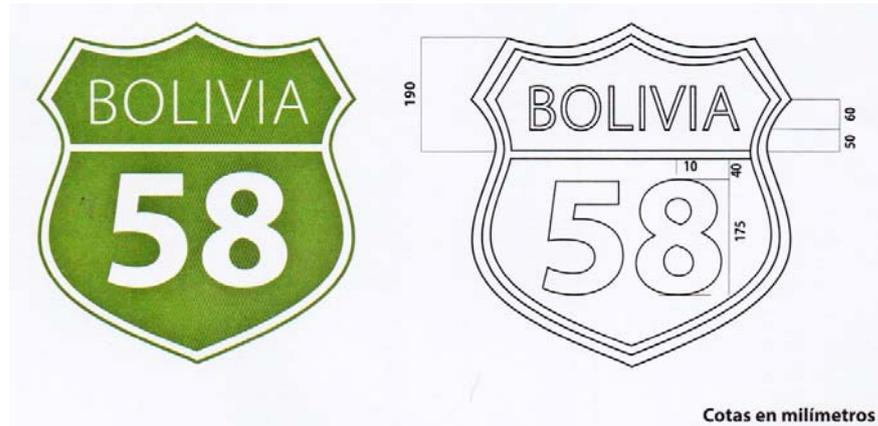


Figura 2.1. Identificación del número de Ruta en la RVF. Fuente: DS N° 25134, 1998, ABC Provia, 2016

Con el transcurso del tiempo, esta extensión se ha incrementado paulatinamente, ya sea para conectar al país con carreteras principales de los países limítrofes, como es el caso de la ruta 9, 18, 19 o para conectar, en los puntos adecuados, dos o más carreteras de la RVF (esto sucede con las rutas 20, 21, 23, y 24) (Ver DS N° 25134 et all, 1998).

Con estas ampliaciones la RVF para el año 2008, sumaba una extensión de 16029 km (Arteaga, 2013, ABC, 2013), una extensión de 16054 km para año 2015³ y para el año 2017⁴, suma una extensión de 16416 km. En la tabla 2.2 se presentan las rutas que componen actualmente la RVF con las leyes, decretos y la fecha que han pasado a formar parte de la misma, datos proporcionados por la ABC en el año 2018. La figura 2.2 se muestra el mapa de la Red Vial Fundamenta de carreteras de Bolivia para el año 2015.

³ Longitud reportada en el documento ABC, 2015

⁴ Información proporcionada por la ABC en el año 2018



Tabla 2.1. Longitud en kilómetros de Caminos Según Red y Superficie de Rodadura. Fuente: INE, 2019

DESCRIPCION	2001	2008	2009	2013	2014	2015	2016	2017 (p)
TOTAL	57963	80704	80387	87817	86855	89441	89397	152725
Empedrado	0	497	717	1065	1046	994	1017	2402
En Construcción	0	110	192	1866	2583	2747	3460	5246
Pavimento	4270	6329	7949	7133	7134	7756	7950	14088
Ripio	15625	29079	27995	29503	29881	32990	31507	41233
Tierra	38068	44689	43534	47325	45605	44349	44318	88054
Trazo en evaluación de alternativas	0	0	0	926	606	606	1146	1701
RED FUNDAMENTAL	11251	15921	16054	15986	15982	15982	16343	16199
En Construcción	0	0	0	1618	2253	2253	3141	3524
Pavimento	3553	5910	7443	6200	6064	6500	6618	7055
Ripio	4760	5570	4755	7243	7059	6623	5624	4711
Tierra	2938	4441	3856	0	0	0	0	0
Trazo en evaluación de alternativas	0	0	0	926	606	606	959	908
RED DEPARTAMENTAL	4894	24346	24513	30141	29183	31769	31365	31803
Empedrado	0	497	717	1065	1046	994	1017	996
En Construcción	0	110	192	248	330	494	319	416
Pavimento	537	350	432	868	1005	1190	1267	1341
Ripio	1947	10010	10005	9308	9869	13415	12930	12563
Tierra	2410	13379	13168	18653	16933	15677	15646	16023
Trazo en evaluación de alternativas	0	0	0	0	0	0	186	463
RED MUNICIPAL	41818	40437	39819	41690	41690	41690	41690	104723
Empedrado	0	0	0	0	0	0	0	1406
En Construcción	0	0	0	0	0	0	0	1306
Pavimento	180	69	74	65	65	65	65	5691
Ripio	8918	13499	13236	12953	12953	12953	12953	23959
Tierra	32720	26869	26510	28672	28672	28672	28672	72031
Trazo en evaluación de alternativas	0	0	0	0	0	0	0	330

Nota: (p) Preliminar. Cabe aclarar que la fuente de información de la Red Municipal hasta el año 2016 fue la ABC, a partir del año 2017 la información fue proporcionada por los Gobiernos Autónomos Municipales.



Tabla 2.2. Rutas que conforman la Red Vial Fundamental. Fuente: Arteaga, 2013 y ABC, 2018

RUTA	TRAMO		DEPARTAMENTOS	LONGITUD ⁽¹⁾ [km]	LONGITUD ⁽²⁾ [km]	INCLUSIÓN EN LA RVF ⁽¹⁾	DE FECHA ⁽¹⁾
	DE	A					
1	Desaguadero (Puente Internacional)	Ex Tranca Rio Seco	La Paz	1215	1437	LEY 3440	18/07/2006
			Oruro				
	La Paz	Bermejo	Potosí			DS 25134	31/08/1998
			Chuquisaca				
		Tarija					
2	Kasani (Hito Fron. Perú)	La Paz (Plaza Murillo)	La Paz	155	160	DS 25134	31/08/1998
3	La Paz (Plaza Murillo)	Trinidad	La Paz	602	640	DS 25134	31/08/1998
			Beni				
4	Hito 18 (Frontera Chile) Tambo Quemado	Puerto Busch	La Paz	1657	1634	DS 25134	31/08/1998
			Oruro				
			Cochabamba				
			Santa Cruz				
5	Hito 60	Cr. Rt. 07 (La Palizada)	Potosí	898	893	DS 25134	31/08/1998
			Chuquisaca				
			Cochabamba				
6	Machacamarquita	Sucre	Oruro	977	933	LEY 2204	23/05/2001
	Sucre	Cruce Ipatí	Potosí			DS 25134	31/08/1998
	Cruce Ipatí	Boyuiibe	Chuquisaca			DS 25134	31/08/1998
	Boyuiibe	Hito III Villazón	Santa Cruz			DS 25134	31/08/1998
7	Cochabamba	Cr. Rt. 09 (Km.13 Porvenir)	Cochabamba	488	487	DS 25134	31/08/1998
			Santa Cruz				
8	Guayaramerín (Fnt. Brasil)	Yucumu	Beni	696	695	DS 25134	31/08/1998
9	Guayaramerín (Fnt. Brasil)	Trinidad	Beni	1630	1607	LEY 2611	18/12/2003
	Trinidad	Pocitos	Santa Cruz			DS 25134	31/08/1998
	La Moraña	Puerto Ustarez	Tarija			DS 25134	31/08/1998
10	Colonia Pirai	Guabira	Santa Cruz	774	1137	DS 26709	18/07/2002
	Guabirá	Los Troncos				DS 25134	31/08/1998
	San Ramon	San Matías (Fron. Brasil)				DS 25134	31/08/1998

Nota: (1) Datos obtenidos Arteaga, 2013, verificados. (2) Datos proporcionados por la ABC en el año 2018.



RUTA	TRAMO		DEPARTAMENTOS	LONGITUD ⁽¹⁾ [km]	LONGITUD ⁽²⁾ [km]	INCLUSIÓN EN LA RVF ⁽¹⁾	DE FECHA ⁽¹⁾
	DE	A					
11	Cr. Rt. 01 (Cruce Panamericano)	Palos Blancos	Tarija	370	336	DS 25134	31/08/1998
	Palos Blancos	Villamontes	Tarija			LEY 2187	12/04/2001
	Villamontes	Hito Fronterizo BR-94	Tarija			LEY 2187	12/04/2001
12	Pisiga (Lim. Frontera Chile)	Cr. Rt. 04 (Caihuasi)	Oruro	279	279	DS 25134	31/08/1998
13	Cobija (Front. Brasil)	Cr. Rt. 08 (El Choro)	Pando	370	371	DS 25134	31/08/1998
			Beni				
14	Cr. Rt. 01 (Cuchu Ingenio)	Villazón (Lim. Front. Argentina)	Potosí	316	300	DS 25134	31/08/1998
15	Puerto Villarruel	Cr. Rt. 07 (Ivirgarzama)	Cochabamba	27	27	DS 25134	31/08/1998
16	Porvenir	Huarina	La Paz	1036	950	DS 25134	31/08/1998
17	San Ignacio de Velasco	San José de chiquitos	Santa Cruz	200	203	DS 25134	31/08/1998
18	Extrema (Front. Pera)	Puesto peaje Villa Busch (a Cobija)	Pando	76	74	DS 25134	31/08/1998
19	Charaña	Viacha	La Paz	211	186	LEY 2198	15/05/2001
20	Hornillos	El Puente	Potosí	81	96	LEY 2187	12/04/2001
21	Uyuni	Tupiza	Potosí	197	204	LEY 2187	12/04/2001
22	Mataral	Ipita (Cr. Rt. 04)	Santa Cruz	249	239	LEY 2184	22/03/2001
23	Salida Aiquile (Cr. Sta Vera Cruz)	Paracaya (Cr. Rt. 04)	Cochabamba	147	152	LEY 1861	03/06/1998
24	San Antonio	San Ignacio de Moxos	Cochabamba	260	185	DS 26996	17/04/2003
			Beni				
25	Unduavi	Vinto (puente Kora II)	La Paz	481	456	LEY 2817	27/08/2004
	Puente Villa	Vinto (puente Kora II)	Cochabamba			LEY 3025	13/04/2005
26	Cruce Inca	Caranavi	La Paz	332	275	LEY 2818	27/08/2004
27	Cruce Ruta 04	Anaravi	Oruro	150	136	LEY 2637	05/03/2004
28	Padcaya	Villazon	Potosí	165	143	LEY 2944	27/01/2005
			Tarija				
29	Palos Blancos	Campo Pajoso	Tarija	83	82	LEY 2915	18/11/2004
30	Challapata	Uyuni	Oruro	204	200	LEY 2957	28/01/2005
			Potosí				

Nota: (1) Datos obtenidos Arteaga, 2013, verificados. (2) Datos proporcionados por la ABC en el año 2018.



RUTA	TRAMO		DEPARTAMENTOS	LONGITUD ⁽¹⁾ [km]	LONGITUD ⁽²⁾ [km]	INCLUSIÓN EN LA RVF ⁽¹⁾	DE FECHA ⁽¹⁾
	DE	A					
31	Cruce Ruta 04	Oruro	Oruro	169	171	LEY 3020	13/04/2005
32	Cr. Rt. F-01	Pocoata	Cochabamba	65	-	LEY 3025	13/04/2005
33	Com. Las Sidras	Carapari	Tarija	169	62	LEY 3062	30/05/2005
34	San Jose de Chiquitos	Palmar de las islas	Santa Cruz	190	229	LEY 3218	30/09/2005
35	Sagrado Corazón	Santa Fé de Yapacaní	Santa Cruz	122	127	LEY 3217	30/09/2005
36	Abapo	Boyuiibe	Santa Cruz	224	231	LEY 3216	30/09/2005
37	Mineros	Cr. Rt. 35	Santa Cruz	38	32	LEY 3215	30/09/2005
38	Guadalupe	Santa Rosa	Santa Cruz	74	75	LEY 3211	30/09/2005
39	Cuatro Cañadas	San miguel	Santa Cruz	237	230	LEY 3210	30/09/2005
40	Coroico	Puente Villa	La Paz	54	54	LEY 3438	16/07/2006
41	Rio Seco	La Cumbre (Cr. Rt. 41)	La Paz	25	32	LEY 3439	17/07/2006
42	Cruce Av. Panamericana	Cruce camino Chacaltaya	La Paz	25	-	LEY 3440	18/07/2006
43	Hito IV	Viacha	La Paz	176	176	LEY 3441	19/07/2006
44	Colquiri	Caracollo	Oruro	42	40	LEY 3345	10/02/2006
45	Abra San Miguel	Cruce Rocillas	Tarija	92	114	LEY 3382	17/04/2006
S/D	Tarata (Cr. Rt. 07)		Cochabamba	-	116		
S/D	Buena Vista	Porvenir Km. 13	Santa Cruz	-	81		
S/D	Caquiaviri	Patacamaya	La Paz	-	92		
S/D	Nazacara	Caquiaviri	La Paz	-	18		
S/D	Viacha	Reten Autopista	La Paz	-	22		
Total:			LONGITUD [km] =	16028	16416		

Nota: (1) Datos obtenidos Arteaga, 2013, verificados. (2) Datos proporcionados por la ABC en el año 2018.

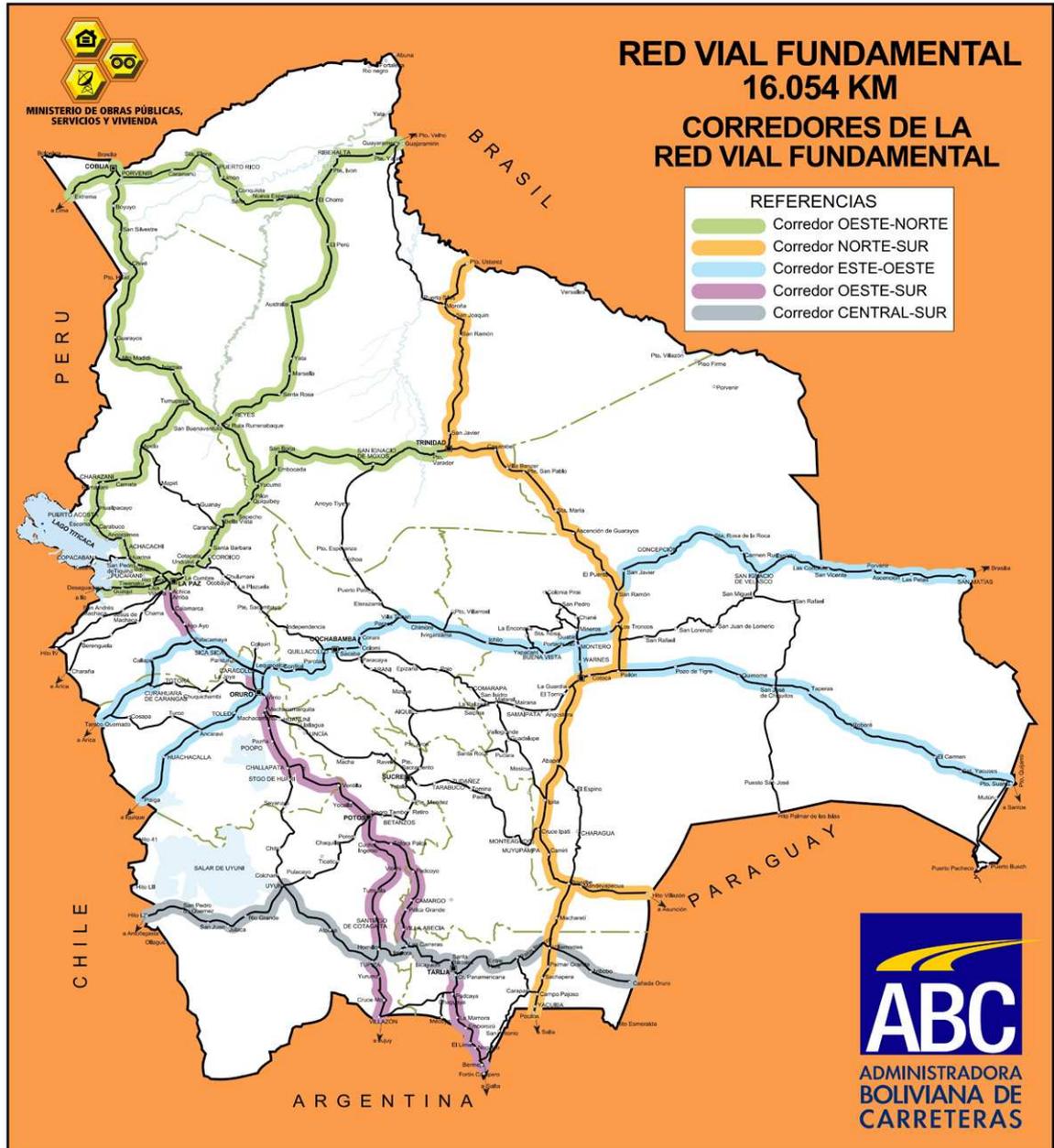


Figura 2.2. Mapa de la Red Vial Fundamental de Bolivia. Fuente: ABC, 2015



2.1.2. Redes Departamentales

La Red Departamental depende de las Prefecturas Departamentales a través de los Servicios Prefecturales de Caminos (SEPCAM's). (Arteaga, 2013)

Las carreteras que conforman cada Red Departamental se definen según el Decreto Supremo N°25134 Art. 4, 1998, como: 1) las rutas que vinculan las capitales de provincia con la capital de cada departamento, directamente o a través de una ruta Fundamental, 2) las rutas que conectan con sistemas de transporte intermodal de importancia departamental, 3) acceso a polos de desarrollo de carácter departamental, 4) que cumpla normas y requerimientos de protección ambiental.

Actualmente y considerando la existencia de un contexto descentralizado y desconcentrado para la gestión pública⁵ 3, la definición de la red departamental ha enfatizado en su rol de vinculación funcional (eficaz y eficiente) de flujos entre los niveles nacional y local. La extensión de la red departamental en 2013 se ha estimado en un poco más de 30 mil km (Veizaga, 2017, INE, 2019, ver tabla 2.1)

2.1.3. Redes Municipales

La Red Vial Municipal depende de los Gobiernos Municipales y de las Alcaldías Provinciales. Las carreteras que conforman cada Red Municipal se definen según el Decreto Supremo N°25134 Art. 4, 1998, como: 1) caminos alimentadores de la red departamental y/o fundamental, o vinculación de poblaciones rurales, comunidades o centros de producción, entre capitales de provincia o de capitales de provincia con capital de departamento, 2) cumplan con las normas y requerimientos de protección ambiental.

Las redes locales pueden ser descritas en el caso rural como el conjunto de caminos vecinales y/o comunitarios que conectan pueblos y en general, localidades rurales entre sí y con las redes de mayor jerarquía. En el caso urbano, las redes comprenden un conjunto de vías con funciones y jerarquías específicas que conectan las diferentes zonas de la ciudad (avenidas, calles, pasajes, etc.). Por supuesto, en tanto más extendida y/o compleja sea una ciudad, su red vial tenderá a reflejar tanto el tamaño, la densidad y en general la complejidad de la ciudad. En total, en 2013, la extensión de la red municipal se ha estimado en algo más de 41 mil km (Veizaga, 2017, INE, 2019, ver tabla 2.1)

⁵ Según el cual existen tres grandes niveles: Nacional, Regional-Departamental y Local-Municipal, que cuentan con la autonomías y capacidades de gestión consideradas como necesarias para asumir las correspondientes responsabilidades y promover el desarrollo en sus respectivos ámbitos territoriales.

2.2. CONTEOS VEHICULARES DE TRÁFICO

El objetivo principal de los conteos vehiculares es determinar el volumen actual clasificado de los vehículos que circulan por la carretera que se encuentran dentro del área de estudio. En la figura 2.3, se presenta el diagrama conceptual que explica los tipos, métodos y tecnologías comúnmente empleadas para el realizar los conteos de volúmenes de tráfico.

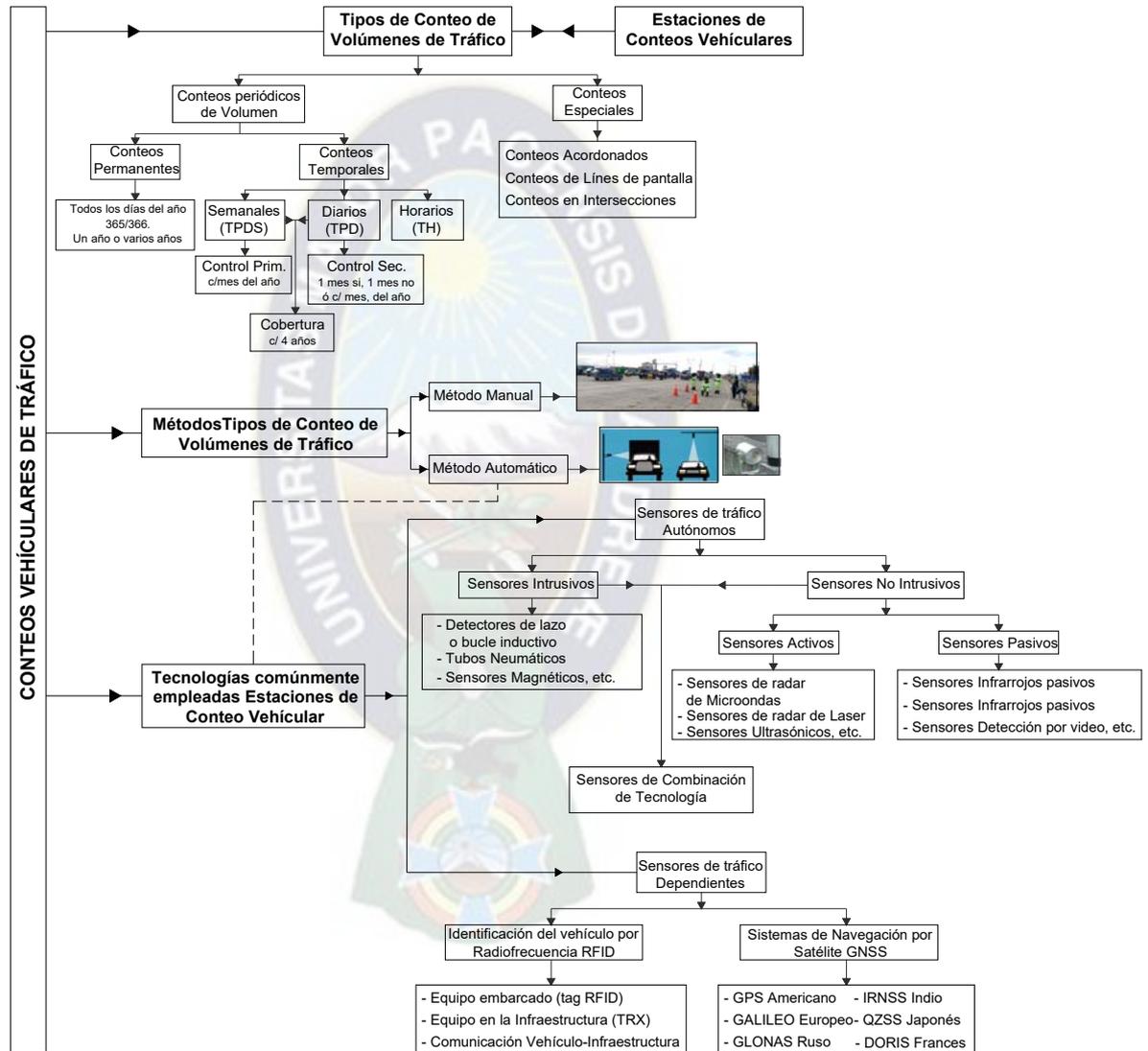


Figura 2.3. Diagrama conceptual de los Tipos, Métodos y Tecnologías comúnmente empleadas para realizar los Conteos Vehiculares de Tráfico. Fuente: Propia en base FHWA, 2004, FHWA, 2014, Garber y Hoel, 2015, Kraemer et all, 2003



2.2.1. Tipos de Conteos de Volúmenes de Tráfico

En función de encontrar las características de la red vial, el conocimiento del comportamiento del volumen de tráfico y los usos de los datos que se quieran obtener, se realizan diferentes tipos de conteos de tráfico. A continuación, se describe brevemente: (Kraemer et all, 2003, Garber y Hoel, 2005, SCT, 2016)

A. Conteos periódicos de volumen

Con el objeto de obtener ciertos datos de volumen de tráfico, como el TPDA, es necesario obtener datos continuamente. Sin embargo, no es factible recolectar datos continuos en todos los tramos de la red vial de carreteras debido al costo involucrado. Para hacer estimaciones razonables de las características del volumen anual de tráfico considerando toda el área, se realizan dos tipos de conteos: Conteos permanentes y Conteos temporales (Garber y Hoel, 2005).

A.1. Conteos Permanentes

Estos conteos registran información del flujo de tránsito permanentemente los 365/366 días del año por medio de contadores automáticos. Los lugares donde se ubican los dispositivos de conteo son llamados *estaciones de conteo permanente, o estaciones maestras*. Estas estaciones permiten un conocimiento de las variaciones típicas de tráfico (estacionales, semanales, diarias), se colocan en lugares estratégicos a lo largo de toda la red de carreteras con el fin de representar los patrones de comportamiento del flujo de tránsito en una zona, región, grupo o conglomerado de caminos con características similares. Los datos de las estaciones maestras se emplean para determinar los factores de ajuste necesarios para estimar parámetros del flujo de tránsito a partir de conteos temporales. (Kraemer et all, 2003, Garber y Hoel, 2005)

Para la instalación de las estaciones maestras, se debe partir del análisis del programa temporal, la necesidad de información y control de tramos específicos de carretera. Se deben definir las zonas donde se presente el mismo comportamiento de flujo vehicular, tomando como base los datos existentes y las actividades que se desarrollan en ellas. La ubicación precisa de las estaciones se determina por el o los puntos que mejor correlacionen con el resto de las mismas. (SCT, 2016)

A.2. Conteos Temporales

Para obtener el comportamiento del flujo de tránsito en una red de carreteras es necesaria la obtención continua de datos. Sin embargo, la recolección de estos datos sobre todas las carreteras que comprenden la red, resulta poco factible debido a la gran cantidad de recursos necesarios para realizar esta tarea. Se puede llevar a cabo una estimación razonable a través de conteos temporales y factores de ajuste, calculados a partir de las estaciones maestras (†Cal y Mayor, Cárdenas, 2018).



