

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**“ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DE BAJA  
CAPACIDAD PORTANTE POR CORRELACIÓN DEFLECTOMÉTRICA EN  
PAVIMENTOS FLEXIBLES”**

**Por:**

**GARECA VILLA MARIEL**

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 - 2024**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DE BAJA  
CAPACIDAD PORTANTE POR CORRELACIÓN DEFLECTOMÉTRICA EN  
PAVIMENTOS FLEXIBLES”**

**Por:**

**GARECA VILLA MARIEL**

**SEMESTRE I - 2024**  
**TARIJA – BOLIVIA**

**DEDICATORIA:**

A mi madre, mi hermano, mis tíos, mi abuela,  
por brindarme su amor y apoyo incondicional  
en todo momento.

**ÍNDICE**  
**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

	<b>Página</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3 OBJETIVOS .....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.4.1 Situación problemática.....	4
1.4.2 Problema.....	6
1.5 DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	6
1.5.1 Variable independiente.....	6
1.5.2 Variable dependiente.....	6
1.5.3 Operacionalización de variables .....	6
1.6 HIPÓTESIS .....	8
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO.....	8

1.7.1 Proceso de aplicación .....	8
1.8 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	11

## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS GENERALES SOBRE LA CORRELACIÓN DEFLECTOMÉTRICA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

2.1 PAVIMENTO .....	13
2.2 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN PAVIMENTO .....	14
2.3 PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS .....	15
2.3.1 Respuestas y comportamiento.....	15
2.4 TIPOS DE PAVIMENTOS .....	15
2.4.1 Pavimentos flexibles.....	15
2.4.2 Pavimentos rígidos .....	17
2.5 ETAPAS DE LA VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE .....	18
2.6 ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO .....	18
2.4.1 Carpeta asfáltica.....	19
2.4.2 Base .....	19
2.4.3 Sub-base.....	21

2.4.4 Subrasante.....	22
2.4.5 Funciones del suelo de fundación o subrasante .....	23
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE .....	25
2.5.1 La capacidad portante.....	25
2.5.2 Contenido de humedad .....	25
2.5.3 Contracción y/o expansión .....	26
2.6 SOLICITACIONES PRINCIPALES DE UN PAVIMENTO .....	26
2.6.2 Clima .....	27
2.6.3 Efectos de la temperatura .....	27
2.6.4 Efectos de la lluvia .....	28
2.7 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL CBR.....	28
2.8 DEFLEXIÓN EN PAVIMENTOS.....	30
2.9 MEDICIÓN DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN).....	31
2.10 ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS.....	31
2.9.1 Pruebas no destructivas .....	31
2.11 ESQUEMA Y OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN.....	34
2.12 PROCEDIMIENTO EN EL CAMPO .....	37

2.13 CÁLCULO DEL CBR MEDIANTE EL ANÁLISIS DE DEFLEXIONES.....	41
2.13.1 Modelo de Hogg.....	41
2.13.2 Correlaciones empíricas .....	43
2.13.3 Correlación <b>E0</b> versus CBR .....	44
2.13.4 Método de análisis.....	49
2.13.5 Correlaciones entre módulo resiliente y CBR .....	53

### **CAPÍTULO III**

#### **APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE LA CORRELACIÓN ENTRE LA DEFLECTOMETRÍA Y LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE**

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.....	56
3.2 CARACTERÍSTICA DEL ÁREA DEL PROYECTO .....	58
3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	60
3.4 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN.....	64
3.4.1. Ensayo de deflectometría.....	64
3.5 RESULTADOS DE LA CORRELACIÓN.....	68
3.5.1 Cálculo de deflexiones .....	68

3.5.2 Determinación del módulo resiliente mediante el método Hogg.....	69
3.6 DATOS INICIALES DE CBR ANTES DEL MEJORAMIENTO.....	78
3.6.1 Contenido de humedad.....	78
3.6.2 Granulometría de suelos.....	80
3.6.3 Determinación de la consistencia de suelos.....	82
3.6.4 Ensayo de compactación.....	84
3.6.5 Relación soporte de california (CBR).....	87
3.7 TRAMO DE ESTUDIO DE SUBRASANTES MEJORADAS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE.....	95
3.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	96

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1 CONCLUSIONES.....	133
4.2 RECOMENDACIONES.....	135

