

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-
CHAGUAYA, PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS
COMPONENTES DEL PAVIMENTO”**

Por:

LEYTON CHOQUE ABIGAIL

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 I - 2022

TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ESTUDIO DE LAS CONDICIONES EN EL TRAMO VIAL CAÑAS-
CHAGUAYA, PARA ESTABLECER UN MEJORAMIENTO DE LOS
COMPONENTES DEL PAVIMENTO”**

Por:

LEYTON CHOQUE ABIGAIL

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 I - 2022

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mi familia.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3.1 Situación problemática	2
1.3.2 Formulación del problema	3
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 HIPÓTESIS	4
1.6 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	4
1.6.1 Variable independiente	4
1.6.2 Variable dependiente	4
1.6.3 Conceptualización y operacionalización de las variables	4
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO	6
1.7.1 Criterios del diseño metodológico	6
1.7.1.1 Unidades de estudio o muestra	6
1.7.1.2 Población	6
1.7.1.3 Muestra	6
1.7.1.4 Tamaño de la muestra	6

1.7.2	Métodos y técnicas empleadas	6
1.7.2.1	Métodos	6
1.7.2.2	Técnicas.....	7
1.8	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	8
1.9	IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN	8
1.10	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	8

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

	Página	
2.1	DEFINICIÓN DE PAVIMENTO	10
2.2	CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS	10
2.2.1	Pavimento flexible	11
2.2.2	Pavimento rígido	11
2.2.3	Pavimento semirrígido	11
2.2.4	Pavimento articulado	12
2.3	CLASIFICACIÓN DE RED VIAL	12
2.4	TRÁFICO VIAL	13
2.5	FACTOR DIRECCIONAL Y FACTOR CARRIL	13
2.6	NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES	14
2.7	CLASIFICACIÓN VEHICULAR	16
2.7.1	Volumen de tránsito promedio diario	17
2.7.2	Índice medio diario (IMD)	17
2.7.3	Índice medio diario anual (IMDa)	18
2.8	CÁLCULO DEL ESAL	18
2.9	EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS	19

2.9.1	Evaluación superficial	20
2.9.2	Evaluación de la adherencia	20
2.9.3	Evaluación estructural	20
2.10	MÉTODOS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL	21
2.10.1	Serviciabilidad del pavimento	21
2.10.1.1	Índice de serviciabilidad presente (PSI)	22
2.10.2	Metodología para determinar del (IRI) con el rugosímetro de Merlín	23
2.10.2.1	Histograma de la distribución de frecuencias	24
2.10.2.2	Correlaciones D versus IRI	25
2.10.2.3	Rugosímetro Merlín	25
2.10.2.4	Método de ejecución de los ensayos	26
2.10.2.5	Procedimiento de ensayo	27
2.10.2.6	Método para el cálculo de la rugosidad	28
2.10.2.7	La escala de valores de IRI del Banco Mundial	29
2.10.3	Relación entre el PSI y el IRI	30
2.11	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	31
2.11.1	Factores que afectan la fricción neumático - pavimento	31
2.11.2	Caracterización de la superficie	32
2.11.3	Micro textura	33
2.11.4	Macro textura	33
2.11.5	Medición de la fricción por medio del Péndulo Inglés	34
2.11.5.1	Descripción	34
2.11.5.2	Equipo	34
2.11.5.3	Procedimiento	34
2.11.5.4	Cálculo	36

