

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



TRABAJO DIRIGIDO

**“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS VEHÍCULOS PESADOS
EN LA CAPACIDAD DE LAS CARRETERAS
(POR EL MÉTODO HCM 2000 Y EL MÉTODO INVIAS)”**

POSTULANTE:

GUIDO JUAREZ HUARACHI

TUTOR:

ING. MARIO CARMELO GAMARRA MENDOZA

TARIJA - BOLIVIA

V°B°

.....
Ing. Mario Carmelo Gamarra Mendoza
TUTOR

.....
M.Sc. Ing. Luis Alberto Yurquina F.
Decano de la Facultad de
Ciencias y Tecnología

.....
MSc. Lic. Marlene Hoyos Montecinos
Directora PET

APROBADO POR:

.....
Ing. Joel Paco Sarzuri
TRIBUNAL N°1

.....
Ing. Juan Agustin Zuleta
TRIBUNAL N°2

El tribunal calificador de la presente tesis, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en la misma, siendo únicamente responsable del autor.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo dirigido a la memoria de mi madre Aleja Huarachi Felix, a mi esposa Justina Flores y mi hija Naomi Jazmín Juarez Flores

AGRADECIMIENTO

A, Dios que me da la vida, a mis padres por enseñarme los valores morales y a mi hermana Lili Juarez por haber permitido la conclusión de mis estudios, a todos mis hermanos, y amigos que estuvieron cerca de mí, y que me ayudaron a concluir éste trabajo.

PENSAMIENTO

Yo soy el Alfa y la Omega, dice el Señor Dios,
Aquel que es, que era y que ha de venir, el
Todopoderoso

Apocalipsis. 1, 8

ÍNDICE

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Pensamiento.....	iii
Resumen.....	iii

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES.....	Pág. 1
1.2 JUSTIFICACIÓN.	Pág. 1
1.3 OBJETIVOS.	Pág. 2
1.3.1 Objetivos Generales.	Pág. 2
1.3.2 Objetivos Específicos.	Pág. 2
1.4 ALCANCE.	Pág. 3

CAPITULO II PARÁMETROS DE TRÁFICO.

2.1 DEFINICIÓN.....	Pág. 4
2.2 PARÁMETROS DE TRÁFICO.	Pág. 6
2.2.1 VOLUMEN.	Pág. 7
2.2.1.1 Volumen De Transito Promedios Diarios.	Pág. 9
2.2.1.2 Volumen De Transito Horario.	Pág. 10
2.2.2 VELOCIDAD.	Pág. 11
2.2.2.1 Formas De Medir Las Velocidades.	Pág. 13
2.2.2.2 Velocidad Del Percentil 85.	Pág. 15
2.2.2.3 Otros Conceptos De Velocidades.	Pág. 15

2.2.2.4 Velocidad En Función Del Tipo De Vía.	Pág. 15
2.2.3 DENSIDAD.	Pág. 16
2.3 RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TRÁFICO.	Pág. 18
2.3.1 Relación Velocidad – Densidad.	Pág. 21
2.3.2 Relación Intensidad – Densidad.	Pág. 23
2.3.3 Relación Velocidad – Intensidad.	Pág. 25

CAPITULO III

CAPACIDAD VEHICULAR

3.1 INTRODUCCIÓN.	Pág. 28
3.2 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD VEHICULAR.	Pág. 29
3.2.1 Vías Ininterrumpidas.	Pág. 30
3.2.2 Vías Interrumpidas.	Pág. 31
3.3 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD VEHICULAR. ...	Pág. 32
3.3.1 Método de HCM 2000.	Pág. 32
3.3.1.1 Versiones De Los Años 1950, 1985 y 1994 y 200.	Pág. 32
3.3.1.2 Principales Características De La Versión Del HCM 2000.	Pág. 34
3.3.1.3 Estimación De La Capacidad.	Pág. 34
3.3.1.4 Estimación Del Nivel De Servicio.	Pág. 35
3.3.1.5 Aplicación Del HCM 2000.	Pág. 36
3.3.2 MÉTODO INVIAS.	Pág. 38
3.3.2.1 Introducción.	Pág. 38
3.3.2.2 Evolución Y Filosofía Del Método INVIAS.	Pág. 38
3.3.2.3 Principios Básicos Del Método INVIAS.	Pág. 39
3.4 ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE REDUCCIÓN.	Pág. 42
3.4.1 Condiciones Ideales.	Pág. 42
3.4.2 Condiciones De La Vía Ó La Infraestructura.	Pág. 43

