

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**“ANÁLISIS DE TRÁFICO EN LA AVENIDA LA PAZ  
ENTRE AV. JAIME PAZ ZAMORA Y AV. CIRCUNVALACIÓN”**

**Por:**

**ACOSTA RENDIZ JHONATAN MARIO**

Proyecto presentado a consideración de la “**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**SEMESTRE II - 2020**

**TARIJA-BOLIVIA**

### **DEDICATORIA:**

A mi familia a mi abuela Marcelina Farfán Espinoza, mi madre Elizabeth Rendiz Farfán por siempre animarme a seguir adelante, a mi padre Fernando Barral y mi hermano Osvaldo Barral Rendiz cada uno de ellos ha aportado de manera importante para poder llegar hasta este punto de mi vida.

## ÍNDICE

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

## CAPÍTULO I DATOS GENERALES

	<b>Página</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Identificación del problema.....	2
1.3.1 Situación problemática .....	2
1.3.2 Problema .....	4
1.4 Formulación de hipótesis .....	5
1.4.1 Hipótesis .....	5
1.4.2 Identificación de variables .....	5
1.5 Objetivos .....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos .....	6
1.6 Metodología .....	7
1.6.1 Componentes .....	7
1.6.1.1 Unidad de estudio .....	7
1.6.1.2 Población y muestra.....	7
1.6.2 Método .....	7
1.6.3 Procedimiento de aplicación.....	7
1.6.3.1 Aforo vehicular .....	7
1.6.3.2 Aforo de velocidad.....	7
1.6.3.3 Procesamiento de datos .....	8
1.6.3.4 Determinación de capacidad y nivel de servicio.....	8

1.7 Alcance del proyecto.....	8
-------------------------------	---

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

	<b>Página</b>
2.1 Definición de tráfico y sus elementos .....	12
2.1.1 Vehículo.....	12
2.1.1.1 Clasificación vehicular.....	12
2.1.2 Usuario.....	14
2.1.2.1 Peatón.....	14
2.1.2.2 Conductor.....	15
2.1.3 Vía.....	16
2.2 Ingeniería de tráfico .....	17
2.2.1 Volumen de tránsito.....	18
2.2.1.1 Volúmenes de tránsito absolutos o totales .....	18
2.2.1.2 Volúmenes de tránsito promedio diarios.....	19
2.2.1.3 Volúmenes de tránsito horarios (VH) .....	19
2.2.1.4 Usos de volúmenes de tránsito .....	20
2.2.1.5 Estudios de volúmenes de tránsito .....	20
2.2.1.6 Métodos de aforo.....	20
2.2.1.6.1 Aforo en intersecciones urbanas .....	21
2.2.2 Velocidad .....	22
2.2.2.1 Estudios de velocidad.....	24
2.2.2.1.1 Estudios de velocidad de punto.....	24
2.2.2.1.2 Estudios de velocidad de recorrido .....	24
2.2.3 Densidad o concentración.....	25
2.3 Problemas del tráfico vehicular.....	26
2.3.1 Factores del problema de tráfico.....	26
2.3.2 Bases para la solución de problemas de tráfico .....	26
2.3.2.1 Ingeniería de tráfico .....	27
2.3.2.2 Educación vial.....	28
2.3.2.3 Normas y reglamentos.....	28

2.3.2.4 Control policial .....	29
2.3.3 Solución al problema de tráfico .....	29
2.3.3.1 Solución integral .....	29
2.3.3.2 Solución de alto costo .....	30
2.3.3.3 Solución de bajo costo .....	32
2.4 Capacidad vehicular y nivel de servicio en calles urbanas .....	33
2.4.1 Capacidad en intersecciones reguladas por semáforos .....	34
2.4.1.1 Determinación de capacidad (METODO HCM) .....	34
2.4.1.2 Niveles de servicio para intersecciones reguladas por semáforos .....	36
2.4.1.3 Metodología .....	36
2.4.2 Capacidad en intersecciones interrumpidas, método simplificado .....	41
2.5 Señalización .....	43
2.5.1 Requisitos.....	44
2.5.2 Clasificación de la señalización .....	44
2.5.2.1 Señalización vertical .....	44
2.5.2.1.1 Señales preventivas .....	46
2.5.2.1.2 Señales restrictivas .....	46
2.5.2.1.3 Señales informativas .....	47
2.5.2.2 Señalización horizontal .....	49
2.5.2.2.1 Líneas longitudinales .....	49
2.5.2.2.2 Líneas transversales .....	51
2.5.2.2.2.1 Líneas de detención .....	51
2.6 Semaforización.....	54
2.6.1 Ventajas y desventajas .....	54
2.6.2 Interpretación de señales.....	55
2.6.3 Componentes de Semáforos.....	56
2.6.4 Criterios para la instalación de semáforos .....	61
2.6.5 Tipos de semáforos .....	62
2.6.5.1 Semáforos de tiempo fijo o predeterminado .....	63
2.6.5.1.1 Semáforos accionados por el tránsito.....	63

