

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



**«APLICACIÓN Y CORRELACIÓN DEL CBR IN SITU  
CON EL CBR CONVENCIONAL PARA SUELOS EN  
SUBRASANTES»**

**Por:**

**LUIS ARMANDO GUTIÉRREZ ALVARADO**

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 II - 2020**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“APLICACIÓN Y CORRELACION DEL CBR IN SITU  
CON EL CBR CONVENCIONAL PARA SUELOS EN  
SUBRASANTES”**

**POR:**

**LUIS ARMANDO GUTIÉRREZ ALVARADO**

**SEMESTRE II – 2020**

**TARIJA - BOLIVIA**

V°B°

---

M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozávez

**DECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

---

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANA**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

**APROBADO POR EL TRIBUNAL:**

---

M.Sc. Ing. Laura Karina Soto Salgado

---

Ing. José Ricardo Arce Avendaño

---

Ing. Joel Paco Zarsuri



El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas, únicamente responsabilidad del autor.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Franklin y Emidia, a mi compañera Yolanda, a mi hija Renata Lucia, y a toda mi familia por su paciencia y comprensión.

A los ingenieros que me facilitaron información y me guiaron en el proceso de la investigación y la realización del documento, a mis amistades que de una u otra manera me apoyaron y motivaron a seguir adelante.

## **PENSAMIENTO**

‘El crecimiento es un proceso de prueba y error es una experimentación. Los experimentos fallidos forman parte del proceso en igual medida que el experimento que funciona bien’.

*Benjamín Franklin*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por haberme dado unos padres excelentes, una gran compañera de vida y a mi hija que es la luz de mi camino: toda mi familia y a todas aquellas personas que al caminar me hicieron crecer como persona.

## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

	Pág.
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 del problema.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
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.....	4
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral.....	5
1.8.1. Unidad de estudio.....	5
1.8.2. Población.....	5
1.8.3. Muestra.....	5
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	6
1.8.5. Parámetros de muestreo.....	7
1.9. Métodos y técnicas empleadas.....	8
1.9.1. Métodos a utilizar en la evaluación.....	8
1.9.2. Técnicas a utilizar en la evaluación.....	9
1.10. Procesamiento de la información.....	10
1.11. Alcance de la investigación.....	10

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Introducción.....	12
2.2. Subrasante.....	12
2.3. Suelo.....	13
2.3.1. Definición.....	13
2.3.2. Características de los suelos.....	14
2.3.2.1. Tamaño de las partículas.....	15
2.3.2.2. Formación.....	17
2.3.2.3. Contenido de humedad.....	21
2.3.2.4. Granulometría.....	22
2.3.2.5. Límites de consistencia.....	22
2.3.2.6. Densidad.....	25
2.3.3. Clasificación de los suelos.....	26
2.3.3.1. Sistema de clasificación AASHTO.....	26
2.3.3.2. Sistema de clasificación SUCS.....	32
2.4. Compactación de suelos.....	36
2.4.1. Curva de compactación.....	38
2.4.2. Método de compactación Próctor.....	40
2.4.2.1. Próctor estándar.....	41
2.4.2.2. Próctor modificado.....	42
2.5. Densidad In Situ.....	43
2.6. CBR (California Bearing Ratio).....	45
2.6.1. Antecedentes.....	45
2.6.2. Generalidades.....	46
2.6.3. Tipos de CBR.....	47
2.6.3.1. CBR en laboratorio.....	47
2.6.3.1.1. CBR para suelos perturbados y remoldados.....	47
2.6.3.1.2. CBR para suelos inalterados.....	48
2.6.3.2. CBR en el sitio.....	49

2.7. Ensayo CBR convencional.....	51
2.8. Ensayo CBR In Situ.....	58
2.8.1. Metodología de ensayo CBR In Situ.....	59

### **CAPÍTULO III**

#### **APLICACIÓN Y CORRELACIÓN DE CBR IN SITU Y CBR**

##### **CONVENCIONAL**

3.1. Introducción.....	68
3.2. Laboratorios empleados.....	68
3.3. Ubicación de las muestras de aplicación.....	68
3.4. Trabajo en campo.....	71
3.4.1. Toma de muestras.....	71
3.4.2. CBR In Situ.....	72
3.4.2. Densidad In Situ.....	74
3.5. Trabajo en laboratorio.....	76
3.5.1. Clasificación de los suelos subrasantes.....	76
3.5.2. Compactación Próctor (T-180).....	78
3.5.2. CBR (Convencional).....	79
3.6. Tratamiento estadístico.....	81
3.6.1. Frecuencia.....	81
3.6.2. Medidas de tendencia central.....	84
3.6.2.1. Media aritmética.....	84
3.6.2.2. Mediana.....	85
3.6.2.3. Moda.....	85
3.6.2.4. Rango.....	85
3.6.3. Medidas de dispersión.....	86
3.6.3.1. Desviación media.....	86
3.6.3.2. Varianza poblacional.....	87
3.6.3.3. Varianza muestral.....	87
3.6.3.4. Desviación estándar.....	87
3.6.3.5. Coeficiente de variación.....	88

