

INDICE GENERAL

1.	GENERALIDADES.....	15
1.1.	Introducción	15
1.2.	Antecedentes	16
1.3.	Planteamiento del problema	18
1.3.1.	Identificación del problema	18
1.3.2.	Formulación del problema	18
1.4.	Objetivos y acciones	18
1.4.1.	Objetivo general.....	18
1.4.2.	Objetivos específicos	19
1.5.	Justificación	19
1.5.1.	Justificación técnica.....	20
1.5.2.	Justificación económica.....	20
1.6.	Alcance y limitaciones.....	20
1.6.1.	Alcance temático	20
1.6.2.	Alcance geográfico	20
1.6.3.	Alcance temporal	21
1.6.4.	Limitaciones	21
1.7.	Fundamentación teórica	22
1.8.	Marco metodológico (Método Investigación Aplicada).....	23
1.9.	Presupuesto del proyecto de grado.....	23
1.10.	Cronograma.....	23
2.	MARCO TEÓRICO	23
2.1.	Tendencia de crecimiento vehicular	23
2.1.1.	Progreso del vehículo motor	23
2.1.2.	Relación entre la demanda vehicular y la oferta vial	25

2.1.2.1. Patrón Urbano	25
2.1.3. Crecimiento del parque motor en Bolivia.....	27
2.2. Teoría del tráfico	27
2.2.1. Definiciones.....	27
2.2.2. Introducción en la teoría del tráfico.....	28
2.2.3. Conflictos del tráfico.....	29
2.2.4. Demanda y características del transito.....	31
2.2.4.1. Tasa de flujo de demanda	31
2.2.4.2. Intensidad de tráfico diaria u hora punta	31
2.2.4.2.1. <i>El factor de hora pico</i>	31
2.2.5. Medios de transporte.....	32
2.2.5.1. Transporte público	32
2.2.5.2. Transporte privado.....	32
2.2.6. Vehículos de proyecto.....	32
2.2.6.1. Tipos de vehículos	33
2.2.7. Flujo vehicular	34
2.2.7.1. Flujo (q) y volumen (Q).....	34
2.2.7.2. Intervalo simple (h_i).....	35
2.2.7.3. Variables relacionadas a la velocidad.....	35
2.2.7.3.1. <i>Velocidad de Marcha</i>	36
2.2.7.3.2. <i>Velocidad de recorrido</i>	36
2.2.7.3.3. <i>Velocidad instantánea</i>	37
2.2.7.3.4. <i>Distancia de recorrido</i>	37
2.2.7.3.5. <i>Tiempo de recorrido</i>	37

2.2.7.3.6. <i>Velocidad media espacial</i>	37
2.2.7.3.7. <i>Velocidad media temporal</i>	37
2.2.7.3.8. <i>Velocidad de proyecto</i>	38
2.2.7.4. Variables relacionadas con la densidad	40
2.2.8. Modelos de circulación continua	40
2.2.8.1. Teoría del seguimiento vehicular	41
2.2.9. Capacidad y grado de saturación	43
2.2.10. Métodos de muestreo	45
2.2.10.1. Aforos manuales	45
2.2.10.1.1. <i>Metodología del acopio de datos</i>	45
2.2.10.2. Contadores Mecánicos	46
2.2.10.3. Contadores portátiles	46
2.2.10.4. Método del vehículo en movimiento	47
2.2.11. Dispositivos para el control del tránsito	47
2.2.11.1. Señales Verticales	47
2.2.11.2. Señales horizontales	48
2.2.11.3. Semáforos	50
2.2.11.3.1. <i>Tipos de semáforos</i>	50
2.2.11.3.2. <i>Cálculo de los tiempos del semáforo</i>	51
2.2.11.4. Dispositivos de protección	58
2.2.11.5. Dispositivos de seguridad	59
2.3. Análisis de las vías	59
2.3.1. Categorías de vías	59
2.3.1.1. Carreteras	59