Se realizan en estaciones conocidas como *estaciones de conteo temporales*; dentro de los conteos temporales se recomienda el semanal, debido a que los viajes recreacionales, de trabajo y carga, están distribuidos con comportamientos diferentes, siguiendo patrones estacionales a lo largo de ese periodo; adicionalmente se tienen conteos de tipo especial como son los diarios y los horarios. A continuación, se describen con mayor detenimiento los conteos mencionados: (SCT, 2016)

Conteos Semanales: registra el comportamiento del flujo de tráfico durante 7 días continuos. Su función principal es calcular el Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS) para un punto en carretera. Al sitio donde se realiza este conteo se le conoce como estación semanal.

Conteos diarios: registra el comportamiento del flujo durante al menos 24 horas. En algunos casos este conteo puede llevarse a cabo por varios días, con el fin de calcular un Tráfico Promedio Diario (TPD) de un punto localizado en carretera.

Conteo horario: este conteo se encarga de registrar el comportamiento horario de punto específico; por lo general la duración de este registro es menor a 24 horas, aunque en ocasiones puede excederlas. Sus resultados son empleados para conocer el Tráfico Horario (TH) de un punto localizado en carretera.

Los conteos semanales, diarios y horarios pueden llevarse a cabo en determinados periodos de tiempo, como se describe a continuación: (Kraemer et all, 2003, Garber y Hoel, 2005)

- Cuando se realizan conteos semanales cada mes del año, se denominan contos de control primario (mayor),
- Cuando se realizan conteos diarios un mes si un mes no, o cada mes, se denominan contos de control secundario (menor o especiales),
- Cuando se realizan conteos semanales y/o diarios una vez cada cuatro años, se denominan conteos de cobertura,

B. Conteos Especiales

Se desarrollan diferentes tipos de conteo de tráfico, dependiendo del uso esperado de los datos que se va a recolectar, pueden ser conteos acordonados, de línea de pantalla, intersecciones, volumen de peatones, etc.



2.2.2. Métodos de Conteos de Volúmenes de Tráfico

Para conocer el comportamiento y características del volumen de tráfico en los trabajos de monitoreo de una red de carreteras existen dos métodos generales de conteo utilizados para la recopilación de datos: Método manual y Método automático.

A. Método Manual

El conteo manual es un método para obtener atributos del volumen de tráfico permite clasificar a los vehículos por: tamaño, tipo, número de ocupantes, carril de circulación, dirección de circulación, entre otras propiedades muy diversas. Requiere contar con personal entrenado que realiza el conteo vehicular de forma visual en estaciones de conteo localizadas en diferentes puntos de la red vial. La mecánica de este método es simple y se la explica a continuación:

- Consiste en que el personal registre y almacene la información del volumen de tráfico en un formulario especial (previamente establecido con la clasificación vehicular correspondiente)
- La duración del aforo varia con el propósito del aforo. Algunos aforos clasificados pueden durar hasta 24 horas y para un determinado lapso de tiempo (pudiendo ser cada 10, 15, 30 minutos o cada hora).
- El equipo usado es variado; desde un formulario puede ser en papel (hoja de conteo) o una tableta electrónica que cuente con una aplicación para la captura de datos, para así minimizar errores de procesamiento.
- Durante periodos de trafico alto, es necesario más de una persona para efectuar los aforos. Para esta clasificación un aforador puede contar hasta 800 vehículos por hora, aunque a objeto de reducir errores sería preferible este no pase de 600 vehículos por hora. (Condarco, 2015)

La exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona.

B. Método Automático

El método de conteo automático se refiere al procedimiento de recopilación de datos, con un equipo automático diseñado para registrar continuamente los componentes del volumen de tráfico en un tiempo establecido, el cual puede ser: minutos, horas, días, semanas, meses o años.

Los atributos del volumen de tráfico son registrados por medio de sensores (también llamados detectores) que transmiten la información a un equipo registrador (generalmente ubicado a un lado del camino), para su almacenamiento y procesamiento. El dispositivo registrador, puede transmitir en tiempo real los datos de la información recolectada a



centrales de conteo para su análisis en gabinete, mediante la ayuda de aditamentos de comunicación. (SCT, 2016)

2.2.3. Tecnología comúnmente empleada en las estaciones de conteo vehicular

En los últimos años la tecnología de monitoreo de flujo de tránsito ha sufrido cambios y evoluciones significativas gracias al auge de los dispositivos portátiles de alta tecnología. Los equipos computacionales de bajo costo, así como los avances en los sistemas de telecomunicaciones, han contribuido de igual manera al progreso de esta clase de monitoreo. (SCT, 2016)

Existen diversas técnicas y procedimientos para efectuar el conteo y la clasificación vehicular (tipo y número de ejes, principalmente), con sensores a nivel de calzada o introducidos en el pavimento. Dentro de los sensores de tráfico se puede realizar una nueva división en base a la colocación de los sensores y la necesidad, o no de dispositivos embarcados en los vehículos. Por tanto, se diferenciará entre dos tipos: (FHWA, 2004)

- **Sensores de tráfico autónomos:** no requieren un dispositivo embarcado en los vehículos y el elemento sensor está situado en la infraestructura.
- **Sensores de tráfico dependientes:** o el elemento sensor está en la infraestructura y requiere la presencia de un dispositivo embarcado en el vehículo o el/los elementos sensores están en el vehículo

Cada tecnología tiene un campo de aplicación en función de las características de la medición (estaciones de conteo permanente o temporal), del tipo de tráfico vehicular (flujo libre, a vuelta de rueda, arranque-parada), y de la precisión requerida. En los siguientes puntos se explicarán los equipos más comunes del mercado, dentro de los grupos descritos previamente.

Teniendo en cuenta los objetivos de medición, los equipos de monitoreo del flujo de tránsito pueden clasificar diferentes tipos de datos vehiculares como: (FHWA, 2004, SCT, 2016)

- **No motorizados:** Volúmenes de bicicletas, Volúmenes peatonales
- **Motorizados:** Volúmenes de vehículos, Clasificación del vehículo (incluyendo motocicletas), Velocidad, Distancia entre ejes, Peso por eje, Intervalo, Carril de ocupación, Número de matrícula

A. Sensores de Tráfico Autónomos

Se distinguen 2 tipos de sensores para la detección y monitorización de vehículos (FHWA, 2004): las tecnologías intrusivas, que están instaladas en o a lo largo del pavimento, y las tecnologías no intrusivas que se encuentran por encima o a los lados de la carretera causando mínimo efecto sobre el flujo de tráfico.



A.1. Sensores Intrusivos

Las tecnologías intrusivas según Cheng y Varaiya, 2007, son aquellas cuyas instalaciones se realizan en el pavimento, es decir, en huecos, brechas o túneles por debajo de la superficie. Dentro de los sensores intrusivos existen multitud de tipos, los equipos más comunes del mercado son: detectores de lazo o bucle inductivo, tubos Neumáticos, sensores magnéticos (Magnetómetro). Los cuales se detallan en Anexo II.

Si bien el mecanismo fundamental de todos ellos es similar, detectan el paso de un vehículo cuando éste pasa sobre los sensores, las dos primeras tecnologías son las más empleadas en las carreteras. Este tipo de sensores pueden proporcionar información sobre el volumen de tráfico, detección y clasificación de vehículos, e incluso información sobre la velocidad.

A.2. Sensores No Intrusivos

De acuerdo a la New Mexico State University, 2007, las tecnologías no intrusivas son aquellas que no requieren ser instaladas en o dentro de la superficie de la vía, por lo tanto, no interfieren directamente sobre el tráfico durante su funcionamiento, ya que se sitúan por encima o a un lado del pavimento (lateral de la calzada). Como inconveniente cabe destacar que son, en general, más costosos económicamente, tanto los sensores en si como la instalación de los mismos.

Los detectores no intrusivos empleados en la actualidad son, principalmente de dos tipos: (se detallan en el Anexo II)

- a) Sensores activos: si el sensor requiere de una fuente externa o hacen uso de una batería portátil, ya que emiten una señal y captan la respuesta reflejada sobre el vehículo, de este tipo son los radares de microondas, radares láser y los sensores ultrasónicos.
- b) Sensores pasivos: detectan la energía del ambiente y se alimentan de ellas. Este tipo de sensores capta variaciones producidas, en ciertos parámetros, por el paso de un vehículo. Sensores pasivos son las cámaras de vídeo, los sensores infrarrojos y los sensores acústicos

B. Sensores de tráfico Dependientes

A diferencia de los sensores de tráfico independientes, los denominados sensores de tráfico dependientes requieren la instalación o presencia de un equipo embarcado dentro de los vehículos. Los sensores situados en la infraestructura son capaces de controlar la posición de cada vehículo a partir de la detección de algunos de los equipos embarcados, en base a diversas tecnologías.

Por otro lado, los sensores embarcados en los vehículos permiten detectar situaciones en las zonas cercanas de los vehículos (obstáculos, situación meteorológica, estado de la vía, etc.). Se presentarán por un lado dos tecnologías que permiten conocer la posición de los



vehículos en base a su equipamiento embarcado y el equipamiento situado en la infraestructura: (FHWA, 2014, PTC, 2011)

- La identificación de vehículo por radiofrecuencia (RFID⁶)
- Los sistemas de navegación por satélite (GNSS⁷)

Estas tecnologías se detallan brevemente en el Anexo II.

2.2.4. Estaciones de conteos Vehiculares

Para un mejor control y monitoreo del tráfico en las redes viales de carreteras, es deseable obtener los volúmenes de tráfico continuamente todos los días del año en todas las carreteras; sin embargo, no es posible debido al costo que esto implica, en este sentido se llevan adelante conteos de tráfico periódicos, donde se definen dos tipos de estaciones de conteo: permanentes o maestras y temporales (acápite 2.2.1).

A. Tamaño de la muestra y ubicación de estaciones de conteo periódicos

La cantidad y ubicación de estaciones de conteo periódicos (permanente y/o temporal), debe ser tal que permita conocer el volumen y sus características del tráfico en toda la red vial de carreteras. Por lo tanto, deben recolectarse datos de muestra de cada categoría de carretera y estimar los volúmenes anuales de tráfico a partir de los conteos periódicos. Esto incluye la definición del tamaño mínimo de la muestra (números de estaciones de conteo) para un nivel requerido de exactitud. (Garber y Hoel, 2005)

Según bibliografía consultada se tienen dos maneras para determinar el número de estaciones de conteo periódico: según Garber y Hoel (2005) y la Federal Highway Administration (FHWA) en sus documentos Traffic Monitoring Guide (TMG), Highway Performance Monitoring System (HPMS) y Traffic Computation Method, ambas formas suponen que la ubicación de muestreo se selecciona de manera aleatoria.

A.1. Determinación del número de estaciones de conteo según Garber y Hoel (2005)

El tamaño mínimo de la muestra depende del nivel de precisión deseado. El nivel de precisión comúnmente utilizado para los conteos de volumen es **95-5**. Cuando el tamaño de la muestra es menor que 30 y la selección de las estaciones de conteo es aleatoria, puede usarse una distribución conocida como la distribución **t** de student para determinar el tamaño de la muestra para cada clase de enlace de carretera. La distribución **t** student es infinita, con una media de cero y tiene una varianza que depende del parámetro de escala, denominado como grados de libertad (**v**). Los grados de libertad (**v**) son una función del tamaño de la muestra; **v = N - 1** para distribución **t** student.

⁶ Radio Frequency Identification (RFID)

⁷ Global Navigation Satellite System (GNSS)



La varianza de la distribución t student es $v/(v-2)$, lo que indica que a medida que v tiende al infinito, la varianza tiende a 1. En el Anexo VI se dan las probabilidades (niveles de confianza) para la distribución t student para diferentes grados de libertad.

Suponiendo que las ubicaciones de muestreo se seleccionan de manera aleatoria y en base al Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), el número mínimo de estaciones está dado:

$$n = \frac{t_{\frac{\alpha}{2}, N-1}^2 * \left(\frac{S^2}{d^2}\right)}{1 + \left(\frac{1}{N}\right) * \left(t_{\frac{\alpha}{2}, N-1}^2 * \left(\frac{S^2}{d^2}\right)\right)} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

n = Número mínimo de ubicación de estaciones de conteo requeridas

t = Valor de la distribución t de student con un nivel de confianza de $(1-\alpha/2)$ ($N-1$ grados de libertad)

N = Número total de tramos (población) de los cuales debe seleccionarse una muestra. Cuando el tamaño de muestra sea mayor a 30, se debe utilizar la distribución normal.

α = Nivel de significancia

S = Estimación de la desviación estándar espacial de los volúmenes (TPDA) de los enlaces

d = Rango permisible de error, se puede considerar un 10%, se lo puede calcular como $(0.10 * TPDA)$

A.2. Determinación del número de estaciones de conteo según FHWA

La Federal Highway Administration (FHWA) en sus documentos Traffic Monitoring Guide (TMG) del año 2016, Highway Performance Monitoring System (HPMS) del año 2004 y Traffic Computation Method del año 2018, presentan un diseño para determinar la muestra aleatoria simple estratificada con base al Tráfico Promedio Diario Mensual (TPDM), la metodología para la determinación del tamaño de la muestra se lo realiza para las estaciones de conteo permanente y temporal.

Estaciones de conteo de tráfico Temporales

Los conteos temporales proporcionan la mayor cantidad de información del volumen de tráfico y la diversidad geográfica necesaria para el análisis del sistema de carreteras. En términos simples, los conteos temporales son los trabajos que garantizan la existencia de datos para toda la red de carreteras.

Para el programa de monitoreo de volumen de tráfico se recomienda que la estación de conteo temporal se divida en dos categorías: de control mayor (estaciones de conteo semanales) y control menor (conteos menores a una semana). El subconjunto de conteo de control cubre el sistema de carreteras periódicamente para satisfacer tanto las necesidades específicas del punto como de la zona. Los conteos temporales de control menor (especiales) son realizados generalmente para satisfacer necesidades de proyectos



específicos públicos o de iniciativa privada; por ello comúnmente se realizan en tiempos menores a siete días.

El número y ubicación de estas estaciones se define principalmente por la disponibilidad de recursos y la variabilidad del flujo de tránsito a lo largo de la red de carreteras que se busca monitorizar. Es necesario considerar que la ubicación de las estaciones supere los 500 metros en relación al límite de las zonas conflictivas, donde por movimientos locales (entronques, poblados, ciudades, etcétera) los volúmenes vehiculares se alteren.

Las siguientes actividades sirven como guía para determinar la posición geográfica de las estaciones de conteo temporal:

1. Dividir el sistema de carreteras en segmentos de volumen del flujo de tránsito homogéneos.
2. Determinar lugares de conteo necesarios para cubrir el sistema de carreteras, los cuales se deben revisar en un ciclo máximo de seis años para comprobar su uniformidad. Estas verificaciones constan de revisar la variación del flujo vehicular desde el principio del tramo hasta el final del mismo, y constatar según los parámetros de la tabla 2.6 la insignificancia en su diferencia
3. Determinar los lugares de conteo requeridos para satisfacer las necesidades de otra información que se requiera para análisis específicos.
4. Determinar la necesidad para la recolección de información del siguiente periodo de monitoreo. Esto implica trabajar con las oficinas que soliciten estos datos para definir las necesidades a cubrir con los datos a recolectar.

Esta coordinación debe considerarse en conteos temporales, y es necesario su continuidad con el fin de garantizar que los conteos para proyectos específicos se lleven a cabo cuando sean necesarios.

5. Revisar que no se duplican los trabajos superponiendo conteos en mapas de la red de carreteras, incluida la ubicación de las estaciones maestras.
6. Investigar la existencia de información actual obtenida de otros programas de conteo no considerados, y determinar cómo se pueden combinar para hacer mejor uso de los recursos disponibles.

Los pasos anteriores están destinados a reducir la duplicidad de conteos y aumentar la eficiencia del personal de recopilación de datos, en el caso de contar con las suficientes estaciones de conteo temporal; de manera que la estimación del volumen del flujo de tránsito para un segmento dado de carretera retrate con precisión dicha magnitud en ese lugar.

El criterio para definir los segmentos homogéneos de conteos temporales, consiste en la comparación del volumen vehicular entre dos estaciones de conteo consecutivas, cuando

este volumen supere los porcentajes mostrados en la tabla 2.3 se debe colocar una nueva estación de conteo en una posición intermedia entre las dos estaciones existentes, como se muestra en la figura 2.4. Debido a la constante expansión de la red vial de carreteras, se deberá realizar una revisión anual para comprobar si existe la necesidad de agregar estaciones de conteo en tramos nuevos de la red. Para efectuar dicha revisión deberán respetarse los términos anteriormente expuestos en este apartado.

Tabla 2.3. Criterios para la colocación de estaciones de conteo temporales. Fuente: SCT, 2016, FHWA, 2018

A partir TDPA en el Segmento	Variación TDP dentro Segmento
0 - 999	+ 100%
1 000 – 2 999	+ 50%
3 000 – 4 999	+ 20%
5 000 – 9 999	+ 15%
10 000 o más	+ 10%

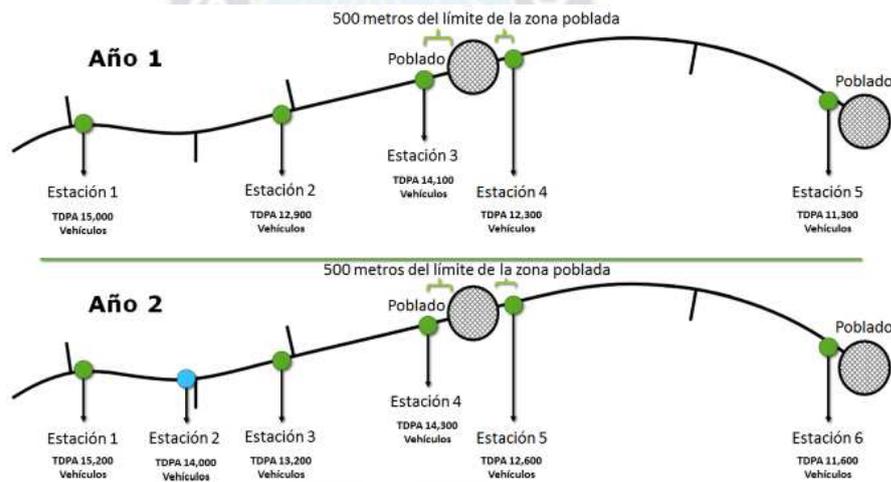


Figura 2.4. Definición de instalación de nuevas estaciones de conteo temporal. Fuente: SCT, 2016, FHWA, 2018

2.3. CARACTERÍSTICAS DEL VOLUMEN DE TRÁFICO

El volumen vehicular es un parámetro dinámico, es cambiante conforme pasa el tiempo, sin embargo, las observaciones regulares de los volúmenes de tráfico a lo largo de los años ha identificado ciertas características que muestran que aun cuando el volumen de tráfico en la sección de una carretera varía en el tiempo, estas variaciones son repetitivas y rítmicas; conocer su comportamiento y características permite realizar pronósticos que apoyen en la planeación, operación, gestión y mantenimiento de la red vial de carreteras. (†Cal y Mayor, Cárdenas, 2018)

Con estas caracterizas y otros elementos de la red vial, junto al conocimiento del entorno, se pueden predecir diferentes escenarios de operación a corto, mediano y largo plazo.



2.3.1. Volumen Vehicular

El volumen vehicular es un parámetro del flujo de tránsito que define el número de vehículos (o personas) que pasan por un punto (sección de carril, calle, carretera o autopista), durante un tiempo específico: hora, día, semana, mes o año. (†Cal y Mayor, Cárdenas, 2018)

$$\text{Volumen vehicular} = \frac{\text{Número de vehículos que pasan}}{\text{Periodo de tiempo específico}} \dots \dots \dots (5)$$

El volumen vehicular se obtiene por los registros del flujo de tránsito en las estaciones permanentes y estaciones temporales, las cuales se colocan en diferentes puntos de la red vial. Estos registros pueden referir al volumen total de una sección, al volumen por sentido y al volumen distribuido en diferentes carriles, además de considerar su clasificación.

2.3.2. Parámetros de los volúmenes de flujo de tráfico

Los parámetros del conteo de volumen vehicular comúnmente hacen referencia a elementos necesario para el análisis estadístico de carreteras. Los elementos más utilizados son: el Tráfico Promedio Diario (TPD), Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS), Tráfico Promedio Diario Mensual (TPDM), Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), que pueden ser determinado de manera directa en las estaciones de conteo permanente. Para determinarlos a partir de las estaciones de conteo temporal se debe recurrir a la obtención y utilización de los factores de ajuste comúnmente denominados factores estacionales de expansión, que son determinados a partir de las estaciones permanentes y otros factores útiles para el análisis estadístico. Se los describe y define según Condarco, 2015, Cal y Mayor, Cárdenas, 2018 y FHWA.

Con la finalidad de comprender el cálculo de TPD, TPDS, TPDM, TPDA, en una estación de conteo permanente, se presenta la figura 2.5 que muestra un esquema de registro de datos de volúmenes de tráfico continuo, todos los días del año.



Figura 2.5. Esquema de registro de datos en una Estación de conteo Permanente. Fuente: Propia



B. Tráfico Promedio Diario (TPD)

El TPD, se define como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días en ese periodo de tiempo. De manera general se expresa:

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} < t \leq 1 \text{ año}} = \left[\frac{veh}{\text{día}} \right] \dots \dots \dots (6)$$

Donde N representa el número de vehículos que pasan durante t días.

C. Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)

Es el volumen total de flujo de tránsito de vehículos de una carretera durante una semana; puede ser el promedio de los 7 días de una semana, el de 4 semanas en el mes o la media de todos los promedios de cada día de la semana, es decir la suma de los promedios de todos los días lunes de un mes.

$$TPDS = \frac{\sum_{d=1}^{d=7} N}{7} = \frac{TS}{7} = \left[\frac{veh}{\text{día}} \right] \dots \dots \dots (7)$$

Donde N representa el número de vehículos que pasan durante d días.

D. Tráfico promedio Diario mensual (TPDM)

Es la media del volumen mensual del flujo de tránsito calculado a partir del promedio de los volúmenes diarios de todos los días que componen el mes de conteo. Esto quiere decir: existirá un TDPM para cada mes del año.

$$TPDM = \frac{\sum_{d=1}^{d=30} N}{30} = \frac{TM}{30} = \left[\frac{veh}{\text{día}} \right] \dots \dots \dots (8)$$

E. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

Es el promedio total del volumen del flujo de tráfico de vehículos de una autopista o carretera en un año, dividido entre 365 días (366 año bisiesto) con el propósito de representar el flujo de tráfico en un día típico del año. Existen dos procedimientos básicos para el cálculo de TDPA:

- Promedio simple de todos los días.
- Método AASHTO verificado por FHWA Traffic Monitoring Guide (TMG)

En la primera de estas técnicas, el TPDA se calcula como el promedio simple de un año determinado. Si faltaran algunos días con datos, el denominador se reduce simplemente al número de días contabilizados. La ventaja de este enfoque es su simplicidad y fácil programación. La desventaja es que con la presencia de datos faltantes se pueden causar sesgos (y por lo tanto inexactitud) en el valor TDPA calculado.

$$TPDA = \frac{\sum_{d=1}^{d=365/366} N}{365 \text{ ó } 366} = \frac{TA}{365 \text{ ó } 366} = \left[\frac{veh}{\text{día}} \right] \dots \dots \dots (9)$$



$$TA = \sum_{m=1}^{12} TM_m = \sum_{s=1}^{52} TS_{sm} = \sum_{d=1}^{3656366} TD_d = \sum_{h=1}^{8760} TH_h \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

N= Representa el número de vehículos que pasan durante d días.

m, s, d, h = mes, semana, día, hora

Debido a que las estaciones permanentes de conteo puedan tener algún tiempo de inactividad durante un año y esto genere la pérdida considerable de días por cuantificar, el método AASHTO ha adoptado un enfoque diferente para el cálculo del TDPA; el enfoque de AASHTO verificado por FHWA organismo regulador de carreteras de los Estados Unidos, establece que la estimación del TDPA será por clasificación vehicular en un conteo temporal, para lo cual requiere de un conjunto específico de factores de corrección, dichas correcciones están dadas en función del equipo que se utiliza para recoger el conteo y la duración del mismo. Todos los conteos temporales requieren ajustes para reducir los efectos del sesgo estacional para estimar TDPA.

Generalmente el TDPA se obtiene a partir de estaciones de conteo temporal de una semana, sin embargo, se puede obtener a partir de conteos temporales de menor duración por lo que la ecuación del TMG se expresa de la siguiente manera:

$$TPDA_{veh\ ab} = TH_{veh\ ab} * M_{ab} * DS_{ab} * H_{ab} * A_{ab} * G_{ab} \dots \dots \dots (11)$$

Dónde:

$TPDA_{veh\ ab}$ =Estimación del tráfico promedio diario anual por tipo de vehículo en el tramo homogéneo ab

TH_{ab} = Tráfico Horario por tipo de vehículo medido en una estación temporal en el tramo ab

M_{ab} = Factor por mes del año por tipo de vehículo para el tramo ab estimado con las estaciones maestras correspondientes (aplicable en conteos semanales).

DS_{ab} = Factor de corrección por día de la semana por tipo de vehículo para el tramo ab (aplicable cuando el conteo vehicular es menor a 7 días continuos).

H_{ab} =Factor de corrección horario por tipo de vehículo para el tramo ab (aplicable en casos especiales cuando los conteos vehiculares son menores a 24 horas).

A_{ab} = Factor de corrección por la localización por tipo de vehículo (aplicable cuando el conteo se encuentra fuera del grupo de la estación maestra correspondiente).

G_{ab} = Factor de crecimiento anual por tipo de vehículo (aplicable si el conteo temporal se realizó en años anteriores al que se requiere la estimación).

La estimación el TDPA total se obtendrá mediante la suma de las estimaciones del TDPA de cada clasificación vehicular, por lo que debe calcularse una nueva clasificación vehicular según los resultados obtenidos, misma que será distinta a la que se midió en campo por las



estaciones de conteo temporal, es decir, los porcentajes del TDPA por vehículo serán distintos en las estaciones de conteo temporal y estaciones maestras correspondiente al grupo. Para obtener el TPDA se emplea la ecuación (12), se expresa como:

$$TPDA = \frac{1}{7} \sum_{t=1}^7 \left(\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n TD_{ijk} \right) \right) \dots \dots \dots (12)$$

Dónde:

TD=Tráfico diario para el día “k”, del día de la semana “i”, y el mes “j”

i= Día de la semana ; j= Mes del año ; k= 1, cuando es la primera aparición de ese día de la semana en un mes, 4 cuando es la cuarta aparición de ese día de la semana en un mes

n= El número de veces que un mismo día contiene datos en el mes

La ecuación (12) representa los promedios de cada día de la semana para cada mes, estima el valor medio anual para cada día de la semana, y finalmente calcula un único valor medio diario anual. Este proceso elimina eficazmente la mayoría de los sesgos que se presentan en días con falta de información, especialmente cuando esas pérdidas se distribuyen de manera desigual a través de meses o días de la semana. Para mayor detalle consultar (FHWA, 2018).

