

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



TOMO I

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN ROTONDAS DE UNO Y DOS
CARRILES EN TRAMOS URBANOS APLICADO A LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

RODRIGO RIVERA BUITRAGO

Proyecto de grado presentado a consideración de la “Universidad Autónoma Juan Misael Saracho”, como requisito para optar el grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

Semestre II-2022

TARIJA-BOLIVIA

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

TOMO I

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN ROTONDAS DE UNO Y DOS
CARRILES EN TRAMOS URBANOS APLICADO A LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

RODRIGO RIVERA BUITRAGO

Semestre II- 2022
TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a Dios que me supo dar las fuerzas para seguir adelante a pesar de las dificultades de la Vida.

A mis Padres y hermanos que siempre me apoyaron, y motivarme a seguir buscando la superación.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.2.1 Situación problemática.....	2
1.2.2 Problema.....	3
1.3 Objetivos del proyecto	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación	4
1.5 Alcance de estudio	5

CAPÍTULO II

LA INGENIERÍA DE TRÁFICO Y SUS VARIABLES

	Pág.
2.1 Parámetros fundamentales del tráfico	7
2.1.1 Intensidad.....	7
2.1.2 Velocidad.....	7
2.1.3 Densidad de tráfico	8
2.2 Tipos de rotondas.....	9
2.2.1 Rotondas	9
2.3 Parámetros geométricos	11
2.3.1 Ángulo de entrada a la rotonda (φ)	11
2.3.2 Radio de curvatura de la curva de entrada (R).....	12
2.3.3 Ancho de entrada a la rotonda (E)	12
2.3.4 Mitad del ancho del carril de aproximación (V).....	13
2.3.5 Diámetro inscrito en la rotonda (D)	13

2.3.6 Longitud de la curva de entrada (L).....	13
2.4 Principios de diseño de rotondas	14
2.5 Dimensiones de las rotondas	16
2.6 Costos de operación y mantenimiento	17
2.7 Ventajas y desventajas de las rotondas	17
2.8 Métodos de aforo	18
2.8.1 Aforos manuales	18
2.8.2 Contadores mecánicos.....	19
2.8.3 Contadores portátiles.....	19
2.8.4 Método del vehículo en movimiento.....	20
2.9 Análisis de la información del tráfico	20
2.9.1 Volúmenes de tránsito	20
2.9.1.1 Volúmenes de tránsito anual (TA).....	21
2.9.1.2 Volúmenes de tránsito mensual (TM).....	21
2.9.1.3 Volúmenes de tránsito diario (TD).....	21
2.10 Velocidad.....	22
2.10.1 Velocidad de proyecto	22
2.10.2 Estudio de velocidad de punto	22
2.11 Capacidad	23
2.11.1 Capacidad de una rotonda.....	23
2.11.2 Parámetros influyentes en la capacidad de una entrada	25
2.12 Nivel de servicio	25
2.13 Semaforización	27
2.13.1 Elementos que componen el semáforo.....	27
2.13.2 Semáforos de tiempos fijos o predeterminados	29
2.13.3 Condiciones para la instalación	30
2.13.3.1 Volumen mínimo de vehículos (condición A).....	30
2.13.3.2 Interrupción al tránsito continuo (condición B).....	31
2.13.3.3 Volumen mínimo de peatones (condición C)	32
2.13.3.4 Movimiento o circulación progresiva (condición D)	34
2.13.3.5 Antecedentes y experiencia sobre accidentes (condición E)	34

2.13.3.6 Combinación de las condiciones anteriores (condición F)	35
2.14 Señalización	35
2.14.1 Señalización vertical.....	35
2.14.2 Señales reglamentarias	36
2.14.3 Señales preventivas	37