3.4.3 Condiciones del Tránsito.....	Pág. 43
3.4.4 Condiciones Prevalcientes Del Tránsito Que Afectan La Capacidad.....	... Pág. 44
3.5 EFECTOS DE LOS VEHÍCULOS PESADOS.....	Pág. 45

CAPITULO IV
ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS VEHÍCULOS PESADOS EN LA
CAPACIDAD

4.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN CARRETERAS.....	Pág. 47
4.1.1 CARRETERAS MULTICARRIL.....	Pág. 47
4.1.1.1 Características Físicas Y Funcionales.....	Pág. 47
4.1.1.2 Condiciones Básicas Para El Análisis.....	Pág. 50
4.1.1.3 Limitaciones De La Metodología.....	Pág. 51
4.1.1.4 Metodología.....	Pág. 51
4.1.1.4.1 Niveles de Servicio.....	Pág. 53
4.1.1.5 Determinación De La Velocidad A Flujo Libre.....	Pág. 57
4.1.15.1 Factor de Ajuste por Ancho de Carril.....	Pág. 60
4.1.1.5.2 Factor de Ajuste Por Distancia Libre Lateral.....	Pág. 60
4.1.1.5.3 Factor De Ajuste Por Tipo De Separador.....	Pág. 62
4.1.1.5.4 Factor De Ajuste Por Densidad De Puntos De Acceso.....	Pág. 63
4.1.1.6 Determinación De La Tasa De Flujo.....	Pág. 64
4.1.1.6.1 Factor de Hora Pico.....	Pág. 65
4.1.1.6.2 Factor De Ajuste Por Presencia De Vehículos Pesados.....	Pág. 65
4.1.1.6.2.1 Segmentos Generales De Carreteras.....	Pág. 67
4.1.1.6.2.2 Pendientes Específicas.....	Pág. 68

4.1.1.6.3 Factor de Ajuste por la Población de Conductores.....	Pág. 73
4.1.1.7 Determinación Del Nivel De Servicio.....	Pág. 74
4.1.1.7.1 Segmentación De La Vía Multicarril.	Pág. 75
4.1.2 SEGMENTO BÁSICO DE AUTOPISTAS.	Pág. 76
4.1.2.1 Características Físicas y Funcionales.	Pág. 76
4.1.2.2 Condiciones Básicas Para El Análisis.....	Pág. 78
4.1.2.3 Limitaciones De La Metodología.....	Pág. 79
4.1.2.4 Metodología.	Pág. 80
4.1.2.4.1 Niveles de Servicio.	Pág. 82
4.1.2.5 Determinación de la Velocidad a Flujo Libre, VFL.	Pág. 88
4.1.2.5.1 Factor De Ajuste Por Ancho De Carril.....	Pág. 90
4.1.2.5.2 Factor De Ajuste Por Distancia Libre Lateral.	Pág. 90
4.1.2.5.3 Factor De Ajuste Por Número De Carriles.....	Pág. 92
4.1.2.5.4 Factor De Ajuste Por Densidad De Intercambiadores.....	Pág. 93
4.1.2.6 Determinación De La Tasa De Flujo.....	Pág. 94
4.1.2.6.1 Factor de Hora Pico.	Pág. 94
4.1.2.6.2 Factor De Ajuste Por Presencia De Vehículos Pesados.....	Pág. 95
4.1.2.6.2.1 Segmentos Extensos De Autopistas.	Pág. 97
4.1.2.6.2.2 Pendientes Específicas.....	Pág. 97
4.1.2.6.2.3 Factores De Equivalencia Para Segmentos De Autopista Extendidos.....	Pág. 97
4.1.2.6.2.4 Factor De Equivalencia Para Pendientes Específicas.	Pág. 99
4.1.2.6.4.1 Equivalentes Para Pendientes Específicas De Ascenso.....	Pág. 100
4.1.2.6.4.2 Equivalentes Para Pendientes De Descenso.....	Pág. 103
4.1.2.6.4.3 Equivalentes Para Pendientes Compuestas.....	Pág. 104
4.1.2.6.3 Factor De Ajuste Por La Población De Conductores.....	Pág. 105
4.1.2.7 Determinación Del Nivel De Servicio.....	Pág. 105
4.1.2.7.1 Segmentación De La Autopista.....	Pág. 106
4.1.3 CARRETERAS DE DOS CARRILES.	Pág. 108