F. Determinación de los Factores Estacionales

Considerando que el volumen de tráfico presenta patrones de variación en tiempo y clasificación, el factor estacional se utiliza para corregir el sesgo estacional en los conteos temporales, utilizando información de las estaciones maestras. (FHWA, 2018, SCT, 2016)

F.1. Factor estacional Mensual (fe)_m

El factor estacional mensual tiene mejor precisión si la información utilizada pertenece al mismo periodo del conteo anual, ya considerará las condiciones económicas, ambientales y sociales de ese momento. Este factor permite expandir o extrapolar el TPDM a TPDA, como se muestra en la ecuación (13) y (14).

$$(fe)_m = \frac{TPDA_p}{TPDM_p} \dots \dots \dots (13) \quad TPDA = TPDM_t * (fe)_m \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

(fe)_m= Factor mensual del mes del año para el tramo en estudio, con la estación de conteo permanente cercana que muestre mejor correlación con la estación temporal

TPDM_t= Tráfico promedio diario mensual registrado en la estación temporal

TPDA_p= Tráfico promedio diario anual registrado en la estación permanente durante el periodo de conteo de la estación temporal



$TPDM_p$ = Tráfico promedio diario mensual registrado en la estación permanente durante el periodo de conteo de la estación temporal

$TPDA$ = Estimación del Tráfico promedio diario anual registrado en la estación temporal en un tramo homogéneo

F.2. Factor estacional para la semana del año (fe_s)

Es un factor que se utiliza para corregir el sesgo de la semana en el año de los conteos temporales (t), se determina con la estación de conteo permanente (P) cercana que muestre correlación con la estación temporal (t), se estima mediante la ecuación (15). Este factor permite expandir o extrapolar el TPDS a TPDA, como se muestra en la ecuación (16).

$$(fe)_s = \frac{TPDA_p}{TPDS_p} \dots \dots \dots (15) \qquad TPDA = TPDS_t * (fe)_s \dots \dots \dots (16)$$

Donde:

$(fe)_s$ = Factor de la semana del año para el tramo en estudio, con la estación de conteo permanente cercana que muestre mejor correlación con la estación temporal

$TPDS_t$ = Tráfico promedio diario semanal registrado en la estación temporal

$TPDA_p$ = Tráfico promedio diario anual registrado en la estación permanente durante el periodo de conteo de la estación temporal

$TPDS_p$ = Tráfico promedio diario semanal registrado en la estación permanente durante el periodo de conteo de la estación temporal

$TPDA$ = Estimación del Tráfico promedio diario anual en la estación temporal en un tramo homogéneo

F.3. Factor estacional para el día de la semana (fe_d)

Es un factor que se aplica a conteos menores de una semana que presenten días completos (datos de 24 horas, horas parciales deben desecharse). Se determina un promedio para producir el tráfico promedio diario (TPD) de la semana que se realizó el conteo. Por otra parte, los factores de corrección para los días individuales también serán promediados. El factor de corrección semanal permitirá expandir o extrapolar a un TPDS.

$$(fe)_d = \frac{TPDS_p}{TPD_p} \dots \dots \dots (17) \qquad TPDS = TPD_t * (fe)_d \dots \dots \dots (18)$$

Donde:

$TPDS$ = Estimación del Tráfico promedio diario semanal para un vehículo en específico en la estación temporal

TPD_t = Trafico promedio diario de un vehículo en específico contabilizado por la estación temporal (t)



$(fe)_d$ = Factor diario (día de la semana) de un vehículo en específico para el día del conteo temporal, calculado mediante los datos de la estación permanente

$TPDS_p$ = Trafico promedio diario semanal de la estación permanente (en la semana en que se realizó el conteo temporal) para un vehículo en específico

TPD_p = Trafico promedio diario de la estación permanente (en el mismo día en que se realizó el conteo temporal) para un vehículo en específico

F.4. Factor estacional para la hora del día $(fe)_h$ o $(f)_h$

Es un factor de corrección para el conteo vehicular que se realizó en un día en un periodo de tiempo menor a 24 horas y mediante este factor se puede expandir o extrapolar a un TPD. El factor estacional horario se calcula con la ecuación

$$(fe)_h = \frac{TD_p}{TH_p} \dots \dots \dots (19) \quad TPD = TH_t * (fe)_h \dots \dots \dots (20)$$

Donde:

TPD= Estimación del Tráfico promedio diario para un vehículo en específico para la estación de conteo temporal en el día de análisis

TH_t = Trafico Horario para un vehículo en específico contabilizado por la estación temporal

$(fe)_h$ = Factor estacional horario del vehículo en la hora en que se realizó el conteo temporal

TD_p = Tráfico diario registrado en la estación permanente para un vehículo en específico, el mismo día en que se realizó el conteo temporal.

TH_p = Tráfico horario de la estación permanente para un vehículo en específico, el mismo día y hora en que se realizó el conteo temporal

2.3.3. Variación de los Volúmenes de Tráfico

Los volúmenes de tráfico suelen cambiar respecto al tiempo y localización, es decir, el flujo vehicular no es uniforme durante el transcurso del día (hora del día), día de la semana, semana del año, mes del año, sino cambiante; de igual modo, los patrones de flujo de tráfico son diferentes en autopistas urbanas a los de carreteras rurales. En esta sección se describirán las variaciones del volumen de tráfico a nivel horario, diario y mensual.

A. Variación Horaria y Diaria

Las variaciones de los volúmenes de tráfico presentan cambios durante el transcurso del día, y tiene diferente comportamiento vehicular, dependen del tipo de ruta, según las actividades que prevalezcan en ella, puesto que hay rutas de tipo turístico, agrícola, comercial, industrial, etc. A continuación, se presenta la tabla 2.4 donde se describen algunas características de las vías:



Tabla 2.4. Características de las vías según la variación horaria durante el día. Fuente: Propia en base †Cal y Mayor, Cárdenas, 2018

CARACTERÍSTICAS DE LAS VIAS	VARIACIONES HORARIAS
Agrícolas	- Determinadas horas del día existe una fuerte cantidad de vehículos
	- Posibilidad de saturar una carretera
	- En ciertas horas de la noche no haya ningún vehículo
Turístico Recreacional	- Dias entre semana, existe un tráfico mas o menos normal a lo largo de todas las horas
	- Los días sabados y domingos puede llegar a volúmenes supremamente altos
	- Se pueden identificar varias horas del día con demandas máximas
Rurales	- La variación horaria presenta un comportamiento con un patron de una sola cresta, los volúmenes de tráfico siguen creciendo durante el día hasta que disminuyen por la tarde
	- Tráfico de camiones es mas o menos uniforme a lo largo de las 24 horas del día, lo que significa que el comercio o el abastecimiento de productos desde y hacia los centros de distribución no se detienen, es parte de la economía de la región
Urbanas	- La variación horaria presenta un comportamiento con un patron de dos crestas
	- Periodo diurno el volumen de automóviles es mayor en comparación a los presentados por caminos de carga, por lo cual el patron de viajes en automóviles domina las estadísticas
	- Periodo nocturno, el volumen de automobiles disminuye significativamente, mientras que los movimientos de camiones de carga se mantienen, de manera que el volumen de camiones aumenta considerablemente.
	- Cercanas a las ciudades presenta un comportamiento con un patron de tres crestas: la madrugada empieza con bajo volumen de vehículos, el cual va incrementando hasta alcanzar las hora maximas entre las 7:30 y las 9:30, desde las 9:30 a la 13:00 vuelve a bajar y empieza a ascender para llegar a otro máximo entre las 14:00 y 15:00 horas. Vuelve a descender de 15:00 a 18:00 horas, en que asciende otra vez para alcanzar un tercer valor máximo entre las 18:00 y 20:00 horas

Relación entre el volumen horario y el tráfico promedio diario anual

En caminos de alto tráfico es el volumen horario de diseño (proyecto) (VHP) lo que determina las características que debe otorgarse al proyecto para evitar problemas de congestión y determinar condiciones de servicio aceptables. Una guía para determinar el VHP, es construir curvas que indiquen la variación de los volúmenes de tráfico horario durante el año. Para lo cual se debe ordenar en forma descendente los volúmenes de tráfico horario que se presentan en el año y expresarlos como % del tráfico promedio diario anual TPDA.

Estas curvas como se muestran en el gráfico 2.2, también indican que los volúmenes de tráfico horario en una carretera presentan una amplia distribución durante el año y que, en términos generales, la mayor parte del volumen de tráfico ocurre durante un número relativamente pequeño de horas. Comúnmente se utiliza el volumen de la hora trigésima (30-ava hora), estimado al futuro, para fines del proyecto. De acuerdo a lo anterior el VHP se expresa como: (†Cal y Mayor, Cárdenas, 2018)



$$VHP = k * TPDA \dots \dots \dots (21)$$

Donde:

k: valor esperado de la relación entre el volumen de la n-ava hora máxima seleccionada y el TPD del año de proyecto

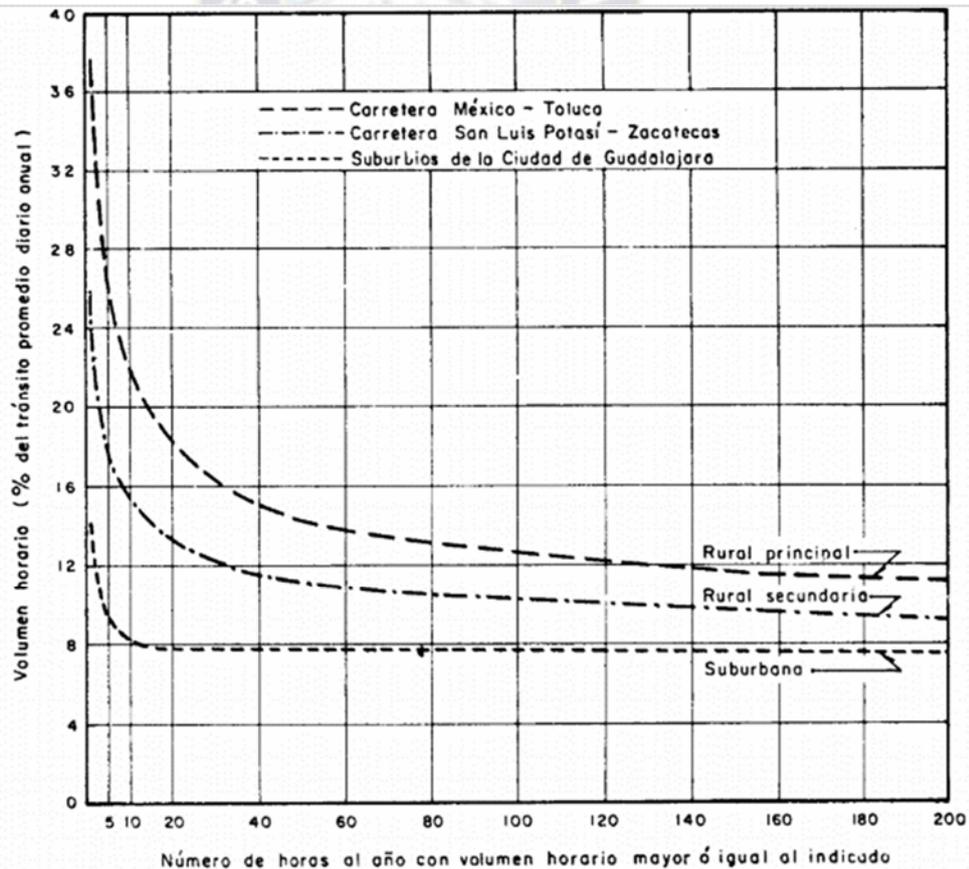
Se recomiendan los siguientes valores de k:

Tabla 2.5. Coeficiente k relacionados al tipo de carreteras. Fuente: ABC, 2007, †Cal y Mayor, Cárdenas, 2018

Según †Cal y Mayor, Cárdenas, 2018			Según ABC Volumen I, 2007	
Para carreteras suburbanas:	k=	0.08	-	-
Para carreteras rurales secundarias:	k=	0.12	0.12	Carreteras de tránsito mixto con variaciones estacionales moderadas
Para carreteras rurales principales:	k=	0.16	0.18	Carreteras con variaciones estacionales marcadas, causadas normalmente por componente de tipo turístico

Relaciones entre volúmenes horarios más altos del año y el tráfico promedio diario anual.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras México, 1991





B. Variación Mensual

Existen meses que las carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los más altos volúmenes de tráfico se registran en: Semana santa, vacaciones escolares y a fin de año, por las fiestas y vacaciones navideñas del mes de diciembre. Por esta razón los volúmenes de tráfico promedio diarios que caracterizan cada mes son diferentes. (†Cal y Mayor, Cárdenas, 2018)

2.3.4. Clasificación del Tráfico

La Administradora Boliviana de Carreteras clasifica por tipo de vehículos de acuerdo a las siguientes categorías: (ver figura 2.6). (ABC Volumen V, 2011; ABC Provia, 2016)

- 1) Automóviles, Vagonetas y Jeeps (hasta 9 asientos)
- 2) Camionetas (hasta 2 toneladas)
- 3) Minibuses (8-15 asientos)
- 4) Microbuses (dos ejes de 12 a 21 asientos)
- 5) B2 - Buses Medianos (dos ejes de 22 a 35 asientos)
- 6) B3 - Buses Grandes (dos o más ejes de 36 o más asientos)
- 7) CM2 - Camiones Pequeños (dos ejes de 2.1 a 6.0 toneladas)
- 8) C2 - Camiones Medianos (dos ejes 6.1 a 10.0 toneladas)
- 9) C3 - Camiones Grandes (tres ejes 10 a más toneladas)
- 10) T – S - Camiones Semirremolque
- 11) C – R - Camiones Remolque
- 12) Otros Vehículos

A continuación, se presenta la clasificación por diferentes categorías de vehículos, diferenciándose 4 grupos: (ABC Volumen I, 2007)

- Livianos: categorías del 1 al 3
- Buses: categorías del 4 al 6
- Camiones: categorías del 7 a 11
- Otros vehículos: categoría 12

De acuerdo al tamaño y peso de los vehículos y su efecto en el tráfico se pueden agrupar, vehículos de pasajeros (livianos) se incluye las categorías 1 al 6. Por otro lado, en el grupo de vehículos de carga (pesados) se incluye las categorías 7 al 11.

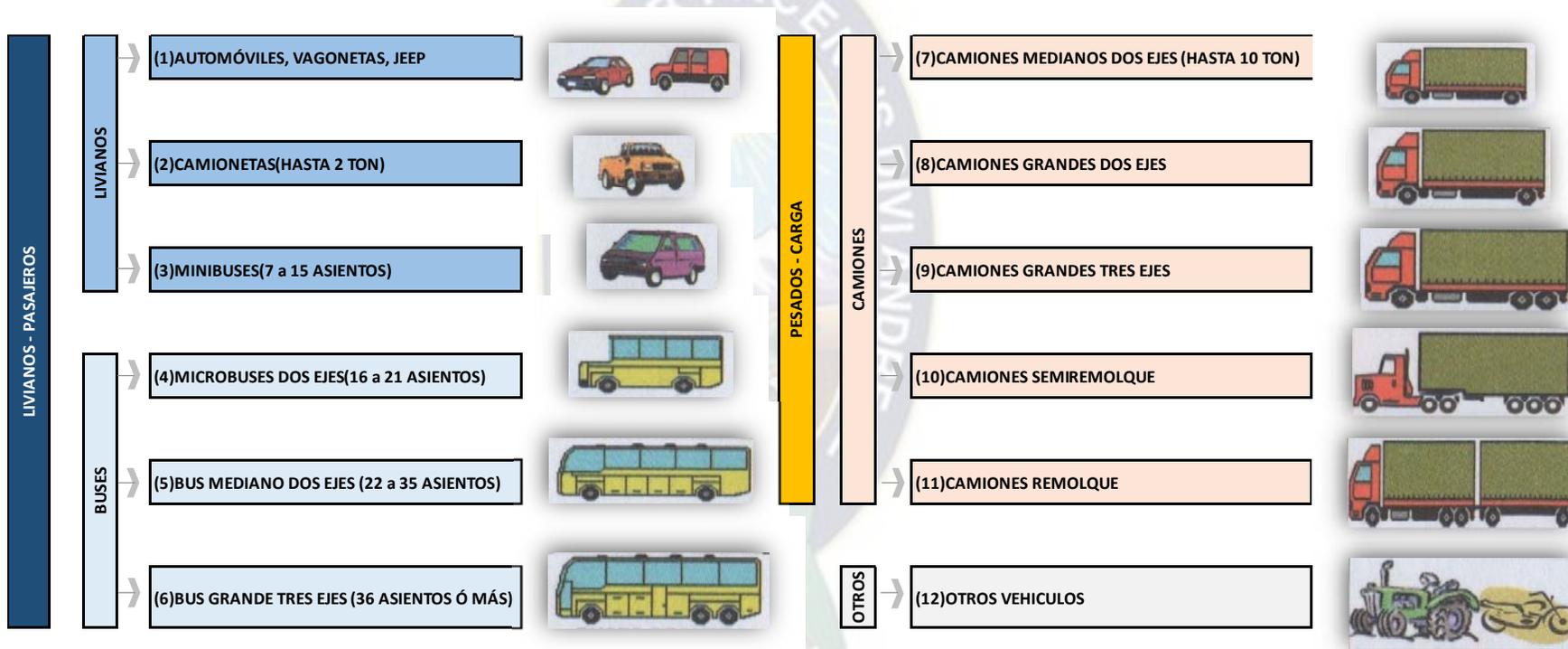


Figura 2.6. Clasificación por Tipo de Vehículo, Categorías de vehículos y tamaño y peso de vehículos. Fuente: Propia en base ABC, 2011 y ABC, 2017



2.4. TASAS DE CRECIMIENTO DEL TPDA

Para determinar cuál va a ser el futuro comportamiento de la red de carreteras, es necesario partir, como datos básicos, de proyecciones de la demanda de tráfico que tengan una razonable precisión. En toda proyección hay que contar con cierto margen de error, que será tanto mayor cuando más amplio sea el plazo de la proyección. Los métodos de proyección intentan reducir en lo posible este margen de error, tomando en consideración otras variables cuya evolución se prevé con mayor exactitud, y en función de las cuales puede determinarse la variación del tráfico. (Kraemer et all, 2003)

Según el número de variables y de relaciones entre ellas crece la complejidad del método de proyección, y con ella el costo que suponen tanto la obtención de datos para su aplicación como la realización de las proyecciones. Los métodos más sencillos se basan en extrapolaciones de tendencias o relaciones observadas en series temporales suficientemente largas. Los métodos más complejos, se basan en modelos que permiten analizar varias variables relacionadas con el tráfico, como ser variables socio-económicas. (Kraemer et all, 2003, Condarco, 2015)

2.4.1. Método basado en la Evolución del TPDA

En proyectos de transporte, el primer parámetro que se analiza es la evolución histórica del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), en el sector del proyecto pues, una primera suposición es que esta puede mantenerse dentro de estos rangos de variación temporal. El análisis de los volúmenes de tráfico en años anteriores y recientes permite observar y determinar la tendencia que ha seguido el volumen vehicular en el periodo pasado.

Para determinar la tendencia en función de tasas de crecimiento anual constante se efectúan ajustes de curva a los datos del TPDA por tramos. Para este efecto se puede utilizar la función: (Kraemer et all, 2003, Condarco, 2015)

$$Q = Q_0 * (1 + i)^n \dots \dots \dots (22)$$

Donde:

Q = Volumen vehicular para el año 'n'

Q₀ = Volumen vehicular inicial

i = Tasa de crecimiento anual (%)

n = Año de proyección

Para el ajuste de curva, la relación exponencial de la ecuación (22) es

equivalente a la relación exponencial de la forma:

$$Y = Ce^{b*x} \dots \dots \dots (23)$$

Donde:

$$Y = Q, \quad C = Q_0, \quad e^b = (1+i), \quad X = n$$

El inconveniente principal de este método es su escasa fiabilidad si el plazo de proyección supera los 5 años.



2.4.2. Método basado en un Modelo Microeconómicos

Se plantea un método utilizado para la determinación de las tasas de crecimiento del TPDA propuesto por ABC Volumen IX (2011) Manual de Metodologías de Evaluación de Proyectos Viales y Valverde (2008) en el artículo Proyección de tráfico mediante un modelo microeconómico. El cual consiste en un modelo que relaciona el crecimiento del tráfico con el crecimiento de variables relacionadas con el entorno socioeconómico y demográfico, como el parque automotor (PA), la población (PO), producto interno bruto (PIB) y el consumo de combustible (COM), gasolina (GLS) y diésel oil (DIE).

El modelo microeconómico se basa en un modelo econométrico de datos panel que permite estudiar la relación que existe entre la tendencia de crecimiento del tráfico en las estaciones de conteo de TPDA y la tendencia de crecimiento de las cuatro variables socio-económicas del país. Debido a que el crecimiento del tráfico está directamente relacionado con el del parque automotor, se pueden realizar previsiones del primero basándose en la evolución futura del segundo. (Kraemer et all, 2003).

El principal objetivo de aplicar y estudiar los datos panel es capturar la heterogeneidad no observable, en este caso, entre las distintas estaciones de conteo TPDA, así como en el tiempo, dado que esta heterogeneidad no se puede detectar ni con estudios de series temporales ni tampoco con los de corte transversal⁸. La aplicación de esta metodología, muy usada en estudios de naturaleza microeconómica, permite analizar dos aspectos de suma importancia cuando se trabaja con este tipo de información y que forma parte de la heterogeneidad no observable:

- i. **Los efectos individuales específicos**, en nuestro caso, son aquellos que afectan de manera desigual el TPDA de cada una de las estaciones de conteo, los cuales se consideran invariables en el tiempo y que están relacionados con condiciones locales, tales como la capacidad de la vía y los efectos de distribución de viajes en la red (que a nivel global en nuestro estudio se consideran fijos en el tiempo).
- ii. **Los efectos temporales**, son aquellos que afectan por igual a todas las unidades individuales del estudio, es decir, el impacto que tiene el comportamiento socioeconómico sobre el crecimiento global de la demanda agregada de transporte. Este efecto temporal es el que más nos interesa, ya que nos permite estimar las tasas futuras del crecimiento del tránsito como respuesta al crecimiento de las variables socioeconómicas.

Los datos panel presentan dos dimensiones: 1) una serie de tiempo en cada una de las estaciones de conteo TPDA, así como en el registro de los datos del parque automotor, y 2) una dimensión estructural, más conocida como corte transversal, la cual constituye información para todas las unidades de estudio (las estaciones de conteo de TPDA) en un

⁸ Véase Mayorga y Muñoz (2000)



momento determinado (un año específico), y que está asociada con un valor específico de la variable parque automotor. Las bases de datos que poseen estas características se conocen con el nombre de datos panel.

Con el propósito de proyectar las tasas de crecimiento del tráfico como ejemplo sobre la base del comportamiento del parque automotor del país, se postula el siguiente modelo econométrico:

$$T_{it} = k_i * F_{it}^{\beta} \dots \dots \dots (24)$$

Donde:

T_{it} : TPDA de la estación "i" en el año "t" en veh/día.

F_{it} : Parque automotor del país en el año "t". Se emplea el subíndice "i" para asociar el dato del parque automotor a cada estación "i". (Puede ser otra variable socio-económica)

k_i : Parámetro a calcular que representa los efectos individuales de cada estación "i".

β : Es la razón entre el crecimiento porcentual del TPDA y el crecimiento del parque automotor.

En el modelo de la ecuación (24) el parámetro k_i representa los efectos individuales específicos de cada estación "i". Por su parte, el parámetro β , que corresponde a la elasticidad del TPDA con respecto al parque automotor, modela los efectos temporales que afectan por igual el crecimiento del tránsito en todas las estaciones.

La elasticidad del TPDA con respecto al parque automotor, β , es la razón entre el crecimiento porcentual del TPDA y el crecimiento porcentual del parque automotor:

$$E_{T/F} = \frac{\partial T/T}{\partial F/F} = \frac{i_{\%TPDA}}{r_f} = \beta \dots \dots \dots (25) \quad i_{\%TPDA} = \beta * r_f \dots (26)$$

De esta forma, la tasa de crecimiento generalizado del tráfico se determina multiplicando β por la tasa de crecimiento del parque automotor (r_f). Las proyecciones del tráfico se obtienen empleando la ecuación (22).

Para resolver el modelo econométrico propuesto en la ecuación (24), se requiere aplicar una transformación logarítmica y realizando cambio de variables, se obtiene:

$$\ln(T_{it}) = \ln(k_i) + \beta * \ln(F_{it}) \dots \dots \dots (27)$$

$$Y_{it} = \ln(T_{it}) \dots \dots (28) \quad \alpha_i = \ln(k_i) \dots \dots (29) \quad X_{it} = \ln(F_{it}) \dots \dots (30)$$

El modelo adquiere la forma básica de un modelo de datos panel con efectos fijos, en el cual corresponde al término aleatorio de un modelo estocástico, cuyo valor esperado es cero.

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta * X_{it} + \mu_{it} \dots \dots \dots (31)$$



Existen dos métodos para calibrar el modelo de la ecuación (31), el primero consiste en expresar el modelo con el uso de “n-1 regresores binarios”, mientras que el segundo consiste en expresar el modelo en la forma de “desviaciones con respecto a la media”. En ambos casos, la estimación del modelo se realiza aplicando el método estadístico de mínimos cuadrados ordinarios (MCO).

El modelo de “efectos fijos” con n-1 regresores binarios tiene la siguiente forma:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta * X_{it} + \sum_{j=1}^{n-1} \gamma_j * Z_{ji} + \mu_{it} \dots \dots \dots (32)$$

Donde:

n : cantidad de estaciones de TPDA

Z_{it} : regresores binarios

γ_j : parámetros del modelo a ser determinados

Y en el que los regresores binarios, Z_{ji} , se definen como:

$$Z_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{si es la estación } i, \\ 0, & \text{si no lo es} \end{cases} \quad j = i$$

2.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas informáticos que están diseñados para mostrar las características físicas y humanas del globo terráqueo contenida en una base de datos con datos cartográficos y alfanuméricos que permite disponer de manera rápida información geográfica para la toma de decisiones. Un sistema de esta naturaleza separa la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al usuario la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podría obtenerse de otra forma.