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

	Pág.
3.1 Ubicación del área de estudio	38
3.2 Análisis del proceso de relevamiento.....	39
3.3 Ubicación de rotondas para conteo vehicular en horas pico	39
3.4 Estudio del tráfico	45
3.4.1 Determinación de horas pico	45
3.5 Determinación de parámetros de tráfico	46
3.5.1 Velocidad de punto	46
3.5.2 Volumen vehicular.....	48
3.6 Determinación de la capacidad y nivel de servicio.....	108
3.6.1 Cálculo de la capacidad y nivel de servicio en las rotondas con semáforo.....	109
3.6.2 Cálculo de la capacidad y nivel de servicio en las rotondas sin semáforo.....	111
3.7 Evaluación de la situación actual de las rotondas.....	116
3.7.1 Calzada mal señalizada	116
3.7.2 Tramos de la calzada circulatoria casi rectos	117
3.7.3 Paraderos mal ubicados.....	118
3.7.4 Pistas en mal estado	118
3.8 Análisis de resultados.....	119
3.8.1 Velocidades.....	120
3.8.2 Volumen vehicular.....	121
3.8.3 Capacidad vehicular	123

3.8.4 Nivel de servicio	125
3.8.5 SemafORIZACIÓN	128

CAPÍTULO IV

PLANTAMIENTO DE SOLUCIONES

	Pág.
4.1 Propuestas de solución	136
4.2 Identificación de alternativas de solución	137

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.
5.1 Conclusiones.....	167
5.2 Recomendaciones	171

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO N° 1 Cálculo de las horas pico en la rotonda más crítica

ANEXO N° 2 Aforo de velocidades

ANEXO N° 3 Aforo de volúmenes

ANEXO N° 4 Resumen de volúmenes totales

ANEXO N° 5 Cálculo de la capacidad y nivel de servicio

ANEXO N° 6 Esquema de soluciones (planos)

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1:Esquema de una rotonda normal	10
Figura 2:Rotonda normal	11
Figura 3:Construcción geométrica para hallar el valor de Φ	12
Figura 4:Ángulo de entrada a la rotonda.....	12
Figura 5:Parámetros geométricos de una rotonda	13
Figura 6:Construcción geométrica para hallar el valor de l y l'	14
Figura 7:Punto de conflicto	15
Figura 8:Prioridad en la entrada a la rotonda	15
Figura 9:Reducción de la velocidad en la rotonda.....	16
Figura 10:Dimensiones de las rotondas	16
Figura 11:Flujos de tránsito en una entrada de rotonda.....	24
Figura 12:Niveles de servicio.....	26
Figura 13:Posición de las lentes de un semáforo de tres luces.....	29
Figura 14:Señal de ceda el paso	36
Figura 15:SR-1 pare.....	36
Figura 16:SR-2 Ceda el paso.....	37
Figura 18:Ubicación del área de estudio.....	38
Figura 19:Variación vehicular durante 12 horas continuas av. Jaime Paz-av. Fuerza Aérea Boliviana.....	46
Figura 20:Resumen de volúmenes para la rotonda av. J.D. Echazu (Héroes del Chaco-Puente)	48
Figura 21:Resumen de volúmenes para la rotonda av. J.M. Belgrano (av. Los Membrillos-Badén).....	50
Figura 22:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Los Membrillos (c. Daniel Sossa- c. Ingavi).....	52
Figura 23:Resumen de volúmenes para la rotonda av. D. Zamora (c. Ernesto Trigo-av. Brasil)	54
Figura 24:Resumen de volúmenes para la rotonda av. J.M. Belgrano (av. J.D. Echazu-Badén).....	56

