

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACION**



## **TRABAJO DE TESIS**

**“APLICACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EL  
COMPORTAMIENTO DEL FLUJO VEHICULAR EN  
PELOTONES EN UN TRAMO DE LA AVENIDA JAIME PAZ  
ZAMORA ENTRE AVENIDA MEMBRILLOS Y ESPAÑA”**

Postulante:

ANTONIO JESÚS AVILA DE LOS RIOS

Tutor

ING. ABEL ALFREDO VILLENA SUBELZA

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“APLICACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EL  
COMPORTAMIENTO DEL FLUJO VEHICULAR EN  
PELOTONES EN UN TRAMO DE LA AVENIDA JAIME PAZ  
ZAMORA ENTRE AVENIDA MEMBRILLOS Y ESPAÑA”**

Por:

**ANTONIO JESÚS AVILA DE LOS RIOS**

Trabajo de Tesis presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL.

**Septiembre de 2014**

**TARIJA – BOLIVIA**

El Tribunal Calificador del presente Proyecto de Ingeniería Civil no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor

**DEDICATORIA:**

A mis amados padres, que a pesar de mis múltiples limitaciones, creyeron en mí y me inculcaron grandes valores, que hicieron de mi alguien de bien.

### **AGRADECIMIENTOS:**

A Dios porque estuvo junto a mí en cada momento de mi vida.

A toda mi familia por la colaboración y ayuda dada todos estos años.

A todos mis amigos por estos años de compañerismo

# ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I	Página
1.1 Fotografía que muestra la formación de pelotones en tramo de estudio.....	5
1.2 Fotografía pelotón formado por un micro como vehículo líder.....	6
1.3 Diagrama de flujo de la metodología utilizada en estudio.....	10
1.4 El modelo de Pipes dmim (ft) vs. velocidad (millas/hr).....	11
1.5 El modelo de Pipes tmim (s) vs. velocidad (pies/s).....	11
CAPÍTULO II	
Sin figuras	
CAPÍTULO III	
3.1 Esquema de la teoría de seguimiento de vehículos.....	35
3.2 Esquema de etapas del tiempo de percepción y reacción.....	38
CAPÍTULO IV	
4.1 Fotografía aérea del tramo en estudio.....	43
4.2 Característica de la Relación Velocidad – intensidad en tramos básicos de autopista.....	47
4.3 Torta de la composición del volumen vehicular.....	50
4.4 Esquema de ubicación del tramo en estudio .....	51
4.5 Fotografía Estación de medición “B” .....	51
4.6 Ventana Principal del Software “Cronómetro” .....	53
4.7 Resultado del botón “Exportar” perteneciente Software “Cronómetro” .....	54
4.8 Representación gráfica de dmin Vs. Velocidad.....	58

4.9 Representación gráfica $t_{min}$ Vs. Velocidad.....	60
---	----

## ANEXO

Figura A-1 Foto satelital ubicación tramo de estudio

Figura A-2 Foto satelital ubicación específica tramo de estudio

Figura A-3 Relación  $d_{min}$  Vs.  $V$

Figura A-4 Relación  $t_{min}$  Vs.  $V$

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

1.1 Características actuales de los carriles frente a ingreso a U.A.J.M.S. ubicación: Avenida Jaime Paz Zamora.....	2
--	---

### CAPÍTULO II

2.1 Clasificación convencional de tipos de vehículos.....	21
---	----

### CAPÍTULO II

No tiene tablas.

### CAPÍTULO IV

4.1 Características físicas de los carriles frente a U.A.J.M.S. ubicación: Avenida Jaime Paz Zamora.....	45
4.2 Características de los niveles de servicio de una carretera.....	45
4.3 Capacidad del tramo de estudio (veh/h).....	48
4.4 Composición del volumen vehicular por orden porcentual.....	49
4.4A Composición del volumen vehicular por orden porcentual agrupando Únicamente vehículos de longitud 4,4 m.....	49



4.5 Datos de campo y su procesamiento (planilla N° 1).....	55
4.6 Determinación $t_{mim}$ y $d_{mim}$ de campo (planilla N° 2).....	56
4.7 Restricciones adoptadas.....	57

## **ANEXO**

Tabla N° A-1 Medición y datos de aforo

Tabla N° A-2 Determinación  $t_{mim}$  y  $d_{mim}$  de campo

Tabla N° A-3 Resumen de aforos del tráfico en tramo de prueba av. Jaime Paz Zamora

Tabla N°A-4 Determinación velocidad del percentil 85 para pelotones

Planilla N°A -5 Determinación  $d_{mim}$  percentil 85 para pelotones

Tabla N°A -6 Datos de campo y su procesamiento

Tabla N°A -7 Valores mínimos para ajuste de  $d_{mim}$  y  $t_{mim}$  en función de la velocidad