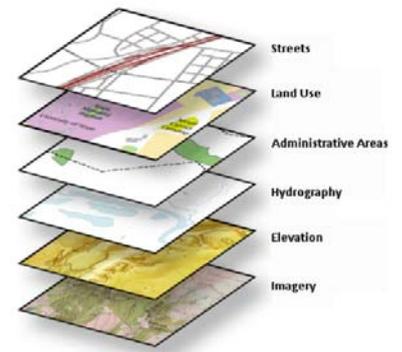
Cabe anotar, que desde los años setenta se inicia con el desarrollo de los SIG y gracias a la rápida evolución de los sistemas informáticos, los SIG evolucionaron hasta lo que son hoy, sin embargo, la definición y características ha cambiado a través del tiempo, sin embargo, es posible verlos en términos de su funcionalidad, “un SIG es una herramienta tecnológica para comprender la geografía y tomar decisiones inteligentes (ESRI, 2008).

Adicionalmente Vila y Vargas, 2008, menciona las principales características de un SIG, las cuales están acorde con la definición presentada anteriormente, se destacan:

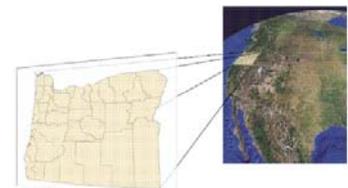


- Se trata de un sistema de representación que permite visualizar entidades gráficas (puntos, líneas, símbolos, imágenes...) referenciadas mediante coordenadas.
- Dispone de una base de datos adjunta fácilmente manejable.
- La organización de la base de datos hace posible el análisis de las relaciones espaciales entre los datos almacenados.
- Dispone de un sistema de acceso a la base de datos que permite realizar consultas y simulaciones.
- Dispone de un sistema de generación de cartografía automática a partir de consultas y simulaciones.
- Dispone de un sistema de generación de información alfanumérica a partir de consultas y simulaciones.
- Dispone de un lenguaje de programación que permite la implementación de nuevas aplicaciones para dar respuesta a nuevas necesidades de los usuarios.
- Dispone de un sistema de importación y exportación de datos gráficos y alfanuméricos.

Debido a las propiedades mencionadas, los SIG se han vuelto indispensables para los administradores y planificadores del territorio como un mecanismo en la toma de decisiones. Para lograr este objetivo, todos los datos en el SIG se almacenan por separado en diferentes capas y se utilizan de acuerdo con el propósito deseado (Demersi, 2008). Cabe anotar que a la par del desarrollo de estos sistemas de se han desarrollado herramientas de publicación de esta información que amplían el espectro de utilidad de estos programas tanto en niveles académicos como empresariales. (ESRI, 2006)



Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. La capacidad de localizar de manera precisa las entidades geográficas es fundamental tanto en la representación cartográfica como en SIG (ESRI, 2006)



Los mapas representan ubicaciones en la superficie de la Tierra que utilizan cuadrículas, gráficas y marcas de graduación con etiquetas de diversas ubicaciones terrestres (tanto en medidas de latitud-longitud como en sistemas de coordenadas proyectadas (como metros de UTM)). Los elementos geográficos incluidos en diversas capas de mapa se

trazan en un orden específico (uno sobre otro) para la extensión del mapa determinada. (ESRI, 2006)

Los SIG funcionan con dos tipos diferentes de información geográfica: el modelo vector y el modelo raster. El modelo raster funciona a través de una retícula que permite asociar datos a una imagen; es decir, se pueden relacionar paquetes de información a los píxeles de una imagen digitalizada. En el modelo vector, la información sobre puntos, líneas y polígonos se almacena como una colección de coordenadas x, y. La ubicación de una característica puntual, pueden describirse con un sólo punto x, y. Las características lineales, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x, y. Las características poligonales, pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas. (ESRI, 2006)

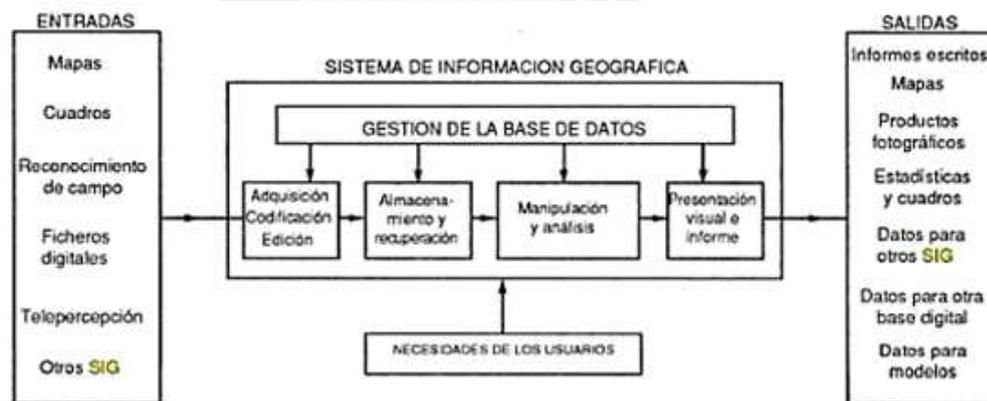
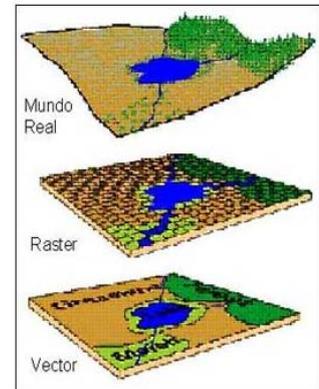


Figura 2.7. Elementos constitutivos de un SIG. Fuente: FAO, 1992

2.5.2. Componentes de un SIG

Hardware: Los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadoras desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red, una organización requiere de hardware suficientemente específico para cumplir con las necesidades de aplicación.

Software: Los programas SIG proveen las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica, los componentes principales del software SIG son: sistema de manejo de base de datos, una interface gráfica de usuarios (IGU) para el fácil acceso a las herramientas, herramientas para captura y manejo de información geográfica, herramientas para soporte de consultas, análisis y visualización de datos geográficos. Actualmente la mayoría de los proveedores de software SIG distribuyen



productos fáciles de usar y pueden reconocer información geográfica estructurada en muchos formatos distintos.



Figura 2.8. Componentes de SIG. Fuente: ESRI, 2008, Vila y Vargas, 2008, Vialfa, 2011, TeachTarget, 2017

Información: El componente más importante para un SIG es la información. Es indiscutible que los datos son el principal activo de cualquier sistema de información. Por ello el éxito y la eficacia de un SIG se miden por el tipo, la calidad y vigencia de los datos con los que opera. Se requiere de adecuados datos de soporte para que el SIG pueda resolver los problemas y contestar a preguntas de la forma más acertada posible. La consecución de datos correctos generalmente absorbe entre un 60 y 80% del presupuesto de implementación del SIG, y la recolección de los datos es un proceso largo que frecuentemente demora el desarrollo de productos que son de utilidad. Los datos geográficos y alfanuméricos pueden obtenerse por recursos propios u obtenerse a través de proveedores de datos. Mantener, organizar y manejar los datos debe ser política de la organización.

Personal: Las tecnologías SIG son de valor limitado si no se cuenta con los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo. Sin el personal experto en su desarrollo, la información se des actualiza y se maneja erróneamente, el hardware y el software no se manipula en todo su potencial.

Métodos: Para que un SIG tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y reglas de actividad definidas, que son los modelos y prácticas operativas exclusivas en cada organización (Tinoco, 2017)

2.5.3. Funciones del SIG

Las principales cuestiones que puede resolver un SIG, ordenadas de menor a mayor complejidad en operación son:

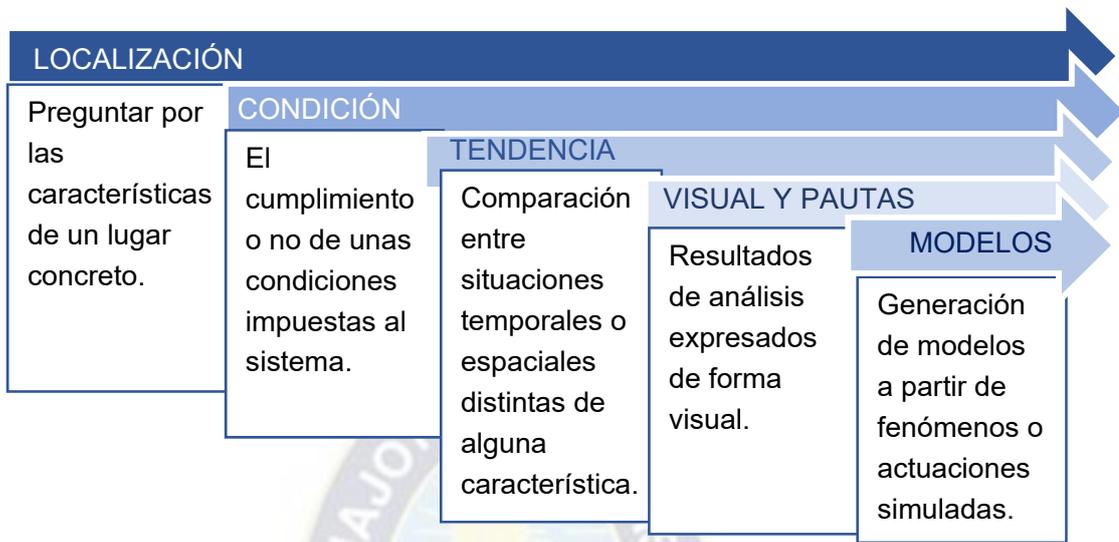


Figura 2.9. Funciones de un SIG. Fuente: Meneses y Cárdenas, 2011

2.5.4. Ventajas de un SIG

Debido a la disminución en el costo de los Sistemas Informáticos por su alta proliferación, se están materializando importantes beneficios económicos en las empresas y entidades que implementan esta tecnología SIG. Entre sus principales beneficios se destacan:

Realizar un gran número de manipulaciones cartográficas, destacando las superposiciones de mapas en corto tiempo, la representación gráfica y la gestión de bases de datos, así como su administración y mantenimiento



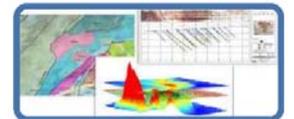
Disminución de costos de operación e incrementos en la productividad.



Ayuda en la toma de decisiones con el fin de centrar esfuerzos y realizar inversiones más efectivas.



Comparar efectivamente los datos espaciales a través del tiempo con análisis temporales.



Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema, con información exacta, actualizada y centralizada.



Figura 2.10. Ventajas de los SIG. Fuente: ESRI, 2006



2.5.5. SIG y Tráfico

Los sistemas de información geográfica actualmente son herramientas útiles y versátiles para entender, ordenar y gestionar el territorio. Los SIG, gracias a su capacidad de gestión espacial, son sistemas indicados y muy aptos para prestar su ayuda a los sistemas de transporte ya que permiten controlar parámetros en diferentes variables: (Vila y Vargas, 2008)

- **Mantenimiento y Conservación de Infraestructuras:** Son muchas las aplicaciones SIG en inventario, conservación y mantenimiento de carreteras y ferrocarriles. La disponibilidad de información como: características geométricas, señalización, estado de conservación, tipo de pavimento, volúmenes de tráfico, accidentes, intersecciones viales, etc., supone una eficaz herramienta de gestión y planificación vial.
- **Tráfico:** SIG utilizados para modelar la conducta del tráfico determinando modelos de circulación por una vía en función de las condiciones de tránsito y las dimensiones del trazado. Inventario de redes de carreteras. Visualización y análisis de volúmenes y sus características.
- **Gestión:** Conocer la ubicación en el territorio de los distintos tipos de vías aptas para el transporte sienta las bases para realizar un buen análisis espacial del comportamiento del tráfico. La posibilidad de asociar a cada una de estas entidades atributos como el TPDA, características de los volúmenes de tráfico, estado de la vía, la capacidad de tráfico, los tipos de combustibles que dispensan, los horarios de carga y descarga, el tipo y marca del vehículo, los datos del conductor, entre otros, conforman una potente herramienta de gestión y toma de decisiones.
- **Impactos nuevas infraestructuras:** Los SIG se han utilizado para evaluar el impacto de nuevas infraestructuras de transporte (autopistas, ferrocarriles, aeropuertos, puertos marítimos y fluviales, infraestructuras para transporte de combustibles, etc.).
- **Sistemas de Navegación para vehículos:** Permiten a los conductores conocer su ubicación espacial mediante la tecnología de posicionamiento global (GPS). El usuario puede ver sobre un mapa digital la zona donde se está desplazando, y calcular rutas óptimas en función de las condiciones del tráfico.

El análisis del volumen del tráfico y sus características, es una de las principales funciones de análisis de un Sistema de Información Geográfica (SIG), permitiendo multitud de aplicaciones como ser mantenimiento y conservación de Infraestructuras, diseño geométrico, etc., conforman una potente herramienta de gestión y toma de decisiones.



2.6. MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR LA MATRIZ ORIGEN DESTINO A PARTIR DE LOS CONTEOS VEHICULARES

Los métodos convencionales para la recopilación de información origen-destino, por ejemplo, entrevistas en el hogar o a la orilla del camino tienden a ser costosas, de labor intensiva y a generar pérdida de tiempo para los viajeros. El problema es aún más agudo en países en desarrollo donde los cambios rápidos en el uso del suelo y en la población desactualizan los datos rápidamente. La necesidad por desarrollar métodos de bajo costo para estimar matrices O-D presente y futura, es evidente (Ortuzar, 1992)

Un enfoque adecuado sería considerar los conteos vehiculares, una matriz de origen-destino y un patrón de elección de ruta. En el presente estudio de investigación no se cuenta con datos de una matriz origen-destino, por lo que el enfoque está orientado a emplear datos de conteos vehiculares, como una aplicación y uso de los conteos vehiculares, en un tramo específico. Ellos proporcionan la información directa sobre la suma de todos los pares O-D que utilizan los arcos aforados. Los conteos vehiculares son muy atractivos como fuente de datos porque no generan pérdida de tiempo para los viajeros, están generalmente disponibles, su obtención no es costosa y su recopilación automatizada está muy avanzada. La idea de estimar matrices de viajes o modelos de demanda a partir de conteos vehiculares merece una seria consideración y la última década ha visto el desarrollo de numerosos enfoques dirigidos justamente a ello. (Ortuzar, 1992)

2.6.1. Relación entre la matriz Origen-Destino y los volúmenes en arcos

Una red de transporte se puede conceptualizar matemáticamente utilizando el concepto de gráficas orientadas. Estas vienen siendo la unión de dos conjuntos, uno de nodos y otro de arcos, así como una relación entre los mismos, llamada relación de incidencia, que a cada arco le asocia un par ordenado de nodos, este caso, los nodos corresponden a los puntos que son origen o destino de los movimientos de transporte y los arcos a las carreteras que unen a estos puntos. (Ortuzar, 1992)

Considere un área de estudio que se divide en N zonas interconectadas por una red de carreteras que consiste en una serie de enlaces y nodos. La matriz de viaje para esta área de estudio consiste en celdas N^2 , o células ($N^2 - N$) si se pueden ignorar los viajes intrazonales. La etapa más importante para la estimación de un modelo de demanda de transporte a partir de los conteos de tráfico es identificar los caminos seguidos por los viajes desde cada origen a cada destino. La variable p_{ij}^a , se usa para definir la proporción de viajes desde la zona i a la zona j que viajan a través del enlace (a). Por lo tanto, el flujo (V_a) en un enlace particular (a) es la suma de las contribuciones de todos los viajes entre zonas a ese enlace. Matemáticamente, se puede expresar de la siguiente manera: (Ortuzar, 1992)

$$V_a = \sum_{ij}^N T_{ij} p_{ij}^a \dots \dots \dots (33) \quad \text{donde: } 0 \leq p_{ij}^a \leq 1, \quad V_a, 1 \dots L, \quad T_{ij}, 1 \dots N$$



La variable p_{ij}^a puede obtenerse usando varias técnicas de asignación de viaje que van desde una simple todo o nada hasta una más complicada asignación de equilibrio. A partir de todos los p_{ij}^a y todos los conteos de tráfico observados (V_a), habrá un número N^2 de incógnitas T_{ij} a estimar desde un conjunto de L ecuaciones lineales simultáneas (33), donde L es el número total de conteos de tráfico. (Ortuzar, 1992)

En principio, se necesita un total de N^2 aforos independientes y consistentes para determinar de unívocamente la matriz de viaje T_{ij} . En la práctica, el número de conteos de tráfico observados es mucho menor que el número de incógnitas T_{ij} . Por lo tanto, es imposible determinar una solución única para el problema de estimación matricial. En general, habrá más de una matriz de viajes que, al ser cargada en la red, reproduzca satisfactoriamente los aforos. Hay dos enfoques básicos para resolver este problema: métodos estructurados y no estructurados. En el caso del método estructurado el modelizador restringe el espacio posible de soluciones para la matriz estimada, imponiendo una estructura particular que se obtiene habitualmente de un modelo de demanda de viajes existente, por ejemplo, un modelo de gravedad o de demanda directa. El método no estructurado descansa en principios generales como el de máxima verosimilitud o maximización de la entropía para obtener el mínimo de información adicional requerida para la estimación de una matriz. (Ortuzar, 1992)

2.6.2. Procedimiento de Asignación

Hay dos clases, los procedimientos de asignación proporcional y los de asignación en equilibrio. En el caso de la asignación proporcional, cada proporción p_{ij} es independiente del volumen que se mueve en el arco (a), por lo que estos valores pueden determinarse previamente. En caso de asignación equilibrio, cada proporción p_{ij} es función del volumen que se mueve en el arco (a), por lo que proporciones y volúmenes tienen que obtenerse simultáneamente. La relación planteada por la ecuación (33), implícitamente supone una asignación proporcional, la cual se mantendrá a lo largo de este trabajo, se define como:

$$p_{ij}^a = \begin{cases} 1 & \text{si los usuarios desde } i \text{ a } j \text{ utilizan el arco } a \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

2.6.3. Formulación General

Supóngase que se tienen observaciones de volúmenes origen-destino y de volúmenes en arcos y se quiere estimar una matriz origen-destino actual. Dado lo anterior, el problema puede plantearse intuitivamente como el de encontrar los volúmenes origen-destino T_{ij} que sean lo más "cercano" posible a los volúmenes origen-destino observados y que al ser asignados a la red produzcan volúmenes en arcos que sean también lo más "cercano" posible a los volúmenes en arcos observados. Frecuentemente, debido a que por lo general las observaciones de volúmenes en arcos, son más confiables que las observaciones de volúmenes origen-destino, se ha planteado este problema requiriendo que la asignación de



los volúmenes origen-destino estimados en la red, produzcan volúmenes en arcos iguales a los observados. Estas dos formulaciones del problema han sido resueltas de muy diversas maneras, generalmente dependiendo de la técnica estadística utilizada para hacer la estimación, por ejemplo, maximización de la entropía y minimización de la información (mínimos cuadrados). En el presente estudio de investigación, se formulará el problema mediante ambas técnicas estadísticas.

Siendo t_{ij} y v_a los volúmenes observados en un par de origen-destino en el arco.

A. Primera formulación

A.1. Maximización de la Entropía

Esta idea fue utilizada Willumsen (1978) para obtener un modelo que estima matrices de viaje a partir de conteos de tráfico. El problema puede formularse como:

$$\text{Maximizar } S(T_{ij}) = - \sum_{ij} (T_{ij} \log T_{ij} - T_{ij}) \dots \dots \dots (34)$$

$$\text{s. a } V_a - \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a = 0 \dots \dots \dots (35)$$

Para cada arco a con conteo, y $T_{ij} \geq 0$.

Las restricciones (35) reemplazan a las restricciones de totales zonales (de destino de viaje) y de los costes del modelo de gravedad.

A.2. Minimización de la suma de las desviaciones al cuadrado

- a) Encontrar valores no negativos de las variables T_{ij} de tal manera que la distancia entre estos valores y volúmenes observados t_{ij} , así como entre los volúmenes V_a resultantes de su asignación a la red y los volúmenes observados v_a en los arcos, sea mínima posible. Siendo la función $d(u, v)$, cualquier medida de la separación entre dos valores u y v . Este problema se formula utilizando la terminología de la programación matemática como:

$$\text{Min } \sum_{ij}^N d(T_{ij}, t_{ij}) + \sum_{ij}^L d \left(v_a, \sum_{ij}^N p_{ij}^a T_{ij} \right) \dots \dots \dots (36)$$

$$\text{s. a } T_{ij} \geq 0, \quad ij = 1 \dots, N$$

Esta terminología, Min y s.a son abreviaciones de minimizar y sujeta a, respectivamente.



- b) Encontrar valores no negativos de las variables T_{ij} , de tal manera que la distancia entre estos valores y volúmenes observados t_{ij} sea la mínima posible y que los volúmenes V_a resultantes de su asignación a la red sean iguales a los volúmenes v_a observados en los arcos.

$$\text{Min} \sum_{ij}^N d(T_{ij}, t_{ij}) \dots \dots \dots (37)$$

$$\text{s. a} \quad v_a = \sum_{ij}^N p_{ij}^a T_{ij}, \quad a = 1 \dots \dots L$$

$$T_{ij} \geq 0, \quad ij = 1 \dots \dots, N$$

- c) La función d estaría dada por: $d(u, v) = (u - v)^2$, y los problemas propuestos (36) y (37) planteados anteriormente quedarían de la siguiente manera:

$$\text{Min} \sum_{ij}^N a_{ij} (T_{ij} - t_{ij})^2 + \sum_{ij}^L b_{ij} \left(v_a, \sum_{ij}^N p_{ij}^a T_{ij} \right)^2 \dots \dots \dots (38)$$

$$\text{s. a} \quad T_{ij} \geq 0, \quad ij = 1 \dots \dots, N$$

$$\text{Min} \sum_{ij}^N a_{ij} (T_{ij} - t_{ij})^2, \dots \dots \dots (39)$$

$$\text{s. a} \quad v_a = \sum_{ij}^N p_{ij}^a T_{ij}, \quad a = 1 \dots \dots L \quad T_{ij} \geq 0, \quad ij = 1 \dots \dots, N$$



CAPITULO 3

3. ANÁLISIS, TRATAMIENTO Y RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN DE CONTEOS VOLUMÉTRICOS EN LA RVF DE BOLIVIA

3.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología general adoptada para obtener series de volúmenes de tráfico: TH, TPD, TPDM y TPDA, en las estaciones de conteo, ha consistido primero, en obtener series de volúmenes de tráfico lo más confiables posible a nivel horario y segundo realizar la tramificación de la RVF de carreteras, buscando que los tramos sean homogéneos, es decir presenten un similar comportamiento.

Este método implica que se deberá realizar un análisis estadístico a los volúmenes de tráfico a nivel horario en cada estación de conteo, con la finalidad de identificar valores atípicos (extremos), dentro de un intervalo de confianza y cuando fuere posible corregirlos, y así obtener de datos confiables. El análisis se realizó identificando estaciones de conteo que pertenecen a un mismo tramo y que se encuentran antes de una intersección. A partir de la información confiable de volúmenes horarios, determinar todos los parámetros de volúmenes de tráfico y sus variaciones a nivel temporal y espacial. Implementación de un SIG que permita visualizar los resultados obtenidos del tráfico a nivel espacial y su distribución en la RVF, para lo cual es necesario realizar la tramificación de la RVF de carreteras, considerando tramos homogéneos; bajo los siguientes criterios: tipo de superficie de rodadura, rutas departamentales y municipales, población y el TPDA.

La metodología implica que se puede realizar el análisis y tratamiento de datos de volúmenes de tráfico a todas las estaciones de conteo que pertenecen a la RVF de carreteras de Bolivia y su visualización y distribución a nivel espacial.

3.1.1. Etapas en la determinación de series de volúmenes de tráfico confiables

Esta metodología implica una serie de pasos descritos a continuación. Cada uno de estos pasos fue aplicado a cada estación de conteo que pertenece a un mismo tramo en la RVF.

1. Recolección e inventario de la información existente.
2. Ubicación precisa de las estaciones de conteo sobre la RVF de carreteras.
3. Primer análisis y depuración de datos dudosos (errores graves en las series de volúmenes de tráfico a nivel horario).
4. Cálculo de los parámetros de volúmenes de tráfico:
 - El TH y TPD, factores estacionales horarios o de nocturnidad (f_e), factor de distribución direccional por sentido de flujo.



- El TPDM, factores estacionales diarios (fe)_d, para determinar TPDM a partir de datos a mensual TPD.
 - El TPDA, factores estacionales mensuales (fe)_m, para determinar TPDA a partir de datos a mensual TPDM en un año parcial.
 - Identificar en la serie de datos en cada estación de conteo, años completos (N° meses = 12) y años parciales (N° meses < 12).
5. Análisis a la variación temporal y espacial de volúmenes de tráfico:
- a nivel horario, para determinar hora pico y la hora no pico, relación entre el volumen horario más alto del año y el TPDA, para determinar el factor k ;
 - a nivel mensual para determinar comportamientos similares de tráfico en el conjunto de estaciones que pertenecen a un mismo tramo y un análisis estacional para identificar meses de mayor tráfico (segundo análisis de control de calidad de datos),
6. Representación gráfica de los resultados obtenidos: histograma de composición vehicular porcentual (clasificación vehicular), histograma de variación horaria del volumen de tráfico, hora de máxima y mínima demanda, histograma de variación mensual del volumen de tráfico (TPDM), variación del TPDA, variación del factor estacional mensual por año y promedio del periodo en estudio y relación entre el volumen horario más alto del año y el TPDA.
7. Tasas de crecimiento del TPDA mediante dos métodos: evolución del TPDA y modelo econométrico considerando variables socioeconómicas (PA, PO, PIB, COM).

A continuación, se presenta la figura 3.1 donde muestra las etapas de la metodología en la determinación de volúmenes de tráfico confiables, mediante un flujograma.

