

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



**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MÉTODO DE
COMPACTACIÓN AUTOMÁTICO CON EL MÉTODO DE
COMPACTACIÓN T-180”**

Por:

ERICK WILLAM CALDERÓN FERRUFINO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL.

SEMESTRE II - 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 DEL COMPORTAMIENTO DEL MÉTODO DE
COMPACTACIÓN AUTOMÁTICO CON EL MÉTODO DE
COMPACTACIÓN T-180”**

Por:

ERICK WILLAM CALDERÓN FERRUFINO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para
optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL.

SEMESTRE II - 2022

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

Sin lugar a dudas a mis padres y mis hermanos por apoyarme siempre, por haber confiado en mí e inculcarme la perseverancia para cumplir con mis metas e ideales.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Fundamentación teórica	2
1.2.1. Revisión bibliográfica	2
1.2.2. Justificación	3
1.3. Diseño teórico	4
1.3.1. Planteamiento del problema	4
1.3.1.1. Situación problemática	4
1.3.1.2. Problema	5
1.3.2. Objetivos de la investigación	5
1.3.2.1. Objetivo general	5
1.3.2.2. Objetivos específicos	5
1.3.3. Hipótesis	5
1.3.4. Definición de variables independientes y dependientes.....	6
1.3.5. Conceptualización y operacionalización de las variables	6
1.4. Diseño metodológico	7
1.4.1. Componentes	7
1.4.1.1. Unidades de estudio y decisión muestra	7
1.4.1.1.1. Unidades de estudio	7
1.4.1.1.2. Población	7
1.4.1.1.3. Muestra y muestreo	8
1.4.1.1.3.1. Análisis estadístico.....	8
1.4.1.1.3.2. Tratamiento estadístico	10
1.4.2. Método y técnicas empleadas.....	11
1.4.2.1. Definición.....	11
1.4.2.2. Las técnicas de muestreo.....	12
1.4.2.3. Descripción de los instrumentos	12

1.4.2.4. Procedimientos de aplicación	13
1.4.2.5. Preparación previa para la aplicación	15
1.4.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información	16
1.4.3.1. Tratamiento de los datos	16
1.4.4. Alcance de la investigación	16

CAPÍTULO II

COMPACTACIÓN DE SUELOS

	Página
2.1. Introducción	18
2.2. Compactación.....	18
2.3. Variables que afectan el proceso de compactación de los suelos	22
2.3.1. La naturaleza del suelo.....	23
2.3.2. El método de compactación	23
2.3.3. La energía específica de compactación.....	24
2.3.4. El contenido de agua del suelo.....	26
2.3.5. La escala de humedades al efectuar la compactación	27
2.3.6. El contenido de agua original del suelo	28
2.3.7. La recompactación	28
2.3.8. La temperatura	29
2.3.9. Otras variables.....	29
2.4. La curva de compactación.....	29
2.5. Suelo.....	33
2.5.1. Formación de los suelos	33
2.5.2. Composición de los suelos	34
2.5.3. Tipos de suelos	38
2.6. Suelos expansivos	41
2.6.1. La expansión de los suelos	42
2.6.2. Origen de los suelos expansivos	42
2.6.3. Problemas de los suelos expansivos.....	44
2.6.4. Movimiento de los suelos expansivos.....	45

2.6.5. Mecanismos que generan cambio volumétrico	46
2.6.6. Cómo identificar un suelo potencialmente expansivo	48
2.6.7. Exploración de los suelos expansivos	52
2.6.7.1. Exploración superficial	52
2.6.8. Determinación del potencial de expansión	52
2.7. Análisis mecánico de los suelos	54
2.8. Compactación de los suelos	54
2.8.1. Principios generales de compactación	54
2.8.2. Contenido de humedad	56
2.8.3. Energía de compactación	56
2.8.4. Prueba de próctor modificado	57

