

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE  
COMUNICACIÓN**



**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SOPORTE DEL SUELO IN  
SITU Y DE LABORATORIO DE LAS DIFERENTES  
SUBRASANTES DEL DISTRITO 12 DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por: ELVIO JESUS FLORES CADENA**

Proyecto de Ingeniería Civil 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 AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE  
COMUNICACIÓN**

**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SOPORTE DEL SUELO IN  
SITU Y DE LABORATORIO DE LAS DIFERENTES  
SUBRASANTES DEL DISTRITO 12 DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**ELVIO JESUS FLORES CADENA**

**SEMESTRE I – 2022**

**TARIJA-BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

A Dios.

A mis adorados padres: **Ivar Flores** que desde pequeño me enseñó a ser perseverante, optimista y a luchar por los sueños y a **Modesta Cadena** por haberme apoyado en cada uno de mis pasos, por la motivación constante y por su amor incondicional.

A mis abuelos que siempre creyeron en cumplir mis sueños, gracias por su apoyo y aliento incondicional.

¡¡¡Con mucho amor!!!

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Situación problemática .....	2
1.2.1 Problema.....	3
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema .....	3
1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema .....	4
1.3 Justificación .....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos .....	5
1.5 Hipótesis .....	5
1.6 Operacionalización de las Variables.....	6
1.6.1 Variables independientes .....	6
1.6.2 Variable dependiente .....	6
1.7 Identificación del tipo de investigación .....	6
1.8 Unidades de estudio y decisión muestral.....	6
1.8.1 Unidades de estudio.....	6
1.8.2 Población .....	7
1.8.3 Muestra .....	7
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo .....	7
1.9 Método y técnicas empleada.....	7
1.9.1 Métodos .....	7
1.9.2 Técnicas .....	8
1.9.3 Organización.....	9
1.10 Procedimiento para recolectar la información .....	9
1.10.1 Sistematización.....	9
1.10.2 Recursos.....	9
1.11 Alcance de la investigación .....	10

**CAPÍTULO II**  
**C.B.R. IN SITU Y C.B.R. EN LABORATORIO EN**  
**SUBRASANTES DE SUELOS FINOS Y GRANULARES**

	Página
2.1	Introducción ..... 11
2.2	Subrasante..... 11
2.3	Características de los suelos. .... 12
2.3.1	Estructura y cohesión del suelo. .... 12
2.3.2	Consistencia del suelo..... 15
2.3.3	Densidad relativa de los suelos (Dr). .... 15
2.3.4	Fases del suelo. .... 16
2.4	Distribución del tamaño de partículas. .... 17
2.5	Propiedades índices de suelos. .... 20
2.5.1	Contenido de humedad. .... 20
2.5.2	Análisis mecánico por tamices. .... 20
2.5.2.1	Curva de distribución del tamaño de partículas. .... 23
2.5.2.2	Parámetros de la Curva de distribución del tamaño de partículas. .... 24
2.5.2.2.1	Coeficiente de uniformidad (CU)..... 25
2.5.2.2.2	Coeficiente de gradación (CC)..... 26
2.5.2.2.3	Coeficiente de clasificación (So)..... 26
2.5.3	Análisis mecánico por hidrómetro..... 26
2.5.3.1	Curva de distribución del tamaño de partículas..... 32
2.5.4	Límites de Atterberg. .... 34
2.5.4.1	Determinación del límite líquido (LL)..... 35
2.5.4.2	Plasticidad..... 38
2.5.4.3	Determinación del límite plástico (LP)..... 38
2.5.4.4	Índice de plasticidad (IP). .... 39
2.5.4.5	Carta de plasticidad..... 40
2.6	Clasificación de suelos..... 41
2.6.1	Sistema de clasificación unificado (USCS). .... 42
2.6.1.1	Procedimiento para la clasificación de suelos. .... 46

