

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE VELOCIDAD Y EQUILIBRIO DINÁMICO EN
CURVAS HORIZONTALES EN LA RED FUNDAMENTAL DE
TARIJA”**

Por:

ARIEL RODRIGO AMPUERO SULLCA

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

Semestre II - 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A mi querida madre por ser mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. Su amor incondicional, su apoyo constante y su sabiduría han sido el motor que me ha impulsado a lo largo de este camino. Gracias por creer en mí cuando yo mismo dudaba y por enseñarme que con dedicación y esfuerzo todo es posible. Esta tesis es tanto un logro mío como un reflejo de todo lo que usted me ha enseñado mamá.

A mi querido padre, Tu constante apoyo, sabiduría y sacrificio han sido la luz que ha iluminado mi camino hacia esta meta. Tu ejemplo de tenacidad y dedicación ha sido mi inspiración diaria. Gracias por ser mi roca, por alentarme a alcanzar mis sueños y por celebrar cada logro conmigo. Esta tesis es un tributo a tu amor incondicional y a la profunda influencia que has tenido en mi vida.

Con todo mi cariño y admiración:

Ariel Rodrigo Ampuero Sullca

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Página

1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación problemática.....	2
1.2.1 Problema	2
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema.....	2
1.2.3 Delimitación temporal y espacial.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Operacionalización de las variables	4
1.6.1 Variable independiente	4
1.6.2 Variable dependiente.....	4
1.7 Identificación del tipo de investigación	5
1.8 Unidades de estudio y decisión muestral	6
1.8.1 Unidad de estudio.....	6
1.8.2 Población.....	6
1.8.3 Muestra.....	6
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo.....	6
1.9 Métodos y técnicas empleadas	7
1.9.1 Métodos.....	7

1.9.2 Técnicas.....	7
1.10 Procesamiento de la información	7
1.11 Alcance de la investigación.....	8

CAPÍTULO II

EQUILIBRIO DINÁMICO

	Página
2.1 Equilibrio Dinámico.....	10
2.1.1 Diseño geométrico horizontal	13
2.2.2 Curvas circulares simples.....	13
2.2. Criterios para la asignación de la velocidad específica en las curvas horizontales	13
2.3. Radios y Peraltes	15
2.4. Carretera.....	16
2.5. Velocidad	16
2.5.1. Velocidad específica	16
2.5.2. Velocidad de diseño del tramo homogéneo	16
2.5.3. Velocidad de directriz	19
2.5.4. Variables condicionantes de la velocidad de operación.....	20
2.5.5. Velocidad de media marcha.....	21
2.5.6. La velocidad de operación y la geometría de la carretera.....	22
2.5.7 Variación entre la velocidad de diseño y operación.....	22
2.5.8. Importancia de la velocidad de operación (85) o percentil 85.....	23
2.6. Clasificación de carretera por demanda	23
2.7. Curvas horizontales circulares simples	24
2.7.1 Expresiones que relacionan los elementos geométricos	25

2.7.1. Radios mínimos.....	27
2.7.1.1 Radios mínimos deseable	29
2.7.2. Peralte.....	31
2.7.2.1. Peralte máximo y mínimo	32
2.7.2.2 Peralte para una curva horizontal.....	38
2.7.2.3. Procedimiento para desarrollar la distribución final de e.....	39
2.7.3. Equilibrio dinámico.....	40
2.7.3.1. Fricción Transversal.....	41
2.7.3.1.1 Coeficientes de fricción transversal máximos, fr máx	41
2.7.3.2. Fricción Transversal Máxima	44
2.7.4. Curvas en vuelta.....	45
2.7.5. Anchos de calzada.....	46
2.7.5.1. Sobreebanco.....	47
2.7.6. Clasificación por tipo de vehículo	48
2.7.7. Radar	50
2.7.8. Pistola radar.....	50
2.7.8.1 Especificaciones referenciales	51
2.7.8.2. El funcionamiento de la pistola radar de medición de velocidades	51

CAPÍTULO III

INFORMACIÓN

	Página
3.1 Selección de los puntos de estudio.....	54
3.2 Proceso de estudio.....	55
3.2.1. Proceso de obtención de información	55
3.3. Descripción del área de estudio.....	59

