

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE  
COMUNICACIÓN**



**“COMPARACIÓN ENTRE EL EQUIPO CBR IN SITU CON EL DE  
LABORATORIO PARA LAS CAPAS SUBRASANTE, SUBBASE Y  
BASE EN EL TRAMO SAN MATEO – MONTE MÉNDEZ”**

Por:

**BEJARANO CHAUQUE ANABEL**

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 II – 2018**

**Tarija – Bolivia**

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

**PROPUESTA DE PROYECTO**  
**“COMPARACIÓN ENTRE EL EQUIPO CBR IN SITU CON EL DE**  
**LABORATORIO PARA LAS CAPAS SUBRASANTE, SUBBASE Y**  
**BASE EN EL TRAMO SAN MATEO – MONTE MÉNDEZ”**

Por:

**BEJARANO CHAUQUE ANABEL**

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 II – 2018**

**Tarija – Bolivia**

**V°B°**

---

Ing. Marcelo Segovia Cortez  
DOCENTE DE CIV - 502

---

M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez  
DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

---

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
VICEDECANA FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Trinidad Baldiviezo Montalvo

---

Ing. Mabel Zambrana Velasco

---

Ing. Ricardo Arce Avendaño

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

**Dedicatoria:**

El presente trabajo de Proyecto de Grado, me otorga una gran satisfacción de cumplir un logro muy importante en mi vida. Está dedicado con muchísimo amor a mis padres *Sonia y Roberto*. A mis hermanitos Camila y Roberto. Por siempre fortalecer mi corazón e iluminar mi mente. Los Amo.

### **Agradecimientos:**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, por que, gracias a él, todo lo que te propones en la vida con amor es posible.

Un agradecimiento muy especial a mi compañero de vida, Robert. Él me ha demostrado que donde hay vida hay amor. Gracias por estar en mi vida y formar parte de este momento tan único en mi vida. Te amo.

Agradezco a todos mis docentes y amigos por todo el conocimiento adquirido en estos años.

# INDICE DE CONTENIDO

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3.1. Problema .....	2
1.3.2. Situación problemática.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos específicos .....	3
1.5. HIPÓTESIS .....	4
1.6. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.7. VARIABLES.....	5
1.7.1. Variables dependientes.....	5
1.7.2. Variable independiente.....	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. Muestreo.....	7
1.8.4.1. Dosificación de capa: base, subbase y subrasante. ....	7
1.8.5. Métodos y técnicas empleadas .....	8
1.9. ESQUEMA LÓGICO.....	9

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. MECÁNICA DE SUELOS.....	10
2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS .....	10

2.3. PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SUELOS .....	11
2.4. GRANULOMETRÍA DE SUELOS .....	12
2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....	13
2.5.1. Clasificación por el método AASHTO .....	13
2.5.2. Clasificación por el método SUCS .....	14
2.6. COMPACTACIÓN .....	17
2.7. DENSIDAD IN SITU .....	22
2.7.1. Método del cono de arena .....	22
2.8 CAPACIDAD SOPORTE C.B.R. ....	23
2.8.1 Ensayo CBR en laboratorio .....	25
2.8.1.1. Metodología. Preparación de muestras .....	26
2.8.1.2. Procedimiento general .....	27
2.8.1.2.1 Compactación .....	27
2.8.1.2.2. Expansión del material .....	27
2.8.1.2.3 Resistencia a la penetración .....	28
2.8.1.3. Equipo .....	29
2.8.1.3.1. Equipo de compactación .....	29
2.8.1.3.2. Equipo para el hinchamiento .....	29
2.8.1.3.3. Prueba de penetración .....	29
2.8.1.4. Cálculos .....	29
2.8.1.5. Curvas requeridas .....	30
2.8.1.5.1. Curva: Carga – Penetración .....	30
2.8.1.5.2. Curva: CBR – Peso unitario .....	31
2.8.1.5.3. Curva: Expansión – Peso unitario .....	31
2.8.2 Ensayo CBR in situ .....	31
2.8.2.1. Equipo .....	32
2.8.2.2. Procedimiento. - Instalación del equipo .....	34
2.8.2.3. Manejo del equipo .....	34
2.9 CARACTERÍSTICAS DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO. ....	39
2.9.1 Capa base .....	39
2.9.2 Capa subbase .....	41

