

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



**“APLICACIÓN DEL SOFTWARE SIMCAR: PARA SIMULACIÓN  
DEL TRÁFICO EN VÍAS DE DOS CARRILES Y EN VÍAS  
MULTICARRIL, EN LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**GUSTAVO ANTONIO GARDEAZABAL ZENTENO**

Proyecto presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Semestre I - 2021**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“APLICACIÓN DEL SOFTWARE SIMCAR: PARA SIMULACIÓN  
DEL TRÁFICO EN VÍAS DE DOS CARRILES Y EN VÍAS  
MULTICARRIL, EN LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**GUSTAVO ANTONIO GARDEAZABAL ZENTENO**

**Semestre I - 2021**

**TARIJA – BOLIVIA**

.....  
M.Sc.Ing. Ernesto R. Álvarez Gozávez  
**DECANO**  
**FACULTAD DE**  
**CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....  
M.Sc.Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
**VICEDECANA**  
**FACULTAD DE**  
**CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**TRIBUNAL:**

.....  
**Ing. Trinidad Baldiviezo Montalvo**

.....  
**Ing. Edwin Osvaldo Aguirre**

.....  
**M.Sc. Ing. Oscar M. Chávez Calla**

### **ADVERTENCIA**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

**DEDICATORIA:**

Dedicado a mis padres Antonio y Rosalba, quienes con mucho esfuerzo a través de los años me apoyaron incondicionalmente en mi proyecto más importante, mi profesión como Ingeniero Civil.

### **AGRADECIMIENTO:**

A Dios gracias, por iluminarme, por guiarme en el camino, por darme la fuerza, voluntad y capacidad para culminar esta etapa académica y llegar a la meta. A todas las personas, familiares, docentes y amigos que de alguna manera me ayudaron a llevar adelante el presente estudio.

# ÍNDICE

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Situación problemática.....	2
1.2.1 Problema.....	3
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema.....	3
1.2.3 Delimitación temporal y espacial de la investigación y aplicación.....	4
1.3 Justificación del proyecto.....	5
1.4 Objetivos del proyecto .....	6
1.4.1 Objetivo general .....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Operacionalización de variables.....	7
1.6.1 Variable independiente.....	7
1.6.2 Variables dependientes.....	8
1.7 Identificación del tipo de investigación.....	9
1.8 Unidades de estudio y decisión muestral .....	9
1.8.1 Unidades de estudio .....	9
1.8.2 Población estadística .....	9



1.8.3	Muestra.....	10
1.8.4	Selección de técnicas de muestreo .....	10
1.9	Métodos y técnicas empleadas .....	11
1.9.1	Definición.....	11
1.9.2	Técnicas de muestreo .....	11
1.9.3	Descripción de los instrumentos .....	11
1.9.4	Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	15
1.9.5	Alcance del estudio de aplicación .....	17

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO Y LA SIMULACIÓN**

		<b>Página</b>
2.1	Aspectos generales de la ingeniería de tráfico .....	18
2.1.1	Nacimiento de la ingeniería de tráfico .....	18
2.1.2	Definiciones .....	19
2.1.3	Objetivos y alcance de la ingeniería de tráfico.....	19
2.1.4	Solución al problema de tránsito.....	20
2.2	Elementos de tránsito .....	22
2.2.1	El usuario.....	22
2.2.2	El vehículo.....	24
2.2.3	La vialidad o vía.....	28
2.3	Características del tránsito.....	32
2.3.1	Velocidad .....	32
2.3.2	Densidad o concentración .....	38

2.3.3	Taza de flujo o flujo y volumen .....	39
2.3.4	Volúmenes de tránsito absolutos o totales .....	39
2.3.5	Volúmenes de tránsito promedio diarios.....	40
2.3.6	Volúmenes de tránsito horarios.....	40
2.3.7	Uso general de los volúmenes de tránsito .....	41
2.3.8	Características de los volúmenes de tránsito.....	42
2.3.9	Aforo de volúmenes .....	45
2.4	Conceptos teóricos de estudios de tránsito.....	47
2.4.1	Estudio de volúmenes.....	47
2.4.2	Programación de aforos.....	48
2.4.3	Presentación de datos de volúmenes de tránsito .....	49
2.4.4	Distribución de velocidades instantáneas en la vía .....	49
2.4.5	Requerimiento del tamaño de la muestra .....	50
2.4.6	Procedimiento.....	52
2.5	Simulación vehicular.....	52
2.5.1	Introducción a la simulación .....	52
2.5.2	Conceptos teóricos de simulación .....	55
2.6	Conceptos teóricos de estudios de tiempos .....	61
2.6.1	Pasos en estudio de tiempos .....	61
2.6.2	Representatividad y aleatoriedad.....	61

### **CAPÍTULO III**

#### **INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE “SIMCAR”**

		<b>Página</b>
3.1	Introducción .....	63

3.2	Marco conceptual .....	64
3.2.1	Modelos de tránsito .....	65
3.2.2	Dinámica del vehículo automotor .....	66
3.2.3	Elementos del modelo de simulación SIMCAR.....	68
3.3	Descripción del software SIMCAR.....	70
3.3.1	Diseño de bloques de SIMCAR .....	71
3.4	Resultados principales de SIMCAR.....	81