3.3.1 Características generales	59
3.4. Características de los tramos	61
3.4.1. Velocidades de diseño con parámetros medidos en campo	61
3.4.2. Velocidades de operación promedio medidos en campo	62
3.4.2. Rádios.....	63
3.4.3. Peraltes para Tarija-Entre Ríos; Tarija-El Puente; Tarija-Bermejo	66
3.4.4. Clasificación Vehicular	67

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1 Calculo de peralte de los tramos	68
4.1.1 Calculo de peralte de tramo Tarija-El Puente	68
4.2. Cálculo de velocidad de diseño.....	74
4.2.1. Velocidades de diseño del tramo Tarija-Bermejo.....	74
4.2.2 Tabla de resultados de velocidades de diseño de los tramos de investigación ..	75
4.3. Depuración de datos de velocidad medidas	77
4.4. Velocidades depuradas.....	102
4.4.1. Velocidad media de tramo Tarija-Bermejo.....	102
4.4.2 Velocidad media de tramo Tarija-El Puente	102
4.4.3 Velocidad media de tramo Tarija-Entre Ríos.....	103
4.4.4. Resultados de velocidades medias	103
4.5. Interpretación de resultados	164
4.6 Alternativas de solución al problema.....	202

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones	206
5.2 Recomendaciones.....	209

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1. Datos de Velocidad de Operación de los Tramos Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos, Tarija-El Puente.

ANEXO 2. Datos de Peraltes Medidos de los Tramos Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos, Tarija-El Puente.

ANEXO 3. Resultados de Peraltes de Tramos Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos, Tarija-El Puente.

ANEXO 4. Cálculo de Velocidades de diseño de los Tramos Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos, Tarija-El Puente.

ANEXO 5. Datos Depurados y Velocidades Promedios de los Tramos Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos, Tarija-El Puente.

ANEXO 6. Relevamiento de las curvas horizontales Tramos Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos, Tarija-El Puente.

ANEXO 7. Fotografías.

ANEXO 8. Planos de alternativas

ANEXO 9. Planillas de cómputo métrico y precios unitarios

ANEXO 10. Fiabilidad de resultados

ÍNDICE TABLAS

Página

Tabla N°1: Coeficiente de rozamiento transversal máximo movlizado ($f_{m\acute{a}x}$).	12
Tabla N°2: Velocidades especificas en curvas horizontales según radio-peralte y	14
Tabla N°3: Clasificación de tipo de carretera	15
Tabla N°4: Rangos de la velocidad de diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.	17
Tabla N°5: Rangos de la velocidad de diseño en función a la clasificación de la 18	18
Tabla N°6: Rangos de la velocidad de diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.	18
Tabla N°7: Radios mínimos para peralte máximo $e_{m\acute{a}x}=8\%$ y fricción máxima.....	19
Tabla N°8: Radios mínimos para peralte máximo $e_{m\acute{a}x}=6\%$ y fricción máxima.....	20
Tabla N°9: Clasificación de carretrara	20
Tabla N°10: Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de velocidades de operaciones.....	22
Tabla N°11: Clasificación de carretera por demanda.....	23
Tabla N°12: Radios mínimos y factores de fricción máximos.....	28
Tabla N°13: Radios mínimos dependiendo de los peraltes.....	29
Tabla N°14: Radios mínimos deseables.....	30
Tabla N°15: Radio mínimos absolutos em curvas horizontales.....	31
Tabla N°16: Radio mínimos absolutos em curvas horizontales.....	32
Tabla N°17: Valores para los elementos de diseño relacionados con la velocidad ... directriz y la curva horizontal $e_{m\acute{a}x}=12\%$	33
Tabla N°18: Condiciones en que se desarrolla la ruta	33
Tabla N°19: AASHTO 2011- Distribución del peralte, $e_{m\acute{a}x}$ 12%	34