2.9.3 Capa subrasante.....	43
2.9.4 Carpeta de rodadura .....	44

### **CAPÍTULO III**

#### **APLICACIÓN PRÁCTICA**

3.1. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL TRAMO SAN MATEO-MONTE.....	
MÉNDEZ .....	45
3.2. COORDENADAS DE LOS LUGARES DE ESTUDIO .....	48
3.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SUELOS .....	49
3.1.1. Toma de muestras de suelo .....	49
3.1.1.1. Equipo utilizado .....	49
3.1.1.2. Procedimiento de extracción de muestras de suelos .....	50
3.4. ENSAYO GRANULOMÉTRICO .....	51
3.4.1. Objetivo.....	51
3.4.2. Resumen de resultados .....	52
3.5. ENSAYO DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS .....	53
3.5.1. Objetivo.....	53
3.6. ENSAYO DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD .....	54
3.6.1. Objetivo.....	54
3.6.2. Resumen de resultados .....	55
3.7. ENSAYO DENSIDAD IN SITU, MÉTODO CONO DE ARENA .....	57
3.7.1. Objetivo.....	57
3.7.2. Resumen de resultados .....	58
3.8. ENSAYO RELACIÓN DE HUMEDAD Y DENSIDAD, PRÓCTOR MODIFICADO .....	61
3.8.1. Objetivo.....	61
3.8.2. Resumen de resultados .....	62
3.9. CAPACIDAD SOPORTE CBR LABORATORIO SUMERGIDO Y SIN SUMERGIR .....	63
3.9.1. Objetivo.....	63
3.9.1.1 CBR sumergido o saturado .....	63

3.9.1.1.1. Resumen de resultados.....	64
3.9.1.2. CBR sin sumergir o no saturado .....	66
3.9.1.2.1. Resumen de resultados.....	67
3.10. CAPACIDAD SOPORTE CBR IN SITU.....	69
3.10.1. Objetivo.....	69
3.10.2. Resumen de resultados.....	70

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN**

4.1. INTRODUCCIÓN .....	72
4.2. CORRELACIONES DE CADA CAPA.....	72
4.2.1 Correlación CBR in situ-densidad in situ.....	75
4.2.1.1 Análisis correlacional de capa base .....	75
4.2.1.1.1. Resultados del grado de correlación .....	77
4.2.1.1.2. Análisis de correlación CBR in situ-densidad in situ capa base .....	78
4.2.2. Análisis correlacional de capa subbase.....	79
4.2.2.1 Resultados del grado de correlación .....	81
4.2.2.2. Análisis de correlación CBR in situ-densidad in situ capa subbase .....	82
4.2.3. Análisis correlacional de capa subrasante.....	83
4.2.3.1. Resultados del grado de correlación .....	85
4.2.3.2. Análisis de correlación CBR y densidad in situ capa subrasante .....	86
4.2.2 Correlación CBR in situ-CBR laboratorio.....	87
4.2.2.1 Análisis correlacional de capa base .....	87
4.2.2.1.1 Resultados del grado de correlación .....	89
4.2.2.1.2. Análisis de correlación CBR in situ-CBR laboratorio capa base.....	90
4.2.2.2 Análisis correlacional de capa subbase.....	91
4.2.2.1 Resultados del grado de correlación .....	93
4.2.2.2. Análisis de correlación CBR in situ-CBR laboratorio capa subbase .....	94
4.2.2.3 Análisis correlacional de capa subrasante.....	95
4.2.3.1. Resultados del grado de correlación .....	97
4.2.3.2. Análisis de correlación CBR y CBR laboratorio capa subrasante .....	98