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN PRÁCTICA

	<b>Página</b>	
4.1	Ubicación del área de estudio.....	84
4.2	Descripción de la ruta de estudio .....	86
4.3	Proceso de estudio.....	86
4.3.1	Características de la ruta de estudio .....	86
4.3.2	Proceso de obtención de datos.....	90
4.3.3	Determinación de las propiedades físicas y geométricas de la vía.....	91
4.3.4	Aforo vehicular .....	93
4.4	Trabajo de gabinete .....	95
4.4.1	Recopilación y ordenamiento de datos de la vía .....	95
4.4.2	Recopilación y ordenamiento de datos del tránsito.....	99
4.5	Diagnóstico de datos .....	104
4.6	Procesamiento con el software SIMCAR.....	106
4.7	Análisis y valoración de resultados .....	113
4.8	Planteamiento de alternativas y solución factible .....	118

4.9	Selección y simulación de soluciones factibles.....	119
4.10	Estudio y análisis semafórico.....	123
4.10.1	Asignación de tiempos (ciclo de semaforización).....	124
4.11	Análisis y valoración del TPH .....	140

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Página</b>	
5.1	Conclusiones .....	144
5.2	Recomendaciones.....	145
BIBLIOGRAFÍA.....	146	

#### ANEXOS

ANEXO 1 TABLA DE PUNTOS LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

ANEXO 2 INFORME FOTOGRÁFICO

ANEXO 3 RESULTADOS DEL SOFTWARE

ANEXO 4 PLANOS

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla N° 1: Variables independientes de la vía. ....	7
Tabla N° 2: Variables independientes de las señales de tránsito .....	7
Tabla N° 3: Variables independientes de tráfico vehicular.....	8
Tabla N° 4: Variables dependientes de la simulación vehicular.....	8
Tabla N° 5: Unidades de estudio.....	9
Tabla N° 6: Clasificación de vehículos según normas de diseño .....	27
Tabla N° 7: Clasificación de carreteras según la velocidad de diseño.....	30
Tabla N° 8: Desviación estándar media de velocidad en kph.....	51
Tabla N° 9: Relación constante K–nivel de confianza .....	51
Tabla N° 10: Características generales de la vía izquierda doble sentido.....	93
Tabla N° 11: Características generales de la vía central sentido norte .....	93
Tabla N° 12: Características generales de la vía derecha sentido sur .....	93
Tabla N° 13: Elementos en curvas horizontales de la vía izquierda doble sentido.....	96
Tabla N° 14: Elementos en curvas horizontales de la vía central sentido norte .....	96
Tabla N° 15: Elementos en curvas horizontales de la vía derecha sentido sur .....	97
Tabla N° 16: Elementos en curvas verticales de la vía izquierda doble sentido.....	97
Tabla N° 17: Elementos en curvas verticales de la vía central sentido norte .....	98
Tabla N° 18: Elementos en curvas verticales de la vía derecha sentido sur .....	98
Tabla N° 19: Ciclo del semáforo de la vía izquierda de doble sentido.....	103
Tabla N° 20: Ciclo del semáforo de la vía central sentido norte .....	104
Tabla N° 21: Ciclo del semáforo de la vía derecha sentido sur .....	104
Tabla N° 22: Resumen de resultados fundamentales de la vía izquierda doble sentido	115
Tabla N° 23: Resumen de resultados fundamentales de la vía central sentido norte.....	116
Tabla N° 24: Resumen de resultados fundamentales de la vía derecha sentido sur .....	117
Tabla N° 25: Resumen de resultados simulación intersección supermerc. Urkupiña....	122
Tabla N° 26: Resumen de resultados simulación salida rotonda Morros Blancos .....	122
Tabla N° 27: Resumen de resultados simulación acceso rotonda Morros Blancos .....	122
Tabla N° 28: Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la izquierda EVI..	128
Tabla N° 29: Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la derecha EVD...	129

