

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



**“APLICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TRÁFICO EN LA ZONA
DE LA NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA A PARTIR DE
MODELOS MATEMÁTICOS”**

por:

BARRIOS VASQUEZ GABRIEL CLAUDIO

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 - 2018

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 COMPORTAMIENTO DE TRÁFICO EN LA
ZONA DE LA NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA A
PARTIR DE MODELOS MATEMÁTICOS”**

Por:

BARRIOS VASQUEZ GABRIEL CLAUDIO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentada a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL.

SEMESTRE II - 2018

TARIJA – BOLIVIA

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

DEDICATORIA:

La elaboración de este trabajo está dedicado a mi madre que puso su mayor esfuerzo para impulsarme en cada momento, siempre fue mi apoyo incondicional.

A mi hermano que siempre me colaboro en todo momento, y estuvo a mi lado en las buenas y en las malas.

AGRADECIMIENTOS:

Se agradece a los docentes, amigos y compañeros de la carrera que colaboraron con la realización del presente Proyecto de Grado.

A todas las personas que me sirvieron de guía y especialmente a Dios que me dio fuerzas para seguir adelante.

PENSAMIENTO:

“Ten claro que a la cima no llegarás superando a los demás, sino superándote a ti mismo.”

“Nunca dejes que tus miedos ocupen el lugar de tus sueños.”

“La vida no consistía en ser un ganador o un perdedor, se trataba de ser uno mismo y de dar lo mejor.”

“Jamás es demasiado tarde para intentar lograr aquello que de verdad siempre deseaste.”

“Aprende a no rendirte y sé constante, el principio es la parte más difícil.”

“El reto de mi vida no era otro que descubrir hasta donde podía llegar haciendo lo que me gustaba.”

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

PENSAMIENTO

RESUMEN

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

| | Página. |
|---|---------|
| 1.1 ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN | 2 |
| 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 3 |
| Situación problemica | 3 |
| Problema | 3 |
| 1.4 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN | 4 |
| Objetivo general | 4 |
| Objetivos específicos | 4 |
| 1.5 ALCANCE | 4 |
| 1.6 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO | 5 |

CAPÍTULO 2:

ASPECTOS GENERALES

| | |
|---|---|
| 2.1 INGENIERÍA DE TRANSPORTE | 8 |
| 2.2 EL TRANSPORTE | 8 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3 COMPONENTES DEL TRANSPORTE VIAL..... | 9 |
| 2.3.1 Conductor..... | 9 |
| 2.3.2 Peatón..... | 10 |
| 2.3.3 Vehículo..... | 10 |
| 2.3.4 Camino..... | 11 |
| 2.4 ELEMENTOS DEL FLUJO DEL TRÁNSITO..... | 12 |
| 2.4.1 Volumen de tráfico..... | 12 |
| 2.4.2 Densidad..... | 13 |
| 2.4.3 Velocidad..... | 14 |
| 2.4.3.1 Tipos de velocidad..... | 14 |
| 2.4.4 Intervalos entre vehículos..... | 17 |
| 2.4.4.1 Intervalo entre vehículos en el tiempo..... | 17 |
| 2.4.4.2 Intervalo entre vehículos en el espacio..... | 18 |
| 2.5 ECUACIÓN FUNDAMENTAL DEL FLUJO VEHICULAR | 19 |
| 2.6 DIAGRAMA FUNDAMENTAL DEL FLUJO DEL TRÁNSITO..... | 20 |
| 2.7 RELACIÓN ENTRE INTENSIDAD, VELOCIDAD Y DENSIDAD..... | 22 |
| 2.7.1 Relación fundamental..... | 22 |
| 2.7.2 Relación velocidad-densidad..... | 22 |
| 2.7.3 Relación intensidad-densidad..... | 23 |
| 2.7.4 Relación velocidad-intensidad..... | 25 |
| 2.8 CONDICIONES DE OPERACIÓN..... | 26 |
| 2.9 MODELOS MATEMÁTICOS DE COMPORTAMIENTO VEHICULA.... | 28 |
| 2.9.1 Clasificación de los modelos de tráfico..... | 30 |
| 2.9.2 Modelos básicos del flujo vehicular..... | 31 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.9.2.1 | Modelo lineal de Greenshields..... | 32 |
| 2.9.2.2 | Modelos logarítmico de Greenberg..... | 33 |
| 2.9.2.3 | Modelo exponencial de Underwood..... | 35 |
| 2.10 | ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO..... | 36 |
| 2.10.1 | Metodología de análisis..... | 36 |
| 2.10.2 | Variables de comportamiento..... | 37 |
| 2.10.3 | Indicadores de comportamiento..... | 38 |
| 2.10.4 | Relación entre indicadores de comportamiento..... | 40 |
| 2.10.5 | Valoración del comportamiento..... | 41 |
| 2.11 | TÉCNICAS DE AFORO Y DE MEDICIÓN DE VELOCIDADES..... | 42 |
| 2.11.1 | Estudio de velocidad en el sitio..... | 43 |
| 2.11.1.1 | Ubicación de sitios para los estudios de velocidad..... | 43 |
| 2.11.1.2 | Hora del día y la duración de los estudios..... | 44 |
| 2.11.1.3 | Métodos para realizar los estudios de velocidad..... | 44 |
| 2.11.2 | Estudios de volumen de tráfico..... | 47 |