Tabla N°A -8 Cálculo de la capacidad e intensidad de tráfico

# ÍNDICE

Dedicatoria

Agradecimiento

Resumen

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA. ....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1 Objeto de investigación.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2 Campo de Acción.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1 Objetivo General.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5 DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.1 Teoría de Pipes:.....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.2 Teoría de Forbes:.....</b>	<b>9</b>

## CAPÍTULO II

### MARCO CONCEPTUAL

	Pagina
<b>2.1. CONCEPTO Y OBJETIVOS DEL TRÁFICO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.1 Concepto de Tráfico.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2 Objetivos del Tráfico.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1 Capacidad.-.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.2 Niveles de Servicio.....</b>	<b>14</b>
<b>Nivel de servicio A.....</b>	<b>14</b>
<b>Nivel de servicio B.....</b>	<b>14</b>
<b>Nivel de Servicio C.....</b>	<b>15</b>
<b>Nivel se Servicio D.....</b>	<b>15</b>
<b>Nivel de Servicio E.....</b>	<b>15</b>
<b>Nivel de Servicio F.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. VEHÍCULOS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.1 Tipos de Vehículos.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2.- Vehículo tipo.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.1 Principales Características de la Circulación.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.1.1 Intensidad.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.1.2 Volumen.....</b>	<b>20</b>
<b>a) Tránsito Promedio Diario ( TPD).....</b>	<b>20</b>

	<b>Pagina</b>
b) Tránsito Promedio horario (TPH).....	20
c) Volumen Directriz.....	21
d) Composición del Volumen.....	21
e) Flujo Direccional.....	21
<b>2.5 ESTUDIOS DE TRÁFICO.....</b>	<b>22</b>
<b>2.5.1. Objetivo.....</b>	<b>22</b>
<b>2.5.2. Procedimientos de aforo.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.2.1 Contadores automáticos de vehículos.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.2.2 Planes de aforo en redes viarias.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.2.3. Selección de estaciones y programación de aforos.....</b>	<b>25</b>
1. Estaciones permanentes.....	26
2. Estaciones de control.....	26
a) Primarias.....	26
b) Secundarias.....	26
3. Estaciones de cobertura.....	26
<b>2.5.2.4 Elaboración y presentación de resultados.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.2.4 Utilización de los datos de aforo.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.3 Densidad del Tráfico.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.3.1 Relaciones entre magnitudes de tráfico.....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.3.2 Influencia de la densidad en la velocidad.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.3.3 Relación Básica entre Intensidad, velocidad.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5.3.4 Velocidad.....</b>	<b>32</b>
a) Velocidad de Punto.....	32
b) Velocidad de Recorrido Total.....	33

	Pagina
c) Velocidad de Crucero.....	33
d) Velocidad de Circulación Media.....	34
e) Velocidad Directriz.....	34

## CAPÍTULO III

### TEORIAS DE SEGUIMIENTO DE VEHÍCULOS

3.1. TEORÍAS DE SEGUIMIENTO DE VEHÍCULOS.....	35
3.2 TEORÍA DE PIPES.....	36
3.3 TEORÍA DE FORBES.....	36
3.4 INTERVALO DE TIEMPO MÍNIMO.....	37
3.5 TIEMPO DE PERCEPCIÓN Y REACCIÓN (TPR).....	37
3.6 DISTANCIA MÍNIMA DE SEGURIDAD.....	41
3.7 ANÁLISIS DE APLICACIÓN.....	42

## CAPÍTULO IV

### MUESTREO Y APLICACIÓN DE TEORÍAS

4.1 CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	43
4.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO EN ESTUDIO.....	46

	Página
4.2.1 Velocidad de Vehículo.....	46
4.2.2 Oportunidades de Adelantamiento.....	46
4.2.3 Formación de Pelotones.....	46
4.2.4 Perturbaciones Ocasionan diferentes Velocidades.....	46
4.2.5 Densidad e Intensidad de Tráfico.....	46
4.2.6 Tiempo Tolerable.....	46
4.2.7 Capacidad del Tramo.....	47
4.2.8 Detención del Tráfico.....	47
4.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN GENERAL.....	50
4.3.1 Método para la recolección de información de tráfico.....	52
4.3.2 Descripción del método utilizado.....	51
4.4 CONFIABILIDAD DE MUESTREO.....	54
4.5. TABULACIÓN Y CÁLCULOS.....	55
4.6 DESCRIPCIÓN DE PLANILLAS.....	55
4.6.1 Metodología para la identificación de pelotones.....	57
4.7 APLICACIÓN DE TEORIAS: PIPES Y FORBES.....	57
4.8. ANÁLISIS COMPARATIVO dmin y tmin.....	58
4.8.1 Análisis del dmin.....	58
4.8.2 Análisis del tmin.....	59

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Página</b>
<b>5.1 CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>5.2 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA</b>	