

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



**“ANÁLISIS DEL EFECTO QUE TIENE EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN  
EL COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN”**

**POR:**

**MORALES LEMA HUGO ALFREDO**

SEMESTRE I - 2019

**TARIJA – BOLIVIA**

### **DEDICATORIA:**

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por darme la fortaleza para poder cumplir esta meta.

A mi madre; Zulma Elizabet Lema Fernandez por el amor, apoyo y el sacrificio realizado durante estos años

A mis hermanos; Nelida y Adolfo, que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente, que junto a mi madre son una bendición en mi vida.

A mi novia; Ilse Sanchez por el apoyo incondicional que me brinda en cada meta que me propongo.

A mi hijo; Thiaguito que es el pilar fundamental de mi vida el que me da fuerza y esperanza para seguir adelante, te amo bebe.

A la familia; Sanchez Cazon por la confianza y ayuda brindada durante este tiempo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ADVERTENCIA

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

PENSAMIENTO

RESUMEN

### CAPÍTULO I

#### METODOLOGÍA

	Página
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN Y SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....	2
1.3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3.1. Problema de investigación .....	2
1.3.2. Breve descripción sobre: Delimitación de tiempo, factibilidad y espacio. ....	2
1.4. OBJETIVOS .....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos específicos .....	3
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	3
1.5.1. Hipótesis.....	3
1.5.2. Identificación de variables .....	3
1.5.2.1. Variable dependiente.....	3
1.5.2.2. Variable independiente.....	3
1.5.3. Conceptualización y operacionalización de las variables .....	5
1.5.3.1. Variables dependientes.....	5
1.5.3.2. Variables independientes .....	5
1.6. DISEÑO METODOLÓGICO .....	5
1.6.1. Unidades de estudio .....	5
1.6.2. Población y muestra .....	5
1.7. ALCANCE.....	7
1.8. ESQUEMA LÓGICO ESTRUCTURAL.....	8

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN

	Página
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. LA MECÁNICA DE SUELOS.....	9
2.1.1. Formación del suelo .....	9
2.1.1.1. Desintegración mecánica .....	9
2.1.1.2. Descomposición química .....	10
2.1.2. Tipos de suelos.....	10
2.1.2.1. Suelos residuales .....	11
2.1.2.2. Suelos transportados.....	11
2.2. ARCILLA .....	12
2.2.1. Clasificación de las arcillas.....	12
2.2.1.1. Grupos de minerales arcillosos .....	13
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS .....	13
2.3.1. Formas de sus partículas .....	14
2.3.2. Contenido de humedad.....	14
2.3.2.1. Composición del suelo .....	15
2.3.3. Gravedad específica .....	15
2.3.4. Análisis mecánico de suelo .....	16
2.3.4.1. Análisis de tamiz .....	16
2.3.4.2. Análisis de hidrómetro .....	17
2.3.4. Límites de Atterberg .....	19
2.3.4.1. Limite líquido.....	19
2.3.4.2. Limite plástico.....	20
2.3.4.3. Carta de plasticidad .....	21
2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS .....	22
2.4.1. Sistema de clasificación AASHTO .....	23
2.4.2. Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS .....	26
2.5. DENSIDAD IN SITU .....	29
2.5.1. Método del cono de arena .....	29
2.6. COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS.....	31

2.6.1. Principios generales .....	31
2.6.2. Prueba de proctor estándar .....	32
2.7. CONSOLIDACIÓN DE LOS SUELOS .....	33
2.7.1. Principios de la consolidación.....	33
2.7.2. Prueba de consolidación de laboratorio unidimensional.....	35
2.7.3. Arcillas normalmente consolidadas y sobre consolidadas.....	37
2.7.4. Coeficiente de consolidación .....	39
2.7.4.1. Método de la raíz cuadrada del tiempo .....	39
2.7.4.1. Método del logaritmo del tiempo.....	40
2.8. MARCO NORMATIVO.....	41
2.8.1 Introducción: .....	41
2.8.2 Objetivos del ensayo: .....	41
2.8.3 Equipo necesario:.....	41
2.8.4 Procedimiento del ensayo: .....	42
2.9. MARCO REFERENCIAL.....	43

### CAPÍTULO III

#### DESARROLLO EXPERIMENTAL

	Página
3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	44
3.1.1. Introducción .....	44
3.2. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE MUESTREO .....	47
3.3. PROPIEDADES DEL SUELO EN ESTUDIO.....	49
3.3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD.....	49
3.3.2. DENSIDAD IN SITU .....	50
3.3.3. PRUEBAS DE COMPACTACIÓN .....	52
3.3.3.1. Número de golpes .....	52
3.3.3.2. Curva de compactación.....	53
3.3.4. PRUEBAS DE CONSOLIDACIÓN.....	54
3.3.5. CALCULO DEL COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN .....	56
3.3.6. CALCULO DEL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD .....	59

## CAPÍTULO IV

	Página
ANÁLISIS EL EFECTO QUE TIENE EL CONTENIDO DE HUMEDAD	
4.1. INTRODUCCIÓN .....	61
4.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE .....	61
4.3. DATOS OBTENIDOS DE LA CONSOLIDACIÓN .....	62
4.3.1. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN MUESTRA 1 .....	62
4.3.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN MUESTRA 2 .....	63
4.4 PLANILLA DE RESULTADOS .....	64
4.5 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS .....	65
4.5.1. Correlación entre el contenido de humedad y el coeficiente de consolidación .....	65
4.5.2. Representación del análisis estadístico (muestra 1) .....	65
4.5.4. Representación del análisis estadístico (muestra 2) .....	70
4.5.6. Correlación entre el contenido de humedad y el coeficiente de consolidación .....	75
4.5.7. Representación del análisis estadístico (muestra 1) .....	75
4.5.8. Correlación entre el contenido de humedad y el coeficiente de consolidación .....	80
4.5.9. Representación del análisis estadístico (muestra 2) .....	80
4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	86