CAPÍTULO 3:

APLICACIÓN DEL ESTUDIO

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | UBICACIÓN..... | 49 |
| 3.2 | AFORO VEHICULAR..... | 55 |
| 3.3 | ANÁLISIS DE DATOS..... | 56 |
| 3.4 | OBTENCIÓN DE LAS VARIABLES DE TRÁFICO..... | 59 |
| 3.5 | AJUSTE DE CURVAS..... | 68 |
| 3.6 | DESARROLLO DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS..... | 96 |

| | |
|---|------------|
| 3.7 ANÁLISIS DE VARIABLES DEL TRÁFICO VEHICULAR..... | 133 |
| 3.7.1 Análisis del comportamiento de tráfico..... | 189 |

CAPÍTULO 4:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---------------------------------|------------|
| 4.1 CONCLUSIONES | 192 |
| 4.2 RECOMENDACIONES..... | 193 |

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A RECOPIACIÓN DE DATOS DE CAMPO

ANEXO B VELOCIDADES DE ESTUDIO

ANEXO C ANÁLISIS DEL TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA

ANEXO D ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS DE CAMPO DEPURADOS

ANEXO E HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

ANEXO F PLANO URBANO

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página. |
|---|---------|
| Tabla 3.1 periodos de aforo de vehículos y medición de tiempos..... | 56 |
| Tabla 3.2 constante correspondiente al nivel de confianza..... | 58 |
| Tabla 3.3 variables de tráfico - punto 1 - carril de entrada - carril de salida..... | 62 |
| Tabla 3.4 variables de tráfico - Punto 2 - Carril de salida..... | 63 |
| Tabla 3.5 variables de tráfico - Punto 4 - Carril de salida..... | 64 |
| Tabla 3.6 variables de tráfico - Punto 5 - Carril de entrada - Carril de salida..... | 65 |
| Tabla 3.7 variables de tráfico - Punto 6 - Carril de entrada | 66 |
| Tabla 3.8 variables de tráfico - Punto 7 - Carril de entrada - Carril de salida..... | 67 |
| Tabla 3.9 Statgraphics relación lineal de las variables - carril de entrada - punto 1..... | 69 |
| Tabla 3.10 Statgraphics relación logarítmica de las variables - carril de entrada - punto 1..... | 70 |
| Tabla 3.11 Statgraphics relación exponencial de las variables - carril de entrada - punto 1..... | 71 |
| Tabla 3.12 Statgraphics relación lineal de las variables - carril de salida - punto 1..... | 72 |
| Tabla 3.13 Statgraphics relación logarítmica de las variables - carril de salida - punto 1..... | 73 |
| Tabla 3.14 Statgraphics relación exponencial de las variables - carril de salida - punto 1..... | 74 |
| Tabla 3.15 Statgraphics relación lineal de las variables - carril de salida - | |