Figura 25:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Circunvalación (av. Baldiviezo-av. Romero)	58
Figura 26:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Ballivian (c. Perú-Cementerio)	60
Figura 27:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Circunvalación-av. Colón	62
Figura 28:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Héroes de la Independencia-av. Los Sauces.....	64
Figura 29:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Héroes de la Independencia (av. El Erque-av. Los Molles)	66
Figura 30:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Independencia (av. Hnos. Uriondo-Puente)	68
Figura 31:Resumen de volúmenes para la rotonda av. La Banda-Puente Bicentenario.....	70
Figura 32:Resumen de volúmenes para la rotonda av. J.M. Avilez (c. Mario Cossío-c. Z. W. De Ruiz)	72
Figura 33:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Gamoneda (av. M.Q. Santa Cruz-c. J.E. Díaz- Mons. A. Romero)	74
Figura 34:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Circunvalación (av. J. D. Echazu-av. Las Vegas).....	76
Figura 35:Resumen de volúmenes para la rotonda av. La Banda-av. Hnos. Uriondo	78
Figura 36:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Circunvalación-av. Fuerza Aérea Boliviana	80
Figura 37:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Jaime Paz (av. Fuerza Aérea Boliviana).....	82
Figura 38:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Panamericana-c. Cochabamba	84
Figura 39:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Panamericana (av. Guadalquivir-pasaje Azucena)	86
Figura 40:Resumen de volúmenes para la rotonda av. La Banda-Puente Bolívar	88

Figura 41:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Circunvalación (M. Font - Esmeralda).....	90
Figura 42:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Integración (c. Copacabana- c. Centro América).....	92
Figura 43:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Edmundo Torrejón Cardoso- av. España.....	94
Figura 44:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Los Callejones-av. Los Sauces.....	96
Figura 45:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Integración -av. Jerusalén.....	98
Figura 46:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Integración-av. Guadalquivir	100
Figura 47:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Humberto Arce-c. Andrés Zamora	102
Figura 48:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Héroes de la Independencia (c. Manuel Rojas-av. Julio Arce).....	104
Figura 49:Resumen de volúmenes para la rotonda av. Baldiveizo-av. Fuerza Aérea Boliviana	106
Figura 50:Ábaco para el cálculo de la capacidad	108
Figura 51:Calzada mal señalizada	117
Figura 52:Tramo de calzada	118
Figura 53:Pista en mal estado.....	119
Figura 54:Resumen total de velocidades en los accesos para las 1 ^{ras} 10 rotondas ..	120
Figura 55:Resumen total de velocidades en los accesos para las 2 ^{das} 10 rotondas ..	120
Figura 56:Resumen total de velocidades en los accesos para las 3 ^{ras} 10 rotondas...	121
Figura 57:Resumen de volúmenes totales en los accesos para las 1 ^{ras} 10 rotondas	122
Figura 58:Resumen de volúmenes totales en los accesos para las 2 ^{das} 10 rotondas	122
Figura 59:Resumen de volúmenes totales en los accesos para las 3 ^{ras} 10 rotondas	123
Figura 60:Resumen de la capacidad en los accesos para las 1 ^{ras} 10 rotondas.....	124

Figura 61:Resumen de la capacidad en los accesos para las 2 ^{das} 10 rotondas	124
Figura 62:Resumen de la capacidad en los accesos para las 3 ^{ras} 10 rotondas.....	125
Figura 63:Resumen del nivel de servicio en los accesos para las 1 ^{ras} 10 rotondas	126
Figura 64:Resumen del nivel de servicio en los accesos para las 2 ^{das} 10 rotondas	126
Figura 65:Resumen del nivel de servicio en los accesos para las 3 ^{ras} 10 rotondas	127
Figura 66: Capacidad real fase verde.....	128
Figura 68: Nivel de servicio con semáforo	128
Figura 69: Capacidad real fase verde.....	129
Figura 71: Nivel de servicio con semáforo	129
Figura 72: Capacidad real fase verde.....	130
Figura 74: Nivel de servicio con semáforo	130
Figura 75: Capacidad real fase verde.....	131
Figura 77: Nivel de servicio con semáforo	131
Figura 78: Capacidad real fase verde.....	132
Figura 80: Nivel de servicio con semáforo	132
Figura 81: Capacidad real fase verde.....	133
Figura 83: Nivel de servicio con semáforo	133
Figura 84: Capacidad real fase verde.....	134
Figura 86: Nivel de servicio con semáforo	134