2.6.1.2	Propiedades de los suelos en base a sus símbolos de grupo. ....	53
2.6.2	Sistema de clasificación AASHTO.....	55
2.6.2.1	Características del sistema de clasificación AASHTO (ASTM D-3282). ....	55
2.6.2.2	Procedimiento de clasificación. ....	57
2.6.2.3	Propiedades de los suelos en el uso de carreteras. ....	60
2.6.3	Comparación entre los sistemas de clasificación Unificado y AASHTO. ....	66
2.7	Propiedades mecánicas de los suelos. ....	69
2.7.1	Compactación. ....	69
2.7.1.1	Compactación en Laboratorio.....	72
2.7.1.2	Curva de compactación.....	72
2.7.1.3	Factores que afectan la compactación. ....	75
2.7.1.4	Efecto del tipo o naturaleza del suelo. ....	75
2.7.1.5	Efecto de la energía de compactación.....	76
2.7.1.6	Prueba o ensayo Proctor modificado .....	80
2.7.1.7	Efecto de la expansión en la compactación. ....	83
2.7.1.8	Control de compactación. ....	86
2.7.1.9	Especificaciones del resultado final.....	87
2.7.1.10	Compactación de campo.....	87
2.7.2	Relación de soporte california – C.B.R. ....	89
2.7.2.1	Generalidades.....	89
2.7.2.2	Ensayo C.B.R. en laboratorio .....	91
2.7.2.3	Preparación de muestras .....	92
2.7.2.4	Procedimiento general .....	92
2.7.2.4.1	Compactación.....	92
2.7.2.4.2	Expansión del material .....	93
2.7.2.4.3	Resistencia a la penetración .....	93
2.7.2.4.4	Equipo .....	94
2.7.2.4.5	Cálculos.....	95
2.7.2.4.6	Curvas requeridas.....	96
2.7.3	Densidad in situ (método del cono de arena).....	96
2.7.3.1.1	Procedimiento cono de arena .....	100

2.7.4	C.B.R. in situ.....	100
2.7.4.1	Normas de referencia.....	101
2.7.4.2	Equipo.....	102
2.7.4.3	Procedimiento.....	105
2.7.4.4	Cálculos.....	106

### **CAPÍTULO III**

#### **EVALUACIÓN DEL C.B.R. EN LABORATORIO Y C.B.R. IN SITU EN SUBRASANTES**

	Página	
3.1	Introducción.....	109
3.2	Laboratorios empleados.....	109
3.3	Descripción y ubicación del proyecto.....	109
3.4	Reconocimiento del área del proyecto.....	111
3.5	Mapa de localización de los puntos.....	113
3.5.1	Barrio San Blas.....	113
3.5.2	Barrio Miraflores.....	114
3.5.3	Barrio German Busch.....	115
3.5.4	Barrio San Martín.....	116
3.5.5	Barrio Aranjuez.....	117
3.6	Toma y preparación de las muestras para los ensayos.....	118
3.6.1	Trabajo de campo.....	118
3.6.1.1	Toma de muestras.....	120
3.7	Resultados.....	121
3.7.1	Resultados de ensayos en laboratorio e in situ.....	121
3.7.1.1	Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo (ASTM D2216).....	121
3.7.1.2	Determinación del límite líquido de los suelos (ASTM D4318 AASHTO T89).....	122
3.7.1.3	Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 AASHTO T90).....	123
3.7.1.4	Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 AASHTO T88).....	124

3.7.1.5	Clasificación de suelos USCS.....	125
3.7.1.6	Relaciones de peso unitario – humedades en los suelos método modificado (ASTM D422 AASHTO T180).....	126
3.7.1.7	Determinación de la relación soporte del suelo en el laboratorio (C.B.R. en laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193).....	127
3.7.1.8	Peso unitario por el método del cono de arena (ASTM D1556 AASHTO T191) .....	129
3.7.1.9	Relación de soporte de suelo in situ (C.B.R. “IN SITU”) (ASTM D4429).	130
3.7.2	Resultados de los ensayos de caracterización física, caracterización mecánica y ensayos in situ .....	132
3.7.3	Mapa de resultados obtenidos.....	135
3.7.3.1	Simbología y representación de los datos.....	135
3.7.3.2	Elaboración de la base de datos .....	135

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

		Página
4.1	Análisis de caracterización de los suelos A-1.....	139
4.1.1	Cantidad de material para suelos A-1 .....	139
4.2	Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos A-1 .....	140
4.3	Análisis de caracterización de los suelos A-2.....	142
4.3.1	Cantidad de material para suelos A-2.....	143
4.4	Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos A-2. ....	144
4.5	Análisis de caracterización de los suelos A-3.....	145
4.5.1	Cantidad de material para suelos A-3.....	145
4.6	Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos A-3 .....	146
4.7	Análisis de caracterización de los suelos A-4.....	148
4.7.1	Cantidad de material para suelos A-4.....	148
4.8	Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos A-4 .....	150
4.9	Análisis de caracterización de los suelos A-5.....	151
4.9.1	Cantidad de material para suelos A-5.....	151
4.10	Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos A-5 .....	152