CAPÍTULO III
DETERMINACIÓN DE LA COMPACTACIÓN AUTOMÁTICA Y
COMPACTACIÓN T-180

	Página
3.1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	58
3.2. Ubicación del banco de material	58
3.3. Extracción de muestras del banco de material	60
3.4. Criterios aplicados a la compactación automática y manual	62
3.4.1. Caracterización de muestras de banco de suelos granulares y finos.....	63
3.4.2. Clasificación de los suelos método AASHTO	70
3.4.3. Criterios para la compactación de los suelos	74
3.4.3.1. Molde de compactación Próctor modificado T-180.....	74
3.5. Resultados de la compactación manual Próctor modificado T-180.....	76
3.6. Resultados de los suelos por compactación automática.....	83
3.7. Comportamiento de los resultados	90
3.7.1. Curvas de tendencia de resultados de la compactación manual.....	90
3.7.2. Curvas de tendencia de resultados de la compactación automático.....	96
3.8. Tratamiento estadístico	102
3.8.1. Compactación manual Próctor T-180	102

3.8.2. Compactación automática	115
3.9. Cuadro resumen de resultados	127

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1. Comparación de resultados finales de los suelos por compactación manual	
Próctor T-180 y compactación automática	128
4.2. Gráficos comparativo de resultados finales según el tipo de suelo.....	129
4.3. Evaluación de resultados	135
4.3.1. Evaluación objetiva.....	135
4.3.2. Evaluación subjetiva	135
4.4. Cuadro de calificación según evaluación	136

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	137
5.2. Recomendaciones	139

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- Anexo 1. Caracterización de los suelos
- Anexo 2. Planillas de compactación manual
- Anexo 3. Planillas de compactación automática

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Tabla de conceptualización de las variables independientes	6
Tabla 1.2. Tabla de conceptualización de las variables dependientes	7
Tabla 1.3. Niveles de confianza	8
Tabla 1.4. Tabla para determinar el tamaño de la muestra	9
Tabla 2.1. Intemperización del granito	39
Tabla 2.2. Factores que influyen en el potencial de expansión y contracción	46
Tabla 2.3. Determinación de suelo expansivo	49
Tabla 2.4. Tabla del grado de expansión	53
Tabla 2.5. Tabla del grado de potencial expansivo	53
Tabla 2.6. Potencial de cambio volumétrico	53
Tabla 3.1. Ensayos a realizar para la clasificar la muestra de banco	63
Tabla 3.2. Tamaños de las mallas según la norma A.S.T.M.....	64
Tabla 3.3. Clasificación según AASHTO	72
Tabla 3.4. Clasificación y descripción del material de banco.....	73
Tabla 3.5. Especificaciones para la prueba de Próctor T-180.....	76
Tabla 3.6. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 1	77
Tabla 3.7. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 2.....	77
Tabla 3.8. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 3.....	78
Tabla 3.9. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 4.....	78
Tabla 3.10. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 5.....	79
Tabla 3.11. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 6.....	79
Tabla 3.12. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 7.....	80
Tabla 3.13. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 8.....	80
Tabla 3.14. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 9.....	81
Tabla 3.15. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 10.....	81
Tabla 3.16. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 11.....	82
Tabla 3.17. Resultados de ensayo de compactación manual, muestra 12.....	82
Tabla 3.18. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 1	84
Tabla 3.19. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 2	85

Tabla 3.20. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 3	85
Tabla 3.21. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 4	86
Tabla 3.22. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 5	86
Tabla 3.23. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 6	87
Tabla 3.24. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 7	87
Tabla 3.25. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 8	88
Tabla 3.26. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 9	88
Tabla 3.27. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 10	89
Tabla 3.28. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 11	89
Tabla 3.29. Resultados de ensayo de compactación automática, muestra 12	90
Tabla 3.30. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 1	103
Tabla 3.31. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 2	104
Tabla 3.32. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 3	105
Tabla 3.33. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 4	106
Tabla 3.34. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 5	107
Tabla 3.35. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 6	108
Tabla 3.36. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 7	109
Tabla 3.37. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 8	110
Tabla 3.38. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 9	111
Tabla 3.39. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 10	112
Tabla 3.40. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 11	113
Tabla 3.41. Tratamiento estadístico por suelo – compactación manual 12	114
Tabla 3.42. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 1	115
Tabla 3.43. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 2	116
Tabla 3.44. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 3	117
Tabla 3.45. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 4	118
Tabla 3.46. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 5	119
Tabla 3.47. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 6	120
Tabla 3.48. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 7	121
Tabla 3.49. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 8	122
Tabla 3.50. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 9	123

