

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



“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE TIENEN LOS CICLOS DE SATURACIÓN AL GRADO DE CONSOLIDACIÓN UNIAXIAL”

Por:

ERICK JUNIOR BOLIVAR CORREA

Proyecto 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
TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE TIENEN LOS CICLOS DE
SATURACIÓN AL GRADO DE CONSOLIDACIÓN UNIAXIAL”**

Por:

ERICK JUNIOR BOLIVAR CORREA

Semestre II - 2022

TARIJA – BOLIVIA

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIA:

Dedico con toda mi alma y corazón mi tesis a mis padres y hermano, pues sin ellos no lo habría logrado. Su bendición de cada día me protege y fortalece a lo largo de mi vida y me lleva por el camino del bien. Por eso les entrego mi trabajo en ofrenda a su paciencia, cariño y amor.

AGRADECIMIENTO:

A Dios por darme la fuerza, voluntad y capacidad para culminar esta etapa académica. A la universidad por darme una casa de estudio para forjarme con sabiduría y conocimiento. Agradezco de todo corazón a mis docentes y compañeros por todo el apoyo incondicional que me dieron.

PENSAMIENTO:

Nunca debes perder: Tu forma de ser, tu esencia, la humildad de alma, la voz de tu corazón, el respeto a ti mismo y el valor por la vida.

Leo Pavoni

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes de la Investigación.....	1
1.2 Situación problemática	2
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Delimitación temporal	3
1.5 Delimitación espacial.....	3
1.6 Justificación de la investigación	3
1.7 Objetivos	4
1.7.1 Objetivo general.....	4
1.7.2 Objetivos específicos	4
1.8 Formulación de la hipótesis	4
1.9 Hipótesis y sus variables.....	4
1.10 Conceptualización y operacionalización de las variables.....	5
1.11 Identificación de la perspectiva	6
1.11.1 Listado de actividades, insumos y medios utilizados	6
1.12 Selección de programa a utilizar.....	7
1.13 Estadística descriptiva.....	7
1.14 Estadística inferencial para comprobar la hipótesis formulada	7
1.15 Limitaciones de la investigación.....	7
1.16 Viabilidad de la investigación.....	8
1.17 Relevancia y factibilidad del problema.....	8
1.18 Alcance de la investigación	8
1.19 Identificación del tipo del diseño de investigación.....	9
1.20 Unidades de estudio y decisión muestral	9
1.20.1 Población y muestra.....	9
1.20.2 Nivel de confianza	9
1.20.3 Población finita (muestreo estratificado).....	10

1.21	Selección de las técnicas de muestreo	10
1.22	Análisis de resultados	11

CAPÍTULO II

CONSOLIDACIÓN DE LAS ARCILLAS DE BAJA COMPRESIBILIDAD

		Página
2.1	Principales tipos de suelos	12
2.2	Identificación de suelos.....	12
2.2.1	Textura del suelo.....	13
2.2.2	Porosidad.....	13
2.2.3	Capacidad de saturación de agua	14
2.3	Teoría de las arcillas	14
2.3.1	Características de la arcilla	15
2.3.2	Clasificación de las arcillas.....	15
2.3.3	Origen de la arcilla.....	15
2.3.4	Propiedades físico – químicas de las arcillas	16
2.3.5	Superficie específica de las arcillas	17
2.3.6	Capacidad de absorción de las arcillas.....	18
2.3.7	Estructura laminar de las arcillas	20
2.3.8	Hidratación e hinchamiento	21
2.3.9	Plasticidad de las arcillas	22
2.3.10	Polaridad de las arcillas	22
2.3.11	Diferencias entre limos y arcillas.....	23
2.4	Compresibilidad de los suelos	25
2.4.1	Compresibilidad de estratos confinados	25
2.4.2	Importancia del estudio de la compresibilidad	27
2.5	Consolidación unidimensional de suelos	27
2.6	Deformaciones en el suelo.....	29
2.6.1	Deformación elástica	29
2.6.2	Deformación plástica	30