4.1.3.1 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO MÉTODO INVIAS...	Pág. 108
4.1.3.1.1 Introducción.	Pág.108
4.1.3.1.2 Condiciones Ideales.	Pág.109
4.1.3.1.3 Metodología Para El Cálculo De La Capacidad.....	Pág. 109
4.1.3.1.3.1 Descripción De Los Factores De Ajuste.	Pág. 109
4.1.3.1.3.1.1 Pendientes (Fpe).....	Pág. 110
4.1.3.1.3.1.2 Distribución De Tránsito Por Sentidos (Fd).	Pág.111
4.1.3.1.3.1.3 Ancho De Carril Y Berma Utilizable (Fcb).	Pág.112
4.1.3.1.3.1.4 Presencia De Vehículos Pesados (Fp).	Pág.113
4.1.3.1.3.2 Aplicación De Los Factores De Corrección.	Pág. 116
4.1.3.1.3.2.1 Variaciones Aleatorias Del Volumen De Tránsito.....	Pág. 117
4.1.3.1.4 Método Para El Cálculo Del Nivel De Servicio.....	Pág. 118
4.1.3.1.4.1 Descripción De Los Factores De Ajuste.	Pág. 118
4.1.3.1.4.1.1 Pendientes.....	Pág. 119
4.1.3.1.4.1.2 Utilización De La Capacidad.	Pág. 120
4.1.3.1.4.1.3 Estado De La Superficie De Rodadura.....	Pág. 122
4.1.3.1.4.1.4 Ancho De Carril Y Berma.	Pág. 122
4.1.3.1.4.1.5 Presencia De Vehículos Pesados.....	Pág. 123
4.1.3.1.4.1.6 Curvatura.	Pág. 129
4.1.3.1.4.1.7 Determinación Del Nivel De Servicio.....	Pág. 130
4.1.3.1.4.2 Aplicación De Los Factores De Corrección.....	Pág. 131
4.1.3.2 CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO EN CARRETERA DE DOS CARRILES. MÉTODO HCM 2000.	Pág. 134
4.1.3.2.1 Introducción.	Pág. 134
4.1.3.2.2 Resumen Del Alcance De La Metodología.	Pág. 135
4.1.3.2.3 Limitaciones De La Metodología.....	Pág. 136
4.1.3.2.3.1 Capacidad.....	Pág. 138
4.1.3.2.3.2 Nivel De Servicio.....	Pág. 138
4.1.3.2.4 Determinación De La Velocidad A Flujo Libre (FFS).....	Pág. 140

4.1.3.2.4.1 Velocidad A Flujo Libre Medida En Campo.....	Pág. 140
4.1.3.2.4.2 Velocidad De Flujo Libre Estimada.....	Pág. 141
4.1.3.2.5 Determinación De La Tasa De Flujo De Demanda (Vp).....	Pág. 145
4.1.3.2.5.1 Factor hora pico (FHP).....	Pág. 145
4.1.3.2.5.2 Factor De Ajuste Por Pendiente (f_G).....	Pág. 146
4.1.3.2.5.3 Ajuste Por Vehículos Pesados (f_{HV}).	Pág. 147
4.1.3.2.5.4 Cálculos Iterativos.....	Pág. 1151
4.1.3.2.6 Determinación De La Velocidad Promedio De Viaje (ATS).	Pág. 152
4.1.3.2.7 Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF).	Pág. 154
4.1.3.2.8 Determinación Del Nivel De Servicio (LOS).....	Pág. 155
4.1.3.2.9 Otras Medidas de Desempeño.....	Pág. 157
4.2 Efecto De Los Vehículos Pesados En La Capacidad.	Pág. 158
4.2.1 Efecto De Los Vehículos Pesados En La Capacidad Consideradas por el método HCM 2000.	Pág. 158
4.2.2 Efecto De Los Vehículos Pesados En La Capacidad Consideradas por el método INVIAS.....	Pág. 161