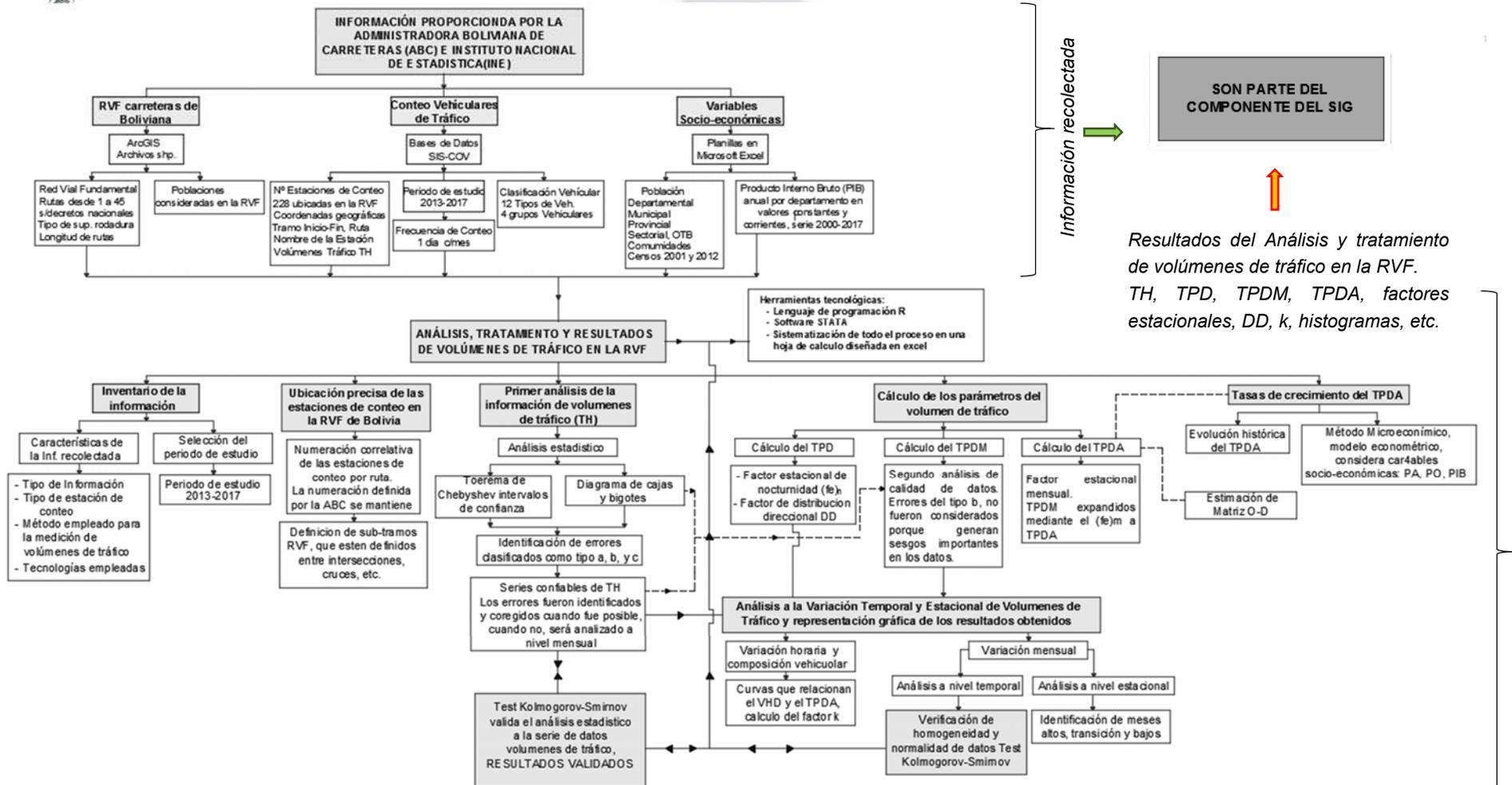


Figura 3.1. Etapas de la metodología en la determinación de volúmenes de tráfico confiables. Fuente: Elaboración propia



3.1.2. Herramienta Tecnológicas

A. Lenguaje de Programación R

R es un lenguaje y entorno de programación para análisis estadístico y gráfico. Se trata de un proyecto de software libre, resultado de la implementación GNU del clásico lenguaje científico S-Plus. R y S-Plus son, probablemente, los dos lenguajes, más utilizados en investigación por la comunidad estadística. R proporciona un amplio abanico de herramientas estadísticas (modelos lineales y no lineales, test estadísticos, análisis de series temporales, algoritmos de clasificación y agrupamiento, etc), dando la posibilidad de cargar diferentes bibliotecas o paquetes con finalidades específicas de cálculo o gráfico. R se distribuye bajo la licencia GNU GPL y está disponible para los sistemas operativos Windows, Macintosh, Unix y GNU/Linux.

El lenguaje de programación R, fue utilizado ampliamente en el desarrollo del análisis y tratamiento a los datos de conteos de tráfico, debido a la cantidad y naturaleza de los datos, es necesario realizar un análisis estadístico, los cuales se mencionan a continuación:

Estaciones de Conteo Vehicular – Volúmenes de Tráfico

- Para realizar un control de calidad de datos e identificar valores atípicos en los volúmenes de tráfico a nivel horario y mensual, en el periodo de estudio (series temporales), se realizó un análisis estadístico (descriptivo y exploratorio de datos), con la finalidad de determinar la dispersión de los datos respecto a su media y de esta manera identificar valores atípicos por posibles errores en la recopilación de los datos.
- Para la determinación de las tasas de crecimiento del Tráfico Promedio Diario Anual TPDA, mediante la evolución del TPDA y modelo econométrico a partir de las variables socioeconómicas (PA, PO, PIB, COM) fue necesario realizar un análisis de regresión lineal de datos considerando las características de los datos: efectos individuales específicos y los efectos temporales.

Es importante mencionar que para verificar los resultados obtenidos empleando el lenguaje de programación R, fue necesario utilizar otros softwares que requieren licencia para su utilización, como ser: SPSS, STATA y Microsoft Excel.

Para mayor accesibilidad a la información, se realizó el diseño de una hoja de cálculo en Excel, que permita cumplir de manera eficiente el análisis y tratamiento a los volúmenes horarios, mensuales y anuales, y posteriormente determinar las características de los volúmenes de tráfico.



3.2. INVENTARIO DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE EN LAS ESTACIONES DE CONTEO VEHICULAR EN LA RVF DE CARRETRAS DE BOLIVIA

3.2.1. Recolección de información existente en las estaciones de conteo en la RVF

La primera etapa del trabajo de investigación consistió en la recolección de toda la información de volúmenes de tráfico en las estaciones de conteo vehicular ubicadas en la RVF, características de la RVF de carreteras de Bolivia, datos de las variables socioeconómicas, para lo cual fue necesario gestionar esta información en la Administradora Boliviana de Carreteras y a su vez, mediante esta institución, en el Instituto Nacional de Estadística (INE) y Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

Toda la información fue proporcionada por la ABC⁹, que es la institución encargada de administrar la RVF de carreteras de Bolivia y llevar adelante actividades de control, ubicación, recolección, monitoreo de las estaciones de conteo vehicular. La información recolectada de la ABC en la gestión 2018 y 2019 se presenta en la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Información Recolectada de la ABC en la gestión 2018-2019. Fuente: Propia en base a datos proporcionados ABC año 2018 y 2019.

.	DATOS	CARACTERISTICAS	FORMULARIOS/SISTEMAS	RESPUESTA/PERIODO
1	Estaciones de Conteo Vehicular en la RVF Base de datos SIS-COV (ABC) Nota: Cite: ABC/GNT/SCV/2019/0456 de fecha 26/09/2019	<ul style="list-style-type: none"> • Tramo RVF: Inicio-Fin • Nombre estación • Ruta • Tramo CV (Conservación Vial) • Ubicación Geográfica • Fecha Conteo • Sentido de Conteo 	Formulario de Campo para conteos de Clasificación de vehículos: <ul style="list-style-type: none"> • Eje vertical se registrar el número de vehículos que pasan cada hora durante 24 horas • Eje horizontal se encuentran los tipos de vehículos, se han definido 12 categorías, según ABC. 	Respuesta ABC: Entregó información para el periodo: 2013-2017, cinco (5) años de estudio.
2	RVF de Bolivia Archivos shapefile (ABC) Nota: Cite: ABC/GNT/SCV/2019/0456 de fecha 26/09/2019	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de las carreteras • Clasificación por: <ul style="list-style-type: none"> • Ruta • Tipo de superficie de rodadura • Poblaciones consideradas en la RVF 	Sistema de Coordenadas Empleado:	Respuesta ABC: Entregó información de datos válidos para el año 2017

⁹ Bajo el Convenio de Cooperación Interinstitucional de Modalidad de Graduación y/o Pasantía suscrito entre la Administradora Boliviana de Carreteras y la Universidad Mayor de San Andrés. Ver en Anexo I



Nº	DATOS	CARACTERISTICAS	FORMULARIOS/SISTEMAS	RESPUESTA/PERIODO
3	Consumo de Combustible Nota: Cite: ABC/GNT/SCV/2019/0456 de fecha 26/09/2019	<ul style="list-style-type: none"> Gasolina Diésel GNV 		Respuesta de la ABC: No se tiene respuesta de parte de la ANH, no se cuenta con esta información y no se pudo gestionar
4	Accidentabilidad Nota: Cite: ABC/GNT/SCV/2019/0456 de fecha 26/09/2019	Accidentabilidad en la RVF.		Respuesta de la ABC: La Información de accidentabilidad no se encuentra con suficiente record histórico para ser analizada, en este sentido, no es posible brindar esta información.
5	Población Producto Interno Bruto Nota: Cite: INE/DGE-DCN-DEIES Nº 001320/2018 de fecha 20/10/2018	<p>Población a Nivel: Departamental, municipal, provincial, sectorial, OTB's, comunidades</p> <p>Proyecciones de poblaciones a nivel de municipios 2000-2017</p> <p>Producto Interno Bruto (PIB) anual por departamento en valores constantes y corrientes, serie 2000-2017</p>	Planillas en Microsoft Excel. Documentos entregados en formato digital CD.	Respuesta de la ABC e INE: Censos 2001 y 2012

Nota: La Notas que respaldan la información proporcionada se encuentran en Anexo I

3.2.2. Características de la información

En la RVF de Carreteras de Bolivia se tienen ubicadas mediante coordenadas geográficas 228 estaciones de conteo vehicular, con información de volúmenes de tráfico a nivel horario y diario en el periodo 2013-2017. La tabla 3.2 presenta las características de la información de volúmenes de tráfico. Esta información es almacenada en una base de datos denominada SIS-COV desde el año 2013 a la fecha, administrada por la Subgerencia de Conservación Vial, perteneciente a la Gerencia Nacional Técnica de la ABC. Sobre la información de volúmenes de tráfico anteriores al año 2013, solo se tienen el documento Estadística Vial 1999-2003, donde se recopilaban los datos históricos del TPDA de los años 1991 a 1998, proporcionada por la ABC. La RVF de carretas para el año 2017 suma una extensión de 16416 km, se encuentra caracterizada por: (ver tabla 2.1 en el capítulo II, acápite 2.1.1)

- Rutas definidas y numeradas desde 1 a 45.
- Tramos definidos en la RVF: considerando la dirección del flujo en el sentido 1 (Inicio-Fin) y sentido 2 (Fin-Inicio), de los conteos de volúmenes vehiculares.
- Tipo de superficie de rodadura: ripio, pavimentada, pavimentada en construcción, en definición.



Tabla 3.2. Características de la Información recolectada en las estaciones de conteo. Fuente Elaboración propia

<p>Tipo de información recolectada:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundaria, se tuvo acceso a la información almacenada en la base de datos Sistema de Conteo Vehicular SIS-COV de la ABC. Información almacenada desde el año 2013 a la fecha. 	<p>Base de datos ABC: SIS-COV</p> 
<p>Tipo de Estación de conteo:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estación de conteo Temporal de Control Secundario • La frecuencia de toma de datos es: un dato al mes , todos los meses del año. 	<p>Estación de Conteo</p> <p>Lugar señalado:</p>
<p>Método empleado para la medición de volúmenes de tráfico:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Método Manual • A cargo de las Microempresas que realizan el mantenimiento de las RVF contratadas por la ABC: • Emplean personal capacitado. • Una persona por sentido, total dos personas. • Toma de datos por estación de conteo realizando relevos cada 8 horas, según el siguiente horario: 00:00 a 08:00 (Nº 2 personas), 08:00 a 16:00 (2 personas), 16:00 a 24:00 (2 personas) 	
<p>Tecnologías empleadas:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formulario de campo para conteo de clasificación de vehículos por sentido: (Ver figura 1.2) • Formulario presenta dos ejes, en las abscisas se registran el volumen de tráfico por tipo de vehículo y en las ordenadas se mide el tiempo en horas. • Toma de datos es por: Sentido 1: Tramo Inicio-fin, Sentido 2: Tramo Fin-Inicio • Tiempo de toma de datos es de: 00:00 a 24:00 horas, • Clasificación de vehículos según la ABC en 12 tipos. (Ver figura 2.22) 	



La ABC, ha definido 104 tramos en la RVF, en varios casos estos tramos contienen a más de 1 estación de conteo vehicular e intersecciones de rutas de la RVF. Con la finalidad de identificar tramos que no sean tan extensos se ha considerado sub dividir estos tramos, tomando en cuenta su ubicación geográfica entre cruces de rutas y/o intersecciones, obteniéndose un total de 113 sub-tramos en la RVF.

Para un mejor análisis de la información de volúmenes de tráfico en las estaciones de conteo se decidió numerarlas correlativamente en función: a la dirección al flujo (tramo inicio-fin) y ruta a la que pertenece. La numeración definida por la ABC para cada estación de conteo se mantuvo con su respectivo código.

La definición de sub-tramos y numeración correlativa de las estaciones de conteo vehicular permitirán realizar un mejor análisis al comportamiento del flujo vehicular en la RVF de carreteras de Bolivia.

A continuación, se presenta la tabla 3.3 estaciones de conteo vehicular según numeración y tramos definidos por la ABC y según numeración y sub-tramos definidos en el presente estudio, para la Ruta 1. En Anexo III se encuentran todas las estaciones de conteo.

Tabla 3.3. Estaciones de conteo vehicular y tramos de la RVF, según ABC y el presente estudio. Fuente: Propia en base a datos proporcionados ABC año 2018 y 2019.

RUTA Nº 1					
Nº EST. (S/ABC)	Nº EST. (S/EST.)	TRAMO (ABC)	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	DEPTO.	SUB-TRAMOS
61	1	DESAGUADERO-EX TRANCA RIO SECO	GUAQUI (TRANCA PUESTO MILITAR)	LA PAZ	
60	2	DESAGUADERO-EX TRANCA RIO SECO	CRUCE TIAHUANACU	LA PAZ	
59	3	DESAGUADERO-EX TRANCA RIO SECO	RETEN LAJA	LA PAZ	1
261	4	LA PAZ-ORURO	ACHICA ARRIBA	LA PAZ	2
263	5	LA PAZ-ORURO	SICA SICA	LA PAZ	
262	6	LA PAZ-ORURO	KONANI	LA PAZ	
264	7	LA PAZ-ORURO	QUEMALLA	ORURO	3
265	8	LA PAZ-ORURO	SAN PEDRO	ORURO	4
167	9	ORURO-MACHACAMARQUITA	SORA	ORURO	5
168	10	MACHACAMARQUITA-CHALLAPATA	PAZÑA	ORURO	6
169	11	CHALLAPATA-CRUCE RUTA 32	CHALLAPATA	ORURO	
170	12	CRUCE RUTA 32-POTOSI	VENTILLA	ORURO	
185	13	CRUCE RUTA 32-POTOSI	CHALLA MAYU	POTOSÍ	
186	14	CRUCE RUTA 32-POTOSI	YOCALLA (710)	POTOSÍ	
187	15	CRUCE RUTA 32-POTOSI	SAN ANTONIO (712)	POTOSÍ	7
201	16	POTOSI-CUCHO INGENIO	RETEN VILLA CONSEPCIÓN	POTOSÍ	8
202	17	CUCHO INGENIO-LAS CARRERAS	CUCHO INGENIO (716)	POTOSÍ	
199	18	LAS CARRERAS-CRUCE RUTA 11	PALCA GRANDE	TARIJA	9
200	19	LAS CARRERAS-CRUCE RUTA 11	RANCHO NORTE	TARIJA	10
91	20	CRUCE CONCEPCIÓN-PADCAYA	CALAMUCHITA	TARIJA	11
92	21	PADCAYA-BERMEJO	RIO NEGRO	TARIJA	12

Nota: S/ABC= Denominación definida por la ABC, S/EST.= Denominación definido en el presente estudio. En Anexo III se encuentran todas las estaciones de conteo



3.2.3. Selección del periodo de estudio

La información proporcionada por la ABC fue en el periodo 2013 al 2017. Revisada la información se observó que existen estaciones que fueron monitoreadas un solo año, o dos años y posteriormente no se tiene información, también existen datos en un récord histórico menor a un año. A fin de realizar un análisis y tratamiento de los datos, en las estaciones de conteo vehicular en RVF, se considera todas las estaciones con datos en su respectivo récord históricos. En la tabla 3.4 se presenta el cronograma de registro de información de volúmenes de tráfico para la Ruta 1. En el gráfico 3.1 el periodo de estudio elegido.

3.3. UBICACIÓN PRECISA DE LAS ESTACIONES DE CONTEO VEHICULAR EN LA RVF DE CARRETERAS DE BOLIVIA

A fin de mejorar el conocimiento de la red de estaciones de conteo vehicular en la RVF, fue necesario trabajar sobre el SIG, se creó una capa denominada “Estaciones de Conteo.shp”, y otra “RVF.shp” de carretas, adicionalmente se utilizó información sobre límites provinciales departamentales y nacionales del país, extraído de la base de datos disponible en la web GEOBOLIVIA.

Permitió visualizar la distribución de las 228 estaciones de conteo en la RVF, e identificar que 42 estaciones presentaban coordenadas aproximadas y 32 estaciones sin con coordenadas geográficas. Para poder ubicarlas y referenciarlas se solicitó apoyo a la ABC, obteniendo la referencia geográfica de las estaciones que se encuentran en operación y de la que no se encuentran en operación no se obtuvo información. Aun con la información proporcionada se tenían muchas estaciones sin ubicación, para verificar e identificar la ubicación geográfica de todas las estaciones fue necesario utilizar los siguientes criterios:

- Nombre de municipios, provincias, sectores, comunidades y estancias.
- Nombre de puestos de control: Peajes
- Nombre de surtidores de combustible
- Nombre de centro productivos, educativos, salud
- Referencias sociales, Google maps

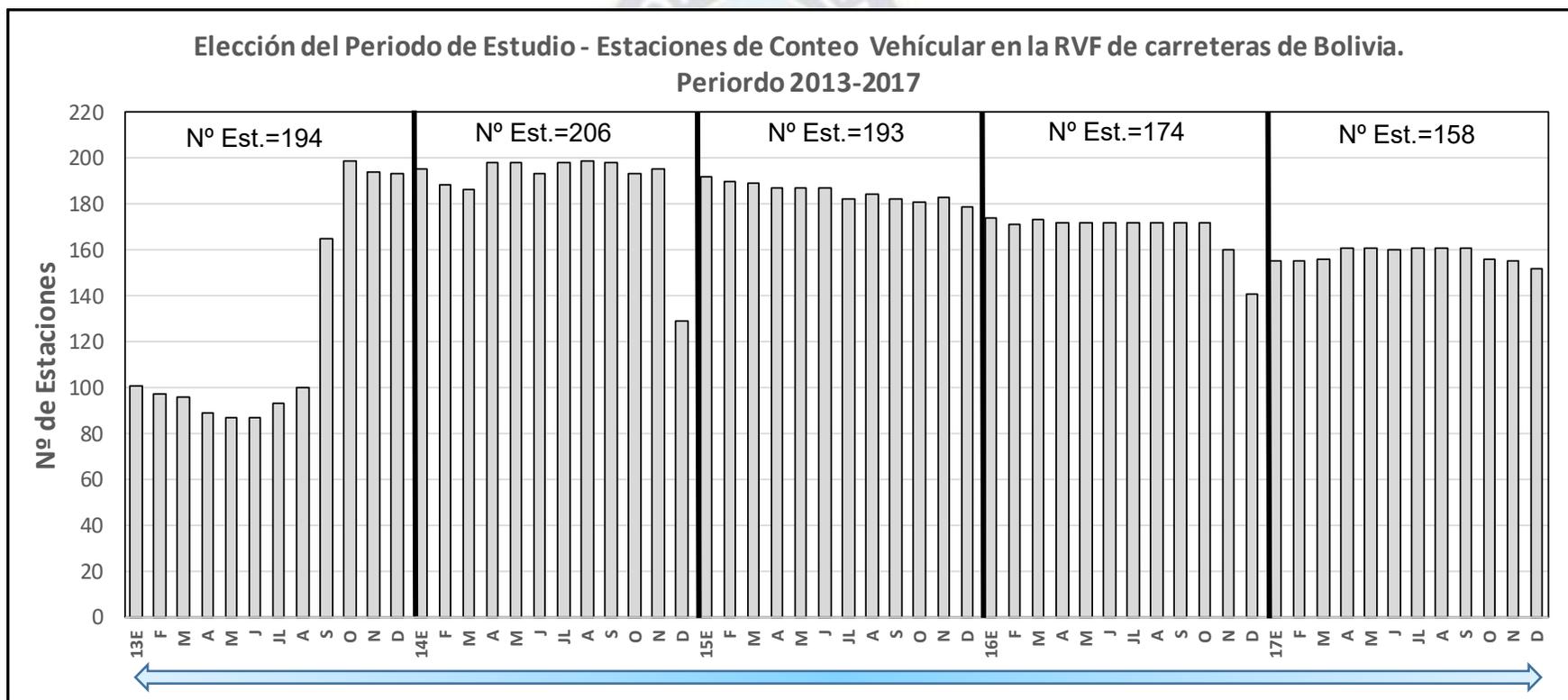
Este criterio permitió ubicar todas las estaciones de conteo vehicular en la RVF de Bolivia.

En la siguiente página se presenta la tabla 3.5 inventario de las estaciones de conteo vehicular en la RVF, ruta 1 y ruta 3, número de estación, tramo inicio-fin, definido por ABC y CV, cobertura de datos, coordenadas geográficas y departamento. En el Anexo III se encuentra el inventario completo de las 228 estaciones de conteo vehicular.

Se presenta el grafico 3.2 y 3.3 Mapa de ubicación de estaciones de conteo vehicular en la RVF de carreteras de Bolivia por ruta y tipo de superficie de rodadura.



Gráfico 3.1. Elección del periodo de estudio. Fuente Elaboración propia



El análisis y tratamiento de la información se lo ha realizado en todo el periodo 2013-2017



Tabla 3.5. Inventario de Estaciones de Conteo Vehicular en la RVF de carreteras de Bolivia. Fuente Propia en base a datos proporcionados por ABC año 2018

RUTA Nº 1										
Nº EST. (S/ABC)	Nº EST.(S/EST.)	TRAMO (ABC)	TRAMO CV	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	COBERTURA	LATITUD(1)	LONGITUD(1)	DEPTO.	ADMINISTRADOR	SUB-TRAMOS
61	1	DESAGUADERO-EX TRANCA RIO SECO	LP13	GUAQUI (TRANCA PUESTO MILITAR)	2013 - 2014	-16.600333	-68.851556	LA PAZ	ABC	
60	2	DESAGUADERO-EX TRANCA RIO SECO	LP13	CRUCE TIAHUANACU	2013 - 2016	-16.571222	-68.673583	LA PAZ	ABC	
59	3	DESAGUADERO-EX TRANCA RIO SECO	LP13	RETEN LAJA	2013 - 2014	-16.531278	-68.386750	LA PAZ	ABC	1
261	4	LA PAZ-ORURO	LP09	ACHICA ARRIBA	2017 - 2017	-16.722889	-68.185672	LA PAZ	ABC	2
263	5	LA PAZ-ORURO	LP09	SICA SICA	2017 - 2017	-17.325258	-67.754239	LA PAZ	ABC	
262	6	LA PAZ-ORURO	LP09	KONANI	2017 - 2017	-17.436456	-67.520836	LA PAZ	ABC	
264	7	LA PAZ-ORURO	LP09	QUEMALLA	2017 - 2017	-17.587586	-67.297981	ORURO	ABC	3
265	8	LA PAZ-ORURO	LP09	SAN PEDRO	2017 - 2017	-17.825419	-67.149819	ORURO	ABC	4
167	9	ORURO-MACHACAMARQUITA	OR07	SORA	2013 - 2017	-18.106603	-67.005419	ORURO	ABC	5
168	10	MACHACAMARQUITA-CHALLAPATA	OR07	PAZÑA	2013 - 2017	-18.603867	-66.910942	ORURO	ABC	6
169	11	CHALLAPATA-CRUCE RUTA 32	PT02	CHALLAPATA	2013 - 2017	-18.864747	-66.615553	ORURO	ABC	
170	12	CRUCE RUTA 32-POTOSI	PT02	VENTILLA	2013 - 2017	-19.075850	-66.212072	ORURO	ABC	
185	13	CRUCE RUTA 32-POTOSI	PT02	CHALLA MAYU	2013 - 2017	-19.189956	-66.087650	POTOSÍ	ABC	
186	14	CRUCE RUTA 32-POTOSI	PT02	YOCALLA (710)	2013 - 2017	-19.389786	-65.909028	POTOSÍ	ABC	
187	15	CRUCE RUTA 32-POTOSI	PT02	SAN ANTONIO (712)	2013 - 2017	-19.572844	-65.793875	POTOSÍ	ABC	7
201	16	POTOSI-CUCHO INGENIO	PT01	RETEN VILLA CONSEPCIÓN	2013 - 2017	-19.687881	-65.752372	POTOSÍ	ABC	8
202	17	CUCHO INGENIO-LAS CARRERAS	PT09	CUCHO INGENIO (716)	2013 - 2016	-19.880533	-65.679847	POTOSÍ	ABC	
199	18	LAS CARRERAS-CRUCE RUTA 11	TJ05	PALCA GRANDE	2016 - 2017	-20.746622	-65.239072	TARIJA	ABC	9
200	19	LAS CARRERAS-CRUCE RUTA 11	TJ05	RANCHO NORTE	2013 - 2017	-21.436611	-64.752278	TARIJA	ABC	10
91	20	CRUCE CONCEPCIÓN-PADCAYA	TJ03	CALAMUCHITA	2013 - 2017	-21.707747	-64.604394	TARIJA	ABC	11
92	21	PADCAYA-BERMEJO	TJ03	RÍO NEGRO	2013 - 2017	-22.103378	-64.672900	TARIJA	ABC	12

RUTA Nº 3										
Nº EST. (S/ABC)	Nº EST.(S/EST.)	TRAMO (ABC)	TRAMO CV	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	COBERTURA	LATITUD(1)	LONGITUD(1)	DEPTO.	ADMINISTRADOR	SUB-TRAMOS
67	27	LA CUMBRE-UNDUAVI	LP01	RETEN ANTINARCOTICOS LA RINCONADA	2014 - 2017	-16.323192	-68.009967	LA PAZ	ABC	16
68	28	UNDUAVI-CARANAVI	LP01	CRUCE CHUSPIPATA	2014 - 2017	-16.309447	-67.903064	LA PAZ	ABC	17
69	29	UNDUAVI-CARANAVI	LP01	CRUCE SUAPI	2014 - 2017	-16.168486	-67.727703	LA PAZ	ABC	18
53	30	CARANAVI-YUCUMO	LP03R	RETEN DE PEAJE YUCUMO	2013 - 2014	-15.163933	-67.032647	BENI	ABC	19
270	31	CRUCE RURRENABAQUE-YUCUMO	LP03R	RETEN DE PEAJE YUCUMO	2017 - 2017	-15.146652	-67.031544	BENI	ABC	
207	32	YUCUMO-CRUCE RUTA 24	BN02	RETEN DE PEAJE PUENTE RIO MANIQUI	2013 - 2016	-14.872208	-66.728616	BENI	ABC	20
206	33	CRUCE RUTA 24-TRINIDAD	BN03	SAN IGNACIO DE MOXOS	2013 - 2016	-14.995744	-65.641700	BENI	ABC	
205	34	CRUCE RUTA 24-TRINIDAD	NA01	PUENTE RÍO IBARE	2014 - 2017	-14.937917	-64.645083	BENI	ABC	21

Referencias:

Estaciones ubicadas fuera de la RVF

Estaciones sin coordenadas

(1) Estaciones con coordenadas ajustadas y verificadas



Gráfico 3.2. Mapa de Ubicación de las estaciones de conteo vehicular en la RVF de Bolivia Clasificada por Rutas Periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018



Gráfico 3.3. Mapa de Ubicación de las estaciones de conteo vehicular en la RVF de Bolivia Clasificada por Tipo de superficie de rodadura. Periodo 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018

3.4. PRIMER ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE VOLÚMENES DE TRÁFICO

Para conocer la calidad de la información es necesario hacer una serie de chequeos tanto en representatividad como en calidad. El análisis de la información de volúmenes de tráfico se realizó sobre los datos horarios.

