

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“DETERMINACIÓN DEL COBRO POR CONGESTIÓN
APLICADO A LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

RONALD WILLIAMS COLQUE PAREDES

Tesis de Grado presentada a consideración de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” como requisito para obtener el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2017

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“DETERMINACIÓN DEL COBRO POR CONGESTIÓN APLICADO A
LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

RONALD WILLIAMS COLQUE PAREDES

SEMESTRE II - 2017

TARIJA – BOLIVIA

Vº Bº

.....
M. Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez
**DECANO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA “U.A.J.M.S.”**

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
**VICEDECANA DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA “U.A.J.M.S.”**

.....
M. Sc. Ing. Johnny Orgaz Fernández
DOCENTE GUIA DE CIV-502

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing. Marcelo Segovia Cortez

.....
Ing. Weimar Mejía Mogravejo

.....
Ing. Joel Paco Sarzuri

El Tribunal Calificador, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

Dedicado con mucho cariño para mis padres: Daniel y Lourdes, por el apoyo incondicional y tolerancia que tuvieron durante toda mi formación académica y en la elaboración del presente trabajo.

DEDICATORIA:

Con mucho cariño para mis hermanos y toda mi familia quienes confiaron en mí y me motivaron a que concluya con la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS:

Agradecer a principalmente a Dios, por haberme dado la vida y haberme permitido poder llegar a este momento importante en el desarrollo de mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros de la universidad, que me brindaron sus consejos y su apoyo incondicional cuando más lo necesitaba.

“La alegría está en la lucha, en el esfuerzo, en el sufrimiento que supone la lucha y no en la victoria misma”.

Mahatma Gandhi

ÍNDICE

ADVERTENCIA

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

PENSAMIENTO

RESUMEN

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

1.1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE APLICACIÓN.....	3
1.3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1.	Situación problemática.....	4
1.3.2.	Problema.....	7
1.3.3.	Hipótesis.....	7
1.4.	OBJETIVOS DEL PROYECTO DE APLICACIÓN.....	8
1.4.1.	Objetivo general.....	8
1.4.2.	Objetivos específicos.....	8
1.5.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	9
1.5.1.	Componentes.....	9
1.5.1.1.	Unidades de estudio y decisión muestral.....	9
1.5.1.1.1.	Unidades de estudio.....	9
1.5.1.1.2.	Población.....	9
1.5.1.1.3.	Muestra.....	9
1.5.1.1.4.	Muestreo.....	10
1.5.2.	Métodos y técnicas empleadas.....	10
1.5.3.	Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	10
1.5.4.	Alcance del estudio.....	11

CAPÍTULO 2.- ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

2.1.	DEFINICIÓN.....	13
------	-----------------	----

2.2.	FUNCIÓN DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO.....	13
2.2.1.	Definición y competencia.....	13
2.2.2.	Planeamiento.....	13
2.2.3.	Organización de la ingeniería de tráfico.....	14
2.2.3.1.	Planificación de tráfico y transporte.....	14
2.2.3.2.	Señalización y regulación semafórica.....	14
2.2.3.3.	Evaluación y asesoramiento del impacto de tráfico.....	15
2.2.3.4.	Transporte público.....	16
2.2.3.5.	Análisis financiero y económico de transporte.....	16
2.3.	ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE TRÁFICO.....	16
2.3.1.	Características de los vehículos.....	16
2.3.1.1.	Vehículos ligeros.....	17
2.3.1.2.	Vehículos medianos.....	18
2.3.1.3.	Vehículos pesados.....	18
2.3.2.	Características de los usuarios.....	20
2.3.2.1.	Usuario conductor.....	20
2.3.2.2.	Usuario peatón.....	21
2.4.	PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE TRÁFICO.....	21
2.4.1.	Volumen.....	21
2.4.1.1.	Aforo de volúmenes de tráfico.....	23
2.4.1.1.1.	Depuración de los aforos de tráfico.....	23
2.4.1.1.1.1.	Media aritmética.....	24
2.4.1.1.1.2.	Desviación estándar.....	24
2.4.1.1.1.3.	Rango.....	24
2.4.2.	Intensidad de circulación.....	24
2.4.3.	Velocidad.....	25
2.4.3.1.	Aforo de velocidades vehiculares.....	26
2.4.3.1.1.	Velocidad de punto.....	27
2.4.3.1.2.	Velocidad de recorrido.....	27
2.4.3.1.3.	Velocidad de marcha.....	27
2.4.4.	Densidad.....	28

2.4.5.	Modelo básico de flujo vehicular.....	29
2.5.	CONCEPTOS GENERALES DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.....	31
2.5.1.	Capacidad vial.....	31
2.5.2.	Nivel de servicio.....	33
2.5.2.1.	Nivel de servicio A.....	33
2.5.2.2.	Nivel de servicio B.....	33
2.5.2.3.	Nivel de servicio C.....	33
2.5.2.4.	Nivel de servicio D.....	34
2.5.2.5.	Nivel de servicio E.....	34
2.5.2.6.	Nivel de servicio F.....	34