3.6.4. Depuración de datos.....	89
3.6.4.1. Depuración de datos de CBR convencional al 100%.....	89
3.6.4.2. Depuración de datos de CBR convencional al 95%.....	91
3.7. Dispersión de puntos.....	93
3.8. Definición y tipos de modelos matemáticos.....	94
3.8.1. Modelo lineal.....	95
3.8.2. Modelo polinómico.....	95
3.8.3. Modelo potencial.....	96
3.8.4. Modelo trigonométrico.....	98
3.8.5. Modelo exponencial.....	99
3.8.6. Modelo logarítmico.....	100
3.9. Elección del modelo matemático.....	100
3.10. Elección del modelo estadístico.....	104
3.11. Correlación del CBR In Situ con el CBR convencional.....	106
3.11.1. Aplicación del modelo estadístico.....	106
3.11.2. Análisis correlacional – descriptivo.....	108
3.12. Análisis de los parámetros de correlación.....	109
3.12.1. Coeficiente de correlación.....	109
3.12.2. Coeficiente de determinación.....	109
3.13. Aplicación de la correlación de CBR convencional con CBR In Situ.....	110

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. Conclusiones.....	112
4.2. Recomendaciones.....	113

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

Anexo 1. Clasificación de las muestras

Anexo 2. Ensayos de compactación

Anexo 3. Ensayos de CBR convencional

Anexo 4. Ensayos de densidad in situ

Anexo 5. Ensayos de CBR in situ

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Número de muestras.....	6
Tabla 1.2. Parámetros de muestreo.....	8
Tabla 2.1. Sistema para identificar el tamaño de la partícula.....	15
Tabla 2.2. Rangos de índices de plasticidad.....	24
Tabla 2.3. Rangos de índices de liquidez.....	25
Tabla 2.4. Sistema de clasificación AASHTO.....	31
Tabla 2.5. Prefijos y sufijos del suelo.....	32
Tabla 2.6. Combinaciones en función de los prefijos y sufijos del suelo.....	33
Tabla 2.7. Número de CBR para suelos clasificados según SUCS y AASHTO.....	46
Tabla 2.8. Clasificación del suelo de acuerdo al CBR.....	47
Tabla 3.1. Ubicación de la toma de muestras.....	69
Tabla 3.2. Resultados de CBR In Situ.....	74
Tabla 3.3. Densidad y humedad In Situ.....	75
Tabla 3.4. Clasificación de las muestras de las subrasantes: La cañada – Monte Sud y Luis espinal – Monte Cristo.....	77
Tabla 3.5. Clasificación de las muestras de las subrasantes: San Antonio – Medinacelli y La Nueva Terminal – Pampa Galana.....	77
Tabla 3.6. Resultados de densidad (Próctor modificado T-180).....	78
Tabla 3.7. CBR al 100% (Convencional).....	80
Tabla 3.8. CBR al 95% (Convencional).....	80
Tabla 3.9. Medidas de tendencia central – CBR convencional al 100%.....	81
Tabla 3.10. Medidas de tendencia central – CBR convencional al 95%.....	82
Tabla 3.11. Medidas de tendencia central – CBR In Situ.....	83
Tabla 3.12. Resultados de la media aritmética.....	84
Tabla 3.13. Resultados de la mediana.....	85
Tabla 3.14. Resultados de la moda.....	85