4.3. RELACION DE CBR IN SITU CON HUMEDAD PARA CAPA BASE, .....	
SUBBASE Y SUBRASANTE .....	99
4.3.1. Análisis de la figura .....	99
4.4. RELACIÓN DE CBR LABORATORIO Y HUMEDAD ÓPTIMA .....	100
4.4.1. Análisis de la figura.....	100
4.5. RELACIÓN DE CBR LABORATORIO Y DENSIDAD .....	101
4.5.1. Análisis de la figura.....	101
4.6. COMPARACIÓN CBR IN SITU-CBR LABORATORIO SUMERGIDO.....	103
4.6.1. Comparación de CBR in situ y laboratorio capa base.....	104
4.6.1.1 Curva de distribución normal in situ y laboratorio .....	106
4.6.1.1.1 CBR in situ.....	106
4.6.1.1.2. CBR laboratorio sumergido .....	107
4.6.2. Comparación de CBR in situ y laboratorio capa subbase .....	108
4.6.2.1. Curva de distribución normal in situ y laboratorio .....	110
4.6.2.1.1 CBR in situ.....	110
4.6.2.1.2. CBR laboratorio .....	111
4.6.3. Comparación de CBR in situ y CBR laboratorio capa subrasante.....	112
4.6.3.1. Curva de distribución normal.....	114
4.6.3.1.1. CBR in situ.....	114
4.6.3.1.2. CBR laboratorio .....	115
4.7. RELACIÓN CBR LABORATORIO SUMERGIDO Y SIN SUMERGIR.....	116
4.7.1. Comparación de CBR de laboratorio con y sin sumergir de capa base .....	117
4.7.1.1. Porcentaje de variación capa base.....	119
4.7.1.2. Rangos de CBR de laboratorio sumergido para capa base .....	121
4.7.2. Comparación de CBR de laboratorio con y sin sumergir de capa subbase.....	123
4.7.2.1. Porcentaje de variación capa subbase .....	125
4.7.2.2. Rangos de CBR de laboratorio para capa subbase.....	127
4.7.3. Comparación de CBR de laboratorio con y sin sumergir de capa .....	129
4.7.3.1. Porcentaje de variación capa subrasante .....	130
4.7.3.2. Rangos de CBR de laboratorio para capa subrasante.....	132

4.8. FACTORES QUE INFLUYEN EL VALOR DE CBR IN SITU Y .....	
LABORATORIO .....	134
4.8.1. CBR in situ.....	134
4.8.2. CBR laboratorio .....	135
4.9 TABLA DE RESULTADOS.....	136
4.9.1 Comparación CBR in situ con el CBR de laboratorio .....	138
4.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL CBR IN SITU Y CBR EN	
LABORATORIO .....	139
4.11 PRESUPUESTO PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS .....	141

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. CONCLUSIONES .....	143
5.2. RECOMENDACIONES .....	144

### **BIBLIOGRAFÍA.....**

### **ANEXOS.....**

ANEXO A. Reporte fotográfico.....	
ANEXO B. Planillas de cálculo.....	
ANEXO C. Planillas de densidades de la empresa y supervisión.....	
ANEXO D. Análisis de precios unitarios.....	

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b> – Definición de variables .....	6
<b>Tabla 2</b> – Número de tamices y aberturas de los orificios .....	12
<b>Tabla 3</b> – Clasificación de suelos según el tamaño de partículas .....	13
<b>Tabla 4</b> – Clasificación de suelos según AASHTO .....	15
<b>Tabla 5</b> – Sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S. ....	16
<b>Tabla 6</b> – Especificación para la prueba proctor estándar (basados en las 689-91 de la ASTM) .....	20
<b>Tabla 7</b> – Especificación para la prueba proctor modificado (basados en las 689-91 de la ASTM) .....	21
<b>Tabla 8</b> – Longitud de penetración .....	32
<b>Tabla 9</b> – Categorías de subrasante .....	38
<b>Tabla 10</b> - Porcentajes por peso del material que pasa por tamices, capa base .....	40
<b>Tabla 11</b> - Porcentajes por peso del material que pasa por tamices, capa subbase .....	42
<b>Tabla 12</b> - Bandas granulométricas para subbase, bases y capas de rodadura .....	42
<b>Tabla 13</b> – Coordenadas de las progresivas del tramo San Mateo – Monte Méndez ....	48
<b>Tabla 14</b> – Resumen granulométrico .....	52
<b>Tabla 15</b> – Resumen de límites e índices de plasticidad .....	55
<b>Tabla 16</b> – Resumen de clasificación y descripción .....	56
<b>Tabla 17</b> – Resumen de densidades in situ .....	58
<b>Tabla 18</b> – Resumen de compactación .....	62
<b>Tabla 19</b> – Resumen CBR laboratorio sumergido o saturado .....	64
<b>Tabla 20</b> – Resumen CBR laboratorio sin sumergir o no saturado .....	67
<b>Tabla 21</b> – Resumen CBR in situ .....	70
<b>Tabla 22</b> - Rangos de correlación de Pearson .....	73
<b>Tabla 23</b> – Tabla de correlación de capa base .....	75
<b>Tabla 24</b> – Grados de correlación capa base .....	77
<b>Tabla 25</b> – Rangos de correlación de Pearson .....	78
<b>Tabla 26</b> – Tabla de correlación capa subbase .....	79