| | |
|---|----|
| punto 2..... | 75 |
| Tabla 3.16 Statgraphics relación logarítmica de las variables - carril de salida - | |
| punto 2..... | 76 |
| Tabla 3.17 Statgraphics relación exponencial de las variables - carril de salida - | |
| punto 2..... | 77 |
| Tabla 3.18 Statgraphics relación lineal de las variables - carril de salida - | |
| punto 4..... | 78 |
| Tabla 3.19 Statgraphics relación logarítmica de las variables - carril de salida - | |
| punto 4..... | 79 |
| Tabla 3.20 Statgraphics relación exponencial de las variables - carril de salida - | |
| punto 4..... | 80 |
| Tabla 3.21 Statgraphics relación lineal de las variables - carril de entrada - | |
| punto 5..... | 81 |
| Tabla 3.22 Statgraphics relación logarítmica de las variables - carril de entrada - | |
| punto 5..... | 82 |
| Tabla 3.23 Statgraphics relación exponencial de las variables - carril de entrada - | |
| punto 5..... | 83 |
| Tabla 3.24 Statgraphics relación lineal de las variables - carril de salida - | |
| punto 5..... | 84 |
| Tabla 3.25 Statgraphics relación logarítmica de las variables - carril de salida - | |
| punto 5..... | 85 |
| Tabla 3.26 Statgraphics relación exponencial de las variables - carril de salida - | |
| punto 5..... | 86 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.27 Statgraphics relación lineal de las variables - carril de entrada - punto 6..... | 87 |
| Tabla 3.28 Statgraphics relación logarítmica de las variables - carril de entrada - punto 6..... | 88 |
| Tabla 3.29 Statgraphics relación exponencial de las variables - carril de entrada - punto 6..... | 89 |
| Tabla 3.30 Statgraphics relación lineal de las variables - carril de entrada - punto 7..... | 90 |
| Tabla 3.31 Statgraphics relación logarítmica de las variables - carril de entrada - punto 7..... | 91 |
| Tabla 3.32 Statgraphics relación exponencial de las variables - carril de entrada - punto 7..... | 92 |
| Tabla 3.33 Statgraphics relación lineal de las variables - carril de salida - Punto 7..... | 93 |
| Tabla 3.34 Statgraphics relación logarítmica de las variables - carril de salida - punto 7..... | 94 |
| Tabla 3.35 Statgraphics relación exponencial de las variables - carril de salida - punto 7..... | 95 |
| Tabla 3.36 curvas velocidad media espacial-densidad - punto 1 - carril de entrada..... | 97 |
| Tabla 3.37 curvas velocidad media espacial-densidad - punto 1 - carril de salida..... | 101 |
| Tabla 3.38 curvas velocidad media espacial-densidad - punto 2 - carril de salida..... | 105 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3.39 curvas velocidad media espacial-densidad - punto 4 - carril de salida..... | 109 |
| Tabla 3.40 curvas velocidad media espacial-densidad - punto 5 - carril de entrada..... | 113 |
| Tabla 3.41 curvas velocidad media espacial-densidad - punto 5 - carril de salida..... | 117 |
| Tabla 3.42 curvas velocidad media espacial-densidad - punto 6 - carril de entrada..... | 121 |
| Tabla 3.43 curvas velocidad media espacial-densidad - punto 7 - carril de entrada..... | 125 |
| Tabla 3.44 curvas velocidad media espacial-densidad - punto 7 - carril de salida..... | 129 |
| Tabla 3.45 curvas modelo matemático lineal - punto 1 - carril de entrada..... | 135 |
| Tabla 3.46 indicadores de comportamiento para el modelo matemático lineal - punto 1 - carril de entrada..... | 139 |
| Tabla 3.47 condiciones de operación - punto 1 - carril de entrada..... | 140 |
| Tabla 3.48 curvas modelo matemático lineal - punto 1 - carril de salida..... | 141 |
| Tabla 3.49 indicadores de comportamiento para el modelo matemático lineal - punto 1 - carril de salida..... | 145 |
| Tabla 3.50 condiciones de operación - punto 1 - carril de salida..... | 146 |
| Tabla 3.51 curva modelo matemático lineal - punto 2 - carril de salida..... | 147 |