4.11	Análisis de caracterización de los suelos A-6.....	154
4.11.1	Cantidad de material para suelos A-6.....	154
4.12	Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos A-6 .....	155
4.13	Análisis de caracterización de los suelos A-7.....	156
4.13.1	Cantidad de material para suelos A-7.....	157
4.14	Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos A-7 .....	158
4.15	Evaluación del C.B.R. in situ y de laboratorio. ....	159
4.15.1	Barrio San Blas. ....	161
4.15.2	Barrio Miraflores. ....	164
4.15.3	Barrio German Busch. ....	166
4.15.4	Barrio San Martín. ....	169
4.15.5	Barrio Aranjuez.....	172

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	Página	
5.1	Conclusiones.....	175
5.2	Recomendaciones .....	177

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

ANEXO I: MEMORIA FOTOGRÁFICA

ANEXO II: PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS DE LOS MATERIALES  
ORDENADAS DE P1 a P30. Y RESULTADOS OBTENIDOS

ANEXO III: MAPA DE RESULTADOS

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Sistemas para identificar el tamaño de partículas del suelo .....	18
Tabla 2.2 Serie ASTM de tamices .....	22
Tabla 2.3 Valores de K.....	29
Tabla 2.4 Valores de L para distintas lecturas (R) del hidrómetro .....	31
Tabla 2.5 Valores de a.....	32
Tabla 2.6 Valores para la relación $(N/25)^{0.121}$ .....	38
Tabla 2.7 Grado de plasticidad del suelo .....	39
Tabla 2.8 Valores de los límites de Atterberg para los minerales de arcilla.....	41
Tabla 2.9 Símbolos de grupo para la clasificación de suelos según el sistema Unificado.....	49
Tabla 2.10 Nombres de grupo para suelos gravosos, Norma ASTM D-2487 .....	50
Tabla 2.11 Nombres de grupo para suelos arenosos según la ASTM D-2487 .....	50
Tabla 2.12 Nombres de grupo para suelos finos inorgánicos, Norma ASTM D-2487....	51
Tabla 2.13 Nombres de grupo para suelos finos orgánicos, Norma ASTM D-2487 .....	52
Tabla 2.14 Evaluación de las propiedades del suelo en base al símbolo de grupo .....	54
Tabla 2.15 Clasificación de suelos sistema AASHTO.....	58
Tabla 2.16 Propiedades y características físicas. en suelos Granulares y suelos Finos...	62
Tabla 2.17 Compactación y tipo de pavimento.....	65
Tabla 2.18 Comparación del sistema AASHTO con el sistema Unificado .....	67
Tabla 2.19 Comparación del sistema Unificado con el sistema AASHTO .....	68
Tabla 2.20 Efecto de la energía de compactación con el número de caídas por capa .....	78
Tabla 2.21 Especificaciones técnicas para la prueba de compactación Proctor según las especificaciones ASTM. ....	82
Tabla 2.22 Valores de Carga Unitaria Patrón .....	90
Tabla 2.23 Valores referenciales de C.B.R., usos y suelos. ....	90
Tabla 3.1 Tabla de coordenadas de los puntos barrio San Blas. ....	113
Tabla 3.2 Tabla de coordenadas de los puntos barrio Miraflores. ....	114
Tabla 3.3 Tabla de coordenadas de los puntos barrio German Busch. ....	115
Tabla 3.4 Tabla de coordenadas de los puntos barrio San Martín .....	116