<b>Tabla 27</b> – Grados de correlación capa subbase .....	81
<b>Tabla 28</b> – Rangos de correlación de Pearson. ....	82
<b>Tabla 29</b> – Tabla de correlación de capa subrasante.....	83
<b>Tabla 30</b> – Grados de correlación capa subrasante .....	85
<b>Tabla 31</b> – Rangos de correlación de Pearson. ....	85
<b>Tabla 32</b> – Tabla de correlación de capa base.....	87
<b>Tabla 33</b> – Grados de correlación capa base.....	89
<b>Tabla 34</b> – Rangos de correlación de Pearson. ....	90
<b>Tabla 35</b> – Tabla de correlación capa subbase.....	91
<b>Tabla 36</b> – Grados de correlación capa subbase .....	93
<b>Tabla 37</b> – Rangos de correlación de Pearson. ....	94
<b>Tabla 38</b> – Tabla de correlación de capa subrasante.....	95
<b>Tabla 39</b> – Grados de correlación capa subrasante .....	97
<b>Tabla 40</b> – Rangos de correlación de Pearson. ....	97
<b>Tabla 41</b> – CBR in situ y CBR laboratorio capa base.....	104
<b>Tabla 42</b> – CBR in situ y CBR laboratorio capa subbase.....	108
<b>Tabla 43</b> – CBR in situ y CBR laboratorio capa subrasante.....	112
<b>Tabla 44</b> – CBR laboratorio sumergido-sin sumergir capa base.....	117
<b>Tabla 45</b> – Porcentaje de variación de capa base.....	119
<b>Tabla 46</b> – Rangos de CBR para capa base.....	121
<b>Tabla 47</b> – CBR laboratorio sumergido-sin sumergir capa subbase.....	123
<b>Tabla 48</b> – Porcentaje de variación de capa subbase .....	125
<b>Tabla 49</b> – Rangos de CBR para capa subbase.....	127
<b>Tabla 50</b> – CBR laboratorio sumergido-sin sumergir capa subrasante.....	129
<b>Tabla 51</b> – Porcentaje de variación de capa base.....	130
<b>Tabla 52</b> – Rangos de CBR para capa subrasante.....	132
<b>Tabla 53</b> – Tabla de resultados finales.....	136
<b>Tabla 54</b> - Ventajas y desventajas del uso del CBR in situ y laboratorio .....	139
<b>Tabla 55</b> - Ventajas y desventajas del uso del CBR in situ y laboratorio .....	140

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> – Diagrama de los componentes del suelo.....	10
<b>Figura 2</b> – Métodos de compactación.....	17
<b>Figura 3</b> – Compactación en laboratorio.....	19
<b>Figura 4</b> – Densidad in situ, método cono de arena.....	22
<b>Figura 5</b> – Obtención de datos de densidad, método cono de arena.....	23
<b>Figura 6</b> – Valores referenciales de CBR, usos y suelos.....	24
<b>Figura 7</b> – Montaje de molde dentro de un depósito lleno de agua.....	28
<b>Figura 8</b> – Montaje para ensayo CBR in situ.....	33
<b>Figura 9</b> – Volqueta de 8 cubos.....	36
<b>Figura 10</b> – Valores de CBR dependiendo las capas subrasante, subbase y base.....	37
<b>Figura 11</b> - Capas estructurales de un pavimento.....	39
<b>Figura 12</b> - Base de una carretera.....	39
<b>Figura 13</b> - Subbase de una carretera.....	41
<b>Figura 14</b> – Mapa político del departamento de Tarija.....	45
<b>Figura 15</b> – Inicio del tramo del Proyecto.....	46
<b>Figura 16</b> – Fin del tramo del proyecto.....	46
<b>Figura 17</b> – Vista Satelital del tramo San Mateo - Monte Méndez.....	47
<b>Figura 18</b> – Esquema de la extracción de la muestra.....	50
<b>Figura 19</b> – Esquema de la extracción e instalación de la muestra en la UAJMS.....	50
<b>Figura 20</b> – Esquema de la práctica de granulometría.....	51
<b>Figura 21</b> – Esquema del ensayo de límite líquido.....	53
<b>Figura 22</b> – Esquema del ensayo de límite plástico.....	54
<b>Figura 23</b> – Esquema del ensayo densidad in situ densímetro no nuclear.....	57
<b>Figura 24</b> –Esquema del ensayo de compactación.....	61
<b>Figura 25</b> – Esquema del ensayo de CBR sumergido o saturado.....	63
<b>Figura 26</b> – Esquema del ensayo de CBR en laboratorio sin sumergir.....	66
<b>Figura 27</b> – Esquema del ensayo de CBR in situ.....	69
<b>Figura 28</b> – Correlación lineal capa base.....	76