| Tabla 3.52 indicadores de comportamiento para el modelo matemático lineal - punto 2 - carril de salida..... | 151 |
| Tabla 3.53 condiciones de operación - punto 2 - carril de salida..... | 152 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.54 curva modelo matemático lineal - punto 4 - carril de salida..... | 153 |
| Tabla 3.55 indicadores de comportamiento para el modelo matemático lineal - punto 4 - carril de salida..... | 157 |
| Tabla 3.56 condiciones de operación - punto 4 - carril de salida..... | 158 |
| Tabla 3.57 curva modelo matemático lineal - punto 5 - carril de entrada..... | 159 |
| Tabla 3.58 indicadores de comportamiento para el modelo matemático lineal - punto 5 - carril de entrada..... | 163 |
| Tabla 3.59 condiciones de operación - punto 5 - carril de entrada..... | 164 |
| Tabla 3.60 curva modelo matemático lineal - punto 5 - carril de salida..... | 165 |
| Tabla 3.61 indicadores de comportamiento para el modelo matemático lineal - punto 5 - carril de salida..... | 169 |
| Tabla 3.62 condiciones de operación - punto 5 - carril de salida..... | 170 |
| Tabla 3.63 curva modelo matemático lineal - punto 6 - carril de entrada..... | 171 |
| Tabla 3.64 indicadores de comportamiento para el modelo matemático lineal - punto 6 - carril de entrada..... | 175 |
| Tabla 3.65 condiciones de operación - punto 6 - carril de entrada..... | 176 |
| Tabla 3.66 curva modelo matemático lineal - punto 7 - carril de entrada..... | 177 |
| Tabla 3.67 indicadores de comportamiento para el modelo matemático lineal - punto 7 - carril de entrada..... | 181 |
| Tabla 3.68 condiciones de operación - punto 7 - carril de entrada..... | 182 |
| Tabla 3.69 curva modelo matemático lineal - punto 7 - carril de salida..... | 183 |
| Tabla 3.70 indicadores para el modelo matemático de comportamiento lineal - punto 7 - carril de salida..... | 187 |
| Tabla 3.71 condiciones de operación - punto 7 - carril de salida..... | 188 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página. |
|---|---------|
| Figura 2.1 intervalo entre vehículos..... | 18 |
| Figura 2.2 espaciamiento entre vehículos..... | 19 |
| Figura 2.3a flujo vs densidad..... | 22 |
| Figura 2.3b velocidad vs densidad..... | 22 |
| Figura 2.3c velocidad vs intensidad..... | 22 |
| Figura 2.4 diagramas relación velocidad-densidad..... | 23 |
| Figura 2.5 relación intensidad-densidad..... | 24 |
| Figura 2.6 relación velocidad-intensidad..... | 26 |
| Figura 2.7 relación fundamental del flujo vehicular..... | 29 |
| Figura 2.8a autoscopio instalado..... | 46 |
| Figura 2.9b ilustración esquemática del Autoscopio..... | 48 |
| Figura 3.1 modelo lineal ve-k - punto 1 - carril de entrada..... | 98 |
| Figura 3.2 modelo logarítmico ve-k - punto 1 - carril de entrada..... | 99 |
| Figura 3.3 modelo logarítmico ve-k - punto 1 - carril de entrada..... | 100 |
| Figura 3.4 modelo lineal ve-k - punto 1 - carril de salida..... | 102 |
| Figura 3.5 modelo logarítmico ve-k - punto 1 - carril de salida..... | 103 |
| Figura 3.6 modelo exponencial ve-k - punto 1 - carril de salida..... | 104 |
| Figura 3.7 modelo lineal ve-k - punto 2 - carril de salida..... | 106 |
| Figura 3.8 modelo logarítmico ve-k - punto 2 - carril de salida..... | 107 |
| Figura 3.9 modelo exponencial ve-k - punto 2 - carril de salida..... | 108 |
| Figura 3.10 modelo lineal ve-k - punto 4 - carril de salida..... | 110 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.11 modelo logarítmico ve-k - punto 4 - carril de salida..... | 111 |
| Figura 3.12 modelo exponencial ve-k - punto 4 - carril de salida..... | 112 |
| Figura 3.13 modelo lineal ve-k - punto 5 - carril de entrada..... | 114 |
| Figura 3.14 modelo logarítmico ve-k - punto 5 - carril de entrada..... | 115 |
| Figura 3.15 modelo logarítmico ve-k - punto 5 - carril de entrada..... | 116 |