2.11.5.5	Rangos de fricción	36
2.11.6	Medición de la textura por medio de la prueba del círculo de arena	36
2.11.6.1	Descripción	36
2.11.6.2	Equipo	37
2.11.6.3	Procedimiento	38
2.11.6.4	Cálculo	38
2.11.6.5	Rangos de calificación	38
2.11.7	Procedimiento de evaluación de la resistencia al deslizamiento	39
2.11.8	Índice de fricción internacional o resistencia al deslizamiento	39
2.11.8.1	Modelos matemáticos de referencia	40
2.12	ÍNDICE DE CONDICIÓN PRESENTE (PCI)	45
2.12.1	Procedimiento de Medición del PCI	46
2.12.2	Criterios a considerar en la inspección de fallas.....	51
2.12.3	Descripción de las fallas, nivel de severidad y unidad de medida.	52
2.13	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	74
2.13.1	Deflexión en pavimentos flexibles	75
2.13.1.1	La viga de Benkelman	75
2.13.1.2	Factores que influyen en las deflexiones	76
2.13.1.3	Descripción del equipo	77
2.13.1.4	Equipo necesario	79
2.13.1.5	Procedimiento de la medición	79
2.13.1.6	Metodología de cálculo	81

CAPÍTULO III
CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

	Página
3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR DEL TRAMO DE ESTUDIO	85
3.1.1 Ubicación	85
3.1.2 Antecedentes y parámetros de diseño	86
3.2 RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	87
3.2.1 Capa de rodadura	87
3.2.2 Paquete estructural	88
3.2.2.1 Granulometría	90
3.2.2.2 Límites de Atterberg	95
3.2.2.3 Clasificación de suelos	100
3.2.2.4 Compactación de suelos	102
3.2.2.5 Relación de Soporte de California (CBR)	108
3.2.3 Cálculo del número de Ejes Equivalentes	117
3.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO ÍNDICE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI).....	125
3.3.1 Procedimiento de cálculo del IRI	125
3.3.2 Resultados para el carril derecho	128
3.3.3 Análisis de resultados	129
3.3.4 Resultados para el carril izquierdo	130
3.3.5 Análisis de resultados	131
3.3.6 Aplicación de la relación entre PSI y el IRI	133
3.3.6.1 Análisis de resultados	135

3.4	APLICACIÓN DEL MÉTODO IFI (ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL)	136
3.4.1	Ensayo del círculo de arena	136
3.4.1.1	Procedimiento de cálculo	138
3.4.1.2	Resultados de la macro textura para el carril derecho.....	140
3.4.1.3	Datos y resultados de la macro textura para el carril izquierdo	141
3.4.2	Ensayo del péndulo británico	142
3.4.3	Procedimiento de cálculo del IFI	144
3.4.3.1	Resultados del IFI (carril de ida)	147
3.4.3.2	Análisis de los resultados	147
3.4.3.3	Datos y parámetros del IFI (carril de vuelta)	149
3.4.3.4	Resultados y análisis	150
3.5	APLICACIÓN DEL MÉTODO PCI	152
3.5.1	Unidades de Muestreo	152
3.5.2	Procedimiento de evaluación	154
3.5.3	Procedimiento de cálculo.....	154
3.6	PROPUESTA DE MEJORAS A REALIZAR	166
3.7	ANÁLISIS DE LAS DEFLEXIONES	173
3.7.1	Lecturas con la viga Benkelman para el carril derecho E-1	173
3.7.2	Procedimiento de cálculo.....	174
3.7.3	Resultado de las deflexiones para el carril derecho (E-1)	177
3.7.4	Análisis de los resultados de las deflexiones	180
3.7.5	Datos de campo y cálculo de las deflexiones para el carril derecho E-2.....	180
3.7.6	Resultados de las deflexiones para el carril derecho (E-2)	184
3.7.7	Análisis de los resultados de las deflexiones	186
3.7.8	Análisis de los resultados de las deflexiones para el carril izquierdo	187

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1 CONCLUSIONES	189
4.2 RECOMENDACIONES	191
BIBLIOGRAFÍA	

ANEXOS

ANEXO 1: Ubicación de las muestras de estudio

ANEXO 2: Caracterización mecánica de las muestras

ANEXO 3: Cálculo del índice de rugosidad internacional (carril derecho)

ANEXO 4: Cálculo del índice de rugosidad internacional (carril izquierdo)