CAPÍTULO 3.- **PARÁMETRO DE CONGESTIÓN DE TRÁFICO, SUS CARACTERÍSTICAS Y EL COBRO POR CONGESTIÓN**

3.1.	CONGESTIÓN VEHICULAR.....	36
3.1.1.	Definición.....	36
3.1.2.	Causas.....	36
3.1.3.	Efectos negativos.....	37
3.2.	FACTORES QUE SE REFIEREN AL TRÁFICO.....	38
3.2.1.	Camiones.....	38
3.2.2.	Autobuses y microbuses.....	38
3.3.	FACTORES QUE AFECTAN A LA CAPACIDAD EN VÍAS DE FLUJO INTERRUMPIDO.....	38
3.4.	FACTORES QUE AFECTAN A LA CAPACIDAD EN INTERSECCIONES.....	39
3.4.1.	Ancho de calle.....	39
3.4.2.	Circulación en sentido único o doble sentido.....	39
3.4.3.	Demora en intersecciones.....	40
3.5.	ESTACIONAMIENTO.....	41
3.5.1.	Estacionamiento libre en vía pública.....	42
3.5.2.	Estacionamiento controlado en vía pública.....	42
3.5.3.	Estacionamiento público en inmuebles.....	42

3.5.4.	Estacionamientos privados o garajes en inmuebles.....	42
3.6.	OTROS FACTORES.....	43
3.6.1.	Factor de hora pico.....	43
3.6.2.	La población.....	43
3.6.3.	La situación de la intersección.....	43
3.6.3.1.	Zona intermedia.....	43
3.6.3.2.	Centros satelitales.....	43
3.6.3.3.	Zonas residenciales.....	44
3.6.4.	Detención o parada corta.....	44
3.6.5.	Detención o parada larga.....	44
3.7.	TRAMOS Y ZONAS CONFLICTIVAS.....	44
3.8.	SENTIDOS DEL FLUJO VEHICULAR.....	44
3.8.1.	Dirección de flujo este – oeste.....	45
3.8.2.	Dirección de flujo norte – sur.....	45
3.9.	TIPOS DE SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE CONGESTIONAMIENTO.....	45
3.9.1.	Solución de bajo costo.....	45
3.9.2.	Solución de alto costo.....	46
3.9.3.	Solución integral.....	46
3.10.	COBRO POR CONGESTIÓN.....	47
3.10.1.	Resumen.....	47
3.10.2.	Ideas para resolver las principales preguntas de implementación de un cobro por congestión.....	49
3.10.3.	Pasos del proceso de aplicación de un cobro por congestión.....	53
3.10.4.	Peaje de congestión pigouviano.....	53
3.10.4.1.	Demanda	53
3.10.4.2.	Costo generalizado de transporte.....	54
3.10.4.3.	Valor del tiempo.....	54
3.10.4.4.	Costo individual.....	55
3.10.4.5.	Costo social marginal.....	56
3.10.4.6.	Cobro por congestión.....	58

3.10.5.	Esquemas y tecnologías disponibles para el cobro.....	59
3.10.6.	Impactos del peaje de congestión.....	62

CAPÍTULO 4.- APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE EL COBRO DE CONGESTIÓN EN LA CIUDAD DE TARIJA

4.1.	UBICACIÓN Y GENERALIDADES DEL SECTOR DE ESTUDIO.....	65
4.2.	PROCESO DE ESTUDIO.....	66
4.2.1.	Características del sector de estudio.....	66
4.2.2.	Determinación de las propiedades físicas y geométricas del sector de estudio.....	68
4.3.	AFORO DE VOLÚMENES DE TRÁFICO.....	69
4.4.	AFORO DE VELOCIDADES HORARIAS.....	70
4.5.	FASE DE GABINETE.....	71
4.5.1.	Procesamiento de la información de tráfico en el sector de estudio.....	71
4.5.1.1.	Depuración de los aforos de tráfico.....	71
4.5.1.1.1.	Porcentaje de los giros de volúmenes medios de tráfico.....	71
4.5.1.2.	Determinación de la velocidad vehicular.....	71
4.5.2.	Determinación de otros indicadores de tráfico.....	71
4.5.2.1.	Intensidad (tasa de flujo).....	72
4.5.2.2.	Densidad.....	72
4.5.2.3.	Capacidad vial.....	72
4.5.2.4.	Demora en intersecciones.....	83
4.5.3.	Análisis de las condiciones reales para la capacidad y nivel de servicio del sector de estudio.....	83
4.6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	94
4.7.	TRANSFERENCIA DE BENEFICIOS A TRANSPORTE PÚBLICO Y MODOS NO MOTORIZADOS.....	95
4.7.1.	Metodología.....	95
4.7.2.	Zona de análisis (parte variable).....	98
4.7.3.	Síntesis de los resultados para el óptimo social y la maximización de ingresos del cobro por congestión.....	99