### **BIBLIOGRAFÍA**



## **ANEXOS**

ANEXOS FOTOGRÁFICOS

ANEXO PESAJE DE VOLQUETA

ANEXO AUTORIZACIÓN ALCALDÍA

ANEXO CBR ANTES DEL MEJORAMIENTO

ANEXO TRAMO DE ESTUDIO DE SUBRASANTES MEJORADAS

ANEXOS DATOS RECABADOS EN CAMPO

ANEXOS TABLAS DE RESULTADOS

ANEXO PLANO DE UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS DE  
DEFLECTOMETRIA

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1:</b> Operacionalización de variables .....	6
<b>Tabla 2:</b> Clasificación y usos del suelo de acuerdo a los valores CBR .....	29
<b>Tabla 3:</b> Parámetros del modelo de Hogg.....	42
<b>Tabla 4:</b> Coeficientes para el modelo Hogg.....	49
<b>Tabla 5:</b> CBR carril derecho.....	76
<b>Tabla 6:</b> CBR carril medio .....	77
<b>Tabla 7:</b> CBR carril derecho doble vía .....	77
<b>Tabla 8:</b> CBR carril izquierdo .....	78
<b>Tabla 9:</b> Humedad natural del suelo .....	80
<b>Tabla 10:</b> Cálculos granulométricos .....	81
<b>Tabla 11:</b> Determinación del límite líquido .....	83
<b>Tabla 12:</b> Determinación del límite plástico .....	84
<b>Tabla 13:</b> Determinación de la densidad máxima vs contenido óptimo de humedad ....	87
<b>Tabla 14:</b> Contenido de humedad y peso unitario .....	93
<b>Tabla 15:</b> Expansión .....	93

**Tabla 16:** CBR..... 94

**Tabla 17:** Tabla comparativa de resultados de CBR ..... 134

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1:</b> Sección típica de un pavimento flexible .....	16
<b>Figura 2:</b> Sección típica de un pavimento .....	16
<b>Figura 3:</b> Efectos- cargas de un pavimento flexible .....	17
<b>Figura 4:</b> Sección típica de un pavimento rígido.....	17
<b>Figura 5:</b> Etapas de la vida de un pavimento flexible.....	18
<b>Figura 6:</b> Definición del Ensayo CBR .....	29
<b>Figura 7:</b> Esquema y principio de operación de la regla Benkelman .....	36
<b>Figura 8:</b> Configuración geométrica del sistema de carga.....	38
<b>Figura 9:</b> Esquema del proceso de medición.....	39
<b>Figura 10:</b> Valores característicos de deflexiones en pavimento .....	40
<b>Figura 11:</b> Modelo Hogg.....	41
<b>Figura 12:</b> Área de estudio .....	57
<b>Figura 13:</b> Imagen satelital del área de estudio .....	58
<b>Figura 14:</b> Carril derecho del tramo en estudio .....	59

<b>Figura 15:</b> Carril del medio .....	60
<b>Figura 16:</b> Doble vía .....	60
<b>Figura 17:</b> Viga Benkelman .....	61
<b>Figura 18:</b> Camión utilizado en el ensayo.....	62
<b>Figura 19:</b> Operadores usando el termómetro .....	62
<b>Figura 20:</b> Operadores con equipo de seguridad.....	63
<b>Figura 21:</b> Hoja de campo .....	63
<b>Figura 22:</b> Imagen satelital del área de inicio.....	65
<b>Figura 23:</b> Imagen satelital del área de estudio .....	65
<b>Figura 24:</b> Instalación de la viga Benkelman .....	66
<b>Figura 25:</b> Viga Benkelman alineada.....	66
<b>Figura 26:</b> Espaciamiento para lecturas .....	67
<b>Figura 27:</b> Toma de lecturas.....	67
<b>Figura 28:</b> Toma de lecturas.....	68
<b>Figura 29:</b> Pesaje de taras .....	79
<b>Figura 30:</b> Taras con material antes de introducirse al horno .....	79
<b>Figura 31:</b> Lavado de material .....	80

<b>Figura 32:</b> Tamizado del suelo .....	81
<b>Figura 33:</b> Amasado de cilindros.....	84
<b>Figura 34:</b> Curva de Saturación.....	85
<b>Figura 35:</b> Mezcla de muestras.....	85
<b>Figura 36:</b> Retiro de collarín .....	86
<b>Figura 37:</b> Alisando superficie con un enrasador.....	89
<b>Figura 38:</b> Emplazando placa circular .....	90
<b>Figura 39:</b> Lectura inicial con extensómetro.....	90
<b>Figura 40:</b> Moldes dentro del depósito de agua .....	91
<b>Figura 41:</b> Resistencia a la penetración .....	92
<b>Figura 42:</b> Volqueta siendo pesada.....	140
<b>Figura 43:</b> Volqueta siendo pesada.....	140
<b>Figura 44:</b> Toma de datos de la viga Benkelman .....	141
<b>Figura 45:</b> Calibración de la barilla metálica .....	141
<b>Figura 46:</b> Calibración de la barilla metálica .....	142
<b>Figura 47:</b> Instruyendo al chofer .....	142
<b>Figura 48:</b> Toma de lecturas.....	143