Tabla 3.51. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 10.....	124
Tabla 3.52. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 11.....	125
Tabla 3.53. Tratamiento estadístico por suelo – compactación automática 12.....	126
Tabla 3.54. Tabla resumen de resultados después del tratamiento estadístico	127
Tabla 4.1. Tabla resumen de resultados finales	128
Tabla 4.2. Coeficientes de corrección según el tipo de compactación.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Diagrama cualitativo de Y_d vs w para diversas energías de compactación ..	25
Figura 2.2. Curva de compactación típica.....	31
Figura 2.3. Esquema de un suelo saturado y deducción de la fórmula	31
Figura 2.4. Formación de los suelos.....	34
Figura 2.5. Composición de los suelos	37
Figura 2.6. Distribución de la estructura del suelo.....	38
Figura 2.7. Problemas de los suelos expansivos	44
Figura 2.8. Curva de compactación.....	55
Figura 3.1. Ubicación del área de estudio en la provincia Cercado	58
Figura 3.2. Banco de material del suelo grueso	59
Figura 3.3. Banco de material del suelo fino	59
Figura 3.4. Extracción del material del banco.....	60
Figura 3.5. Extracción del material del banco.....	60
Figura 3.6. Extracción del material del banco.....	61
Figura 3.7. Extracción del material del banco.....	61
Figura 3.8. Juego de tamices y vibrador para el análisis por cribado	65
Figura 3.9. Hidrómetro.....	67
Figura 3.10. Límite líquido	69
Figura 3.11. Límite plástico	70
Figura 3.12. Equipo para la prueba de Próctor T-180.....	75
Figura 3.13. Ensayo de compactado manual.....	76
Figura 3.14. Compactador automático	83
Figura 3.15. Manejo del compactador automático.....	83
Figura 3.16. Montaje de muestra en el compactador automático	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 2.1. Métodos de mejoramiento de suelos.....	21
Gráfico 3.1. Ensayos a realizar	62
Gráfico 3.2. Curva granulométrica que presenta el material de banco	62
Gráfico 3.3. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 1.....	90
Gráfico 3.4. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 2.....	91
Gráfico 3.5. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 3.....	91
Gráfico 3.6. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 4.....	92
Gráfico 3.7. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 5.....	92
Gráfico 3.8. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 6.....	93
Gráfico 3.9. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 7.....	93
Gráfico 3.10. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 8.....	94
Gráfico 3.11. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 9.....	94
Gráfico 3.12. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 10.....	95
Gráfico 3.13. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 11.....	95
Gráfico 3.14. Tendencia de las densidades máximas – compactación manual 12.....	96
Gráfico 3.15. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 1	96
Gráfico 3.16. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 2.....	97
Gráfico 3.17. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 3.....	97
Gráfico 3.18. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 4.....	98
Gráfico 3.19. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 5.....	98
Gráfico 3.20. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 6.....	99
Gráfico 3.21. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 7.....	99
Gráfico 3.22. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 8.....	100
Gráfico 3.23. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 9.....	100
Gráfico 3.24. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 10...	101
Gráfico 3.25. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 11 ...	101
Gráfico 3.26. Tendencia de las densidades máximas – compactación automática 12...	102
Gráfico 4.1. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 1	129
Gráfico 4.2. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 2	129

Gráfico 4.3. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 3	130
Gráfico 4.4. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 4	130
Gráfico 4.5. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 5	131
Gráfico 4.6. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 6	131
Gráfico 4.7. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 7	132
Gráfico 4.8. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 8	132
Gráfico 4.9. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 9	133
Gráfico 4.10. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 10	133
Gráfico 4.11. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 11	134
Gráfico 4.12. Tabla comparativa de resultados por suelo, muestra 12	134