CAPITULO V
APLICACIÓN DEL ANALISIS DEL EFECTO DE LOS VEHÍCULOS
PESADOS EN LA CAPACIDAD

5.1 Análisis para la selección de las carreteras para el estudio.....	Pág. 162
5.2 Metodología para la toma de datos	Pág. 166
5.3 Características geométricas de los tramos.....	Pág. 167

5.4 Volúmenes recogidos.....	Pág. 169
5.5 Análisis de la composición vehicular.....	Pág. 172
5.6 Calculo de la capacidad y nivel de servicio por el método del Manual HCM 2000.....	Pág. 179
5.6.1 Procedimiento de cálculo.....	Pág. 179
5.6.2 Cálculo de la capacidad y nivel de servicio por el método del manual de capacidad del HCM 2000.	Pág. 179
5.6.2.1 Calculo De La Capacidad Y Nivel De Servicio En El Tramo Tarija - Bermejo.....	Pág. 184
5.6.2.2 Calculo De La Capacidad Y Nivel De Servicio En El Tramo Tarija - Camargo.....	Pág. 188
5.7 Cálculo de la capacidad nivel de servicio por el método del manual INVIAS.....	Pág. 192
5.7.1 Procedimiento de cálculo.....	Pág. 192
5.7.2 Cálculo de la capacidad y nivel de servicio por el método INVIAS.	Pág. 196
5.7.2.1 Calculo Del IRI Del Tramo Tarija – Bermejo.	Pág. 196
5.7.2.2 Calculo Del IRI Del Tramo Tarija – Camargo.	Pág. 211
5.7.3 Calculo De La Capacidad Y Nivel De Servicio En El Tramo Tarija – Bermejo.....	Pág. 226
5.7.4 Calculo De La Capacidad Y Nivel De Servicio En El Tramo Tarija – Bermejo.....	Pág. 230
5.8 Análisis de los efectos de los vehículos pesados en la capacidad de las carreteras en estudio.....	Pág. 234

CAPITULI VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones generales.....	Pág. 245
---------------------------------	----------

6.2 Conclusiones Particulares.....	Pág. 247
6.2.1Tramo Tarija - Bermejo.....	Pág. 247
6.2.1Tramo Tarija - Camargo.....	Pág. 250
6.2.1Recomendaciones.....	Pág. 252
6.2.1 Recomendaciones generales.....	Pág. 252
6.2.24 Recomendaciones particulares.....	Pág. 253
6.2.1Tramo Tarija - Bermejo.....	Pág. 253
6.2.1Tramo Tarija - Camargo.....	Pág. 254

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS:

Anexo I	Composición vehicular
Anexo II	Planilla para el cálculo de IRI
Anexo III	Figuras