ANEXO 5: Cálculo del PCI en las unidades de muestreo

ANEXO 6: Cálculo de las deflexiones para el carril izquierdo

ANEXO 7: Cálculo del número de ejes equivalentes

ANEXO 8: Precios unitarios de la propuesta de mejoramiento

ANEXO 9: Inventario de fotos

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Estructura del pavimento flexible	11
Figura 2.2: Configuración de ejes equivalentes	15
Figura 2.3: Formato de clasificación vehicular	16
Figura 2.4: Curva de deterioro del pavimento	21
Figura 2.5: Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio	24
Figura 2.6: Histograma de la distribución de frecuencias	25
Figura 2.7: Esquema del rugosímetro de Merlín	26
Figura 2.8: Configuración del tablero de Merlín	27
Figura 2.9: Formato de recolección de datos	28
Figura 2.10: Escala de clasificación del IRI.....	30
Figura 2.11: Micro textura y macro textura	33
Figura 2.12: Péndulo de fricción británico	35
Figura 2.13: Círculo de arena	37
Figura 2.14: Curva de fricción - velocidad deslizamiento aplicando el método PIARC	41
Figura 2.15: Hoja de registro de fallas visuales	46
Figura 2.16: Esquema de la viga Benkelman	78
Figura 2.17: Configuración geométrica del sistema de carga	78
Figura 2.18: Esquemización del proceso de medición con la viga Benkelman	80
Figura 3.1: Ubicación geográfica de la zona de estudio	85
Figura 3.2: Ubicación del tramo “Cañas - Chaguaya”	86
Figura 3.3: Espesor de la capa de rodadura.....	88
Figura 3.4: Extracción de la subrasante mejorada	89

Figura 3.5: Juego de tamices	92
Figura 3.6: Muestra de suelo granular.....	92
Figura 3.7: Ensayo del límite líquido	98
Figura 3.8: Ensayo del límite plástico	99
Figura 3.9: Sistema de clasificación de suelos AASHTO.....	100
Figura 3.10: Sistema de clasificación de suelos SUCS	101
Figura 3.11: Preparación de la muestra de suelo.....	104
Figura 3.12: Compactación de los moldes	105
Figura 3.13: Taras con muestra compactada	105
Figura 3.14: Muestra del suelo húmedo	112
Figura 3.15: Lectura de los moldes con el extensómetro	113
Figura 3.16: Rotura de probetas	114
Figura 3.17: Datos del ensayo CBR en laboratorio	115
Figura 3.18: Estación de aforo vehicular N°1	118
Figura 3.19: Estación de aforo vehicular N°2	118
Figura 3.20: Conteo vehicular para el día lunes (estación N°1)	119
Figura 3.21: Conteo vehicular para el día lunes (estación N°2)	120
Figura 3.22: Cálculo del IMDa	122
Figura 3.23: Medición de la rugosidad con el rugosímetro de Merlín	133
Figura 3.24: Medición del volumen de arena	136
Figura 3.25: Dispersión de la arena sobre la superficie	137
Figura 3.26: Medición y registro del diámetro de área cubierta	137
Figura 3.27: Nivelación del equipo Péndulo Británico	142
Figura 3.28: Lectura y registro de las mediciones	143
Figura 3.29: Resultados de la unidad de muestreo N° 2	161