Tabla 3.15. Resultados del rango.....	86
Tabla 3.16. Resultados de la desviación media.....	86
Tabla 3.17. Resultados de la varianza poblacional.....	87
Tabla 3.18. Resultados de la varianza muestral.....	87
Tabla 3.19. Resultados de la desviación estándar.....	88
Tabla 3.20. Resultados de la desviación estándar.....	88
Tabla 3.21. Depuración de datos – CBR al 100%.....	90
Tabla 3.22. Depuración de datos – CBR al 95%.....	92
Tabla 3.23. Coeficientes de correlación por Statgraphics y Excel.....	106
Tabla 3.24. Constantes de las ecuaciones correlacionadas.....	108
Tabla 3.25. Ecuaciones correlacionadas.....	108
Tabla 3.26. Coeficientes de correlación obtenidos.....	109
Tabla 3.27. Coeficientes de determinación obtenidos.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Esquema de muestreo.....	6
Figura 2.1. Fases del suelo.....	13
Figura 2.2. Estructura que dan cohesión a los suelos granulares.....	19
Figura 2.3. Estructura de las partículas de arcilla sedimentadas.....	20
Figura 2.4. Estructuras microscópicas que dan cohesión al suelo.....	20
Figura 2.5. Límites de Atterberg.....	23
Figura 2.6. Carta de plasticidad AASHTO.....	29
Figura 2.7. Carta de plasticidad Casagrande.....	35
Figura 2.8. Características de los suelos.....	36
Figura 2.9. Técnica de compactación en obra.....	37
Figura 2.10. Curva de compactación y curva de saturación.....	39
Figura 2.11. Curva de compactación según energía de compactado.....	39
Figura 2.12. Curvas típicas de compactación.....	40
Figura 2.13. Equipo de compactación próctor estándar y modificado.....	42
Figura 2.14. Equipo cono de arena.....	43
Figura 2.15. Molde para ensayo CBR en laboratorio.....	48
Figura 2.16. Molde para muestra de suelo inalterada.....	49
Figura 2.17. Ensayo de CBR In Situ.....	50
Figura 2.18. Partes del molde CBR y sus accesorios.....	53
Figura 2.19. Dispositivo de carga para CBR de laboratorio.....	56
Figura 2.20. Relación de la curva de CBR con la curva de compactación.....	57
Figura 2.21. Montaje del equipo CBR in situ.....	61
Figura 2.22. Materiales y accesorios del equipo CBR in situ.....	62
Figura 2.13. Equipo CBR In Situ.....	62
Figura 2.24. Instalación típica del ensayo en el terreno.....	64
Figura 2.25. Corrección de Curvas Esfuerzo – Penetración.....	66

Figura 3.1. Ubicación de las subrasantes.....	69
Figura 3.2. Ubicación tramo La Cañada – Monte Sud.....	70
Figura 3.3. Ubicación tramo Luis Espinal – Monte Cristo.....	70
Figura 3.4. Ubicación tramo San Antonio – Medinacelli.....	70
Figura 3.5. Ubicación tramo Nueva Terminal – Pampa Galana.....	71
Figura 3.6. Extracción muestra.....	72
Figura 3.7. Realización del ensayo CBR In Situ.....	73
Figura 3.8. Ensayo densidad in situ.....	74
Figura 3.9. Muestras suelo para el contenido de humedad en el horno.....	75
Figura 3.10. Ensayo clasificación de suelos.....	76
Figura 3.11. Tamices para la clasificación de suelos.....	76
Figura 3.12. Realizando el ensayo de compactación.....	78
Figura 3.13. Prensa hidráulica y moldes CBR listos para romper.....	79
Figura 3.14. Lectura de expansión de CBR convencional.....	79

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfica 3.1. Límites de tolerancia – CBR al 100%.....	89
Gráfica 3.2. Límites de tolerancia – CBR al 95%.....	91
Gráfica 3.3. Dispersión de puntos – CBR al 100%.....	93
Gráfica 3.4. Dispersión de puntos – CBR al 95%.....	94
Gráfico 3.5. Modelo lineal.....	95
Gráfico 3.6. Modelo polinómico de segundo grado.....	96
Gráfico 3.7. Modelo potencial de tercer grado.....	97
Gráfico 3.8. Modelo potencial, raíz cuadrada.....	97
Gráfico 3.9. Modelo potencial, raíz cúbica.....	98
Gráfico 3.10. Modelo trigonométrico, función seno.....	98
Gráfico 3.11. Modelo trigonométrico, función coseno.....	99
Gráfico 3.12. Modelo exponencial.....	99
Gráfico 3.13. Modelo logarítmico.....	100
Gráfico 3.14. Modelo Polinómico.....	101
Gráfico 3.15. Ajuste al modelo Lineal de CBR al 100% con el CBR In Situ.....	101
Gráfico 3.16. Ajuste al modelo Polinómico de CBR al 100% con el CBR In Situ.....	102
Gráfico 3.17. Ajuste al modelo Exponencial de CBR al 100% con el CBR In Situ.....	102
Gráfico 3.18. Ajuste al modelo Potencial de CBR al 100% con el CBR In Situ.....	103
Gráfico 3.19. Ajuste al modelo Logarítmico de CBR al 100% con el CBR In Situ...	103
Gráfica 3.20. Correlación CBR In Situ y CBR Convencional al 100% con programa STATGRAPHICS.....	105
Gráfica 3.21. Correlación CBR In Situ y CBR Convencional al 100% con programa Excel.....	105
Gráfico 3.22. Modelo de regresión ajustado – CBR al 100% (CBR1).....	107
Gráfico 3.23. Modelo de regresión ajustado – CBR al 95% (CBR2).....	107