Tabla N°20: AASHTO 2011- Distribución del peralte, emáx 10%	35
Tabla N°21: AASHTO 2011- Distribución del peralte, emáx 8%	36
Tabla N°22: AASHTO 2011- Distribución del peralte, emáx 6%	37
Tabla N°23: AASHTO 2011- Distribución del peralte, emáx 4%	38
Tabla N°24: Valores máximos para el peralte y la fricción transversal.....	38
Tabla N°25: Valores máximos para el peralte y la fricción transversal.....	41
Tabla N°26: Comparativamente los valores que se obtienen de ambas normas se observan	43
Tabla N°27: Radio exterior mínimo correspondiente a un radio interior adoptado...	46
Tabla N°28: Anchos mínimos de calzada en tangente.....	47
Tabla N°34: Resultados de peraltes medidos.....	66
Tabla N°36: Resultados de velocidades de proyecto	75
Tabla N°37: Resultados de velocidades de proyecto	76
Tabla N°38: Resultados de velocidades de proyecto	76
Tabla N°39: Depuración primer día Tarija-Bermejo	77
Tabla N°40: Depuración segundo día Tarija-Bermejo.	79
Tabla N°41: Depuración tercer día Tarija-Bermejo.....	81
Tabla N°43: Depuración quinto día Tarija-Bermejo	83
Tabla N°44: Depuración sexto día Tarija-Bermejo.	85
Tabla N°45: Depuración séptimo día Tarija-Bermejo.	86
Tabla N°46: Depuración primer día Tarija-Entre Ríos.....	88
Tabla N°47: Depuración segundo día Tarija-Entre Ríos.	89
Tabla N°48: Depuración tercer día Tarija-Entre Ríos.	90
Tabla N°49: Depuración cuarto día Tarija-Entre Ríos.	91

Tabla N°50: Depuración quinto día Tarija-Entre Ríos.	92
Tabla N°51: Depuración sexto día Tarija-Entre Ríos.	93
Tabla N°52: Depuración séptimo día Tarija-Entre Ríos.	94
Tabla N°53: Depuración primer día Tarija-El Puente.	95
Tabla N°54: Depuración segundo día Tarija-El Puente.	96
Tabla N°55: Depuración tercer día Tarija-El Puente.	97
Tabla N°56: Depuración cuarto día Tarija-El Puente.	98
Tabla N°57: Depuración quinto día Tarija-El Puente.	99
Tabla N°58: Depuración sexto día Tarija-El Puente.	100
Tabla N°59: Depuración séptimo día Tarija-El Puente.	101
Tabla N°60: Velocidad media de tramo Tarija-Bermejo.	102
Tabla N°61: Velocidad media de tramo Tarija-El Puente.	102
Tabla N°62: Velocidad media de tramo Tarija-Entre Ríos.	103
Tabla N°63: Velocidad promedio de los tramos.	103
Tabla N°64: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	105
Tabla N°65: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	107
Tabla N°66: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	109
Tabla N°67: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	111
Tabla N°68: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	113
Tabla N°69: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	115
Tabla N°70: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	117
Tabla N°71: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	119
Tabla N°72: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	121
Tabla N°73: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo.	123

Tabla N°74: Variación del equilibrio dinámico Tarija-Entre Ríos	125
Tabla N°75: Velocidad promedio de los tramos	127
Tabla N°76: Velocidad promedio de los tramos	129
Tabla N°77: Velocidad promedio de los tramos	131
Tabla N°78: Velocidad promedio de los tramos	133
Tabla N°79: Velocidad promedio de los tramos	135
Tabla N°80: Velocidad promedio de los tramos	137
Tabla N°81: Velocidad promedio de los tramos	139
Tabla N°82: Velocidad promedio de los tramos	141
Tabla N°83: Velocidad promedio de los tramos	143
Tabla N°84: Velocidad promedio de los tramos	145
Tabla N°85: Velocidad promedio de los tramos	147
Tabla N°86: Velocidad promedio de los tramos	149
Tabla N°87: Velocidad promedio de los tramos	151
Tabla N°88: Velocidad promedio de los tramos	153
Tabla N°89: Velocidad promedio de los tramos	155
Tabla N°90: Velocidad promedio de los tramos	157
Tabla N°91: Velocidad promedio de los tramos	159
Tabla N°92: Velocidad promedio de los tramos	161
Tabla N°93: Velocidad promedio de los tramos	163
Tabla N° 94: Alternativa de solución tachón de cacho reductor de velocidad	203
Tabla N° 95: Alternativa de solución señalización vertical	204
Tabla N° 96: Alternativa de solución barrera metálica tipo Flex beam	205