Tabla 3.5 Tabla de coordenadas de los puntos barrio Aranjuez .....	117
Tabla 3.6 Resultados de los ensayos de caracterización y clasificación SUCS de los suelos.....	133
Tabla 3.7 Resultados de los ensayos resistencia – deformación, ensayos in situ y clasificación AASHTO de los suelos .....	134
Tabla 4.1 Límites de Atterberg y clasificación SUCS para suelos A-1 .....	139
Tabla 4.2 Porcentajes de material para suelos A-1 .....	139
Tabla 4.3 Humedad natural, compactación, C.B.R. (lab.), densidad (in situ), C.B.R. (in situ), clasificación AASHTO para suelos A-1 .....	141
Tabla 4.4 Límites de Atterberg y clasificación SUCS para suelos A-2 .....	142
Tabla 4.5 Porcentajes de material para suelos A-2 .....	143
Tabla 4.6 Humedad natural, compactación, C.B.R. (lab.), densidad (in situ), C.B.R. (in situ), clasificación AASHTO para suelos A-2.....	144
Tabla 4.7 Límites de Atterberg y clasificación SUCS para suelos A-3 .....	145
Tabla 4.8 Porcentajes de material para suelos A-3 .....	145
Tabla 4.9 Humedad natural, compactación, C.B.R. (lab.), densidad (in situ), C.B.R. (in situ), clasificación AASHTO para suelos A-3.....	146
Tabla 4.10 Límites de Atterberg y clasificación SUCS para suelos A-4.....	148
Tabla 4.11 Porcentajes de material para suelos A-4 .....	148
Tabla 4.12 Humedad natural, compactación, C.B.R. (lab.), densidad (in situ), C.B.R. (in situ), clasificación AASHTO para suelos A-4.....	150
Tabla 4.13 Límites de Atterberg y clasificación SUCS para suelos A-5.....	151
Tabla 4.14 Porcentajes de material para suelos A-5 .....	151
Tabla 4.15 Humedad natural, compactación, C.B.R. (lab.), densidad (in situ), C.B.R. (in situ), clasificación AASHTO para suelos A-5.....	152
Tabla 4.16 Límites de Atterberg y clasificación SUCS para suelos A-6.....	154
Tabla 4.17 Porcentajes de material para suelos A-6 .....	154
Tabla 4.18 Humedad natural, compactación, C.B.R. (lab.), densidad (in situ), C.B.R. (in situ), clasificación AASHTO para suelos A-6.....	155
Tabla 4.19 Límites de Atterberg y clasificación SUCS para suelos A-7 .....	156
Tabla 4.20 Porcentajes de material para suelos A-7 .....	157

Tabla 4.21 Humedad natural, compactación, C.B.R. (lab.), densidad (in situ), C.B.R. (in situ), clasificación AASHTO para suelos A-7.....	158
Tabla 4.22 Tabla comparativa entre C.B.R. (Lab.), C.B.R. (in situ) y clasificación general.....	161
Tabla 4.23 Valores referenciales de C.B.R., usos y suelos.....	162
Tabla 4.24 Índice de relación de C.B.R. (Lab.) frente a C.B.R. (in situ).....	163
Tabla 4.25 Tabla comparativa entre C.B.R. (Lab.), C.B.R. (in situ) y clasificación general.....	164
Tabla 4.26 Valores referenciales de C.B.R., usos y suelos.....	164
Tabla 4.27 Índice de relación de C.B.R. (Lab.) frente a C.B.R. (in situ).....	165
Tabla 4.28 Tabla comparativa entre C.B.R. (Lab.), C.B.R. (in situ) y clasificación general.....	166
Tabla 4.29 Valores referenciales de C.B.R., usos y suelos.....	167
Tabla 4.30 Índice de relación de C.B.R. (Lab.) frente a C.B.R. (in situ).....	168
Tabla 4.31 Tabla comparativa entre C.B.R. (Lab.), C.B.R. (in situ) y clasificación general.....	169
Tabla 4.32 Valores referenciales de C.B.R., usos y suelos.....	169
Tabla 4.33 Índice de relación de C.B.R. (Lab.) frente a C.B.R. (in situ).....	170
Tabla 4.34 Tabla comparativa entre C.B.R. (Lab.), C.B.R. (in situ) y clasificación general.....	172
Tabla 4.35 Valores referenciales de C.B.R., usos y suelos.....	172
Tabla 4.36 Índice de relación de C.B.R. (Lab.) frente a C.B.R. (in situ).....	173

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Estructuras que dan cohesión a los suelos granulares. ....	12
Figura 2.2 Estructura de las partículas de arcilla sedimentadas .....	13
Figura 2.3 Estructuras microscópicas que dan cohesión al suelo. ....	14
Figura 2.4 Formas de empaquetamiento de las partículas del suelo. ....	15
Figura 2.5 Composición del suelo.....	16
Figura 2.6 Estados del suelo.....	17
Figura 2.7 Tamices para el análisis mecánico del suelo de grano grueso.....	21
Figura 2.8 Tamizador de laboratorio.....	22
Figura 2.9 Curva de distribución del tamaño de partículas.....	24
Figura 2.10 Curvas de distribución del tamaño de partículas de cinco suelos.....	25
Figura 2.11 Hidrómetro.....	28
Figura 2.12 Curva de distribución del tamaño de partículas.....	33
Figura 2.13 Consistencia del suelo según al contenido de humedad .....	34
Figura 2.14 Cuchara de Casagrande para determinar el límite líquido del suelo .....	35
Figura 2.15 División de la pasta de suelo .....	35
Figura 2.16 Cierre de la pasta de suelo .....	36
Figura 2.17 Determinación del límite líquido del suelo.....	37
Figura 2.18 Determinación del límite plástico .....	39
Figura 2.19 Carta de plasticidad.....	40
Figura 2.20 Carta de plasticidad, Norma ASTM, 2003. ....	53
Figura 2.21 Variación del límite líquido e índice de plasticidad para los suelos de los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.....	57
Figura 2.22 Principios de compactación. ....	70
Figura 2.23 Curva de compactación típica.....	73
Figura 2.24 Curvas de compactación para ocho suelos utilizando la prueba Proctor estándar,.....	76
Figura 2.25 Efecto de la energía de compactación en la compactación de una arcilla arenosa.....	78
Figura 2.26 Equipo de compactación en laboratorio. ....	81