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1: Variable independiente	5
Cuadro 1.2: Variable dependiente	5
Cuadro 2.1: Clasificación vial	12
Cuadro 2.2: Factor de distribución direccional y de carril	14
Cuadro 2.3: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (E.E.) para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos	16
Cuadro 2.4: Periodo de diseño en función al tipo de carretera	19
Cuadro 2.5: Escala de calificación de la serviciabilidad AASHTO.....	23
Cuadro 2.6: Valores de fricción con Péndulo Británico	36
Cuadro 2.7: Textura en pavimentos para el círculo de arena	39
Cuadro 2.8: Valores de a y b para la constante de velocidad	42
Cuadro 2.9: Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo	42
Cuadro 2.10: Equipos utilizados para medir la fricción	44
Cuadro 2.11: Escala de clasificación del PCI	45
Cuadro 2.12: Longitudes de unidades de muestreo	47
Cuadro 2.13: Falla 1 - Piel de cocodrilo	53
Cuadro 2.14: Falla 2 - Exudación	54
Cuadro 2.15: Falla 3 - Fisuramiento de bloque	55
Cuadro 2.16: Falla 4 - Abultamientos y hundimientos.....	57
Cuadro 2.17: Falla 5 - Corrugación.....	58
Cuadro 2.18: Falla 6 - Depresión	59
Cuadro 2.19: Falla 7 - Grieta de borde	60
Cuadro 2.20: Falla 8 - Grieta de reflexión de junta	61

Cuadro 2.21: Falla 9 - Desnivel de carril/berma	62
Cuadro 2.22: Falla 10 - Grieta longitudinal o transversal	63
Cuadro 2.23: Falla 11 - Baches y zanjas reparadas	64
Cuadro 2.24: Falla 12 - Agregados pulidos	66
Cuadro 2.25: Falla 13 - Huecos.....	67
Cuadro 2.26: Falla 14 - Cruce de vía férrea	68
Cuadro 2.27: Falla 15 - Ahuellamiento	69
Cuadro 2.28: Falla 16 - Desplazamientos	70
Cuadro 2.29: Falla 17 - Fisuramiento de resbalamiento.....	71
Cuadro 2.30: Falla 18 - Hinchamiento	72
Cuadro 2.31: Falla 19 - Desmoronamiento/intemperismo	73
Cuadro 2.32: Coeficientes de estabilidad	82
Cuadro 3.1: Parámetros de diseño geométrico	87
Cuadro 3.2: Calificación típica para el uso de suelos en el diseño de caminos	110
Cuadro 3.3: Rangos de textura	140
Cuadro 3.4: Rangos de unidad de muestreo	152
Cuadro 3.5: Rango de calificación de PCI	160
Cuadro 3.6: Requisitos para materiales de base granular	187
Cuadro 3.7: Características técnicas de la subrasante y del diseño geométrico.....	188

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1: Coordenadas UTM y geográficas del tramo de estudio	86
Tabla 3.2: Medidas de la capa de rodadura	88
Tabla 3.3: Espesores de las muestras de suelos	89
Tabla 3.4: Análisis granulométrico por tamizado	93
Tabla 3.5: Coeficiente de uniformidad.....	94
Tabla 3.6: Resultados granulométricos de las muestras.....	95
Tabla 3.7: Análisis y resultados del límite líquido	98
Tabla 3.8: Determinación del índice de plasticidad	99
Tabla 3.9: Resultados del ensayo de límites de Atterberg	99
Tabla 3.10: Clasificación y descripción de las muestras en estudio	102
Tabla 3.11: Datos y resultados del ensayo de compactación	106
Tabla 3.12: Valores de humedad óptima para las diferentes muestras de suelo	108
Tabla 3.13: Resultados de CBR	117
Tabla 3.14: Ubicación de las estaciones de aforo	117
Tabla 3.15: Cálculo del factor de carga (estación 1)	123
Tabla 3.16: Cálculo del número de ejes equivalentes (estación 1)	124
Tabla 3.17: Cálculo del factor de carga (estación 2)	124
Tabla 3.18: Cálculo del número de ejes equivalentes (estación 2)	125
Tabla 3.19: Valores de número de ejes equivalentes	125
Tabla 3.20: Datos de medición del IRI	126
Tabla 3.21: Resultados obtenidos del IRI (carril derecho)	128
Tabla 3.22: Resultados obtenidos del IRI (carril izquierdo)	131
Tabla 3.23: Relación entre PSI y el IRI (carril derecho).....	134