2.6.3	Deformación compresiva	30
2.7	Medida de la consolidación	32
2.8	Principio de esfuerzo efectivo.....	33
2.9	Arcillas normalmente consolidadas (NC) y sobreconsolidados (SC).....	36
2.10	Clases de consolidación	38
2.10.1	Consolidación inicial	38
2.10.2	Consolidación primaria.....	38
2.10.3	Consolidación secundaria	38
2.11	Analogía del resorte de Terzaghi	39
2.12	El proceso de consolidación.....	40
2.13	Teoría de consolidación unidimensional de Terzaghi	42
2.14	Grado de consolidación.....	47
2.14.1	Grado de consolidación medio del estrato	48
2.15	Procedimiento del ensayo de laboratorio.....	49
2.15.1	Curva de compresibilidad	54
2.15.2	Esfuerzo crítico o de preconsolidación (σ_c).....	56
2.15.3	Coefficiente de compresibilidad (a_v).....	57
2.15.4	Índice de compresión (C_c) y recompresión (C_e)	58
2.15.5	Módulo de compresibilidad volumétrico (m_v).....	59
2.16	Tiempo para un porcentaje de consolidación.....	59
2.16.1	Método de Taylor.....	60
2.16.2	Cálculo del coeficiente de consolidación (C_v)	62
2.17	Efecto de alteración de la muestra de arcilla	64
2.18	Relaciones tensión-deformación para la consolidación.....	64
2.19	Variación de relación de vacíos con esfuerzos	65
2.19.1	Relaciones de vacíos y porosidad	67
2.20	Consideraciones fundamentales sobre consolidación.....	67
2.21	Definición conceptos relevantes	68
2.21.1	Propiedades del suelo.....	68
2.21.2	Esfuerzo de consolidación	68
2.21.3	Deformaciones por consolidación.....	68

2.21.4	Tiempo de consolidación	69
2.22	Marco Normativo.....	69

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

	Página	
3.1	Ubicación del proyecto	70
3.1.1	Características de la zona de estudio	70
3.2	Zonas de muestreo	71
3.3	Justificación de las zonas de estudio.....	74
3.4	Toma de muestras del suelo.....	75
3.4.1	Extracción de muestras mediante calicatas.....	75
3.4.1.1	Muestras alteradas en calicatas	77
3.4.1.2	Muestras inalteradas en calicatas	79
3.5	Caracterización de suelos.....	80
3.5.1	Análisis granulométrico (ASTM D422 AASHTO T88).....	80
3.5.2	Determinación del límite líquido (ASTM D4318 AASHTO T89).....	83
3.5.3	Límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 AASHTO T90)	84
3.5.4	Clasificación S.U.C.S (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).....	87
3.6	Identificación de propiedades índice	89
3.6.1	Determinación del contenido de humedad (ASTM D2216).....	89
3.6.2	Contenido de materia orgánica (AASHTO T267).....	91
3.6.3	Calibración de frasco volumétrico (ASTM D854 AASHTO T100).....	93
3.6.4	Peso específico (ASTM D854 AASHTO T100)	95
3.6.5	Análisis granulométrico vía hidrómetro (ASTM D422).....	97
3.7	Consolidación unidimensional (ASTM D2435 AASHTO T216)	100
3.7.1	Justificación de las cargas de uso.....	104
3.8	Aplicación práctica del ensayo de consolidación	127
3.9	Matrices de comparación de resultados	130

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1	Resultados obtenidos 134
4.2	Análisis del coeficiente de consolidación (Cv) obtenido..... 134
4.3	Análisis de la relación de vacíos e en la prueba..... 136
4.4	Análisis de los esfuerzos críticos de preconsolidación 141
4.5	Análisis de los resultados del índice de compresibilidad (Cc) 144
4.6	Análisis del grado de consolidación (Uz) 145
4.7	Análisis de la curva de descarga por el método de Taylor 149
4.8	Análisis de consolidación método de Casa Grande 150
4.9	Análisis del grado de saturación de las muestras..... 154