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. CONCLUSIONES .....	88
5.2. RECOMENDACIONES .....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90
BIBLIOGRAFÍA WEB.....	90

Anexos

Anexos N° 1 caracterización

Anexos N° 2 proceso experimental método Taylor

Anexos N° 3 proceso experimental método casa grande

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Composición del Suelo .....	15
Figura 2 Definición de L en una prueba de hidrómetro .....	18
Figura 3 Determinación del peso unitario de campo .....	30
Figura 4 Principios de compactación .....	31
Figura 5 Modelo cilindro-resorte .....	35
Figura 6 Consolidómetro.....	36

## ÍNDICE DE IMÁGENES

	Página
Imagen 1 Copa de Casagrande, dispositivo de límite líquido. ....	20
Imagen 2 Límite plástico.....	21
Imagen 3 Jarra de plástico y cono de metal .....	30
Imagen 4 Equipo para la prueba proctor estándar.....	32
Imagen 5 Prueba de consolidación en marcha .....	36
Imagen 6 Extracción de muestra .....	45
Imagen 7 Zona 1: Barrio Quebracho.....	47
Imagen 8 Zona 2: Barrio Quebracho.....	48
Imagen 9 Contenidos de humedad .....	49
Imagen 10 Calibración del equipo para densidad in situ .....	51
Imagen 11 Densidad In Situ .....	52
Imagen 12 Compactación T-99.....	53
Imagen 13 Generación de muestras a distintas humedades para la consolidación .....	54
Imagen 14 Consolidaciones en proceso .....	55

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 1 Análisis de hidrómetro, curva de distribución de tamaño de partícula .....	17
Gráfica 2 Curva de distribución de tamaño de partícula.....	19
Gráfica 3 Curva de flujo para la determinación del límite líquido .....	20
Gráfica 4 Carta de plasticidad .....	22
Gráfica 5 Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos .....	25
Gráfica 6 Carta de plasticidad SUCS .....	29

Gráfica 7 Tiempo durante una consolidación para un incremento de carga .....	37
Gráfica 8 Típica de (e) en función de (log $\sigma'$ ) .....	37
Gráfica 9 Log $\sigma'$ mostrando carga, sobrecarga y ramas de recarga .....	38
Gráfica 10 Método de la raíz cuadrada del tiempo .....	40
Gráfica 11 Deformación vs raíz cuadra del tiempo .....	56
Gráfica 12 Esfuerzo vs índice de vacíos .....	60
Gráfica 13 Curva de distribución normal.....	68
Gráfica 14 Coeficiente de consolidación vs contenido de humedad.....	69
Gráfica 15 Curva de distribución normal.....	73
Gráfica 16 Coeficiente de consolidación vs contenido de humedad.....	74
Gráfica 17 Curva de distribución normal.....	78
Gráfica 18 Coeficiente de consolidación vs contenido de humedad.....	79
Gráfica 19 Curva de distribución normal.....	83
Gráfica 20 Coeficiente de consolidación vs contenido de humedad.....	84
Gráfica 21 Coeficiente de consolidación vs índice de compresión.....	85
Gráfica 22 porcentaje de arcilla vs coeficiente de consolidación .....	86
Gráfica 23 Método de la raíz cuadrada del tiempo .....	87

### ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Variable dependiente.....	4
Tabla 2 Variable independiente .....	4
Tabla 3 Número de muestras.....	6
Tabla 4 Esquema lógico estructural .....	8
Tabla 5 Gravedad específica de los minerales más importantes .....	15
Tabla 6 Tamaños estándar de tamices.....	17
Tabla 7 El sistema de clasificación AASHTO .....	24
Tabla 8 El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS .....	27
Tabla 9 Contenidos de humedad.....	49
Tabla 10 Densidad in situ.....	51
Tabla 11 Número de golpes .....	52
Tabla 12 Resultados de la curva de compactación.....	53
Tabla 13 Obtención de datos.....	56



Tabla 14 Resultados de coeficientes de consolidación .....	58
Tabla 15 Resultados de la prueba de consolidación.....	62
Tabla 16 Resultados de la prueba de consolidación.....	63
Tabla 17 Planilla de resultados de coeficientes de consolidación.....	64
Tabla 18 Datos para el $\chi^2$ .....	66
Tabla 19 Calculo de la Media y Desviación Estándar .....	67
Tabla 20 Método de Ajuste por $\chi^2$ .....	71
Tabla 21 Calculo de la Media y Desviación Estándar .....	72
Tabla 22 Método de Ajuste por $\chi^2$ .....	76
Tabla 23 Calculo de la Media y Desviación Estándar .....	77
Tabla 24 Planilla de resultados de coeficientes de consolidación (muestra 2) .....	80
Tabla 25 resultados estadísticos (muestra 2).....	80
Tabla 26 Método de Ajuste por $\chi^2$ .....	81
Tabla 27 Calculo de la Media y Desviación Estándar .....	82
Tabla 28 De resultados de relación de vacíos e índice de compresión .....	85
Tabla 29 Influencia del porcentaje de arcilla en el coeficiente de consolidación .....	86