ÍNDICE IMÁGENES

	Página
Imagen N°1: Elementos geométricos de una curva circular simple.....	24
Imagen N°2: Curvatura en el enlace de tramos rectos con una curva circular simple	26
Imagen N°3: Trayectoria de los vehículos en una curva circular	26
Imagen N°4: Peralte en zona rural (Tipo 3 o 4)	39
Imagen N° 5: Gráfica del equilibrio dinámico.....	40
Imagen N°6: Efecto de la inclinación de la calzada sobre un vehículo	42
Imagen N°7: Alineamiento de salida y entrada en curva de vuelta	45
Imagen N°8: Sobre ancho en curvas.....	47
Imagen N°9: La pistola radar bushnell.....	51
Imagen N°10: Microondas emitidas por el vehículo vs pistola radar	52
Imagen N°11: Funcionamiento de la pistola Radar	53
Imagen N°12: Recopilación de datos Tarija-Bermejo	55
Imagen N°16: Curva del primer punto Tarija-Bermejo	74

ÍNDICE GRÁFICOS

	Página
Gráfico N°1: Relación radio-Peralte para carreteras y caminos	15
Gráfica N°2: Curva de gráfica de radios mínimos.....	30
Gráfica N°3: Procedimiento para desarrollar la distribución final del peralte	40
Gráfica N°4: Gráfica del comportamiento de la fricción transversal.....	43
Gráfica N°5: Fuerza de fricción.....	44
Gráficas N°6: Inclinación del peralte progresiva 0+245.33	68
Gráficas N°7: Inclinación del peralte progresiva 0+250	68
Gráficas N°8: Inclinación del peralte progresiva 0+260	69
Gráficas N°9: Inclinación del peralte progresiva 0+270	69
Gráficas N°10: Inclinación del peralte progresiva 0+280	70
Gráficas N°11: Inclinación del peralte progresiva 0+290	70
Gráficas N°12: Inclinación del peralte progresiva 0+300	71
Gráficas N°13: Inclinación del peralte progresiva 0+310	71
Gráficas N°14: Inclinación del peralte progresiva 0+320	72
Gráficas N°15: Inclinación del peralte progresiva 0+330	72
Gráficas N°16: Inclinación del peralte progresiva 0+340	73
Gráficas N°17: Inclinación del peralte progresiva 0+347.69	73
Gráficas N°18: Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	105
Gráficas N°19: Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	107
Gráficas N°20: Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	109
Gráficas N°21: Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	111

Gráficas N°22:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	113
Gráficas N°23:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	115
Gráficas N°24:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	117
Gráficas N°25:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	119
Gráficas N°26:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	121
Gráficas N°27:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	123
Gráficas N°28:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	125
Gráficas N°29:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	127
Gráficas N°30:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	129
Gráficas N°31:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	131
Gráficas N°32:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	133
Gráficas N°33:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	135
Gráficas N°34:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	137
Gráficas N°35:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	139
Gráficas N°36:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	141
Gráficas N°37:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	143
Gráficas N°38:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	145
Gráficas N°39:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	147
Gráficas N°40:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	149
Gráficas N°41:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	151
Gráficas N°42:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	153
Gráficas N°43:	Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	155

Gráficas N°44: Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	157
Gráficas N°45: Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	159
Gráficas N°46: Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	161
Gráficas N°47: Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad	163
Gráficas N°48: Discretización de la velocidad en tres rangos.....	164
Gráficas N°49: Discretización de la velocidad en tres rangos.....	165
Gráficas N°50: Discretización de la velocidad en tres rangos.....	166
Gráficas N°51: Discretización de los radios de curvas en tres rangos	167
Gráficas N°52: Discretización de los radios de curvas en tres rangos	168
Gráficas N°53: Discretización de los radios de curvas en tres rangos	169