3.4.1. Análisis estadístico a las series de volúmenes de tráfico horarios – Identificación de errores graves y lagunas en las series de datos.

Con la finalidad de identificar errores graves (extremos) en las series de volúmenes de tráfico horario, se realizó la estimación por intervalo y nivel de confianza basados en el teorema de Chebyshev, La estimación por intervalo, establece un intervalo dentro del cual es muy probable que se encuentren los datos. El nivel de confianza, se usa para indicar la probabilidad de que una estimación por intervalo contenga los datos. Dada una distribución de un conjunto de observaciones de tamaño suficientemente grande, que es simétrica y forma aproximadamente acampanada se definen los intervalos y nivel de confianza:

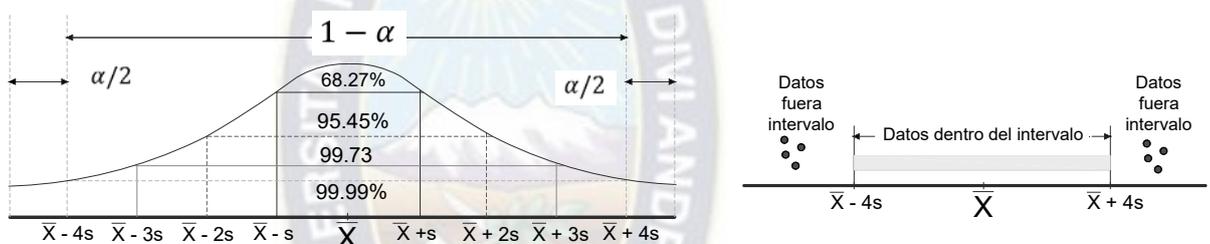


Gráfico 3.4. Distribución de probabilidad, intervalos y nivel de confianza. Fuente: Moya, 1999

Siguiendo las recomendaciones de Mendenhall y Terry, 1997, el método más obvio para determinar si una observación es un valor fuera de un intervalo o no es calcular su valor de “z”. El valor de “z” de un valor “x” de un conjunto de datos es la distancia a la que se encuentra “x” por arriba o por debajo de la media (\bar{X}), medida en unidades de la desviación estándar (s). Valor de “z” de la muestra = $(x - \bar{X})/s$, se lo puede determinar a partir de las tablas de probabilidades (nivel de confianza) para la distribución normal, presentadas en el anexo VI.

Un valor de “z” negativo indica que la observación queda a la izquierda de la media, un valor de “z” positivo indica que la observación queda a la derecha de la media. Además, por REGLA EMPIRICA, se sabe que la mayor parte de las observaciones de un conjunto de datos están a menos de dos desviaciones estándar de la media (es decir, tiene valores de “z” menores que 2 en valor absoluto) y que casi todas están a menos de tres desviaciones estándar de la media (es decir, tiene valores de “z” menores que 3 en valor absoluto). Si el valor es menor que tres, en valor absoluto, esto quiere decir que se encuentra dentro del intervalo esperado, en otro caso el valor se considera atípico.



El análisis fue aplicado a las 228 estaciones de conteo, con un nivel de confianza del 99% y nivel de significancia del $\alpha=1\%$, identificándose datos atípicos y por lo general atribuible a una de las siguientes causas:

a) La determinación se observa, registra o introduce en forma incorrecta

Por ejemplo: Errores de tecleo al introducir los datos, adición y/u omisión de una cifra, error en la fecha del conteo. Cuando no se realizó el conteo de volúmenes, se introdujo en la base de datos valores cero (0).

b) La determinación proviene de una muestra distinta.

Por ejemplo: Repetición de datos de una estación de conteo en otra estación de conteo cercana

c) La determinación es correcta, pero presenta un suceso poco común.

Por ejemplo: Datos constante por varias horas (más de 6 horas continuas)

Como ejemplo del análisis en la Estación 55 Reten de Peaje San Carlos, Ruta 4, se identifican y muestran los errores del tipo a y b descritos anteriormente. La tabla 3.6 se elaboró de acuerdo a la regla descrita anteriormente y describe la posición relativa del dato, para la Estación 55. Se muestra con color amarillo los valores atípicos fuera del intervalo. En muchos casos, estos errores se identificaron y verificaron al realizar el gráfico del histograma de variación horaria, como el que se ilustra en el gráfico 3.5.

Gráfico 3.5. Histograma de variación horaria. Estación 55 Reten de Peaje San Carlos, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018

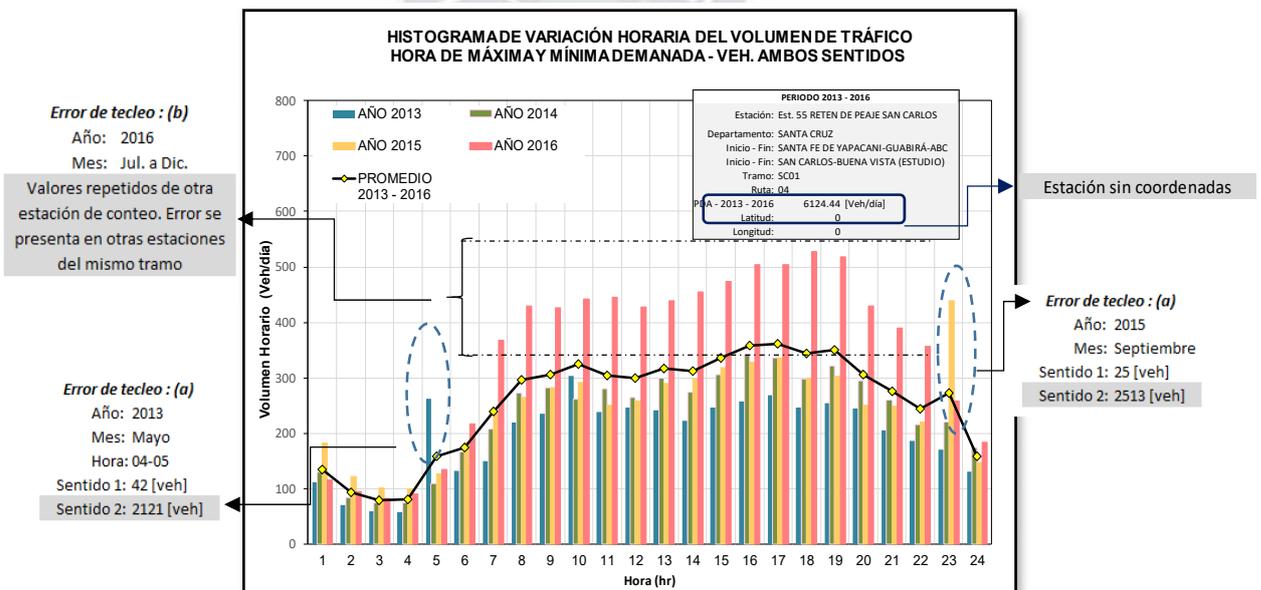




Tabla 3.6. Posición relativa del dato (z) para un nivel de confianza del 99%. Estación 55 Reten de Peaje San Carlos, Ruta 4. Ambos sentidos (1+2). Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018

AÑO	MES	HORA																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2013	ENERO	-0.26	-0.09	-0.17	-0.06	-0.25	-0.18	-0.30	-0.09	0.22	0.09	0.28	1.06	0.97	0.01	0.17	0.27	0.13	-0.03	0.12	0.03	-0.20	-0.17	-0.16	-0.73
	FEBRERO	-2.23	-2.04	-2.22	-2.20	-0.51	-2.12	-1.80	-2.03	-2.09	-1.55	-2.03	-2.08	-2.26	-2.12	-2.27	-2.17	-2.26	-1.91	-1.99	-2.12	-2.37	-1.92	-0.71	-2.39
	MARZO	-2.23	-2.04	-2.22	-2.20	-0.51	-2.12	-1.80	-2.03	-2.09	-1.55	-2.03	-2.08	-2.26	-2.12	-2.27	-2.17	-2.26	-1.91	-1.99	-2.12	-2.37	-1.92	-0.71	-2.39
	ABRIL	0.29	0.24	-0.90	-0.34	-0.23	-0.20	-0.84	-0.10	-0.48	-0.47	-0.37	-0.38	-0.32	-0.31	-0.45	-0.42	-0.07	0.29	-0.17	-0.16	-0.51	-0.24	-0.24	-0.24
	MAYO	-0.03	-0.05	-0.08	-0.36	6.63	0.08	-1.21	-0.59	-0.61	-0.28	-0.87	-0.64	-0.66	-0.64	0.07	-0.52	-0.55	-0.30	-0.53	-0.41	-0.42	0.15	-0.29	-0.01
	JUNIO	-0.86	-0.98	-0.90	-0.83	-0.28	-0.48	-0.88	-0.33	0.32	-0.11	0.22	0.34	-0.13	-0.69	-0.42	-0.74	-0.57	-0.53	-0.17	-0.28	-0.52	-0.33	-0.25	-0.24
	JULIO	0.02	0.15	0.79	-0.47	-0.19	-0.37	-0.27	0.13	0.12	0.22	0.01	0.61	0.07	0.62	0.49	0.10	-0.05	0.17	0.12	0.37	0.44	0.18	-0.23	-0.18
	AGOSTO	0.22	-0.18	0.31	-0.31	-0.09	-0.01	-0.41	0.07	-0.18	-0.46	-0.15	-0.18	-0.25	-0.22	-0.50	-0.17	-0.07	-0.72	0.16	0.11	0.17	0.17	0.17	0.17
	SEPTIEMBRE	0.29	0.24	-0.90	-0.34	-0.23	-0.20	-0.84	-0.10	-0.48	-0.47	-0.37	-0.38	-0.32	-0.31	-0.45	-0.42	-0.07	0.29	-0.17	-0.16	-0.51	-0.24	-0.24	-0.24
	OCTUBRE	-0.18	-0.53	-0.98	-0.61	-0.21	-0.19	-0.30	-0.13	-0.25	-0.33	-0.24	-0.33	-0.21	-0.38	0.01	0.25	-0.36	-0.35	-0.48	0.04	0.02	-0.24	-0.24	-0.24
	NOVIEMBRE	-0.03	-0.07	-0.48	0.13	-0.09	0.00	0.49	-0.52	-0.64	-0.60	0.02	-0.15	-0.33	-0.53	-0.36	-0.17	-0.25	-0.45	-0.29	-0.22	-0.47	-0.30	-0.30	-0.30
	NOVIEMBRE	0.32	-0.38	-0.22	-0.34	-0.24	-0.30	0.13	-0.13	0.23	4.43	-0.09	0.25	0.29	0.20	0.85	-0.69	-0.33	-0.39	-0.56	0.18	-0.46	-0.32	-0.32	-0.32
2014	ENERO	-0.43	-0.58	-0.84	-0.25	-0.24	-0.99	0.20	-0.19	-0.59	-0.30	0.31	-0.23	0.20	-0.22	-0.56	-0.31	-0.01	-0.25	0.01	-0.28	-0.05	-0.16	-0.18	0.12
	FEBRERO	-0.25	0.31	-0.20	-0.12	-0.22	-0.13	-0.60	-0.42	-0.37	-0.37	-0.35	-0.41	-0.25	-0.24	-0.19	0.00	-0.64	-0.36	-0.24	-0.63	-0.32	-0.32	-0.09	0.02
	MARZO	0.15	-0.36	-0.28	-0.39	-0.23	-0.32	-0.47	0.07	-0.42	-0.31	-0.08	-0.24	-0.38	-0.47	-0.05	-0.29	0.01	-0.46	0.13	0.03	0.15	-0.09	-0.17	0.09
	ABRIL	0.57	0.53	0.34	0.27	-0.01	-0.02	-0.42	-0.14	-0.09	-0.61	-0.10	-0.11	-0.02	0.00	-0.11	0.08	0.08	-0.34	-0.25	-0.36	-0.14	0.01	-0.10	0.91
	MAYO	-0.86	-0.62	-0.81	-0.64	-0.24	-0.36	-0.91	-0.22	0.40	-0.36	-0.62	-0.06	0.18	-0.47	-0.89	-0.63	-0.67	-0.82	-0.56	-0.52	-0.55	-0.35	-0.28	-0.03
	JUNIO	-0.20	-0.05	-0.34	-0.50	-0.21	0.20	-0.43	-0.30	-0.24	-0.46	-0.41	-0.76	-0.53	-0.51	-0.14	0.02	-0.10	0.05	-0.18	-0.41	-0.32	-0.06	-0.11	0.08
	JULIO	-0.31	-1.11	-0.84	-0.61	-0.23	-0.48	-0.39	0.03	0.44	-0.30	-0.02	-0.17	-0.09	-0.11	0.24	0.11	-0.11	0.07	-0.21	0.23	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
	AGOSTO	-0.31	-1.11	-0.84	-0.61	-0.23	-0.48	-0.39	0.03	0.44	-0.30	-0.02	-0.17	-0.09	-0.11	0.24	0.11	0.11	0.07	-0.21	0.23	-0.03	-0.03	-0.49	-0.49
	SEPTIEMBRE	0.20	0.20	-0.08	0.35	-0.04	0.05	0.52	-0.29	-0.55	-0.29	-0.37	-0.29	0.04	-0.20	0.20	0.23	0.20	-0.30	-0.12	0.23	0.07	0.07	-0.05	0.03
	OCTUBRE	0.55	1.13	0.20	0.73	-0.06	0.92	0.46	0.17	0.31	-0.04	0.40	-0.13	0.08	-0.14	-0.38	-0.01	0.01	-0.10	-0.48	0.89	-0.42	-0.13	-0.06	1.04
	NOVIEMBRE	-0.35	-0.11	0.56	0.05	-0.06	0.39	-0.27	-0.31	-0.34	-0.18	-0.62	-0.42	-0.59	-0.49	-0.35	-0.18	-0.56	-0.25	-0.15	-0.18	-0.06	-0.24	-0.22	-0.13
	NOVIEMBRE	0.30	-0.33	1.49	-0.06	-0.13	-0.06	-0.19	-0.49	-1.02	-0.15	-0.08	0.05	-0.07	-0.21	-0.51	-0.32	-0.45	-0.41	0.29	-0.16	-0.01	-0.54	-0.03	0.55
2015	ENERO	-0.10	-0.84	-0.20	-1.16	-0.23	-0.41	0.35	0.32	-0.22	0.76	-0.70	-0.02	-0.12	0.16	0.29	-0.11	0.11	-0.05	-0.19	0.06	-0.01	-0.03	-0.17	0.08
	FEBRERO	0.62	0.06	0.82	0.10	-0.22	-0.12	0.46	0.06	0.40	0.03	0.46	-0.04	0.17	0.51	0.25	-0.46	0.03	0.14	0.01	0.22	0.27	0.40	-0.01	0.52
	MARZO	-1.11	-0.69	-1.24	-1.13	-0.37	-1.09	-1.23	-1.02	-0.91	-0.63	-1.11	-0.81	-0.73	-0.89	-0.70	-0.71	-0.70	-0.65	-0.82	-0.65	-0.91	-0.58	-0.39	-1.33
	ABRIL	-0.31	0.29	-0.20	0.27	-0.10	-0.32	-0.61	-0.35	-0.11	-0.43	-0.31	-0.09	-0.14	0.23	-0.72	-0.23	-0.77	-0.23	-0.38	-0.27	-0.35	-0.40	-0.04	-0.69
	MAYO	-0.45	-0.38	0.08	-0.42	-0.14	-0.58	-0.39	-0.86	-0.73	-0.63	-1.07	-1.07	-0.61	-0.28	-0.25	-0.16	0.60	-0.63	-0.35	0.02	0.10	-0.35	-0.19	-0.01
	JUNIO	0.45	2.10	1.43	0.95	-0.07	0.24	-0.61	-0.90	-0.59	-0.64	-0.88	-0.96	-0.57	-0.61	-0.89	-0.60	-0.65	-0.26	-0.83	-0.70	-0.77	-0.93	-0.37	-0.81
	JULIO	0.35	0.09	-0.25	0.46	-0.19	-0.08	0.07	-0.15	-0.03	-0.01	-0.26	-0.28	-0.79	-0.50	-0.25	0.20	0.25	0.16	0.09	-0.09	0.03	0.45	0.08	-0.79
	AGOSTO	1.85	0.62	1.12	0.49	-0.04	0.37	0.08	0.20	-0.31	-0.24	-0.14	0.19	-0.16	-0.01	-0.23	0.05	0.36	-0.42	-0.65	-0.29	-0.05	0.43	-0.13	1.18
	SEPTIEMBRE	2.95	2.14	0.34	0.92	-0.07	0.55	1.22	0.60	0.30	0.17	-0.23	0.20	-0.04	0.29	-0.04	-0.23	-0.37	-0.16	0.52	-1.52	0.18	0.12	6.52	0.64
	OCTUBRE	3.60	2.61	3.01	3.09	0.23	2.46	0.43	0.54	0.03	0.19	0.57	-0.35	1.07	0.06	0.97	0.50	-0.07	-0.30	-0.27	-0.32	-0.27	-0.38	-0.27	0.14
	NOVIEMBRE	1.02	1.15	1.97	2.27	0.06	2.21	-0.21	-0.91	0.31	-0.32	-0.32	0.00	-0.31	0.00	0.18	-0.31	-0.56	-0.32	-0.08	-0.68	-0.83	-0.82	-0.33	-0.87
	NOVIEMBRE	0.40	0.04	-0.06	-0.06	-0.20	0.02	-0.24	-0.55	-0.63	-0.32	0.12	-0.29	0.22	0.02	0.29	0.10	0.12	-0.01	0.35	0.09	0.18	-0.21	-0.15	0.14
2016	ENERO	-0.63	0.33	0.39	0.49	-0.16	-0.63	0.22	-0.12	0.15	-0.09	-0.28	0.04	-0.14	-0.32	-0.06	0.22	0.35	0.10	-0.13	-0.04	0.46	0.62	-0.05	1.76
	MARZO	-0.95	-0.75	-1.15	-1.27	-0.29	-0.85	-0.30	-0.46	-0.97	-0.50	-0.30	-0.47	-0.31	-0.54	-0.42	-0.76	-0.47	-0.45	-0.51	-0.27	-0.22	-0.47	-0.27	-1.02
	ABRIL	-0.30	-1.00	-0.08	-0.17	-0.17	-0.25	-0.39	-0.61	-0.16	-0.14	-0.47	-0.33	-0.12	0.28	0.08	-0.28	-0.56	-0.83	-0.79	-0.32	-0.44	-0.28	-0.11	0.32
	MAYO	0.22	1.15	0.68	1.01	-0.14	-0.17	-0.32	-0.22	-0.57	-0.17	0.00	0.14	0.08	-0.15	-0.19	-0.48	-0.48	0.28	-0.22	-0.41	-0.34	-0.17	-0.21	-1.60
	JUNIO	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	JULIO	-1.03	-1.00	-1.01	0.16	-0.05	0.82	1.71	2.22	1.97	1.77	2.37	2.57	2.64	3.07	2.56	2.89	3.02	2.96	2.46	1.33	3.17	4.76	0.89	3.60
	AGOSTO	-0.26	-0.02	0.76	0.76	-0.12	-0.58	1.94	2.22	3.44	2.54	2.75	3.15	2.80	2.92	3.06	3.10	2.29	2.45	1.45	1.50	2.07	1.50	0.11	-0.30
	SEPTIEMBRE	-0.75	-0.40	0.51	-0.14	-0.10	0.49	1.09	1.62	1.85	0.55	1.41	2.54	1.53	2.19	1.96	2.18	2.48	2.80	3.48	3.84	2.77	2.02	-0.10	-0.48
	OCTUBRE	-0.65	-1.22	-1.01	-1.29	-0.09	0.90	1.86	2.12	2.02	0.56	1.39	1.19	0.98	0.85	1.24	1.14	1.07	1.50	1.81	1.18	1.35	1.46	0.28	1.08
	NOVIEMBRE	0.54	2.10	1.55	2.46	0.41	4.38	2.71	1.94	2.15	2.11	3.09	2.07	2.74	2.46	2.54	2.46	1.19	1.14	1.26	1.04	0.69	0.48	-0.16	-0.26
	NOVIEMBRE	-0.41	0.06	-0.06	0.35	-0.09	1.56	2.92	3.06	0.98	1.01	1.78	0.69	1.23	1.14	0.31	0.63	2.46	2.64	2.61	2.87	2.19	1.14	-0.26	0.49

Los valores de "z" son idénticos, lo que permite identificar valores atípicos.

Error de tceleo : (a)

Error de tceleo : (b)



En varias estaciones se identificaron lagunas en un solo sentido de conteo, en varios meses y años, también se identificaron que se realizaron dos conteos por mes, situación que no es posible, ya que la frecuencia de toma de datos de conteo es una vez al mes el mismo día del año en toda RVF. Se detectó supuestas lagunas provenientes de errores de tecleo en la fecha de conteo, para identificar la fecha correcta nos basamos en el cronograma de conteos vehiculares definidos por la ABC, el cual se lo presenta en la tabla 3.7. En la tabla 3.8, se muestra supuestas lagunas en un sentido de flujo vehicular, Estación 44 Reten de Peaje Suticollo, Ruta 4.

Tabla 3.7. Cronograma de Conteos vehiculares definidos por la ABC en la RVF de carreteras de Bolivia. Periodo 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de ABC, 2018.

MESES	DÍA DE LA SEMANA	AÑOS DE REGISTRO DE DATOS - PERIODO DE ESTUDIO				
		2013	2014	2015	2016	2017
ENERO	SABADO	19	18	17	16	14
FEBRERO	VIERNES	15	14	13	19	17
MARZO	JUEVES	14	13	19	17	30
ABRIL	MIÉRCOLES	17	16	22	13	12
MAYO	MARTES	14	13	12	17	16
JUNIO	LUNES	17	16	15	13	12
JULIO	SABADO	13	19	18	23	29
AGOSTO	VIERNES	23	15	14	19	18
SEPTIEMBRE	JUEVES	19	18	17	15	21
OCTUBRE	MIÉRCOLES	16	15	14	19	18
NOVIEMBRE	MARTES	12	18	17	15	14
DICIEMBRE	LUNES	16	15	14	19	18

Tabla 3.8. Ajuste de fechas en el registro de datos. Estación 44 Reten de Peaje Suticollo, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia.

GESTION	SENTIDO	MESES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2013	1												
	2	19/01/2013	15/02/2013	14/03/2013	17/04/2013	14/05/2013	17/06/2013	13/07/2013	23/08/2013	19/09/2013	16/10/2013	12/11/2013	16/12/2013
2014	1	18/01/2014	14/02/2014	13/03/2014	16/04/2014	13/05/2014	16/06/2014	19/07/2014	15/08/2014	18/09/2014	15/10/2014	18/11/2014	15/12/2014
	2	18/01/2014	14/02/2014	13/03/2014	16/04/2014	13/05/2014	16/06/2014	19/07/2014	15/08/2014	18/09/2014	15/10/2014	18/11/2014	15/12/2014
2015	1	17/01/2015	13/02/2015	19/03/2015	22/04/2015	12/05/2015	15/06/2015	18/07/2015	14/08/2015	17/09/2015	14/10/2015	17/11/2015	14/12/2015
	2	17/01/2015	13/02/2015	19/03/2015	22/04/2015	12/05/2015	15/06/2015	18/07/2015	14/08/2015	17/09/2015	14/10/2015	17/11/2015	14/12/2015
2016	1	16/01/2016	19/02/2016	17/03/2016	13/04/2016	17/05/2016	13/06/2016	23/07/2016	19/08/2016	15/09/2016	19/10/2016	15/11/2016	19/12/2016
	2	16/01/2016	19/02/2016	17/03/2016	13/04/2016	17/05/2016	13/06/2016	23/07/2016	19/08/2016	15/09/2016	19/10/2016	15/11/2016	19/12/2016
2017	1	14/01/2017	17/02/2017	30/03/2017	12/04/2017	16/05/2017	12/06/2017	29/07/2017	18/08/2017	21/09/2017	18/10/2017	14/11/2017	18/12/2017
	2	14/01/2017	17/02/2017	30/03/2017	12/04/2017	16/05/2017	12/06/2017	29/07/2017	18/08/2017	21/09/2017	18/10/2017	14/11/2017	18/12/2017

Datos faltantes (lagunas)

Fechas ajustadas en base al cronograma de conteos ABC.