## CAPÍTULO III

### APLICACIÓN PRÁCTICA

	<b>Página</b>
3.1 Ubicación del proyecto .....	64
3.2 Delimitación de zona de estudio .....	65
3.3 Computo de datos.....	65
3.3.1 Determinación de la hora pico .....	65
3.3.2 Aforo de volumen vehicular .....	67
3.3.3 Resumen de volúmenes vehiculares .....	74
3.3.4 Aforos peatonales .....	75
3.3.5 Aforo de tiempos de circulación instantáneos en intersecciones.....	76
3.4 Determinación de velocidad en punto .....	77
3.4.1 Resumen de velocidades de punto .....	78
3.5 Capacidad y nivel de servicio .....	79
3.5.1 Ejemplo de cálculo: método HCM en intersecciones con semáforos.....	79
3.5.2 Ejemplo de cálculo: método simplificado (método por ábacos).....	88
3.6 Señalización .....	92
3.6.1 Señales horizontales.....	92
3.6.2 Señales verticales.....	98
3.7 Semaforización.....	100
3.7.1 Diseño de tiempos semafóricos teóricos en intersecciones con semáforos ...	100
3.7.1.1 Optimización de tiempos de verde y ciclos de semáforo .....	106
3.7.2 Calculo de tiempos de verde para giros permitidos y protegidos hacia la izquierda.....	111
3.7.3 Diseño de tiempos de verde y ciclo en intersecciones sin semáforo .....	114
3.7.3.1 Optimización de tiempos de verde y ciclos de semáforo .....	115

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

	<b>Página</b>
4.1 Análisis de resultados de velocidad de punto .....	117
4.2 Análisis de resultado capacidad y nivel de servicio.....	119

4.2.1 Simulación en software SYNCHRO.....	123
4.3 Análisis de resultados de señalización .....	128
4.3.1 Señalamiento horizontal .....	128
4.3.2 Señalamiento Vertical.....	129
4.4 Análisis de resultados de semaforización .....	129
4.4.1 Comparación de tiempos de verde y ciclos teóricos con los reales .....	129
4.4.2 Análisis de tiempos de verde para giros a izquierda protegidos.....	131
4.4.3 Análisis de tiempos de verde y ciclos calculados en intersecciones sin semáforos .....	132
4.5 Propuestas de solución .....	133
4.5.1 Regulación de capacidad y nivel de servicio .....	133
4.5.1.1 Cambio de ubicación de paradas.....	134
4.5.1.2 Restricción de ingreso de vehículos.....	135
4.5.1.3 Habilitación de un carril adicional restringiendo el estacionamiento .....	141
4.5.2 Mejoramiento de la señalización .....	143
4.5.2.1 Señalización horizontal .....	143
4.5.2.2 Señalización vertical .....	146
4.5.3 Cambios en los tiempos de verde y ciclos de semáforos .....	148
4.5.3.1 Nuevos tiempos de verde y ciclos de semáforo .....	148
4.5.3.2 Nuevo dimensionamiento de tiempos semafóricos para proteger el giro hacia la izquierda.....	149
4.5.3.3 Instalación de nuevos semáforos.....	150
4.5.4 Readequación de sentidos y carril en el acceso 4 de la intersección 5 .....	150
4.5.4.1 Incidencia de las nuevas ciclovías sobre la avenida Belgrano.....	153

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	<b>Página</b>
5.1 Conclusiones .....	154
5.2 Recomendaciones.....	157