Tabla 3.24: Relación entre PSI y el IRI (carril izquierdo)	135
Tabla 3.25: Revisión de datos obtenidos del ensayo círculo de arena (carril der.)	138
Tabla 3.26: Resultados de la macro textura (carril der.)	140
Tabla 3.27: Revisión de datos obtenidos del ensayo círculo de arena (carril izq.)	141
Tabla 3.28: Resultados de la macro textura (carril izq.)	141
Tabla 3.29: Revisión de datos obtenidos del ensayo péndulo de fricción (carril der.)..	143
Tabla 3.30: Revisión de datos obtenidos del ensayo péndulo de fricción (carril izq.)..	144
Tabla 3.31: Corrección de datos para determinar el IFI (carril der.)	145
Tabla 3.32: Parámetros para determinar el IFI (carril der.)	146
Tabla 3.33: Resultados del IFI para el carril derecho	147
Tabla 3.34: Valores de F(S) en km/h para distintas velocidades c-derecho	148
Tabla 3.35: Corrección de datos para determinar el IFI (carril izq.).....	149
Tabla 3.36: Parámetros para determinar el IFI (carril izq.)	150
Tabla 3.37: Resultados del IFI para el carril izquierdo	150
Tabla 3.38: Valores de F(S) en km/h para distintas velocidades c-izquierdo	151
Tabla 3.39: Cuantificación de fallas de la muestra N° 2	155
Tabla 3.40: Severidad y densidad falla piel de cocodrilo	156
Tabla 3.41: Valores deducidos falla piel de cocodrilo	157
Tabla 3.42: Severidad y densidad falla grieta longitudinal y/o transversal	157
Tabla 3.43: Valores deducidos falla grieta longitudinal y/o transversal	158
Tabla 3.44: Resumen de valores deducidos	158
Tabla 3.45: Resultados de valor deducido corregido (VDC)	159
Tabla 3.46: Resultados del índice de condición del pavimento (PCI)	163
Tabla 3.47: Cuantificación de fallas según su severidad	164
Tabla 3.48: Porcentaje de fallas	165

Tabla 3.49: Volumen de limpieza y deshierbe	167
Tabla 3.50: Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación	172
Tabla 3.51: Datos de la viga Benkelman para el c-derecho estación 1	173
Tabla 3.52: Resultados de las deflexiones tabuladas estación 1	177
Tabla 3.53: Datos de la viga Benkelman para el c-derecho estación 2	180
Tabla 3.54: Resultados de las deflexiones tabuladas estación 2	184
Tabla 3.55: Resultados obtenidos (base granular)	187
Tabla 3.56: Resultados obtenidos (subrasante)	188

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 2.1: Curvas de corrección del valor deducido (CDV).....	51
Gráfico 3.1: Curva granulométrica del Punto 1 capa base	94
Gráfico 3.2: Curva de compactación T-180	107
Gráfico 3.3: Curva carga-penetración	116
Gráfico 3.4: Curva CBR-peso unitario.....	116
Gráfico 3.5: Histograma de frecuencias de datos de rugosidad en 400m de carretera..	127
Gráfico 3.6: Representación gráfica del comportamiento del IRI (carril derecho).....	130
Gráfico 3.7: Representación gráfica del comportamiento del IRI (carril izquierdo)....	132
Gráfico 3.8: Factor de corrección por temperatura	144
Gráfico 3.9: Fricción en función de la velocidad c-derecho	148
Gráfico 3.10: Fricción en función de la velocidad c-izquierdo	152
Gráfico 3.11: Curva de VC tipo de falla piel de cocodrilo	157
Gráfico 3.12: Valores deducidos falla grieta longitudinal y/o transversal	158
Gráfico 3.13: Curva de obtención del valor deducido corregido (VDC)	160
Gráfico 3.14: Representación gráfica porcentual de fallas para la muestra N° 2	162
Gráfico 3.15: Representación gráfica del comportamiento del PCI	164
Gráfico 3.16: Deflexiones máximas vs. progresivas (E-1)	179
Gráfico 3.17: Deflexiones máximas vs. progresivas (E-2)	186