GESTION	SENTIDO	MESES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2013	1	19/01/2013	15/02/2013	14/03/2013	17/04/2013	14/05/2013	17/06/2013	13/07/2013	23/08/2013	19/09/2013	16/10/2013	12/11/2013	16/12/2013
	2	19/01/2013	15/02/2013	14/03/2013	17/04/2013	14/05/2013	17/06/2013	13/07/2013	23/08/2013	19/09/2013	16/10/2013	12/11/2013	16/12/2013
2014	1	18/01/2014	14/02/2014	13/03/2014	16/04/2014	13/05/2014	16/06/2014	19/07/2014	15/08/2014	18/09/2014	15/10/2014	18/11/2014	15/12/2014
	2	18/01/2014	14/02/2014	13/03/2014	16/04/2014	13/05/2014	16/06/2014	19/07/2014	15/08/2014	18/09/2014	15/10/2014	18/11/2014	15/12/2014
2015	1	17/01/2015	13/02/2015	19/03/2015	22/04/2015	12/05/2015	15/06/2015	18/07/2015	14/08/2015	17/09/2015	14/10/2015	17/11/2015	14/12/2015
	2	17/01/2015	13/02/2015	19/03/2015	22/04/2015	12/05/2015	15/06/2015	18/07/2015	14/08/2015	17/09/2015	14/10/2015	17/11/2015	14/12/2015
2016	1	16/01/2016	19/02/2016	17/03/2016	13/04/2016	17/05/2016	13/06/2016	23/07/2016	19/08/2016	15/09/2016	19/10/2016	15/11/2016	19/12/2016
	2	16/01/2016	19/02/2016	17/03/2016	13/04/2016	17/05/2016	13/06/2016	23/07/2016	19/08/2016	15/09/2016	19/10/2016	15/11/2016	19/12/2016
2017	1	14/01/2017	17/02/2017	30/03/2017	12/04/2017	16/05/2017	12/06/2017	29/07/2017	18/08/2017	21/09/2017	18/10/2017	14/11/2017	18/12/2017
	2	14/01/2017	17/02/2017	30/03/2017	12/04/2017	16/05/2017	12/06/2017	29/07/2017	18/08/2017	21/09/2017	18/10/2017	14/11/2017	18/12/2017

Serie de datos Completa sin lagunas de información



Identificados los valores atípicos y ajustados cuando fue posible realizar, y cuando no, fue preferible mantener la información y someter los datos a un segundo análisis estadístico a nivel mensual, que se lo explica en los siguientes acápite.

3.5. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL VOLUMEN DE TRÁFICO

Realizado el análisis y tratamiento a la información de volúmenes de tráfico a nivel horario, y considerando que los datos son confiables y de buena calidad, se calcularon el TPD, TPDM y TPDA, a continuación, se detalla el proceso de cálculo tomando como ejemplo algunas estaciones de conteo vehicular pertenecientes a la Ruta 4 del RVF de carretas. En el Anexo IV, se presenta el procedimiento de cálculo detallado para una estación de conteo, extraído de la base de datos digital (hoja de cálculo Excel). Los resultados de los cálculos para todas las estaciones de conteo, se encuentran detallados en el Anexo V.

3.5.1. Cálculo del TPD, DD y factor estacional horario

El TPD será la sumatoria de los volúmenes de tráfico del día (0 a 24 hrs) y de todos los tipos de vehículos (Tipo1 a 12, según ABC). El conteo se lo realiza por sentido, donde el sentido 1 es en dirección del flujo vehicular asignado al tramo por la ABC y el sentido 2 es en dirección opuesta, entonces se calculó el TPD sentido 1 y TPD sentido 2, la sumatoria de ambos sentidos es el TPD. A partir de esta información se calculó el factor de distribución direccional (DD), que es el porcentaje que representa el TPD de un sentido respecto del TPD de ambos sentidos. Se presenta la tabla 3.9 donde se esquematiza el proceso de cálculo del TPD y DD.

El factor estacional horario o nocturnidad $(fe)_n$, para diferentes periodos de tiempo, se determinó a partir de la ecuación (19) explicada en el capítulo II, apartado 2.3.2, y se la ha generalizado de tal manera que permita determinar $(fe)_n$ para cualquier periodo de tiempo ($t=ti=hrs$). El $(fe)_n$ se lo ha determinado para cada estación de conteo vehicular como valor promedio del periodo de estudio 2013-2017, el resultado para todas las estaciones se puede consultar en la base de datos digital y en el anexo IV, se presenta un ejemplo de cálculo para una estación en particular. La Tabla 3.10 presenta resultados obtenidos $(fe)_n$ para la estación 44, Ruta 4, del periodo 2013-2017.

Para una mejor visualización del comportamiento de volúmenes a nivel horario durante el día y la composición vehicular según la clasificación, se elaboraron las gráficas de los histogramas de variación horaria e histograma de composición vehicular porcentual. Se entiende por histograma el diagrama que relaciona: el tiempo con el volumen horario [veh y/o %] y el tipo de vehículos con el volumen horario [veh y/o %], respectivamente. La tabla 3.9 presenta un esquema del proceso de elaboración de los histogramas.



Tabla 3.9. Determinación del TPD, factor estacional horario, factor de distribución direccional, para un día. Fuente Elaboración propia

SENTIDO 1																
HORA	TIPO DE VEHICULO												SUMA	Variación Porcentual %		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
0 - 1														$\Sigma 1$	$\frac{\Sigma 2}{TPD(1)}$	
1 - 2			TH1											$\Sigma 2$		
2 - 3														$\Sigma 3$		
														$\Sigma 4$		
														$\Sigma 5$		
														$\Sigma 15$		
														$\Sigma 16$		
														$\Sigma 17$		
														$\Sigma 18$		
														$\Sigma 19$		
														$\Sigma 20$		
														$\Sigma 21$		
														$\Sigma 22$		
22 - 23														$\Sigma 23$		$\sum_{t=1}^{t=24} V(\%)$
23 - 24														$\Sigma 24$		$\sum_{t=1}^{t=24} V(\%)$
SUMA	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 3$	$\Sigma 4$	$\Sigma 5$	$\Sigma 6$	$\Sigma 7$	$\Sigma 8$	$\Sigma 9$	$\Sigma 10$	$\Sigma 11$	$\Sigma 12$	$\Sigma 12$	$\sum_{v=1}^{v=12} V(\%)$		100.00
Variación Porcentual %			$\frac{\Sigma 3}{TPD(1)}$											$\sum_{v=1}^{v=12} V(\%)$		100.00

SENTIDO 2																
HORA	TIPO DE VEHICULO												SUMA	Variación Porcentual %		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
0 - 1														$\Sigma 1$	$\frac{\Sigma 2}{TPD(2)}$	
1 - 2			TH2											$\Sigma 2$		
2 - 3														$\Sigma 3$		
														$\Sigma 4$		
														$\Sigma 5$		
														$\Sigma 15$		
														$\Sigma 16$		
														$\Sigma 17$		
														$\Sigma 18$		
														$\Sigma 19$		
														$\Sigma 20$		
														$\Sigma 21$		
														$\Sigma 22$		
22 - 23														$\Sigma 23$		$\sum_{t=1}^{t=24} V(\%)$
23 - 24														$\Sigma 24$		$\sum_{t=1}^{t=24} V(\%)$
SUMA	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 3$	$\Sigma 4$	$\Sigma 5$	$\Sigma 6$	$\Sigma 7$	$\Sigma 8$	$\Sigma 9$	$\Sigma 10$	$\Sigma 11$	$\Sigma 12$	$\Sigma 12$	$\sum_{v=1}^{v=12} V(\%)$		100.00
Variación Porcentual %			$\frac{\Sigma 3}{TPD(2)}$											$\sum_{v=1}^{v=12} V(\%)$		100.00

AMBOS SENTIDOS																
HORA	TIPO DE VEHICULO												SUMA	Variación Porcentual %		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
0 - 1														$\Sigma 1$	$\frac{\Sigma 2}{TPD}$	
1 - 2			TH = TH1 + TH2											$\Sigma 2$		
2 - 3														$\Sigma 3$		
3 - 4														$\Sigma 4$		
4 - 5														$\Sigma 5$		
5 - 6														$\Sigma 6$		
6 - 7														$\Sigma 7$		
7 - 8														$\Sigma 8$		
8 - 9														$\Sigma 9$		
9 - 10														$\Sigma 10$		
10 - 11														$\Sigma 11$		
11 - 12														$\Sigma 12$		
12 - 13														$\Sigma 13$		
13 - 14														$\Sigma 14$		
14 - 15														$\Sigma 15$		
15 - 16														$\Sigma 16$		
16 - 17														$\Sigma 17$		
17 - 18														$\Sigma 18$		
18 - 19														$\Sigma 19$		
19 - 20														$\Sigma 20$		
20 - 21														$\Sigma 21$		
21 - 22														$\Sigma 22$		
22 - 23														$\Sigma 23$		$\sum_{t=1}^{t=24} V(\%)$
23 - 24														$\Sigma 24$		$\sum_{t=1}^{t=24} V(\%)$
SUMA	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 3$	$\Sigma 4$	$\Sigma 5$	$\Sigma 6$	$\Sigma 7$	$\Sigma 8$	$\Sigma 9$	$\Sigma 10$	$\Sigma 11$	$\Sigma 12$	$\Sigma 12$	$\sum_{v=1}^{v=12} V(\%)$	100.00	
Variación Porcentual %			$\frac{\Sigma 3}{TPD}$											$\sum_{v=1}^{v=12} V(\%)$	100.00	

HISTOGRAMA DE COMPOSICIÓN VEHICULAR PORCENTUAL
 Gráfica:
 Eje X: Tipo de Veh.
 Eje Y: Var. Porcentual

HISTOGRAMA DE VARIACIÓN HORARIA
 Gráfica:
 Eje X: Hora
 Eje Y: Var. Porcentual

Factor de Distribución Direccional : Sentido 1 = DD1= TPD(1)/TPD ; Sentido 2 = TPD(2)/TPD ; Sentio (1+2)= 100%



Tabla 3.10. Factor estacional horario para diferentes periodos de horas. Estación 44 Reten de Peaje Suticollo, Ruta 4. Fuente Elaboración propia

FACTOR HORARIO / NOCTURNIDAD PROMEDIO - SENTIDO 1+2 - PERIODO 2013 - 2017																								
Hrs	Desde																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	52.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	28.08	59.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	19.35	30.48	62.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	13.84	18.73	27.28	48.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	9.69	11.86	14.80	19.42	32.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6.87	7.90	9.10	10.66	13.66	23.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	5.12	5.67	6.27	6.97	8.13	10.86	20.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	4.07	4.41	4.76	5.16	5.77	7.03	10.00	19.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	3.36	3.59	3.82	4.07	4.44	5.14	6.57	9.77	19.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2.88	3.05	3.21	3.38	3.64	4.10	4.96	6.58	9.83	20.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	2.52	2.65	2.77	2.90	3.09	3.41	3.99	4.97	6.63	10.13	20.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2.26	2.36	2.45	2.55	2.70	2.94	3.36	4.03	5.06	6.87	10.42	21.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	2.03	2.12	2.19	2.27	2.39	2.58	2.89	3.37	4.06	5.16	6.93	10.51	20.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1.85	1.92	1.98	2.05	2.14	2.29	2.54	2.90	3.40	4.13	5.20	6.99	10.38	20.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	1.69	1.75	1.80	1.86	1.93	2.05	2.25	2.53	2.90	3.42	4.11	5.16	6.80	10.13	19.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1.56	1.61	1.65	1.69	1.76	1.86	2.01	2.24	2.52	2.91	3.39	4.07	5.03	6.65	9.77	19.40	-	-	-	-	-	-	-	-
17	1.44	1.48	1.52	1.55	1.61	1.69	1.82	2.00	2.22	2.51	2.87	3.35	3.97	4.91	6.42	9.52	18.69	-	-	-	-	-	-	-
18	1.33	1.37	1.40	1.43	1.47	1.55	1.65	1.80	1.98	2.21	2.48	2.83	3.26	3.86	4.74	6.25	9.22	18.18	-	-	-	-	-	-
19	1.24	1.27	1.30	1.32	1.36	1.42	1.51	1.63	1.78	1.96	2.17	2.43	2.74	3.16	3.73	4.60	6.03	8.90	17.44	-	-	-	-	-
20	1.17	1.19	1.22	1.24	1.27	1.32	1.40	1.51	1.63	1.78	1.96	2.17	2.41	2.73	3.14	3.73	4.62	6.14	9.27	19.78	-	-	-	-
21	1.11	1.13	1.16	1.18	1.21	1.25	1.32	1.42	1.53	1.66	1.81	1.98	2.19	2.44	2.77	3.22	3.86	4.87	6.65	10.74	23.49	-	-	-
22	1.06	1.09	1.11	1.13	1.15	1.20	1.26	1.34	1.44	1.56	1.69	1.84	2.02	2.23	2.50	2.87	3.36	4.10	5.30	7.60	12.35	26.05	-	-
23	1.03	1.05	1.07	1.09	1.11	1.15	1.21	1.29	1.38	1.48	1.60	1.74	1.89	2.08	2.31	2.62	3.03	3.61	4.51	6.09	8.79	14.04	30.47	-
24	1.00	1.02	1.04	1.05	1.08	1.12	1.17	1.24	1.33	1.42	1.53	1.66	1.80	1.97	2.17	2.44	2.79	3.28	4.00	5.20	7.05	10.08	16.43	35.68

COBERTURA DE DATOS: COMPLETA

La forma de utilizar la tabla para obtener el factor de nocturnidad es la siguiente: Eje horizontal superior indica la hora en la que se inicia el conteo vehicular (desde), el Eje vertical inferior indica la hora en la se concluyó el aforo (hasta)

Ejemplo: Se desea conocer el factor de nocturnidad para ser aplicado a los volúmenes de tráfico obtenidos de un conteo vehicular realizado de 7:00 a 19:00, ingresamos a la tabla 3.10 y se determina que el (fe)n es igual a 1.63.



3.5.2. Cálculo del TPDM y factor estacional diario

El TPDM será el promedio del TPD del mes, es decir la sumatoria del TPD de todos los días del mes (30 y/o 31 días) dividido entre el número de días del mes. Para determinar el TPDM a partir del TPD, se debe afectar por un factor estacional diario, calculado a partir de estaciones permanentes o maestras que midan el flujo vehicular todos los días del año.

En nuestro país no se tienen estaciones de conteo permanente, por lo que no es posible determinar el factor estacional diario. Sin embargo, la ABC obtiene valores mensuales a partir de una medición diaria, asumiendo un factor estacional diario igual a la unidad, lo que significa conceptualmente que en un determinado mes no existe variación del flujo vehicular a nivel diario.

$$(fe)_d = \frac{TPDM_{p \text{ mes enero}}}{TPD_{p \text{ día sabado}}} = 1 \dots \dots (34) \dots \dots TPDM_{t \text{ mes enero}} = (fe)_d^{\uparrow 1} * TPD_{t \text{ día sabado}} \dots \dots (35)$$

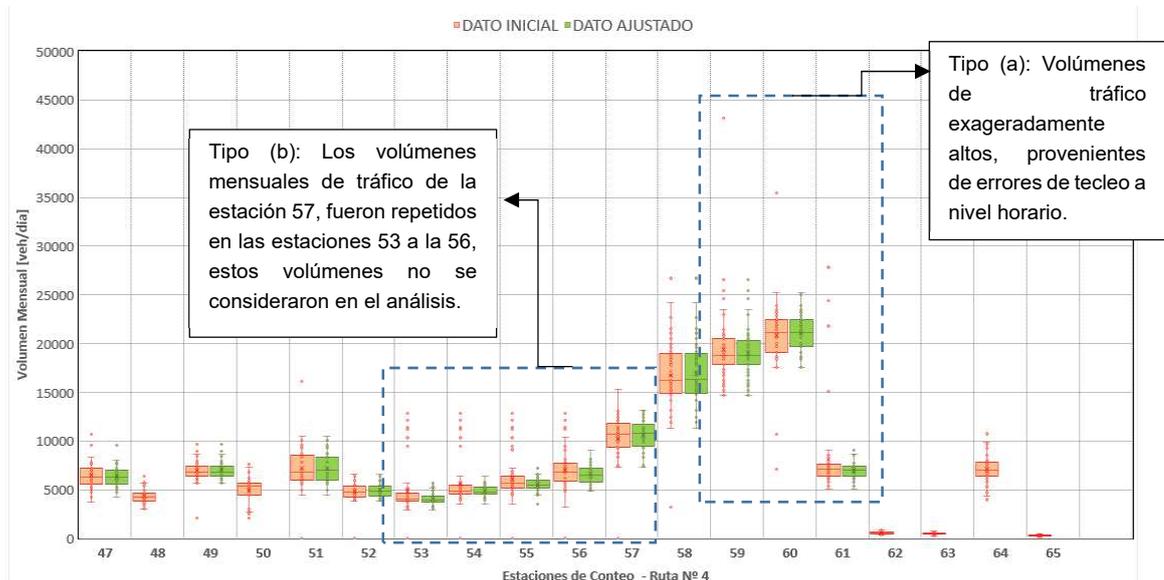
$$TPDM_{t \text{ mes enero}} = TPD_{t \text{ día sabado}} \dots \dots (36)$$

Para determinar el TPDM a partir del TPD, la ABC, elige un determinado día de la semana al mes para realizar el conteo vehicular, con la finalidad de que los valores de los volúmenes de tráfico reflejen la magnitud mensual característica, es decir si se conoce que un mes presenta volúmenes de tráfico más alto respecto a otros meses, se elegirá un día específico de la semana para este mes tomando en cuenta que éste refleje un volumen de tráfico mayor respecto a los otros días.

Por ejemplo, para el conteo de los meses de enero y julio, donde se presentan los mayores flujos vehiculares respecto a los otros meses del año, debido a las vacaciones escolares, se elige el día sábado para realizar el conteo vehicular, ya que en este día se presentan los mayores volúmenes de tráfico respecto a los otros días de la semana. (Ver tabla 3.7)

A nivel mensual también se realizó un segundo control de calidad, empleando los conceptos del análisis estadístico mediante las gráficas del diagrama de cajas y bigotes para identificar valores atípicos en el conjunto de estaciones que pertenecen a un mismo tramo en RVF. El gráfico 3.6 muestra el diagrama de cajas y bigotes para las estaciones de conteo que se encuentran en la Ruta 4, se observa varios valores atípicos, identificados como errores del tipo (a) y tipo (b) explicados en el acápite 3.4.1.

Gráfico 3.7. Volúmenes de tráfico a nivel mensual, Diagrama de cajas y bigotes. Red Vial Fundamental, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia



El diagrama de cajas y bigotes permitió identificar que las estaciones de conteo 53 a 56 durante varios meses presentan un TPDM igual al de la estación 57, identificándose que los datos provienen de una estación distinta. Los valores atípicos identificados no fueron considerados en el análisis, porque generan sesgos en la información y no representan el comportamiento real del flujo de tráfico.

Los resultados del análisis y los volúmenes mensuales (TPDM) por tipo de vehículo y clasificación vehicular, para cada estación de conteo vehicular se encuentran en el anexo IV y V.

3.5.3. Cálculo del TPDA y factor estacional mensual

El TPDA será el promedio del TPDM del año, es decir la sumatoria del TPDM de todos los meses del año dividido entre el número de meses del año. Para determinar el TPDA a partir del TPDM, se deberá contar con una cobertura de datos completa, es decir con información en los 12 meses del año. En el caso en el que se tenga un año con una cobertura de datos parcial, se deberá afectar por un factor estacional mensual (f_e)_m, calculado a partir de otro año con cobertura de datos completa que pertenezca a la misma estación de conteo.

Factor estacional mensual (f_e)_m

Se calcularon los factores estacionales según el concepto descrito en el capítulo II, apartado 2.3.2, y las ecuaciones (13) y (14), pero adaptadas a las condiciones particulares de cada estación de conteo vehicular, es decir considerando los datos TH, TPDM y TPDA en sus respectivos periodos de estudio. A continuación, se presentan las ecuaciones (37) y (38) generalizadas para cada estación de conteo vehicular:



$$(fe)_{mij} = \frac{TPDA_j}{TPDM_i} \dots \dots \dots (37)$$

$$(fe)_m = \frac{TPDA}{\sum_{j=1}^{j=12} (TH)_i} = \frac{TPDA}{TPDM_i} \dots \dots \dots (38)$$

Donde:

(fe)_{mij}= Factor estacional para cada mes (i)
 y cada tipo de vehículo (j)

(fe)_m= Factor estacional para cada mes

Determinados los factores estacionales para cada mes de cada año, se determinó un promedio de (fe)_m para el periodo de estudio 2013-2017. Estos datos fueron utilizados para determinar el TPDA a partir del TPDM en años parciales, ya que consideran las variaciones estacionales presentas en el periodo de estudio.

$$TPDA = TPDM_i * (fe)_m \dots \dots \dots (39)$$

El proceso de cálculo del TPDA para años parciales, se encuentra detallado en el anexo IV como ejemplo de cálculo para una estación en particular, para mayor detalle de las estaciones de conteo se puede consultar la base de datos digital. En el anexo V, se presenta el TPDA de todas las estaciones de conteo vehicular de la RVF de carreteras de Bolivia.

3.6. ANÁLISIS A LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESTACIONAL DE VOLÚMENES DE TRÁFICO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.6.1. Variación horaria del volumen de tráfico

Con la finalidad de identificar características particulares del comportamiento del tráfico en las diferentes rutas de la RVF de carretas de Bolivia, se analizaron los histogramas de variación horaria del volumen de tráfico y composición vehicular porcentual en las estaciones de conteo vehicular en el periodo de estudio 2013-2017, para identificar:

Histograma de variación horaria del volumen de tráfico:

- horas de mayor demanda (Hora Pico), por ruta estudiada,
- horas de menor demanda (Hora No Pico), por ruta estudiada,

Histograma de composición vehicular porcentual del tráfico:

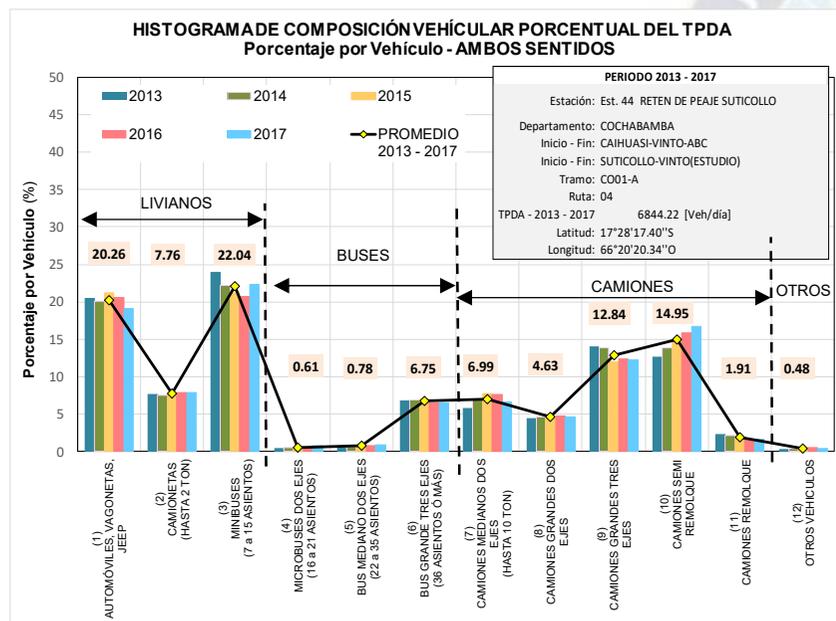
- tipo de vehículo que predomina en la ruta estudiada,

El gráfico 3.8 presenta un ejemplo de aplicación para la Estación 44 Reten de Peaje Suticollo.

Se han elaborado las curvas que relacionan los volúmenes horarios (TH) más altos del año con el tráfico promedio diario anual (TPDA), denominadas en el presente estudio, curvas de duración de flujo de tráfico, a partir de ellas, se ha determinado el factor $k = \frac{TPDA}{VHP}$, (donde el VHP corresponde a la 30-ava hora) mediante el cual es posible caracterizar el tipo de vía, según los rangos definidos por Cal, Mayor y Cárdenas, 2018 y ABC, 2007, expresados en la tabla 2.8, explicada en capítulo II, acápite 2.3.3. Los resultados obtenidos del factor k, se los presenta en el gráfico 3.9 donde es posible visualizar su distribución a nivel espacial.

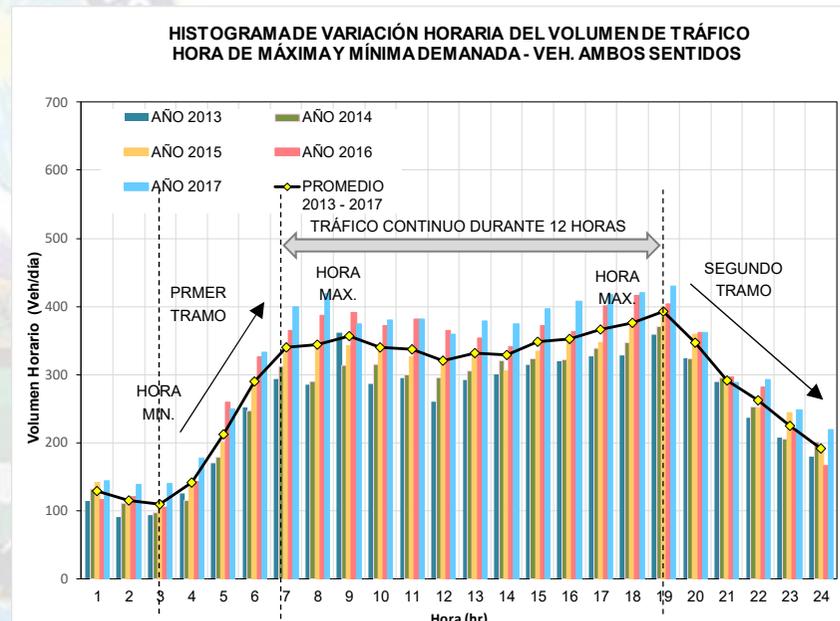


Gráfico 3.8. Histograma de composición vehicular porcentual del TPDA, histograma de variación horaria del volumen de tráfico. Estación 44 Reten de Peaje Suticollo, Ruta 4. Fuente: Elaboración propia



Vehículos que predominan en la Ruta 4, tramo Cahihuasi-Vinto, estación 44:

- Livianos con un 50.06 %, del tipo de vehículo predominante: automóviles y minibuses
- Camiones con un 41.32 %, del tipo de vehículo predominante: camiones grandes tres ejes y camino semi remolque



Horas de máxima y mínima demanda:

- Hora mínima: 02:00 a 03:00
- Primer tramo ascenso: 03:00 a 07:00
- Hora máxima: 06-07, 08-09 y 18-19
- Segundo tramo descenso: 19 a 24

Existe un tráfico vehicular constante durante 12 horas continuas.

