

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE

TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL GRADO DE
COMPACTACIÓN EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN
ARCILLAS DE MEDIA A BAJA COMPRESIBILIDAD”**

Por:

GILDA TATIANA RODAS BERAMENDEZ

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 – 2023

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE

TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL GRADO DE
COMPACTACIÓN EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN
ARCILLAS DE MEDIA A BAJA COMPRESIBILIDAD”**

Por:

GILDA TATIANA RODAS BERAMENDEZ

Semestre II – 2023

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA:

Es mi deseo como sencillo gesto de agradecimiento, dedicarle mi proyecto de grado a mi querido padre Freddy Rodas y Hermanita Rosalyn Rodas por su amor, permanente cariño y comprensión, que con su espíritu alentador contribuyeron incondicionalmente a lograr mis metas.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Situación problemática.....	1
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 de la investigación.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
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
1.6.3. Conceptualización de las variables y operacionalización de variables.....	5
1.7. Identificación del tipo de Investigación	6
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral	6
1.8.1. Unidad de estudio	6
1.8.2. Población.....	6
1.8.3. Muestra.....	6
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo	8
1.9. Métodos y técnicas empleadas.....	8

1.9.1. Métodos.....	9
1.9.2. Técnicas	9
1.10. Procesamiento de la información	10
1.11. Alcance de la investigación.....	10

CAPÍTULO II

LA COMPACTACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

	Página
2.1. Suelos finos	11
2.2. Características de suelos arcillosos	12
2.3. Compresibilidad.....	12
2.4. Importancia del estudio de la compresibilidad	13
2.5. Límites de Atterberg	13
2.6. Compactación del suelo	18
2.7. Prueba Proctor modificada	19
2.8. Contenido de agua.....	20
2.9. Energía de compactación.....	21
2.10. Densidad In Situ – método del cono de arena.....	22
2.11. Grado de compactación.....	22
2.11.1. Control del grado de compactación en obra	23
2.11.2. Eficacia de la compactación en obra	25
2.12. Esfuerzo – deformación	25
2.13. Módulo de elasticidad o módulo de Young	26
2.13.1. Factores que influyen el módulo del suelo	28
2.14. Carga unidimensional de suelos	28
2.15. Deformaciones en el suelo	29
2.16. Respecto a su recuperación en descarga	29

2.16.1. Deformación elástica	29
2.16.2. Deformación plástica.....	29
2.17. Respecto a su evolución en el tiempo.....	29
2.17.1. Deformaciones instantáneas en el tiempo.....	29
2.17.2. Deformaciones diferidas en el tiempo	30
2.18. Prueba de compresión no confinada	30
2.18.1. Equipo de compresión	33
2.18.2. Tipos de rotura	34
2.19. Capa subrasante	36
2.19.1. Requisitos de calidad	36
2.19.2. Condiciones básicas a cumplir por las subrasantes	36
2.20. Estadística descriptiva.....	38

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

	Página
3.1. Ubicación de procedencia de materiales para la investigación	41
3.2. Extracción de muestras:	43
3.3. Caracterización de suelos	44
3.3.1. Ensayo contenido de humedad (ASTM D2216)	44
3.3.2. Ensayo granulometría (ASTM D422; AASHTO T88).....	46
3.3.3. Ensayo de límites de Atterberg.....	48
3.3.4. Clasificación de suelos (Sistema AASHTO)	53
3.3.5. Ensayo de compactación.....	54
3.3.6. Densidad In Situ Método del cono de arena (ASTM D1516; AASHTO T191.58	
3.3.7. Compresión no confinada	61

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN SEGÚN EL GRADO DE
COMPACTACIÓN

	Página
4.1. Análisis del módulo de elasticidad según el grado de compactación	69
4.1.1. Resumen de los datos obtenidos del módulo de elasticidad con 50% de GC ...	70
4.1.2. Resumen de los datos obtenidos del módulo de elasticidad con 60% de GC ...	71
4.1.3. Resumen de los datos obtenidos del módulo de elasticidad con 70% de GC ...	72
4.1.4. Resumen de los datos obtenidos del módulo de elasticidad con 80% de GC ...	73
4.1.5. Resumen de los datos obtenidos del módulo de elasticidad con 90% de GC ...	74
4.1.6. Resumen de los datos obtenidos del módulo de elasticidad con 100% de GC ...	75
4.2. Variación de densidad, humedad y módulo de elasticidad	76
4.2.1. Variación al 50% de grado de compactación	76
4.2.2. Variación al 60% de grado de compactación	76
4.2.3. Variación al 70% de grado de compactación	77
4.2.4. Variación al 80% de grado de compactación	78
4.2.5. Variación al 90% de grado de compactación	78
4.2.6. Variación al 100% de grado de compactación	79
4.3. Carga última y módulo de elasticidad	79
4.4. Densidad seca y módulo de elasticidad	80
4.5. Módulo de elasticidad y el porcentaje de humedad	81
4.5.1. Relación del módulo de elasticidad con el contenido de humedad	82
4.6. Análisis de resultados	84
4.6.1. Relación del grado de compactación y el módulo de elasticidad	85
4.7. Relación de variables	86

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Página

5.1. Conclusiones.....	89
5.2. Recomendaciones	90

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1: Caracterización de suelos