| Figura 3.16 modelo lineal ve-k - punto 5 - carril de salida..... | 118 |
| Figura 3.17 modelo logarítmico ve-k - punto 5 - carril de salida..... | 119 |
| Figura 3.18 modelo exponencial ve-k - punto 5 - carril de salida..... | 120 |
| Figura 3.19 modelo lineal ve-k - punto 6 - carril de entrada..... | 122 |
| Figura 3.20 modelo logarítmico ve-k - punto 6 - carril de entrada..... | 123 |
| Figura 3.21 modelo logarítmico ve-k - punto 6 - carril de entrada..... | 124 |
| Figura 3.22 modelo lineal ve-k - punto 7 - carril de entrada..... | 126 |
| Figura 3.23 modelo logarítmico ve-k - punto 7 - carril de entrada..... | 127 |
| Figura 3.24 modelo logarítmico ve-k - punto 7 - carril de entrada..... | 128 |
| Figura 3.25 modelo lineal ve-k - punto 7 - carril de salida..... | 130 |
| Figura 3.26 modelo logarítmico ve-k - punto 7 - carril de salida..... | 131 |
| Figura 3.27 modelo exponencial ve-k - punto 7 - carril de salida..... | 132 |
| Figura 3.28 relación velocidad-densidad - punto 1 - carril de entrada..... | 136 |
| Figura 3.29 relación intensidad-densidad - punto 1 - carril de entrada..... | 137 |
| Figura 3.30 relación velocidad-intensidad - punto 1 - carril de entrada..... | 138 |
| Figura 3.31 relación velocidad-densidad - punto 1 - carril de salida..... | 142 |
| Figura 3.32 relación intensidad-densidad - punto 1 - carril de salida..... | 143 |
| Figura 3.33 relación velocidad-intensidad - punto 1 - carril de salida..... | 144 |
| Figura 3.34 relación velocidad-densidad - punto 2 - carril de salida..... | 148 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.35 relación intensidad-densidad - punto 2 - carril de salida..... | 149 |
| Figura 3.36 relación velocidad-intensidad - punto 2 - carril de salida..... | 150 |
| Figura 3.37 relación velocidad-densidad - punto 4 - carril de salida..... | 154 |
| Figura 3.38 relación intensidad-densidad - punto 4 - carril de salida..... | 155 |
| Figura 3.39 relación velocidad-intensidad - punto 4 - carril de salida..... | 156 |
| Figura 3.40 relación velocidad-densidad - punto 5 - carril de entrada..... | 160 |
| Figura 3.41 relación intensidad-densidad - punto 5 - carril de entrada..... | 161 |
| Figura 3.42 relación velocidad-intensidad - punto 5 – carril de entrada..... | 162 |
| Figura 3.43 relación velocidad-densidad - punto 5 - carril de salida..... | 166 |
| Figura 3.44 relación intensidad-densidad - punto 5 - carril de salida..... | 167 |
| Figura 3.45 relación velocidad-intensidad - punto 5 - carril de salida..... | 168 |
| Figura 3.46 relación velocidad-densidad - punto 6 - carril de entrada..... | 172 |
| Figura 3.47 relación intensidad–densidad - punto 6 - carril de entrada..... | 173 |
| Figura 3.48 relación velocidad-intensidad - punto 6 - carril de entrada..... | 174 |
| Figura 3.49 relación velocidad-densidad - punto 7 - carril de entrada..... | 178 |
| Figura 3.50 relación intensidad-densidad - punto 7 - carril de entrada..... | 179 |
| Figura 3.51 relación velocidad-intensidad - punto 7 - carril de entrada..... | 180 |
| Figura 3.52 relación velocidad-densidad - punto 7 - carril de salida..... | 184 |
| Figura 3.53 relación intensidad-densidad - punto 7 - carril de salida..... | 185 |
| Figura 3.54 relación velocidad-intensidad - punto 7 - carril de salida..... | 186 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | Página. |
|---|---------|
| Imagen 3.1 barrio Torrecillas..... | 49 |
| Imagen 3.2 punto número 1 de aforo avenida 177..... | 50 |
| Imagen 3.3 punto número 2 de aforo avenida 177..... | 51 |
| Imagen 3.4 punto número 3 de aforo avenida 178..... | 52 |
| Imagen 3.5 punto número 4 de aforo avenida 178..... | 52 |
| Imagen 3.6 punto número 5 de aforo avenida 177..... | 53 |
| Imagen 3.7 punto número 6 de aforo avenida 180..... | 54 |
| Imagen 3.8 punto número 7 de aforo avenida 179..... | 54 |