

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE MEJORA DE LA CONDICIÓN DEL
FLUJO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN DE LA
RUTA (9) Y LA RUTA (29) MEDIANTE UNA
ALTERNATIVA A NIVEL”**

Por:

MARIANO JOSÉ GUZMÁN ERAZO

Proyecto presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil

Semestre I -2025

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA:

A mis padres

Prof. Mariano Guzman Tapia

Profa. Juliana Erazo Cardozo

Y a mi madrina

Profa. Luisa Guzman Tapia

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.2.1. Justificación académica	2
1.2.2. Justificación sobre la aplicación técnica	3
1.2.3. Justificación e importancia social	3
1.3. Planteamiento del problema	4
1.3.1. Situación problemática	4
1.3.2. Delimitación temporal	5
1.3.3. Delimitación espacial	6
1.3.4. Formulación del problema	6
1.4. Objetivos de la investigación	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Hipótesis	7
1.6. Conceptualización de la variable	7
1.7. Operacionalización de la variable.	7
1.8. Alcance y tipo de investigación.	7

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

	Página
2.1. Marco Teórico	8
2.1.1. Definición de intersección a nivel	8
2.1.2. Tipo de intersecciones a nivel	8
2.1.3. Importancia de las intersecciones en la planificación vial	13
2.1.4. Congestión del tráfico en intersecciones a nivel	14
2.1.5. Flujo vehicular	15
2.1.6. Variables relacionadas con el flujo	15
2.1.7. Variables relacionadas con la velocidad	17
2.1.8. Variables relacionadas con la densidad	20
2.1.9. Relación entre el flujo, la velocidad, la densidad, el intervalo y el espaciamiento	22
2.1.10. Capacidad	23
2.1.11. Señalización	25
2.1.12. Fotogrametría	32
2.1.13. Aforo vehicular	35
2.1.14. Métodos de aforo	35
2.1.15. Programación de aforos	35
2.1.16. Elementos de tránsito	36
2.1.17. Clasificación vehicular	38
2.1.18. VISSIM	38
2.1.19. Funcionamiento de VISSIM	39

2.1.20. Análisis estadístico	40
2.2. Marco normativo	41
2.2.1. Normativa AASTHO	41
2.2.2. Roundabouts: an Informational Guide	41
2.2.3. US Federal Higways Administration	42
2.3. Marco referencial	42
2.4. Análisis del aporte teórico por el autor	42

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página
3.1. Marco geográfico	43
3.2. Criterios del diseño metodológico	45
3.2.1. Unidad de estudio	45
3.2.2. Población	45
3.2.3. Muestra	45
3.2.4. Tamaño de muestra	45
3.3. Volúmenes de tráfico	45
3.3.1. Horas picos	45
3.3.2. Volúmenes de trafico de los movimientos en cada acceso.	51
3.3.3. Depuración de los datos del aforo de giros	56
3.3.4. Determinación del índice de crecimiento vehicular	68
3.3.5. Volúmenes de tráfico futuro	71
3.4. Velocidad del tráfico	73
3.4.1. Control y análisis de los datos de velocidad	75

3.5.	Fotogrametría	81
3.5.1.1.	Elaboración del modelo digital del terreno	82
3.6.	Tiempo de recorrido	87
3.6.1.	Tiempo de recorrido promedio de los vehículos	88
3.7.	Geometría de la intersección actual	89
3.8.	Modelado de la intersección actual en PTV VISSIM	89
3.8.1.	Geometría	89
3.8.2.	Composición de vehículos	90
3.8.3.	Entradas de vehículos	92
3.8.4.	Asignación de rutas	92
3.8.5.	Áreas de conflicto y prioridades de paso	93
3.8.6.	Tramo de análisis de tiempo de recorrido	95
3.9.	Calibración del modelo de comportamiento del conductor	96

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS, DISEÑO Y CALCULOS

	Página
4.1. Análisis de la intersección del tráfico actual con el tráfico futuro.	108
4.2. Alternativas.	114
4.2.1. Semaforización de la intersección con la geometría actual.	114
4.2.2. Alternativa rotonda (modificación geométrica)	121
4.2.3. Alternativa rotonda semaforizada	134
4.2.4. Alternativa intersección con paso a desnivel.....	138
4.3. Análisis y comparación de resultados.	146