Figura 2.27 Curvas de compactación para los ensayos Proctor estándar y modificado. .	83
Figura 2.28. Cambio en la compresibilidad con el contenido de agua del moldeado.....	83
Figura 2.29 Expansión de una muestra de arcilla arenosa compactada estáticamente y por manipulación.....	85
Figura 2.30 Relación entre la presión estática de compactación (energía de compactación) y la presión de expansión en una arcilla. ....	86
Figura 2.31 Comparación entre las compactaciones en laboratorio y en campo. ....	88
Figura 2.32 Métodos de cono de arena para determinar la densidad en campo.....	99
Figura 2.33 Ensayo C.B.R. in situ.....	101
Figura 2.34 Instalación típica del ensayo en el terreno. ....	104
Figura 2.35 Aparatos para ensayos en sitio, en la obra. ....	104
Figura 2.36 Corrección de la curva esfuerzo vs penetración. ....	107
Figura 3.1 Mapa político del departamento de Tarija .....	110
Figura 3.2 Mapa de Organización Territorial Barrial .....	111
Figura 3.3 Mapa de localización de los puntos barrio San Blas. ....	113
Figura 3.4 Mapa de localización de los puntos barrio Miraflores.....	114
Figura 3.5 Mapa de localización de los puntos barrio German Busch.....	115
Figura 3.6 Mapa de localización de los puntos barrio San Martín.....	116
Figura 3.7 Mapa de localización de los puntos barrio Aranjuez.....	117
Figura 3.8 Excavación de calicata para extracción de muestras y ensayos in situ.....	118
Figura 3.9 Preparación para realizar el ensayo de C.B.R. in situ y densidad in situ.....	118
Figura 3.10 Lugar de ensayo barrio San Blas punto 2 .....	119
Figura 3.11 Montaje del equipo de C.B.R. in situ.....	119
Figura 3.12 Ensayo de densidad in situ método cono de arena .....	120
Figura 3.13 Toma de muestras de suelo en el punto 10 del barrio Miraflores.....	121
Figura 3.14 Muestras para determinar el contenido de humedad en laboratorio UAJMS.....	122
Figura 3.15 Determinar el límite líquido en laboratorio UAJMS .....	123
Figura 3.16 Rollitos de muestra fina para determinar el límite plástico laboratorio de suelos UAJMS.....	124
Figura 3.17 ensayo de compactación laboratorio de suelos UAJMS .....	127

Figura 3.18 Ensayo de C.B.R. en laboratorio de suelos UAJMS.....	129
Figura 3.19 Ensayo de densidad in situ, método cono de arena .....	130
Figura 3.20 Ensayo de C.B.R. in situ Barrio Aranjuez .....	132
Figura 3.21 mapa geotécnico de C.B.R. in situ y C.B.R. en laboratorio .....	136
Figura 4.1 Porcentajes de material para suelos A-1 .....	140
Figura 4.2 Porcentajes de material para suelos A-2.....	143
Figura 4.3 Porcentajes de material para suelos A-3.....	146
Figura 4.4 Porcentajes de material para suelos A-4.....	149
Figura 4.5 Porcentajes de material para suelos A-5.....	152
Figura 4.6 Porcentajes de material para suelos A-6.....	154
Figura 4.7 Porcentajes de material para suelos A-7.....	157
Figura 4.8 Porcentaje de C.B.R. (Lab) y C.B.R. (in situ) para suelos del barrio San Blas.....	162
Figura 4.9 Porcentaje de C.B.R. (Lab) y C.B.R. (in situ) para suelos del barrio Miraflores.....	165
Figura 4.10 Porcentaje de C.B.R. (Lab) y C.B.R. (in situ) para suelos del barrio German Busch.....	167
Figura 4.11 Porcentaje de C.B.R. (Lab) y C.B.R. (in situ) para suelos del barrio San Martín.....	170
Figura 4.12 Porcentaje de C.B.R. (Lab) y C.B.R. (in situ) para suelos del barrio Aranjuez.....	173