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura N° 1: Instrumentos utilizados para el levantamiento topográfico .....	12
Figura N° 2: Instrumentos utilizados para la geometría de las vías .....	12
Figura N° 3: Planilla de aforo modelo para conteo vehicular .....	13
Figura N° 4: Partes integrantes de una vía .....	32
Figura N° 5: Presentación de datos de volúmenes de tránsito .....	49
Figura N° 6: Simulación microscópica de un cruce .....	54
Figura N° 7: Mapa de simulación macroscópica .....	55
Figura N° 8: Flujograma de metodología de un estudio de simulación .....	59
Figura N° 9: Variables microscópicas .....	65
Figura N° 10: Relación entre el flujo y la densidad .....	66
Figura N° 11: Definición de bloques y procesos del modelo SIMCAR .....	71
Figura N° 12: Información geométrica–maqueta virtual de la vía .....	72
Figura N° 13: Detalles de la geometría del tramo en análisis .....	73
Figura N° 14: Configuración y análisis del tránsito .....	74
Figura N° 15: Parámetros iniciales del modelo SIMCAR .....	75
Figura N° 16: Lógica del proceso de calentamiento .....	76
Figura N° 17: Lógica computacional generación de un nuevo vehículo .....	77
Figura N° 18: Variables asociadas a cada vehículo generado por el modelo .....	78
Figura N° 19: Perfiles de conductores y parámetros de comportamiento .....	79
Figura N° 20: Modelo físico de la dinámica de vehículos .....	80
Figura N° 21: Lógica computacional predicción estado siguiente segundo .....	80
Figura N° 22: Diagrama de adelantamientos .....	82
Figura N° 23: Diagrama de evolución del tránsito .....	82
Figura N° 24: Ubicación del área de estudio .....	84
Figura N° 25: Ubicación referencial de inicio del tramo .....	85
Figura N° 26: Ubicación referencial final del tramo .....	85
Figura N° 27: Intersección av. Panamericana-calle Hna. Ana Alicia Oliva .....	86
Figura N° 28: Intersección av. Panamericana-av. Fray Quebracho .....	87
Figura N° 29: Intersección av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa .....	87

Figura N° 30: Intersección av. Panamericana-av. Renán Justiniano Soto .....	88
Figura N° 31: Intersección av. Panamericana-av. Profesor Simón Rodríguez Carreño ..	88
Figura N° 32: Intersección av. Panamericana-av. Juan de Dios Mealla Otálora .....	89
Figura N° 33: Intersección av. Panamericana coord.7614918.15mS, 325945.50mE.....	89
Figura N° 34: Intersección av. Panamericana coord.7614512.76mS, 326474.63mE .....	90
Figura N° 35: Determinación de las propiedades físicas y geométricas .....	92
Figura N° 36: Detalle de levantamiento topográfico de la vía.....	92
Figura N° 37: Planilla de aforo vehicular de volúmenes .....	94
Figura N° 38: Histograma vehicular tramo Aeropuerto-El Protillo.....	94
Figura N° 39: Modelo de planilla de aforo para aplicación en el tramo .....	95
Figura N° 40: Aforo resultante av. Panamericana-calle Hna. Ana Alicia Oliva.....	99
Figura N° 41: Aforo resultante av. Panamericana-av. Fray Quebracho .....	100
Figura N° 42: Aforo resultante av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa .....	100
Figura N° 43: Aforo resultante av. Panamericana-av. Renán Justiniano Soto.....	101
Figura N° 44: Aforo resultante av. Panamericana-av. Prof. Simón Rodríguez C.....	101
Figura N° 45: Aforo resultante av. Panamericana-av. Juan de Dios Mealla O.....	102
Figura N° 46: Aforo resultante coord.7614918.15mS, 325945.50mE.....	102
Figura N° 47: Aforo resultante coord.7614512.76mS, 326474.63mE.....	103
Figura N° 48: Introducción de datos de la vía.....	106
Figura N° 49: Introducción de datos de la vía, parámetros iniciales .....	106
Figura N° 50: Introducción de datos de la vía, sección transversal .....	107
Figura N° 51: Curvatura y zonas de sobrepaso.....	107
Figura N° 52: Introducción de datos de la vía, curvas horizontales y verticales .....	108
Figura N° 53: Tipos de vehículos .....	108
Figura N° 54: Tipos de vehículos, parámetros y características de los vehículos. ....	109
Figura N° 55: Tipos de vehículos, características técnicas. ....	109
Figura N° 56: Tránsito .....	110
Figura N° 57: Tránsito, características del tránsito.....	110
Figura N° 58: Calentamiento y simulación.....	111
Figura N° 59: Calentamiento .....	112
Figura N° 60: Simulación .....	112

Figura N° 61: Estadísticas y resultados.....	113
Figura N° 62: Modelo de presentación de resultados del software.....	114
Figura N° 63: Ilustración de la vía con 3 carriles .....	120
Figura N° 64: Capacidad vehicular de la vía derecha sentido sur con 3 carriles .....	123
Figura N° 65: Ancho de la intersección en sentido B a atravesar .....	131
Figura N° 66: Ancho de la intersección en sentido A a atravesar.....	132
Figura N° 67: Colas generadas por la semaforización en vía derecha sentido sur .....	138
Figura N° 68: Capacidad y NS por semaforización en vía derecha sentido sur .....	138
Figura N° 69: Colas generadas por la semaforización en vía central sentido norte.....	139
Figura N° 70: Capacidad y NS por semaforización en vía central sentido norte.....	139
Figura N° 71: Colas generadas por la semaforización en vía izquierda doble sentido..	140
Figura N° 72: Capacidad y NS por semaforización en vía izquierda doble sentido .....	140
Figura N° 73: Análisis del TPH en la vía izquierda doble sentido del tramo .....	141
Figura N° 74: Análisis del TPH en la vía central sentido norte del tramo.....	142
Figura N° 75: Análisis del TPH en la vía derecha sentido sur.....	142
Figura N° 76: Análisis del TPH en la avenida triple vía.....	143