4.4.	Prueba de verificación de hipótesis	150
4.4.1.	Hipótesis nula (h_0)	151
4.4.2.	Hipótesis alternativa (h_1)	151
4.4.3.	Cálculo del valor estadístico crítico (t)	151
4.4.4.	Cálculo del valor estadístico (t_c).	151
4.4.5.	Comparación de valores estadísticos	153
4.4.6.	Conclusión sobre las hipótesis	153
4.5.	Presupuesto general	154

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	155
5.2. Recomendaciones	156

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Delimitación Temporal	5
Tabla 2. Operacionalización de la variable.	7
Tabla 3. Comparación de tipos de rotonda	11
Tabla 4. Vehículos por hora del día Jueves de la semana.	46
Tabla 5. Total, de vehículos por día	47
Tabla 6. Resumen de vehículos por hora en días hábiles de la semana.	49
Tabla 7. Resumen de vehículos por hora en días no hábiles de la semana.	50
Tabla 8. Estaciones de conteo vehicular.	52
Tabla 9. Clasificación de vehículos para el proyecto.	53
Tabla 10. Tabla de recuento de los giros en la intersección	55
Tabla 11. Tabla resumen de los datos de aforo por día	56
Tabla 13. Depuración de datos día jueves de las 4 semanas en la hora pico de 07:00-08:00	58
Tabla 14. Medias corregidas del día jueves en sus 3 horas picos	59
Tabla 15. Medias corregidas del día viernes en sus 3 horas picos	60
Tabla 16. Medias corregidas del día sábado en sus 2 horas picos	61
Tabla 17. Depuración de datos día jueves en sus 3 horas picos	62
Tabla 18. Depuración de datos día viernes en sus 3 horas picos	63
Tabla 19. Medias corregidas del día jueves en sus 4 sentidos de circulación	64

Tabla 20.	Medias corregidas del día viernes en sus 4 sentidos de circulación	64
Tabla 21.	Medias corregidas del día sábado en sus 4 sentidos de circulación	65
Tabla 22.	Volúmenes totales corregidos de la intersección	66
Tabla 23.	Distribución de volúmenes corregidos de la intersección en porcentajes	67
Tabla 24.	Parque automotor de Tarija según tipo de servicio y clase de vehículo 2003-2023	69
Tabla 25.	Agrupación de datos según la clasificación propuesta en esta tesis 2003-2023	70
Tabla 26.	Cálculo del índice de crecimiento y depuración	71
Tabla 27.	Tabla de volúmenes de tráfico futuros usando el índice de crecimiento vehicular calculado	72
Tabla 28.	Distribución de Volúmenes de tráfico futuro en los accesos de la intersección.	73
Tabla 29.	Depuración de datos de velocidad	76
Tabla 30.	Velocidades de vehículos en el Acceso Sur	77
Tabla 31.	Velocidades de vehículos en el Acceso Norte	78
Tabla 32.	Velocidades de vehículos en el Acceso Oeste	79
Tabla 33.	Velocidades de vehículos en el Acceso Este	80
Tabla 34.	Tiempos de recorridos de campo.	88
Tabla 35.	Parámetros de la implementación del modelo Wiedemann 99.	97

Tabla 36.	Resultados de tiempos de recorridos con distintos valores de CC1 y CC7 en Vissim	98
Tabla 37.	Tiempos de recorridos de VISSIM para CC1=0.2 y CC7=0.1, y de campo	99
Tabla 38.	Tiempos de recorridos de VISSIM para CC1=0.2 y CC7=0.2, y de campo	101
Tabla 39.	Prueba de Aleatorización de tiempos de recorrido para CC1=0.2 y CC7=0.2	102
Tabla 40.	Tiempos de recorridos de VISSIM para CC1= 0.8 y CC7=0.3, y de campo	103
Tabla 41.	Tiempos de recorridos de VISSIM para CC1=0.2 y CC7=0.35 y de campo	105
Tabla 42.	Veh que circulan por la intersección y Nivel de Servicio ...	108
Tabla 43.	Longitud de cola de cada acceso.	111
Tabla 44.	Veh que circulan por la intersección y Nivel de Servicio ...	118
Tabla 45.	Longitud de Cola de intersección semaforizada	120
Tabla 46.	Umbrales de volumen para determinar el número de carriles de entrada.....	122
Tabla 47.	Parámetros geométricos de calzada de la rotonda	126
Tabla 48.	Parámetros del Acceso Sur.....	127
Tabla 49.	Parámetros del Acceso Norte	128
Tabla 50.	Parámetros del Acceso Oeste	128
Tabla 51.	Parámetros del Acceso Este	129
Tabla 52.	Resultado de veh. que circulan en la rotonda y nivel de	