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1	Conclusiones 156
5.2	Recomendaciones 159

Bibliografía

Anexos

Anexo I: Caracterización de suelos

Anexo II: Ensayos de consolidación

Zona Torrecillas

Zona San Blas

Zona La Torre

Anexo III: Método Casa Grande

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Variable independiente.....	5
Tabla 2. Variable dependiente.....	5
Tabla 3. Listado de actividades e insumos	6
Tabla 4. Nivel de confianza.....	9
Tabla 5. Confiabilidad.....	9
Tabla 6. Ensayos para muestreo	10
Tabla 7. Diferencias entre limos y arcillas	24
Tabla 8. Grados de consolidación en función del tiempo	49
Tabla 9. Coordenadas de las muestras de Torrecillas	71
Tabla 10. Coordenadas de las muestras de San Blas.....	72
Tabla 11. Coordenadas de las muestras de La Torre.....	73
Tabla 12. Resumen de resultados de la granulometría.....	82
Tabla 13. Resultados de los ensayos de límites de Atterberg	86
Tabla 14. Resultados de clasificación de los suelos por S.U.C.S.....	88
Tabla 15. Resultado de contenido de humedad de las muestras	90
Tabla 16. Resultados del ensayo de contenido de materia orgánica	92
Tabla 17. Resultados obtenidos de peso específico	96
Tabla 18. Resultado de porcentajes de limo y arcilla vía hidrómetro	99
Tabla 19. Resultados del índice de compresión C_c	126
Tabla 20. propiedades del terreno.	127
Tabla 21. Datos del estrato.	128
Tabla 22. Evolución de la presión de poro y esfuerzo efectivo.	129
Tabla 23. Incremento de esfuerzo.	129
Tabla 24. Evolución del asentamiento acumulado en superficie.	130
Tabla 25. Valores típicos del parámetro C_v	136
Tabla 26. Valores de C_c de las tres zonas de estudio.....	144
Tabla 27. Tabla de índice de compresibilidad (C_c).....	145
Tabla 28. Muestras representativas U_z	146
Tabla 29. Grado de saturación.....	154

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Partículas menores a 2μ	16
Figura 2. Capacidad de absorción de las arcillas	19
Figura 3. Orientación paralela de las arcillas.....	20
Figura 4. Estructura panaloide de las arcillas	20
Figura 5. Hinchamiento en arcillas	21
Figura 6. Polaridad de las Arcillas.....	23
Figura 7. Torre de Pisa Italia- Basílica Virgen de Guadalupe México.....	28
Figura 8. Deformaciones del suelo	29
Figura 9. Proceso de consolidación	30
Figura 10. Variación volumen vs carga y volumen vs tiempo	31
Figura 11. Esfuerzos en un punto del suelo.....	34
Figura 12. Fuerzas actuantes en la masa de suelo	35
Figura 13. Fuerzas normales y de corte, interpartícula.....	35
Figura 14. Proceso geológico de la sobreconsolidación	37
Figura 15. Analogía del resorte	39
Figura 16. Analogía del resorte	40
Figura 17. Condiciones de borde – Curva isócrona para $t = ti$	45
Figura 18. Ábaco del grado de consolidación $U_v=f(z_v, T_v)$	47
Figura 19. Grados de consolidación en función del tiempo	48
Figura 20. Consolidómetro del laboratorio de la U.A.J.M.S.	49
Figura 21. Consolidómetro de anillo flotante	51
Figura 22. Colocación de muestra	52
Figura 23. Curva de consolidación	52
Figura 24. Curva de compresibilidad en escala aritmética y semilogarítmica	53
Figura 25. Curva de compresibilidad en procesos consecutivos de carga.....	54
Figura 26. Curva de compresibilidad	55
Figura 27. Método gráfico de Casagrande para hallar σ_c	56
Figura 28. Gráfica de cálculo de a_v	57
Figura 29. Curvas relación de vacíos vs esfuerzo	58