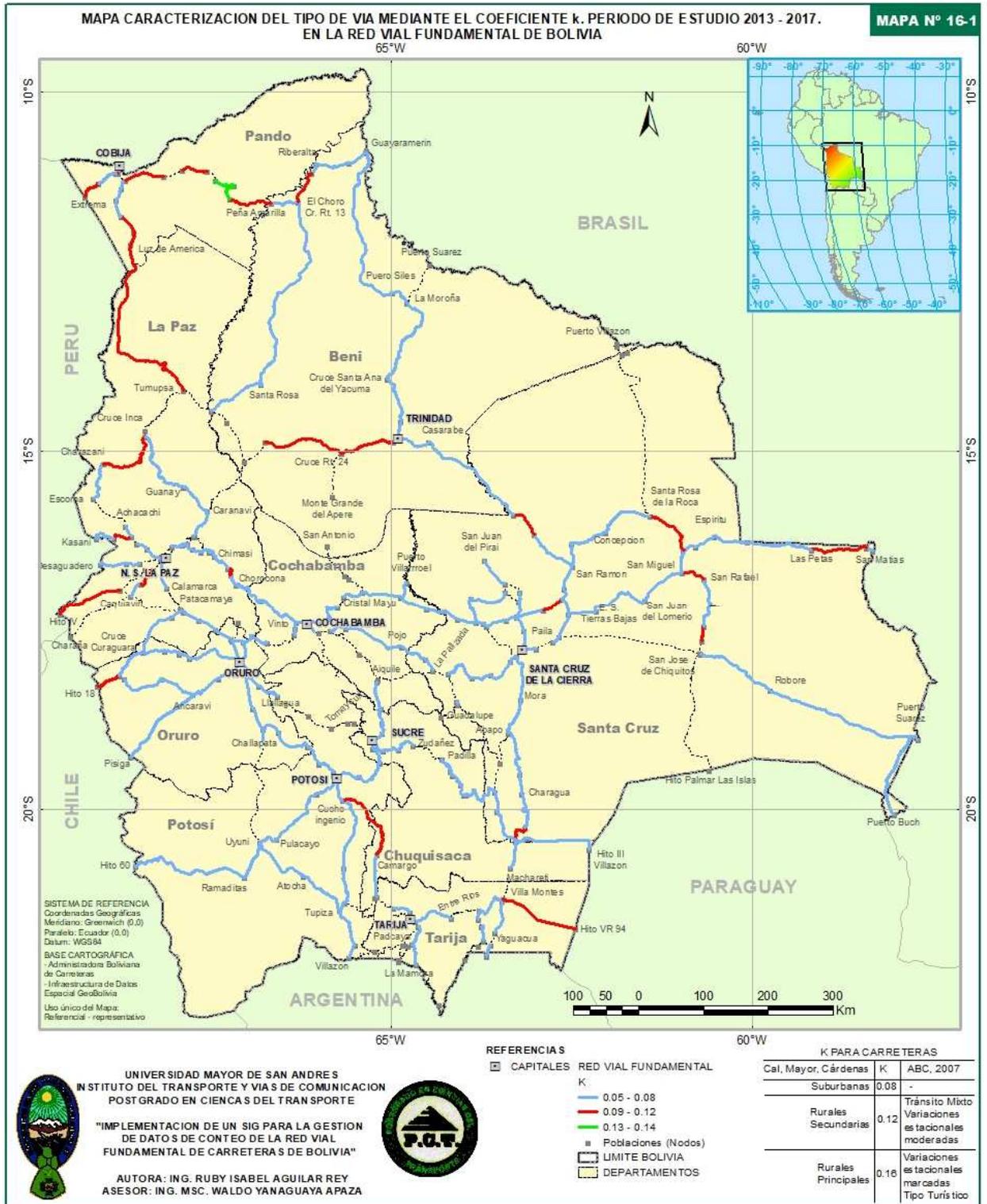


Gráfico 3.9. Mapa caracterización del tipo de vía mediante el coeficiente k. Periodo de estudio 2013-2017. Fuente: Elaboración propia con datos ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia



Según los resultados obtenidos del factor K y visualizados en el gráfico 3.9, se pueden determinar las siguientes características en la RVF de Bolivia:

- El factor $k \leq 0.08$, distribuido en la mayor parte de la RVF, representando el 85.78%. Según la clasificación Cal, Mayor y Cárdenas, 2018, corresponden a vías **“suburbanas”** y según la clasificación ABC, 2007, no se encuentra definido.
- El factor $0.09 \leq k \leq 0.012$, distribuido en una menor parte de la RVF, representando el 13.30 %. Según la clasificación Cal, Mayor y Cárdenas, 2018, corresponden a vías **“rurales secundarias”** y según la clasificación ABC, 2007, **“tránsito mixto con variaciones estacionales moderadas”**
- El factor $0.13 \leq k \leq 0.14$, ubicado en el departamento de Pando, ruta 13, entre las poblaciones Santa Elena-Puerto Rico, representando el 0.92 %. Según la clasificación Cal, Mayor y Cárdenas, 2018, corresponden a vías **“rurales principales”** y según la clasificación ABC, 2007, **“tránsito mixto con variaciones estacionales moderadas”**

La mayor parte de la Red Vial Fundamental de Bolivia presenta un factor $k \leq 0.08$, que según el Manual de Diseño Geométrico ABC, 2007, no presenta ninguna especificación de las características del tipo de vía para valores menores a 0.08. Los rangos proporcionados, no reflejan las características particulares de la RVF de Bolivia, por lo tanto, es necesario realizar un análisis a las curvas de duración de flujo de tráfico e identificar características particulares en la RVF. El análisis sugerido consistió en determinar: 1) la diferencia ($\Delta\%$) entre el volumen horario como % TPDA de la parte más alta y la parte media curva (meseta) de la curva, 2) el volumen del proyecto de la 100-ava hora respecto del volumen horario máximo, como porcentaje (V%), 3) población del censo 2012, relacionando las 3 características se llegó a identificar de manera general tres rangos marcados, que se describen a continuación:

Parte alta de la curva:

Tabla 3.11. Características del flujo de tráfico en la RVF de Bolivia. Fuente: Elaboración propia

CURVA	DIFERENCIA	VOLUMEN 100 -AVA HORA	CARACTERISTICA DEL FLUJO DE TRÁFICO	OBSERVACIONES
	Δ (%)	V (%)		
I	$\Delta > 13$	$V < 30$	RURAL	Vías en zonas alejadas de ciudades y centros densamente poblados
II	$8.6 \leq \Delta \leq 13$	$30 \leq V \leq 55$	INTERMEDIA (RURAL Y URBANA)	Vías en entre ciudades y centros densamente poblados
III	$\Delta < 8.6$	$V > 55$	URBANA	Vías cercanas a ciudades y centros densamente poblados

Según la nueva definición de rangos, basados en el comportamiento del flujo de tráfico de la RVF, se presenta el gráfico 3.10, donde se visualiza su distribución de manera espacial.



En el gráfico 3.11 y tabla 3.12, se presentan los tres tipos de curvas de duración de tráfico y se explica su comportamiento.

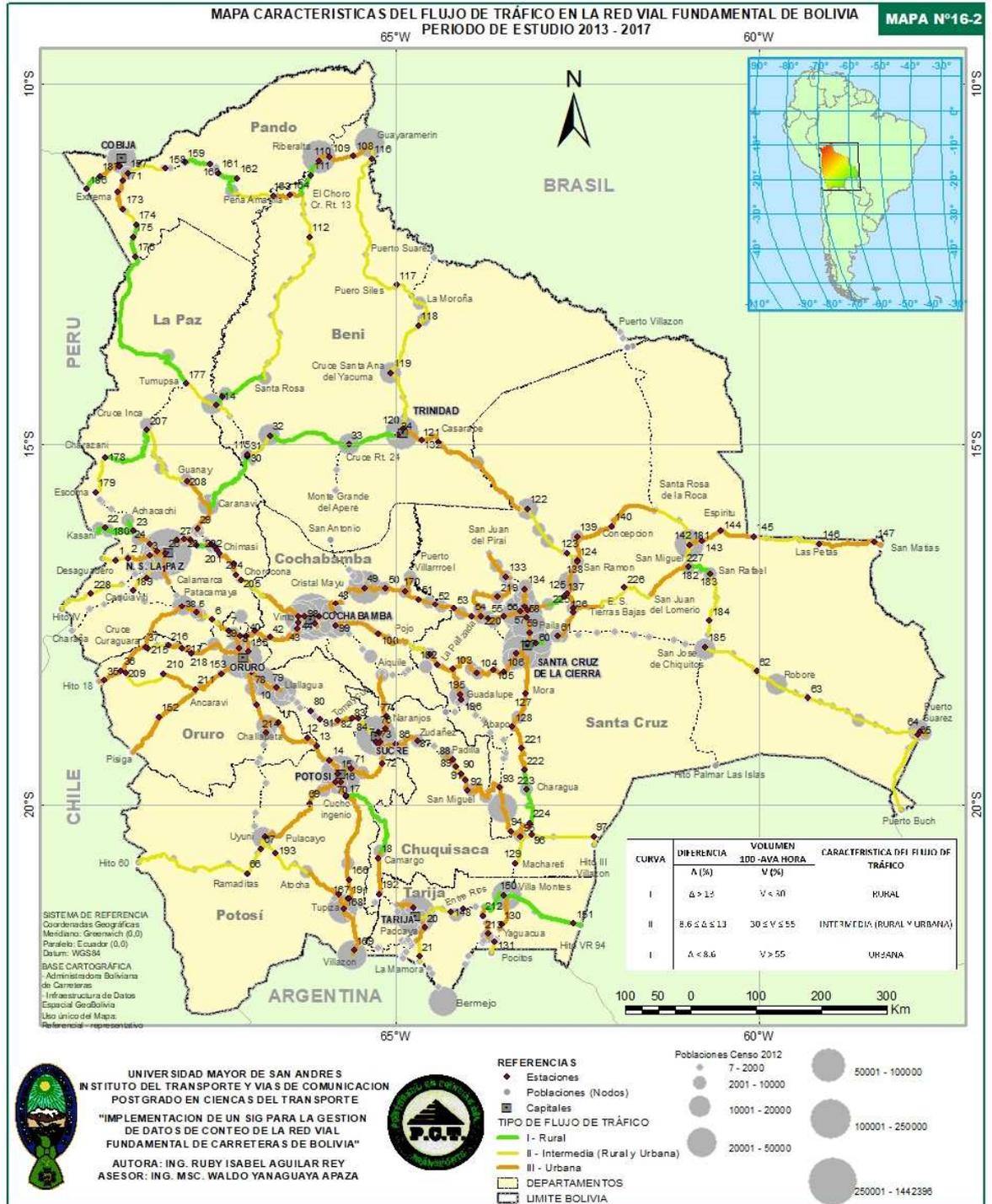
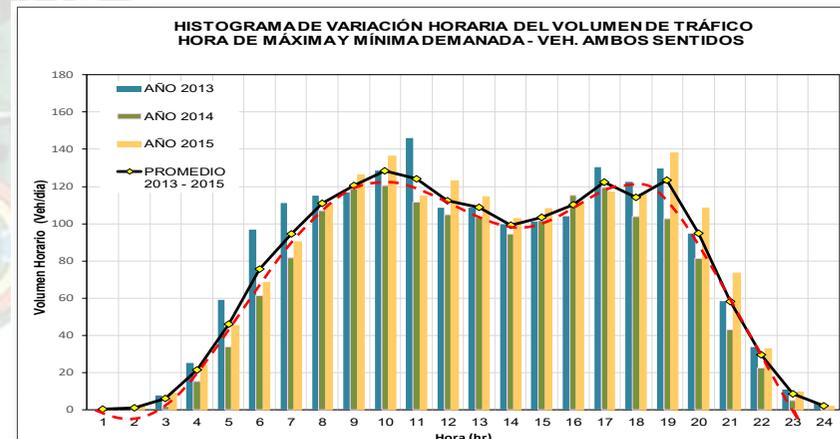
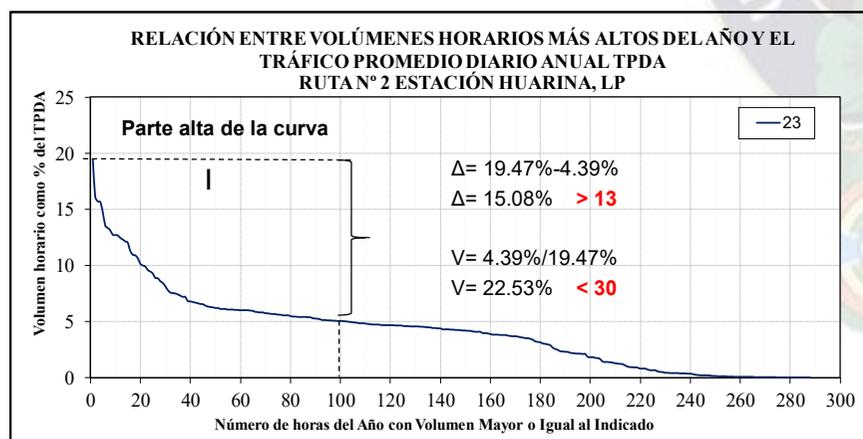
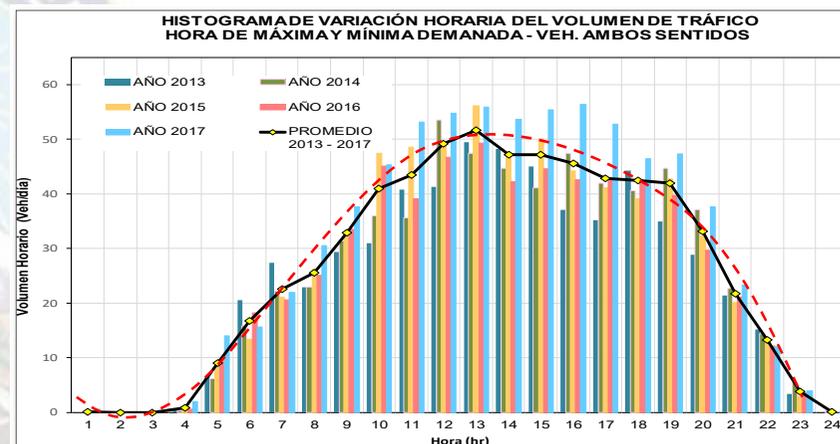
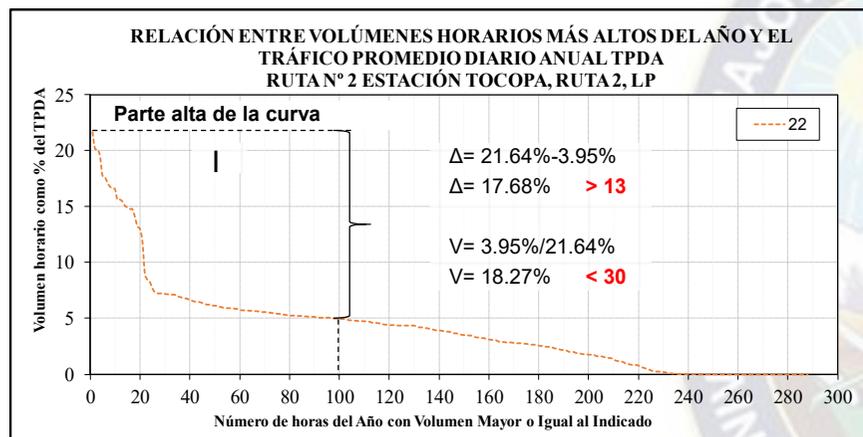
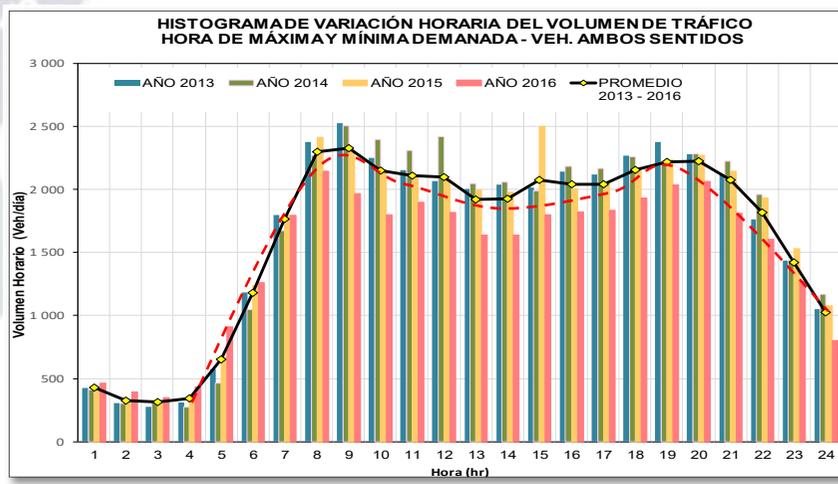
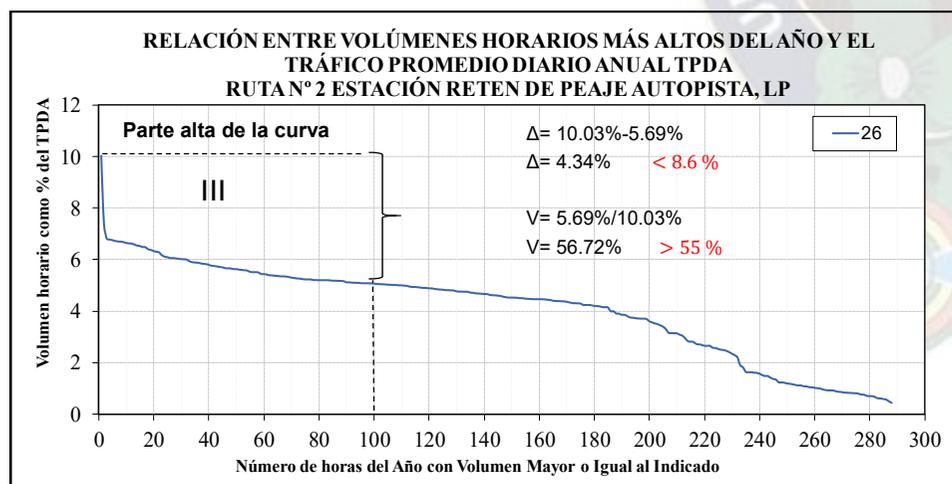
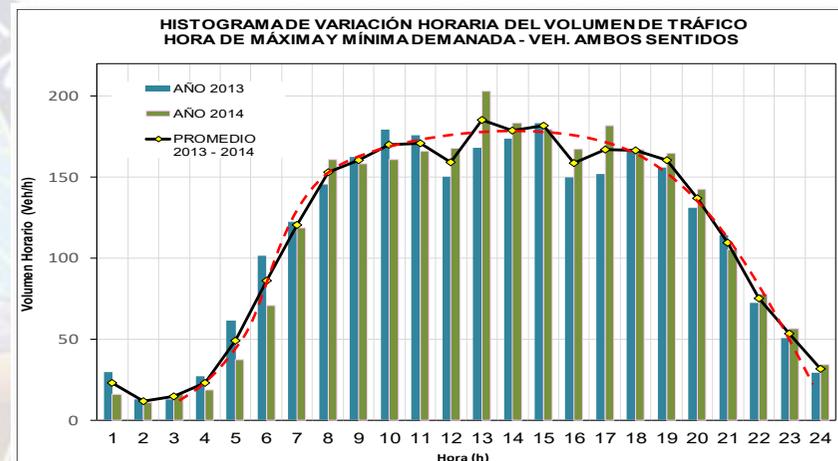
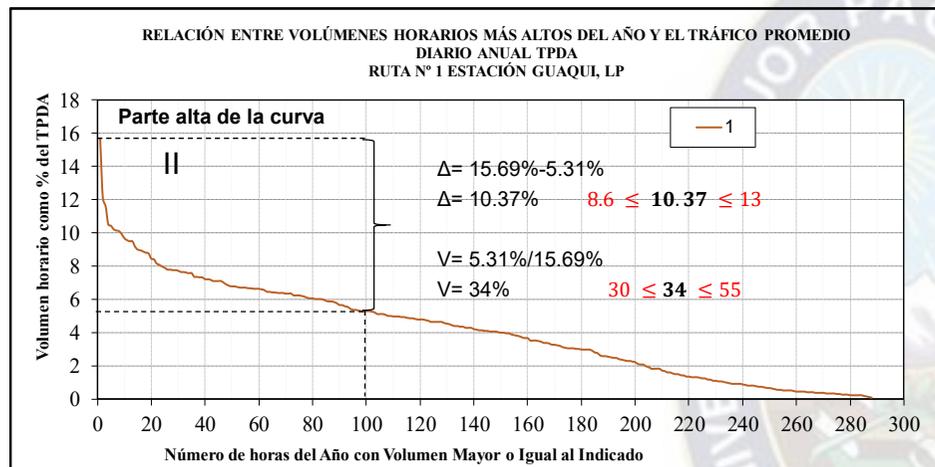


Gráfico 3.10. Mapa Características del flujo de tráfico en la Red vial Fundamental de Bolivia: Fuente: Elaboración propia con datos de la ABC, 2018 y base de datos GeoBolivia



Gráfico 3.11. Curvas de duración de flujo de tráfico, Rutas 1 y 2. Fuente: Elaboración propia





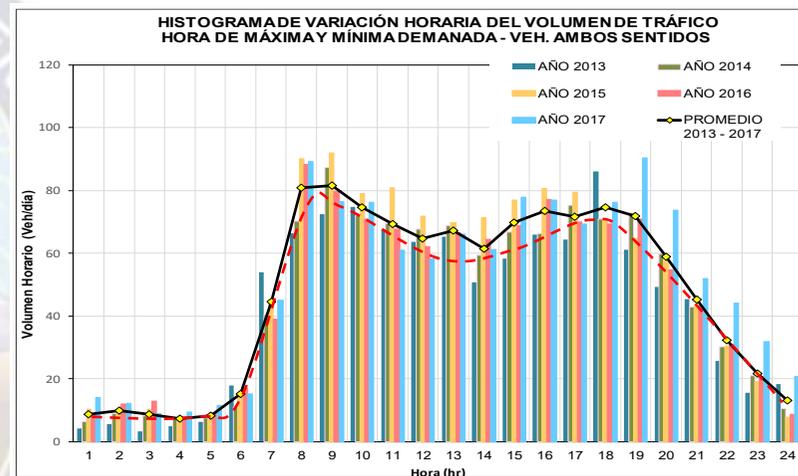
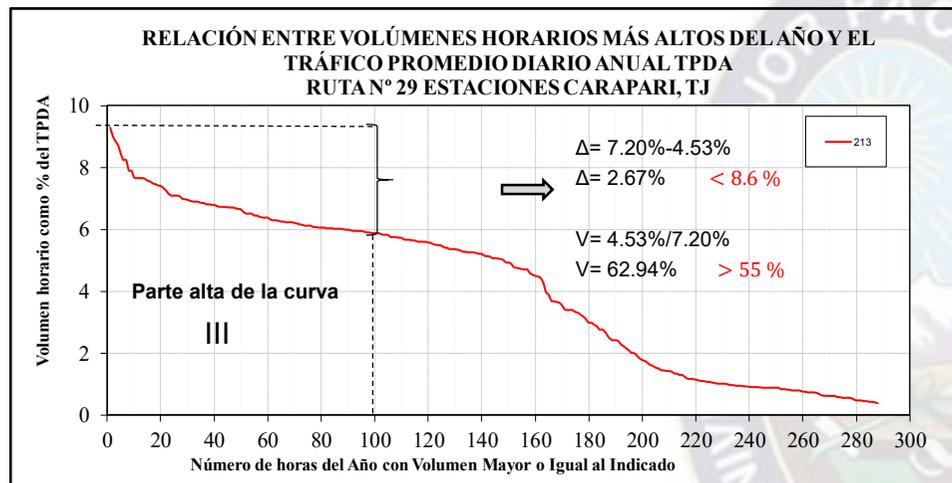


Tabla 3.12. Características del flujo de tráfico en la RVF de Bolivia. Fuente: Elaboración propia

CURVA		FORMA DEL HISTOGRAMA DE VARIACIÓN HORARIA
N	PARTE ALTA	
I		El volumen horario pico presenta oscilaciones, en un rango pequeño
		El volumen horario pico presenta oscilaciones marcadas, en un mayor periodo de tiempo
II		El volumen horario pico presenta oscilaciones suaves, en un mayor periodo de tiempo
III		El volumen horario pico presenta oscilaciones marcadas, en un mayor periodo de tiempo
		La variación horaria presenta un comportamiento con un patron de una sola cresta, los volúmenes de tráfico siguen creciendo durante el día hasta que disminuyen por la tarde
		La variación horaria presenta un comportamiento con un patron levemente de dos curvas, existe una leve influencia del comportamiento urbano
		La variación horaria presenta un comportamiento con un patron de una curvas, con variaciones a horas 10-11, 13-14, 18-19, reflejan un comportamiento de zonas rurales con influencia de zonas urbanas
		La variación horaria presenta un comportamiento con un patron de dos a tres curvas, a horas 8-9 y 18-20, reflejan un comportamiento de zonas urbanas