	servicio	131
Tabla 53.	Longitud de cola en cada acceso de la rotonda	133
Tabla 54.	Resultados de Veh que circulan por la rotonda Semaforizada y Nivel de Servicio	135
Tabla 55.	Longitud de cola de cada acceso de rotonda semaforizada ...	137
Tabla 56.	Parámetros de la calzada de la rotonda	139
Tabla 57.	Parámetros del acceso ruta F9 S-N.	139
Tabla 58.	Parámetros del acceso ruta F9 N-S.	140
Tabla 59.	Parámetros del acceso ruta D29.	140
Tabla 60.	Parámetros del acceso Entrada a Campo Pajoso.	140
Tabla 61.	Parámetros de rampa de acceso Sur. al Puente a Desnivel ...	140
Tabla 62.	Parámetros de rampa de acceso N al Puente a Desnivel ...	141
Tabla 63.	Parámetros del puente a desnivel	141
Tabla 64.	Resultados de veh. que circulan por la intersección con paso a desnivel y nivel de servicio	143
Tabla 65.	Resultado de longitud de cola de accesos alternativa paso a desnivel	145
Tabla 66.	Volúmenes promedio de Veh/h que pasan por la intersección	146
Tabla 67.	Diferencia de datos del flujo de acuerdo al tipo de intersección	152
Tabla 68.	Estadística de muestras relacionadas.	153
Tabla 69.	Prueba de muestras relacionadas.	153
Tabla 70.	Presupuesto general de la alternativa a desnivel	154

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
Figura1. Intersección de 3 ramales no canalizada	8
Figura2. Intersección de 3 ramales canalizada	9
Figura3. Intersección de 4 ramales no canalizada	9
Figura4. Intersección de 4 ramales canalizada	10
Figura5. Típica mini-rotonda	12
Figura6. Ronda de un solo carril	12
Figura7. Ronda de 3 carriles	13
Figura8. Intervalo entre vehículos.	16
Figura9. Velocidad de punto de un vehículo.	17
Figura10. Velocidad instantánea de un vehículo.	18
Figura11. Densidad.	21
Figura12. Espaciamientos entre vehículos.	22
Figura13. Relaciones de tiempo y espacio entre vehículos.	22
Figura14. Vista área de la intersección	27
Figura15. Señal preventiva de intersección sobre la ruta F9 acceso Sur	28
Figura16. Señal preventiva de intersección sobre la ruta F9 acceso Norte.	28
Figura17. Señal preventiva de indicación de curva hacia la izquierda en la ruta F9 acceso Norte	29

Figura18.	Señal de Restricción de Control de Aduana	30
Figura19.	Señal de Restricción de alto obligatorio.	30
Figura20.	Señales informativas de rutas.....	31
Figura21.	Señal Informativa de la comunidad	31
Figura22.	Señal Informativa de destinos.	32
Figura23.	Mapa de ubicación de la intersección.	44
Figura24.	Captura de pantalla de aplicación contador por pulsación	45
Figura25.	Ubicación de las 4 estaciones en la intersección para realizar el conteo de giros.	52
Figura26.	Interfaz de uso de la aplicación.	53
Figura27.	Generador de reportes de aforos de la aplicación.	54
Figura28.	Gráfico referencial para observar los giros en la intersección y sus respectivos volúmenes	68
Figura29.	Calibración y configuración del software.	74
Figura30.	Grafica posición vs tiempo veh1 Acc. Sur	75
Figura31.	Vehículo 1 analizado R9 S-N.....	75
Figura32.	Dron DJI Phantom 4 preparado para el despegue de su misión de vuelo.	82
Figura33.	Validación de georreferenciación y traslape de las imágenes.	83
Figura34.	Nube de puntos densa.....	84
Figura35.	Modelo digital del terreno (MDT)	85
Figura36.	Modelo 3D de la intersección	86
Figura37.	Ilustración del recorrido que se analizó en la intersección.	87