Figura 30. Curva deformación vs raíz del tiempo	60
Figura 31. Paso 1 – método de Taylor.....	61
Figura 32. Paso 2 – método de Taylor.....	61
Figura 33. Paso 3 – método de Taylor.....	62
Figura 34. Altura de drenaje	63
Figura 35. Curva e vs $\log \sigma$ según el grado de alteración de las muestras	64
Figura 36. Comparación entre distintas pruebas de laboratorio	65
Figura 37. Muestra de suelo en un ensayo de consolidación.....	66
Figura 38. Departamento de Tarija-Geografía.....	70
Figura 39. Ubicación de las zonas de estudio.....	71
Figura 40. Ubicación barrio Torrecillas.....	72
Figura 41. Ubicación barrio San Blas.....	73
Figura 42. Ubicación barrio La Torre.....	74
Figura 43. Calicatas zona Torrecillas	76
Figura 44. Calicatas zona San Blas.....	76
Figura 45. Calicatas zona La Torre.....	77
Figura 46. Extracción de muestras zona Torrecillas.....	78
Figura 47. Extracción de muestras zona San Blas	78
Figura 48. Extracción de muestras zona La Torre	79
Figura 49. Extracción de muestras inalteradas	79
Figura 50. Análisis granulométrico	80
Figura 51. Curva granulométrica de la muestra M1-NT	81
Figura 52. Límite líquido.....	83
Figura 53. Límite plástico.....	84
Figura 54. Límite líquido de la muestra M1-NT	85
Figura 55. Carta de plasticidad de Casagrande (S.U.C.S.).....	87
Figura 56. Contenido de humedad.....	89
Figura 57. Contenido de materia orgánica.....	91
Figura 58. Calibración de frasco volumétrico	93
Figura 59. Curva de calibración para peso específico	94
Figura 60. Peso específico	95

Figura 61. Análisis granulométrico vía hidrómetro.....	97
Figura 62. Curva granulométrica vía hidrómetro	99
Figura 63. Proceso de carga de Taylor cada 20 min.....	101
Figura 64. Proceso de descarga de Taylor cada 20 min.	101
Figura 65. Muestras talladas para el ensayo de consolidación	102
Figura 66. Primer ciclo de consolidación de las muestras.....	102
Figura 67. Segundo ciclo de consolidación de las muestras.....	103
Figura 68. Tercer ciclo de consolidación de las muestras	103
Figura 69. Cuarto ciclo de consolidación de las muestras.....	104
Figura 70. Curva de compresibilidad	110
Figura 71. Terraplén	127
Figura 72. Subdivisión del estrato	128
Figura 73. Tiempo de asentamiento	130
Figura 74. Carga vs Cv interpretado por el método de Taylor	134
Figura 75. Relación de vacíos e de las muestras M(1,2,5)-NT	136
Figura 76. Relación de vacíos e de la muestra M4-NT	137
Figura 77. Relación de vacíos e de la muestra M3-NT	137
Figura 78. Relación de vacíos e de las muestras M(1,2)-SB.....	138
Figura 79. Relación de vacíos e de la muestra M4.....	139
Figura 80. Relación de vacíos e de la muestra M2-LT.....	140
Figura 81. Relación de vacíos e de muestras M(3,4)-LT	140
Figura 82. Esfuerzo crítico o de preconsolidación σ'_c	141
Figura 83. Grado de consolidación (U_z) representativas	147
Figura 84. Curva de descarga método de Taylor.....	149
Figura 85. Curva de consolidación por Casagrande	151
Figura 86. Curva de descarga método de Casa Grande.....	152