ANEXO 2: Ensayo de compresión no confinada

ANEXO 3: Módulo de elasticidad

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Variable independiente.....	5
Tabla 1.2 Variable dependiente.....	5
Tabla 2.1 Clasificación AASHTO.....	17
Tabla 2.2 Especificaciones de la prueba Proctor Modificada (Norma ASTM).....	20
Tabla 2.3 Clasificación de arcillas según su consistencia.....	36
Tabla 2.4 Categorías de suelos para capa subrasante.....	38
Tabla 3.1 Coordenadas del tramo segunda Circunvalación.....	42
Tabla 3.2 Contenido de humedad del tramo.....	45
Tabla 3.3 Granulometría del tramo.....	47
Tabla 3.4 Límite líquido del tramo.....	50
Tabla 3.5 Límite plástico del tramo.....	53
Tabla 3.6 Clasificación de todo el tramo.....	53
Tabla 3.7 Humedad óptima y densidad seca máxima del punto N°1.....	56
Tabla 3.8 Densidad máxima y humedad óptima del tramo.....	57
Tabla 3.9 Valores obtenidos de densidad In Situ.....	61
Tabla 3.10 Obtención de la carga última y gráfica esfuerzo - deformación.....	62
Tabla 3.11 Datos obtenidos de la curva esfuerzo vs deformación.....	65
Tabla 3.12 Resumen datos obtenidos.....	66
Tabla 4.1 Estado natural del suelo.....	68
Tabla 4.2 Valores de la carga última y módulo de elasticidad al 50%.....	70
Tabla 4.3 Valores de la carga última y módulo de elasticidad al 60%.....	71
Tabla 4.4 Valores de la carga última y módulo de elasticidad al 70%.....	72
Tabla 4.5 Valores de la carga última y módulo de elasticidad al 80%.....	73
Tabla 4.6 Valores de la carga última y módulo de elasticidad al 90%.....	74

Tabla 4.7 Valores de la carga última y módulo de elasticidad al 100%	75
Tabla 4.8 Valores máximos y mínimos de módulo de elasticidad	85
Tabla 4.9 Valores promedios de E.....	85
Tabla 4.10 Modelos matemáticos relacionados.....	87
Tabla 4.11 Relación de variables según el coeficiente de correlación	88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Suelo fino.....	11
Figura 2.2 Estados del suelo.....	13
Figura 2.3 Principios de compactación.....	19
Figura 2.4 Comparación de los martillos para la prueba estándar y modificada	19
Figura 2.5 Curva de compactación típica.....	23
Figura 2.6 Distribución de la curva de tensión – deformación idealizada.....	27
Figura 2.7 Deformaciones del suelo	29
Figura 2.8 Prueba de compresión no confinada	30
Figura 2.9 Equipo de prueba de compresión no confinada	34
Figura 2.10 Tipos de rotura	35
Figura 3.1 Puntos de extracción de muestras del tramo.....	41
Figura 3.2 Limpieza del área de extracción de muestra.....	43
Figura 3.3 Extracción de muestra	43
Figura 3.4 Materiales para el ensayo de contenido de humedad	44
Figura 3.5 Práctica de contenido de humedad.....	45
Figura 3.6 Materiales para el ensayo de granulometría	46
Figura 3.7 Práctica de granulometría	47
Figura 3.8 Curva granulométrica del punto N°1	48
Figura 3.9 Materiales para el ensayo de límite líquido	49
Figura 3.10 Práctica de límite líquido.....	50
Figura 3.11 Curva de fluidez del punto N°1.....	51
Figura 3.12 Materiales para el ensayo de límite plástico	52
Figura 3.13 Práctica de límite plástico.....	52
Figura 3.14 Materiales para el ensayo de compactación	55

Figura 3.15 Práctica de compactación	56
Figura 3.16 Curva de compactación del punto N°1	57
Figura 3.17 Materiales para el ensayo de densidad In Situ.....	58
Figura 3.18 Práctica de calibración del frasco.....	58
Figura 3.19 Práctica de la calibración de arena.....	59
Figura 3.20 Práctica en campo del cono de arena	60
Figura 3.21 Práctica de compresión no confinada.....	62
Figura 3.22 Curva esfuerzo - deformación.....	63
Figura 3.23 Obtención del módulo de elasticidad	64
Figura 4.1 Variación del GC al 50%.....	70
Figura 4.2 Variación del GC al 60%	71
Figura 4.3 Variación del GC al 70%.....	72
Figura 4.4 Variación del GC al 80%	73
Figura 4.5 Variación del GC al 90%.....	74
Figura 4.6 Variación del GC al 100%	75
Figura 4.7 Datos de densidad, humedad y módulo al 50% GC.....	76
Figura 4.8 Datos de densidad, humedad y módulo al 60% GC.....	77
Figura 4.9 Datos de densidad, humedad y módulo al 70% GC.....	77
Figura 4.10 Datos de densidad, humedad y módulo al 80% GC.....	78
Figura 4.11 Datos de densidad, humedad y módulo al 90% GC.....	78
Figura 4.12 Datos de densidad, humedad y módulo al 100% GC.....	79
Figura 4.13 Módulo de elasticidad y carga última	80
Figura 4.14 Relación de densidad seca y módulo	81
Figura 4.15 Curvas de módulo vs % de humedad	82
Figura 4.16 Relación % humedad vs módulo de elasticidad.....	83
Figura 4.17 Relación % humedad óptima vs módulo	83

Figura 4.18 Módulo de elasticidad vs grado de compactación	84
Figura 4.19 Módulo de elasticidad promedio vs GC	86
Figura 4.20 Modelo ajustado del módulo y el GC.....	88