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

ANEXO 1 Datos: Aforos vehiculares

ANEXO 2 Depuración de datos: Aforos vehiculares

ANEXO 3 Datos y depuración: Velocidades

ANEXO 4 Determinación de capacidad y nivel de servicio

ANEXO 5 Cálculos de respaldo para alternativas de solución

ANEXO 6 Planos



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1-1 Variación del número vehicular del 2017 a 2018.....	3
Tabla 1-2 Lista de intersecciones.....	11
Tabla 2-1 Valores para el flujo peatonal.....	15
Tabla 2-2 Volúmenes de tránsito absolutos.....	18
Tabla 2-3 Volúmenes de tránsito promedio diario.....	19
Tabla 2-4 Criterios de nivel de servicio para intersecciones con semáforos.....	36
Tabla 2-5 Valores de $f_a$ según la zona.....	39
Tabla 2-6 $f_{LT}$ según el tipo de carril.....	40
Tabla 2-7 $f_{RT}$ según el tipo de carril.....	40
Tabla 2-8 Distancia mínima de separación entre señales.....	45
Tabla 2-9 Ubicación transversal de señales verticales distancia y altura.....	46
Tabla 2-10 Condición 1: volumen vehicular requeridos.....	61
Tabla 2-11 Condición 2: demoras en el transito.....	61
Tabla 2-12 Clasificación de semáforos.....	62
Tabla 3-1 Coordenadas UTM del proyecto.....	64
Tabla 3-2 Aforo vehicular de 14 horas.....	66
Tabla 3-3 Puntos de aforo.....	67
Tabla 3-4 Fechas de aforo.....	68
Tabla 3-5 Fechas de aforo.....	69
Tabla 3-6 Resumen de datos intersección 1/ acceso 1.....	70
Tabla 3-7 Resumen de datos intersección 1/ acceso 2.....	71
Tabla 3-8 Resumen de datos intersección 1/ acceso 3.....	71
Tabla 3-9 Depuración de datos: volumen vehicular.....	73
Tabla 3-10 Volúmenes vehiculares en cada acceso de las intersecciones (vh/h).....	74
Tabla 3-11 Volúmenes vehiculares en cada acceso de las intersecciones (vh/h).....	75
Tabla 3-12 Aforos Peatonales.....	76
Tabla 3-13 Depuración de datos: tiempos instantaneos intersección 1.....	77
Tabla 3-14 Velocidades en los accesos de la intersección 1.....	77
Tabla 3-15 Velocidad de punto en accesos de intersecciones.....	78

Tabla 3-16 Datos iniciales método HCM .....	80
Tabla 3-17 Ajuste de volumen vehicular .....	81
Tabla 3-18 Valores por defecto para NB .....	83
Tabla 3-19 Valores para ajuste por tipo de area.....	83
Tabla 3-20 Factor por uso de carril .....	83
Tabla 3-21 Flujo de saturación vehicular.....	85
Tabla 3-22 Factor de corrección $f_{pa}$ .....	87
Tabla 3-23 Porcentaje de movimientos vehiculares.....	88
Tabla 3-24 Nivel de servicio segun relación v/c.....	90
Tabla 3-25 Capacidad vehicular en las intersecciones en estudio .....	90
Tabla 3-26 Capacidad vehicular en las intersecciones en estudio .....	91
Tabla 3-27 Nivel de servicio en las intersecciones en estudio.....	92
Tabla 3-28 Señalamiento horizontal longitudinal .....	95
Tabla 3-29 Señalización horizontal transversal 1 de 2.....	96
Tabla 3-30 Señalización horizontal transversal 2 de 2.....	97
Tabla 3-31 Señalización horizontal flechas .....	98
Tabla 3-32 Señales restrictivas en la avenida La Paz .....	99
Tabla 3-33 Señales de advertencia en la avenida La Paz.....	99
Tabla 3-34 Señales informativas en la avenida La Paz.....	100
Tabla 3-35 Calculo de cambio de fase .....	102
Tabla 3-36 Factor de ajuste por vehículos pesados.....	102
Tabla 3-37 Determinación de automóviles equivalentes directos.....	103
Tabla 3-38 Cálculo de saturación crítica.....	104
Tabla 3-39 Resumen tiempos de semáforo teóricos y en avenida La Paz .....	106
Tabla 3-40 Datos de partida para la optimizacion de g y C .....	106
Tabla 3-41 Nivel de operacion con los datos iniciales.....	107
Tabla 3-42 Resultados de primera iteración.....	107
Tabla 3-43 Resultados de segunda iteración.....	107
Tabla 3-44 Resultados de tercera iteración .....	108
Tabla 3-45 Resultados de cuarta iteración .....	108
Tabla 3-46 Tiempos de verde y ciclo optimizados .....	108