2.3.1.1.1. Autopista (O).....	59
2.3.1.1.2. Autorruta (I.A)	60
2.3.1.1.3. Carreteras primarias (I.B).....	61
2.3.1.2. Caminos	61
2.3.1.2.1. Caminos colectores (II)	61
2.3.1.2.2. Caminos locales (III)	62
2.3.1.2.3. Caminos de desarrollo.....	62
2.3.2. Normas de la red vial urbana	63
2.3.2.1. Autopista Metropolitana o Urbana.	64
2.3.2.1.1. Nivel de atención o cobertura.....	64
2.3.2.1.2. Derecho de vía o ancho mínimo	64
2.3.2.2. Vías urbanas troncales.	64
2.3.2.2.1. Nivel de atención o cobertura.....	64
2.3.2.2.2. Nombre de las vías.....	64
2.3.2.2.3. Ancho de vía.....	65
2.3.2.3. Avenida Internacional.....	65
2.3.2.3.1. Nivel de atención o cobertura.....	65
2.3.2.3.2. Derecho de vía o ancho mínimo	65
2.3.2.4. Ejes urbanos - rurales.....	65
2.3.2.4.1. Nivel de atención o cobertura.....	65
2.3.2.4.2. Derecho de vía o ancho mínimo	65
2.3.2.5. Red vial principal.....	65
2.3.2.5.1. Nivel de atención o cobertura.....	65
2.3.2.5.2. Derecho de vía o ancho mínimo	66

2.3.2.5.3. <i>Nodos o intersecciones</i>	66
2.3.2.6. Distribuidoras locales o Colectoras.	66
2.3.2.6.1. <i>Nivel de atención o cobertura</i>	66
2.3.2.6.2. <i>Derecho de vía o ancho mínimo</i>	66
2.3.2.7. Calles secundarias.....	66
2.3.2.7.1. <i>Nivel de atención o cobertura</i>	66
2.3.2.7.2. <i>Derecho de vía o ancho mínimo</i>	66
2.3.2.8. Pasillos o pasajes urbanos.....	66
2.3.2.8.1. <i>Nivel de atención o cobertura</i>	66
2.3.2.8.2. <i>Derecho de vía o ancho mínimo</i>	67
2.3.2.9. Ciclo vías.	67
2.3.2.9.1. <i>Nivel de atención o cobertura</i>	67
2.3.2.9.2. <i>Derecho de vía o ancho mínimo</i>	67
2.3.3. Intersección o nodos	67
2.3.3.1. Estructura del problema	67
2.3.3.2. Tipos de intersecciones	68
2.3.4. Capacidad y niveles de servicio	68
2.3.4.1. Niveles de servicio.....	68
2.3.4.1.1. <i>Capacidad en intersecciones semaforizadas</i>	69
2.3.4.1.2. <i>Nivel de servicio en intersecciones semaforizadas</i>	69
2.4. Usuarios	71
2.4.1. Tipos de usuarios	71
2.4.1.1. Peatones	71
2.4.1.2. Ciclista	72

2.4.1.3.	Conductor - pasajero	72
2.5.	Modelación de tráfico (Software SUMO)	72
2.5.1.	SUMO como suite	73
2.5.1.1.	Generación de red de caminos	73
2.5.1.2.	Vehículos y rutas	77
2.5.1.3.	Simulación	78
3.	INGENIERÍA DEL PROYECTO	79
3.1.	Área de estudio	79
3.1.1.	Ubicación del área de estudio	79
3.1.2.	Vía de estudio	80
3.1.3.	Selección de nodos.....	80
3.2.	Toma y recopilación de datos.....	81
3.2.1.	Equipo básico de aforo	81
3.2.1.1.	Vestimenta de trabajo	81
3.2.1.2.	Horario de aforos	83
3.2.1.3.	Planilla de aforo	83
3.2.1.4.	Direcciones de aforo	84
3.2.2.	Procesamiento de datos recopilados.....	85
3.2.2.1.	Crecimiento vehicular	85
3.2.2.1.1.	<i>Índice del crecimiento vehicular.....</i>	<i>85</i>
3.2.2.2.	Caracterización de las vías.....	87
3.2.2.3.	Tipos de vehículos	87
3.2.2.4.	Determinación de rutas	87
3.2.2.5.	Estimación del flujo vehicular	94
3.2.2.5.1.	<i>Flujo vehicular en la hora critica.....</i>	<i>101</i>