4.8.	RESULTADOS PARA LA TRANSFERENCIA DE BENEFICIOS A TRANSPORTE PÚBLICO Y MODOS NO MOTORIZADOS.....	101
4.9.	ANÁLISIS DEL ESTUDIO DEL CASO DE TARIJA.....	102

CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES.....	105
5.2.	RECOMENDACIONES.....	108

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía.....	110
-------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Esquema de cobro por congestión.....	4
Tabla 1.2 BOLIVIA: Parque automotor, según el departamento, 2015 – 2016.....	6
Tabla 2.1 Características de los vehículos de proyecto.....	19
Tabla 2.2 Descripción de niveles de servicio en función de la demora.....	34
Tabla 2.3 Descripción de niveles de servicio en función del factor de carga.....	35
Tabla 3.1 Ideas para resolver las principales preguntas de implementación de un cobro por congestión.....	49
Tabla 3.2 Características de los diferentes esquemas de cobro.....	60
Tabla 3.3 Clasificación de tecnologías.....	61
Tabla 3.4 Descripción de las tecnologías disponibles para el cobro por congestión.....	62
Tabla 3.5 Impactos positivos y negativos de un peaje de congestión implementado sin medidas complementarias	63
Tabla 4.1 Propiedades geométricas del sector de estudio.....	68
Tabla 4.2 Propiedades físicas del sector de estudio.....	69
Tabla 4.3 Resultados del análisis de capacidad vial.....	73
Tabla 4.4 Resultados de las demoras en intersecciones.....	83
Tabla 4.5 Resultados del estudio de nivel de servicio.....	84
Tabla 4.6 Viajes que entran al sector de estudio.....	96
Tabla 4.7 Viajes que salen del sector de estudio.....	97
Tabla 4.8 Comportamiento detallado de las avenidas del sector de estudio.....	98
Tabla 4.9 Esquema de cobro por congestión.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 BOLIVIA: Parque automotor 2003 – 2016.....	5
Figura 1.2 BOLIVIA: Participación del tipo de servicio en el parque automotor.....	6
Figura 2.1 Vehículo ligero o liviano.....	17
Figura 2.2 Vehículo pesado.....	18
Figura 2.3 Densidad o concentración.....	28
Figura 2.4 Relación fundamental del flujo vehicular.....	29
Figura 2.5 Relación lineal entre la velocidad y la densidad.....	30
Figura 2.6 Vías con distintos niveles de servicio.....	35
Figura 3.1 Curva típica de demanda.....	53
Figura 3.2 Curva típica de costo individual.....	56
Figura 3.3 Equilibrio por costos individuales.....	56
Figura 3.4 Diagrama típico de oferta y costo incluyendo costo social marginal.....	57
Figura 3.5 Esquema típico de cargo por congestión.....	59
Figura 4.1 Departamento de Tarija.....	65
Figura 4.2 Provincia Cercado – Tarija.....	66
Figura 4.3 Ubicación del sector de estudio.....	67
Figura 4.4 Fotografía de la ubicación del sector de estudio (Google Earth).....	67
Figura 4.5 Metodología del análisis de cobro por congestión.....	95
Figura 4.6 Viajes que entran al sector de estudio.....	97
Figura 4.7 Viajes que salen del sector de estudio.....	98
Figura 4.8 Análisis grafico de congestión	101
Figura 4.9 Comparación de la velocidad del flujo vehicular.....	102
Figura 4.10 Comparación de volúmenes vehiculares.....	103

ANEXOS

- Anexo I: Aforo de volúmenes vehiculares
- Anexo II: Resultados del análisis de la depuración de aforos vehiculares
- Anexo III: Porcentaje de giros de volúmenes medios de tráfico
- Anexo IV: Aforo y procesamiento de datos para la obtención de la velocidad vehicular
- Anexo V: Intensidad media circulante de las avenidas del sector de estudio
- Anexo VI: Densidad media vehicular de las avenidas del sector de estudio
- Anexo VII: Análisis de las condiciones reales para la capacidad vial
- Anexo VIII: Tiempo de demoras en las intersecciones del sector de estudio
- Anexo IX: Distancia promedio de vehículos por viaje en el sector de estudio
- Anexo X: Regresión lineal que relaciona la demora del tiempo de viaje en función del uso de las vías
- Anexo XI: Ascenso y descenso de pasajeros
- Anexo XII: Encuesta de movilidad y resultados
- Anexo XIII: Distancia aproximada de viaje del transporte público
- Anexo XIV: Determinación de la tarifa del peaje y recaudo por congestión
- Anexo Fotográfico