Tabla 3-47 Tiempos de verde y ciclos semaforicos optimizados para valores teóricos	109
Tabla 3-48 Tiempos de verde y ciclos semaforicos optimizados para valores reales....	110
Tabla 3-49 Distribución de movimientos en intersección 5, acceso 1 y 4.....	111
Tabla 3-50 Determinación de tiempo verde para giro protegido .....	112
Tabla 3-51 Tiempos de verde con giro izquierda protegido intersección 5 .....	112
Tabla 3-52 Tiempos de verde y ciclos semaforicos reales y con giro .....	112
Tabla 3-53 Tiempos de verde y ciclos semaforicos con giro izquierda optimizado.....	113
Tabla 3-54 Tiempos de verde con giro izquierda portegido intersección 8.....	113
Tabla 3-55 Tiempos de verde y ciclos semaforicos reales y con giro izquierda.....	113
Tabla 3-56 Tiempos de verde y ciclos semaforicos con giro izquierda optimizados ....	114
Tabla 3-57 Intersecciones que cumplen alguna condición de la ABC.....	114
Tabla 3-58 Tiempos de semaforo para intersecciones 3, 7, 9 y 12 .....	115
Tabla 3-59 Comparativa de nivel de servicio en intersección 3 .....	115
Tabla 3-60 Comparativa de nivel de servicio en intersección 7 .....	115
Tabla 3-61 Comparativa de nivel de servicio intersección 9 .....	116
Tabla 3-62 Comparativa de nivel de servicio en intersección 12 .....	116
Tabla 4-1 Velocidades máximas y mínimas en av. La Paz.....	117
Tabla 4-2 Niveles de servicio en av. La Paz .....	120
Tabla 4-3 Niveles de servicio en calles aledañas a la avenida La Paz.....	122
Tabla 4-4 Valores optimizados teóricos y reales .....	130
Tabla 4-5 Tiempos de verde y ciclos para proteger los giros a izquierda.....	132
Tabla 4-6 Tiempos de verde y ciclos calculados para intersecciones sin semáforo .....	133
Tabla 4-7 Propuesta N°1, acceso 2 de intersección 1 .....	134
Tabla 4-8 Propuesta N°3, restricción por placas.....	135
Tabla 4-9 Datos de conteo rápido de placas.....	136
Tabla 4-10 Reduccion de volúmenes vehiculares.....	137
Tabla 4-11 Nuevos volúmenes reducidos de la intersección 1 .....	137
Tabla 4-12 Determinación de nivel de servicio para volúmenes reducidos.....	138
Tabla 4-13 Comparación entre situación actual con situación con alternativa.....	138
Tabla 4-14 Volúmenes reducidos un 20% .....	139
Tabla 4-15 Comparación de situaciones en otras intersecciones criticas .....	140