3.2.2.5.2.	<i>Estimación de flujos vehiculares en las rutas determinadas</i>	103
3.2.2.6.	Proyección del flujo vehicular	108
3.2.2.6.1.	<i>Proyección a 2 años del flujo vehicular en la hora crítica</i>	108
3.2.2.6.2.	<i>Proyección a 5 años del flujo vehicular en la hora crítica</i>	111
3.2.2.6.3.	<i>Proyección a 10 años del flujo vehicular en la hora crítica</i>	113
3.2.2.7.	Velocidades de los vehículos	115
3.2.2.8.	Ciclos de semáforos	116
3.3.	Simulación del software SUMO	118
3.3.1.	Introducción	118
3.3.2.	Inserción de datos	118
3.3.2.1.	Inserción de la imagen satelital al software	119
3.3.2.2.	Creación de vías	119
3.3.2.3.	Intersecciones y sentidos de vías	120
3.3.2.4.	Ubicación y ciclos de semáforos	121
3.3.2.5.	Trazado de rutas	123
3.3.2.6.	Características de los vehículos	124
3.3.2.7.	Volúmenes de las rutas	124
3.3.3.	Corrida de la simulación	125
3.4.	Simulación de los flujos vehiculares futuros	128
3.4.1.	Simulación de los flujos vehiculares a 2 años	128
3.4.2.	Simulación de los flujos vehiculares a 5 años	130
3.4.3.	Simulación de los flujos vehiculares a 10 años	132
3.5.	Alternativas de optimización	134
3.5.1.	Cálculo del ciclo semafórico del nodo 2	134
3.5.2.	Semaforización del nodo 3	135

3.5.3. Restricción del giro a la izquierda en los nodos 2 y 3	136
4. CONCLUSIONES.....	137
5. RECOMENDACIONES.....	138
BIBLIOGRAFIA	139
ANEXOS	1
Anexo 1 Presupuesto general del proyecto de grado	1
Anexo 2 (Cronograma).....	1
Anexo 3 (Parque automotor de Santa Cruz de la Sierra, clase de vehículo, 2005 - 2019).....	3
Anexo 4 (Tipos de intersecciones).....	4
Anexo 5 (Detalle de aforos en el nodo 1 y 2).....	5
Anexo 6 (Detalle del aforo en los cuatro nodos durante la hora crítica 11/03/2022).....	11
Anexo 7 (Detalle del flujo de vehículos sobre las rutas en la hora crítica para las proyecciones de 2, 5 y 10 años).....	13
Anexo 8 (Cálculo para el ciclo semafórico estimado a 10 años en el nodo 2)	26
Anexo 9 (Plano de la zona de estudio y de la alternativa de optimización).....	30

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fundamentación teórica del proyecto de grado	22
Tabla 2. Aumento de vehículos en Santa Cruz de la Sierra	24
Tabla 3. Clasificación de vehículos.....	34
Tabla 4. Clasificación funcional para diseño carreteras y caminos rurales	39
Tabla 5. Velocidad máxima (km/h) según la zona urbana y el tamaño de la ciudad.....	39
Tabla 6. Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la izquierda (EVI).....	54
Tabla 7. Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la izquierda (EVD)	54
Tabla 8. Categorías de vías y sus características.....	63
Tabla 9. Aplicaciones incluidas en el paquete SUMO	76
Tabla 10. Características geométricas de las vías de la zona de estudio	87