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1:Condición A. Volumen mínimo de vehículos	31
Tabla 2:Condición B. Interrupción del tránsito continuo	32
Tabla 3:Resumen de horas pico en la rotonda más crítica av. Jaime Paz-av. Fuerza Aérea Boliviana	45
Tabla 4:Aforo vehicular av. Jaime Paz-av. Fuerza Aérea Boliviana.....	45
Tabla 5:Resumen de velocidades de punto en las rotondas	47

Tabla 6:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada entre la av. J.D. Echazu (Héroes del Chaco-Puente).....	49
Tabla 7:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. J.M. Belgrano (av.Los Membrillos-Badén).....	51
Tabla 8:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Los Membrillos (c.Daniel Sossa- c. Ingavi).....	53
Tabla 9:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. D. Zamora (c. Ernesto Trigo-av. Brasil).....	55
Tabla 10:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. J.M. Belgrano (av. J.D. Echazu-Badén).....	57
Tabla 11:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Circunvalación (av. Baldiviezo- Av. Romero)	59
Tabla 12:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Ballivian (c. Perú-Cementerio).....	61
Tabla 13:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Circunvalación- av. Colón	63
Tabla 14:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Héroes de la Independencia -av. Los Sauces.....	65
Tabla 15:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Héroes de la Independencia (av. El Erque-av. Los Molles).....	67
Tabla 16:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Independencia (av.Hnos. Uriondo-Puente).....	69
Tabla 17:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. La Banda-Puente Bicentenario.....	71
Tabla 18:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. J.M. Avilés (c. Mario Cossío-c. Z. W. De Ruiz).....	73
Tabla 19:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Gamonedá (av. M.Q. Santa Cruz-c. J.E. Díaz- Mons. A. Romero).....	75
Tabla 20:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Circunvalación (av. J. D. Echazu-av. Las Vegas).....	77

Tabla 21:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. La Banda-av. Hnos. Uriondo	79
Tabla 22:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Circunvalación- av. Fuerza Aérea Boliviana	81
Tabla 23:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Jaime Paz (av. Fuerza Aérea Boliviana).....	83
Tabla 24:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Panamericana-c. Cochabamba	85
Tabla 25:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Panamericana (av. Guadalquivir-pasaje Azucena).....	87
Tabla 26:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. La Banda-Puente Bolívar.....	89
Tabla 27:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda ubicada av. Circunvalación (M. Font - Esmeralda).....	91
Tabla 28:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda av. Integración (c. Copacabana-c. Centro América).....	93
Tabla 29:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda av. Edmundo Torrejón Cardoso-av. España.....	95
Tabla 30:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda av. Los Callejones-av. Los Sauces.....	97
Tabla 31:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda av. Integración -av. Jerusalén....	99
Tabla 32:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda av. Integración-av. Guadalquivir.....	101
Tabla 33:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda av. Humberto Arce-c. Andrés Zamora	103
Tabla 34:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda av. Héroes de la Independencia (c. Manuel Rojas-av. Julio Arce).....	105
Tabla 35:Resumen de volúmenes (veh/hr) rotonda av. Baldiviezo-av. Fuerza Aérea Boliviana	107
Tabla 36:Nivel de servicio	108

Tabla 37:Tiempo de ciclo y tiempo fases rotonda av. Jaime Paz-av. Fuerza Aérea Boliviana	109
Tabla 38:Corrección por hora verde	109
Tabla 39:Cálculo de la relación volumen capacidad	109
Tabla 40:Cálculo del nivel de servicio en la intersección con semáforo	110
Tabla 41:Nivel de servicio en intersecciones semaforizadas	110
Tabla 42:Resumen del nivel de servicio en las rotondas con semáforos	111
Tabla 43:Formulas para el cálculo de la capacidad	111
Tabla 45: Cálculo de la capacidad en los accesos	113
Tabla 46:Resumen de la capacidad en las rotondas.....	113
Tabla 47: Nivel de servicio	114
Tabla 48:Cálculo del nivel de servicio.....	115
Tabla 49:Resumen del nivel de servicio en las rotondas	115