Tabla 4-16 Propuesta restricción de estacionamientos .....	141
Tabla 4-17 Comparación de nivel de servicio intersección 8 .....	142
Tabla 4-18 Comparación de nivel de servicio intersección 10 .....	142
Tabla 4-19 Comparación de nivel de servicio intersección 15 .....	143
Tabla 4-20 Línea amarilla continua a repintar en la av. La Paz.....	143
Tabla 4-21 Líneas transversales a pintar o repintar 1 de 2.....	144
Tabla 4-22 Líneas transversales a pintar o repintar 2 de 2.....	145
Tabla 4-23 Flechas a pintar o repintar.....	146
Tabla 4-24 Señales verticales para retirar .....	146
Tabla 4-25 Señales nuevas para colocar en avenida La Paz 1 de 2 .....	147
Tabla 4-26 Señales nuevas para colocar en avenida La Paz 2 de 2 .....	148
Tabla 4-27 Nuevo dimensionamiento de tiempo de verde y ciclo de semáforo .....	149
Tabla 4-28 Nuevo dimensionamiento de tiempos semafóricos para giro izquierdo.....	150
Tabla 4-29 Dimensionamiento de tiempos de ciclo para los nuevos semáforos.....	150
Tabla 4-30 Distribucion del volumen vehicular de avenida Belgrano doble vía.....	152
Tabla 4-31 Tiempos de semaforo de avenida Belgrano doble vía .....	152
Tabla 4-32 Nivel de servicio de avenida Belgrano doble vía con ciclovia.....	152
Tabla 4-33 Nivel de servicio en intersección 5, sin ciclovia.....	153
Tabla 4-34 Tiempos de semaforo de avenida Belgrano doble vía sin ciclo via.....	153
Tabla 5-1 Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas .....	154
Tabla 5-2 Niveles de servicio reducción de ingreso de vehículos livianos.....	155
Tabla 5-3 Inventario de señalamiento nuevo en la avenida La Paz .....	155
Tabla 5-4 Niveles de servicio con nuevo dimensionamiento de tiempos de semáforo .	156
Tabla 5-5 Tiempos de verde y ciclos de nuevos semáforos.....	157

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1-1 Intersecciones del estudio de tráfico .....	10
Figura 2-1 Clasificación vehicular .....	14
Figura 2-2 Trazo de ciudad planificada o moderna .....	30
Figura 2-3 Ábaco para accesos en una dirección .....	41
Figura 2-4 Ábaco para vías bidireccionales .....	43
Figura 2-5 Ubicación transversal de señales verticales.....	45
Figura 2-6 Señales preventivas .....	48
Figura 2-7 Señales reglamentarias .....	48
Figura 2-8 Líneas de eje.....	50
Figura 2-9 Líneas de carril.....	50
Figura 2-10 Líneas de detención CEDA EL PASO .....	51
Figura 2-11 Demarcación en cruce CEDA EL PASO .....	52
Figura 2-12 Señalización horizontal en cruce reglado con la señal de PARE.....	52
Figura 2-13 Dimensiones de líneas de paso peatonal .....	53
Figura 2-14 Clasificación símbolos y leyendas .....	54
Figura 2-15 Cabeza de semáforos.....	57
Figura 2-16 Recomendaciones para dimensiones de carcasa .....	58
Figura 2-17 Criterios para colocación semáforos en postes.....	59
Figura 2-18 Criterios para colocación de semáforos en ménsulas.....	60
Figura 3-1 Ubicación del proyecto.....	64
Figura 3-2 Zona en estudio .....	65
Figura 3-3 Histograma de volúmenes vehiculares .....	66
Figura 3-4 Accesos en intersección N°1 .....	70
Figura 3-5 Configuración de la intersección para volúmenes peatonales .....	76
Figura 3-6 Ábaco de intersecciones interrumpidas.....	89
Figura 3-7 Señalamiento horizontal longitudinal, línea amarilla continua.....	93
Figura 3-8 Señalamiento transversal, paso peatonal tipo cebra .....	93
Figura 3-9 Señalamiento transversal, paso peatonal.....	93
Figura 3-10 Señalamiento horizontal, flechas 1 de 2.....	94

Figura 3-11 Señalamiento horizontal, flechas 2 de 2.....	94
Figura 4-1 Velocidades máximas en avenida La Paz.....	118
Figura 4-2 Velocidades mínimas en av. La Paz entre calles Bolívar y Oruro .....	118
Figura 4-3 Velocidad mínima en acceso 2 de la intersección 1 de av. La Paz .....	119
Figura 4-4 Configuración de la intersección 1 .....	123
Figura 4-5 Resultados de SYNCHRO para intersección 1 .....	124
Figura 4-6 Configuración de intersección 5.....	124
Figura 4-7 Resultados de SYNCHRO para intersección 5 .....	125
Figura 4-8 Configuración de intersección 8.....	125
Figura 4-9 Resultados de SYNCHRO para intersección 8 .....	126
Figura 4-10 Configuración de la intersección 10.....	126
Figura 4-11 Resultados de SYNCHRO para intersección 10 .....	127
Figura 4-12 Configuración de la intersección 15.....	127
Figura 4-13 Resultados de SYNCHRO para intersección 15 .....	128