<b>Figura 49:</b> Toma de lecturas en el carril de doble circulación .....	143
<b>Figura 50:</b> Toma de lecturas.....	144
<b>Figura 51:</b> Toma de lecturas.....	144

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	<b>Página</b>
<b>Gráfica 1:</b> Curva granulométrica.....	82
<b>Gráfica 2:</b> Límite líquido .....	83
<b>Gráfica 3:</b> Curva de compactación .....	87
<b>Gráfica 4:</b> Curva carga- penetración.....	94
<b>Gráfica 5:</b> Curva CBR- Peso unitario .....	95
<b>Gráfica 6:</b> Valores característicos de deflexiones .....	96
<b>Gráfica 7:</b> Valores característicos de deflexiones .....	97
<b>Gráfica 8:</b> Valores característicos de deflexiones .....	98
<b>Gráfica 9:</b> Valores característicos de deflexiones .....	98
<b>Gráfica 10:</b> Valores característicos de deflexiones .....	99
<b>Gráfica 11:</b> Valores característicos de deflexiones .....	100
<b>Gráfica 12:</b> Valores característicos de deflexiones .....	100
<b>Gráfica 13:</b> Valores característicos de deflexiones .....	101
<b>Gráfica 14:</b> Valores característicos de deflexiones .....	102
<b>Gráfica 15:</b> Valores característicos de deflexiones .....	103



<b>Gráfica 16:</b> Valores característicos de deflexiones .....	103
<b>Gráfica 17:</b> Valores característicos de deflexiones .....	104
<b>Gráfica 18:</b> Valores característicos de deflexiones .....	105
<b>Gráfica 19:</b> Valores característicos de deflexiones .....	105
<b>Gráfica 20:</b> Valores característicos de deflexiones .....	106
<b>Gráfica 21:</b> Valores característicos de deflexiones .....	107
<b>Gráfica 22:</b> Valores característicos de deflexiones .....	108
<b>Gráfica 23:</b> Valores característicos de deflexiones .....	108
<b>Gráfica 24:</b> Valores característicos de deflexiones .....	109
<b>Gráfica 25:</b> Valores característicos de deflexiones .....	110
<b>Gráfica 26:</b> Valores característicos de deflexiones .....	110
<b>Gráfica 27:</b> Valores característicos de deflexiones .....	111
<b>Gráfica 28:</b> Valores característicos de deflexiones .....	112
<b>Gráfica 29:</b> Valores característicos de deflexiones .....	113
<b>Gráfica 30:</b> Valores característicos de deflexiones .....	114
<b>Gráfica 31:</b> Valores característicos de deflexiones .....	114
<b>Gráfica 32:</b> Valores característicos de deflexiones .....	115

<b>Gráfica 33:</b> Valores característicos de deflexiones .....	116
<b>Gráfica 34:</b> Valores característicos de deflexiones .....	116
<b>Gráfica 35:</b> Valores característicos de deflexiones .....	117
<b>Gráfica 36:</b> Valores característicos de deflexiones .....	118
<b>Gráfica 37:</b> Deflexión vs CBR .....	119
<b>Gráfica 38:</b> Deflexión vs CBR .....	120
<b>Gráfica 39:</b> Deflexión vs CBR .....	121
<b>Gráfica 40:</b> Deflexión vs CBR .....	122
<b>Gráfica 41:</b> Radio de curvatura vs CBR .....	123
<b>Gráfica 42:</b> Radio de curvatura vs CBR .....	123
<b>Gráfica 43:</b> Radio de curvatura vs CBR.....	124
<b>Gráfica 44:</b> Radio de curvatura vs CBR.....	125
<b>Gráfica 45:</b> Deflexión vs calles .....	126
<b>Gráfica 46:</b> CBR vs calles.....	126
<b>Gráfica 47:</b> Deflexión vs calles .....	127
<b>Gráfica 48:</b> CBR vs calles.....	128
<b>Gráfica 49:</b> Deflexión vs calles .....	129

**Gráfica 50:** CBR vs calles ..... 129

**Gráfica 51:** Deflexión vs calles ..... 130

**Gráfica 52:** CBR vs calles ..... 130