<b>Figura 29</b> – Correlación exponencial capa base.....	76
<b>Figura 30</b> – Correlación potencial capa base .....	76
<b>Figura 31</b> – Correlación logarítmica capa base.....	77
<b>Figura 32</b> – Correlación lineal sapa subbase.....	80
<b>Figura 33</b> – Correlación exponencial capa subbase .....	80
<b>Figura 34</b> – Correlación potencial capa subbase .....	80
<b>Figura 35</b> – Correlación logarítmica capa subbase .....	81
<b>Figura 36</b> – Correlación lineal capa subrasante .....	83
<b>Figura 37</b> – Correlación exponencial capa subrasante.....	84
<b>Figura 38</b> – Correlación potencial capa subrasante .....	84
<b>Figura 39</b> – Correlación logarítmica capa subrasante.....	84
<b>Figura 40</b> – Correlación lineal capa base.....	88
<b>Figura 41</b> – Correlación exponencial capa base.....	88
<b>Figura 42</b> – Correlación potencial capa base .....	88
<b>Figura 43</b> – Correlación logarítmica capa base.....	89
<b>Figura 44</b> – Correlación lineal sapa subbase.....	92
<b>Figura 45</b> – Correlación exponencial capa subbase.....	92
<b>Figura 46</b> – Correlación potencial capa subbase .....	92
<b>Figura 47</b> – Correlación logarítmica capa subbase .....	93
<b>Figura 48</b> – Correlación lineal capa subrasante .....	95
<b>Figura 49</b> – Correlación exponencial capa subrasante.....	96
<b>Figura 50</b> – Correlación potencial capa subrasante .....	96
<b>Figura 51</b> – Correlación logarítmica capa subrasante.....	96
<b>Figura 52</b> – CBR in situ vs humedad del sitio .....	99
<b>Figura 53</b> – CBR con y sin sumergir y humedad óptima.....	100
<b>Figura 54</b> – CBR con y sin sumergir y densidad .....	101
<b>Figura 55</b> – Gráfico lineal de ambos CBR, in situ y laboratorio (sumergido).....	103
<b>Figura 56</b> – CBR in situ y CBR laboratorio capa base .....	105
<b>Figura 57</b> – Curva de distribución capa base .....	106
<b>Figura 58</b> – Curva de distribución capa base.....	107
<b>Figura 59</b> – CBR in situ y CBR laboratorio capa subbase .....	109

<b>Figura 60</b> – Curva de distribución de capa subbase.....	110
<b>Figura 61</b> – Curva de distribución de capa subbase.....	111
<b>Figura 62</b> – CBR in situ y CBR laboratorio capa subrasante.....	112
<b>Figura 63</b> – Curva de distribución normal de capa subrasante.....	114
<b>Figura 64</b> – Curva de distribución normal de capa subrasante.....	115
<b>Figura 65</b> – Gráfico lineal de ambos CBR laboratorio, sumergido y sin sumergir. ....	116
<b>Figura 66</b> – CBR laboratorio sin sumergir – sumergido capa base. ....	118
<b>Figura 67</b> – Porcentaje de variación de capa base. ....	120
<b>Figura 68</b> – Rangos de CBR para capa base.....	122
<b>Figura 69</b> – CBR laboratorio sin sumergir – sumergido capa subbase. ....	124
<b>Figura 70</b> – Porcentaje de variación de capa subbase.....	126
<b>Figura 71</b> – Rangos de CBR para capa subbase.....	128
<b>Figura 72</b> – CBR laboratorio sin sumergir – sumergido capa subrasante. ....	129
<b>Figura 73</b> – Porcentaje de variación de capa subrasante.....	131
<b>Figura 74</b> – Rangos de CBR para capa subrasante.....	133
<b>Figura 75</b> – Factores que influyen el CBR in situ.....	134
<b>Figura 76</b> – Factores que influyen el CBR en laboratorio.....	135