LISTA DE TABLAS

CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO MÉTODO INVIAS

Tabla 4.3.1	FACTORES DE CORRELACIÓN A LA CAPACIDAD POR PENDIENTE (Fpe)	Pag. 111
Tabla 4.3.2	FACTORES DE CORRELACIÓN A LA CAPACIDAD POR DISTRIBUCIÓN POR SENTIDO	Pag. 112
Tabla 4.3.3	FACTORES CORRELACIÓN A LA CAPACIDAD POR EFECTO COMBINADO DE ANCHO DE CARRIL Y BERMA (Fcb)	Pag. 113
Tabla 4.3.4	FACTORES CORRELACIÓN A LA CAPACIDAD POR LA PRESENCIA DE VEHÍCULOS PESADOS EN PENDIENTES ASCENDENTES (Fp)	Pag. 114
Tabla 4.3.5	FACTOR DE HORA PICO. FHP	Pag. 118
Tabla 4.3.5-1	VELOCIDAD MEDIA IDEAL DE AUTOMÓVILES A FLUJO LIBRE EN PENDIENTE ASCENDENTE (Vi)	Pag. 120
Tabla 4.3.6	FACTORES DE CORRECCIÓN AL NIVEL DE SERVICIO POR EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE LA CAPACIDAD (Fu)	Pag. 121
Tabla 4.3.7	FACTORES DE CORRECCIÓN AL NIVEL DE SERVICIO POR EL ESTADO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA (fsr)	Pag. 122
Tabla 4.3.8	FACTORES DE CORRECCIÓN AL NIVEL DE SERVICIO POR EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y BERMA (fcb)	Pag. 123
Tabla 4.3.9	FACTORES DE CORRECCIÓN AL NIVEL DE SERVICIO POR LA PRESENCIA DE VEHÍCULOS	Pag. 125

PESADOS EN PENDIENTES ASCENDENTES (fp1)

Tabla 4.3.10	FACTORES DE CORRECCIÓN AL NIVEL DE SERVICIO POR LA PRESENCIA DE VEHÍCULOS PESADOS (fp2)	Pag. 129
Tabla 4.3.11	VELOCIDAD MÁXIMA QUE PERMITE LA CURVA MÁS CERRADA DE SECTOR (V_c)	Pag. 130
Tabla 4.3.12	VELOCIDADES EN Km/h QUE DETERMINAN LOS NIVELES DE SERVICIO POR TIPO DE TERRENO (V_c)	Pag. 131

CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO EN CARRETERA DE DOS CARRILES. MÉTODO HCM 2000

Tabla 4.4.1	CRITERIO DE NIVELES DE SERVICIO (LOS) PARA C2K EN VÍAS CLASE I	Pag. 138
Tabla 4.4.2	CRITERIO DE NIVEL DE SERVICIO (LOS) PARA C2K EN VÍAS CLASE II	Pag. 139
Tabla 4.4.3	AJUSTE (f_{LS}) POR ANCHO DE CARRIL Y BERMA	Pag. 143
Tabla 4.4.4	AJUSTE (f_A) PARA DENSIDAD DE PUNTOS DE ACCESO	Pag. 144
TABLA 4.4.5	FACTOR DE HORA PICO. FHP	Pag. 146
TABLA 4.4.6	FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE (f_G) PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD EN SEGMENTOS DE DOS DIRECCIONES Y SEGMENTO DIRECCIONAL PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES CLASE I	Pag. 146
TABLA 4.4.7	FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE (f_G) PARA DETERMINAR EL PTSF EN SEGMENTOS DE DOS DIRECCIONES Y SEGMENTO DIRECCIONAL PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES CLASE I y CLASE II	Pag. 147

TABLA 4.4.8	EQUIVALENTE DE VEHÍCULOS DE PASAJEROS PARA CAMIONES Y VEHÍCULOS RECREACIONALES PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD EN SEGMENTOS DE DOS DIRECCIONES Y SEGMENTO DIRECCIONAL PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES CLASE I	Pag. 149
TABLA 4.4.9	EQUIVALENTE DE VEHÍCULOS DE PASAJEROS PARA CAMIONES Y VEHÍCULOS RECREACIONALES PARA DETERMINAR PTSF EN SEGMENTOS DE DOS DIRECCIONES Y SEGMENTO DIRECCIONAL PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES CLASE I y CLASE II	Pag. 150
TABLA 4.4.10	AJUSTE (fnp) POR EFECTO DE LAS ZONAS DE NO PASAR EN LA ATS EN SEGMENTOS DE DOS DIRECCIONES PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES CLASE I	Pag. 153
TABLA 4.4.11	AJUSTE (fd/np) POR EL EFECTO COMBINADO DE LA DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL DEL TRÁFICO Y EL PORCENTAJE DE ZONAS DE NO PASAR SOBRE EL PTSF EN SEGMENTOS DE DOS DIRECCIONES, PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES CLASE I y CLASE II	Pag. 156