Figura38.	Geometría Actual de la Intersección Ruta F9 con la Ruta D29	89
Figura39.	Modelado de la geometría de la intersección en el software.	90
Figura40.	Composición de vehículos para los accesos.	90
Figura41.	Recuadro de elaboración de los tipos de vehículos	91
Figura42.	Recuadro de distribución de velocidades para los accesos.	91
Figura43.	Distribución de tipos de vehículos respecto al volumen.	92
Figura44.	Entrada de volúmenes de vehículos en el modelo.	92
Figura45.	Asignación de rutas.	93
Figura46.	Áreas de conflictos en la intersección.	94
Figura47.	Reglas de prioridad	95
Figura48.	Tramo de análisis para tiempo de recorrido.	96
Figura49.	Resultado del Trafico Actual	109
Figura50.	Resultado del Trafico Futuro	110
Figura51.	Longitud de cola tráfico actual	112
Figura52.	Longitud de Cola Trafico Futuro	113
Figura53.	Distribución de volúmenes resultados de la simulación con el tráfico Futuro.....	114
Figura54.	Volúmenes transformados a vehículos equivalentes.	115
Figura55.	Fase 1	115
Figura56.	Fase 2	116
Figura57.	Fase 3	116
Figura58.	Diagrama de programación de fases en Vissim	117

Figura59.	Resultado de volúmenes con semáforos	119
Figura60.	Longitud de cola de los accesos con semáforos	121
Figura61.	Volúmenes de tráfico en una rotonda	122
Figura62.	Distribución de volúmenes de tráfico futuro a 20 años en una rotonda	123
Figura63.	Dimensiones del vehículo de diseño WB-20D	124
Figura64.	Radio giro mínimo del vehículo de diseño WB-20	125
Figura65.	Esquema de los parámetros de la rotonda	127
Figura66.	Radios de giro que realizaría el vehículo WB-20D en la intersección	130
Figura67.	Resultados de volúmenes rotonda	132
Figura68.	Longitud de cola en los accesos de la rotonda	134
Figura69.	Resultados de volúmenes de rotonda semaforizada	136
Figura70.	Longitud de cola de cada acceso de la rotonda con semáforos	138
Figura71.	Biblioteca de Rotondas de Civil 3D.	139
Figura72.	Perfil de ruta F9 rampas de accesos y puente a desnivel ...	141
Figura73.	Sección transversal del puente a desnivel	141
Figura74.	Radios de giros que realizaría el vehículo WB-20D en la intersección	142
Figura75.	Resultados de volúmenes y nivel de servicio en paso a desnivel	144
Figura76.	Longitud de cola en los accesos alternativa paso a desnivel	146

ÍNDICE DE GRÁFICOS

		página
Gráfico 1.	Histograma del recuento vehicular por hora día Jueves.	47
Gráfico 2.	Histograma de números de vehículos por días de la semana.	48
Gráfico 3.	Gráfico de tendencia de los vehículos por hora en días hábiles de la semana	49
Gráfico 4.	Gráfico de tendencia de los vehículos por hora en días no hábiles de la semana.	50
Gráfico 5.	Curva de distribución normal acumulada de la velocidad, Acceso Sur	78
Gráfico 6.	Curva de distribución normal acumulada de la velocidad, Acceso Norte	79
Gráfico 7.	Curva de distribución normal acumulada de la velocidad, Acceso Oeste	80
Gráfico 8.	Curva de distribución normal acumulada de la velocidad, Acceso Este	81
Gráfico 9.	Prueba de Aleatorización de tiempos de recorrido para $CC1=0.2$ y $CC7=0.1$	100
Gráfico 10.	Prueba de Aleatorización de tiempos de recorrido para $CC1=0.8$ y $CC7=0.3$	104
Gráfico 11.	Prueba de Aleatorización de tiempos de recorrido para $CC1=0.2$	

	y $CC7=0.35$	106
Gráfico 12.	Veh/h de cada alternativa	147
Gráfico 13.	Longitud de cola del acceso sur ruta F9	148
Gráfico 14.	Longitud de cola del acceso norte ruta F9	149
Gráfico 15.	Longitud de cola del acceso Entr. a Campo Pajoso	149
Gráfico 16.	Longitud de cola acceso ruta D29	150

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Manual de VISSIM

ANEXO 2: Aforos y volúmenes de tráfico

ANEXO 3: Velocidades

ANEXO 4: Fotogrametría

ANEXO 5: Semaforización

ANEXO 6: Reporte Fotográfico

ANEXO 7: Planos