

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



**“COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS DE COMPACTACIÓN
MECÁNICA DE GOLPE (T-180) CON LA VIBRACIÓN BAJO
CARGA CONSTANTE EN LOS SUELOS NO COHESIVOS.”**

Por:

JUAN SANTIAGO ESTRADA HEREDIA

Proyecto presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil

Semestre I - 2023

TARIJA – BOLIVIA

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

**“COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS DE COMPACTACIÓN
MECÁNICA DE GOLPE (T-180) CON LA VIBRACIÓN BAJO
CARGA CONSTANTE EN LOS SUELOS NO COHESIVOS.”**

Por:

JUAN SANTIAGO ESTRADA HEREDIA

Semestre I - 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A mis padres, a mis hermanas y el resto de mi familia por su apoyo incondicional en todo momento; a mis compañeros y amigos de la carrera de ingeniería civil con los que recorrimos un trayecto largo con buenos y malos momentos también por su apoyo y sus palabras de aliento en todo momento; y finalmente a todos mis docentes que me colaboraron con su sabiduría y enseñanzas en todo el trayecto.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

| | Página |
|---|--------|
| 1.1. ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA | 2 |
| 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 | 4 |
| 1.4.1. Objetivo general | 4 |
| 1.4.2. Objetivos específicos | 4 |
| 1.5. HIPÓTESIS..... | 4 |
| 1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 5 |
| 1.6.1. Variable independiente | 5 |
| 1.6.2. Variable dependiente..... | 6 |
| 1.7. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN | 6 |
| 1.8. ALCANCE..... | 6 |

CAPÍTULO II

LOS MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

| | Página |
|--|--------|
| 2.1. COMPACTACIÓN DE SUELOS | 8 |
| 2.2. COMPACTACIÓN DE SUELOS NO COHESIVOS | 8 |

| | |
|---|----|
| 2.3. PROPÓSITO DE LA COMPACTACIÓN DE SUELOS | 8 |
| 2.4. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN | 9 |
| 2.4.1. Compactación en campo | 9 |
| 2.4.2. Compactación en laboratorio | 12 |
| 2.4.2.1. Ensayos de laboratorio | 13 |
| 2.4.2.1.1. Ensayo proctor estándar | 13 |
| 2.4.2.1.2. Ensayo proctor modificado | 15 |
| 2.4.2.1.3. Ensayo de la mesa vibratoria..... | 17 |
| 2.5. NORMA DEL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR | 18 |
| 2.6. NORMA DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO | 19 |
| 2.7. NORMA DEL ENSAYO DE LA MESA VIBRATORIA | 19 |
| 2.8. POSICIÓN DEL INVESTIGADOR | 19 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | Página |
|---|--------|
| 3.1. DISEÑO METODOLÓGICO | 21 |
| 3.1.1. Unidad de estudio o muestra..... | 21 |
| 3.1.2. Población..... | 21 |
| 3.1.3. Muestra..... | 23 |
| 3.1.4. Selección de las técnicas de muestreo..... | 25 |
| 3.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS | 25 |
| 3.2.1. Métodos..... | 25 |
| 3.2.2. Técnicas..... | 25 |
| 3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN | 25 |
| 3.4. UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIAL | 26 |

| | |
|---|----|
| 3.4.1. Banco de material 1..... | 26 |
| 3.4.2. Banco de material 2..... | 27 |
| 3.4.3. Banco de material 3..... | 28 |
| 3.5. CARACTERIZACIÓN | 30 |
| 3.5.1. Extracción de muestras | 30 |
| 3.5.2. Granulometrías | 33 |
| 3.5.3. Clasificación de suelos método AASHTO..... | 38 |
| 3.6. COMPACTACIÓN PROCTOR T-180 | 40 |
| 3.7. COMPACTACIÓN BAJO CARGA CONSTANTE..... | 43 |
| 3.7.1. Materiales..... | 43 |
| 3.7.2. Calibración de molde | 45 |
| 3.7.3. Tamaño de la muestra | 46 |
| 3.7.4. Procedimiento para densidad máxima | 47 |
| 3.7.4.1. Método seco | 47 |
| 3.7.4.2. Método húmedo | 52 |

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

| | Página |
|---|--------|
| 4.1. DENSIDADES MÁXIMAS PARA ANÁLISIS DESCRIPTIVO | 56 |
| 4.2. CURVAS DE FRECUENCIA | 57 |
| 4.2.1. Curva de frecuencia Dmax (t-180)..... | 57 |
| 4.2.2. Curva de frecuencia Dmax (Mesa Mto. Seco)..... | 59 |
| 4.2.3. Curva de frecuencia Dmax (Mesa Mto. Húmedo)..... | 61 |
| 4.3. HISTOGRAMAS..... | 63 |
| 4.3.1. Histograma de frecuencia Dmax (t-180)..... | 63 |

| | |
|---|----|
| 4.3.2. Histograma de frecuencia Dmax (Mesa Mto. Seco)..... | 64 |
| 4.3.3. Histograma de frecuencia Dmax (Mesa Mto. Húmedo)..... | 65 |
| 4.4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y MEDIDAS DE DISPERSIÓN | 66 |
| 4.5. ESTADÍSTICA INFERENCIAL..... | 69 |
| 4.6. PRUEBA DE HIPÓTESIS..... | 72 |
| 4.6.1. Prueba de hipótesis Dmax (T-180) versus Dmax (Mesa Mto. Seco)..... | 72 |
| 4.6.2. Prueba de hipótesis Dmax (T-180) versus Dmax (Mesa Mto. Húmedo)..... | 75 |
| 4.7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | 80 |
| 4.7.1. Ensayo Proctor T-180 | 80 |
| 4.7.2. Ensayo de la mesa vibratoria método seco | 82 |
| 4.7.3. Ensayo de la mesa vibratoria método húmedo..... | 83 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|----------------------------|--------|
| | Página |
| 5.1. CONCLUSIONES | 86 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 87 |

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 1 FOTOGRAFÍAS DE LOS ENSAYOS

ANEXO 2 PLANILLAS DE LOS ENSAYOS

ANEXO 3 NORMATIVA ASTM DEL ENSAYO DE LA MESA VIBRATORIA

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura N° 1 Comparación de compactaciones en laboratorio y campo | 10 |
| Figura N° 2 Compactador con rodillo estático..... | 10 |
| Figura N° 3 Compactación con apisonador | 11 |
| Figura N° 4 Compactadora de rodillo vibratorio | 11 |
| Figura N° 5 Compactadora pata de cabra | 12 |
| Figura N° 6 Curva de compactación típica | 13 |
| Figura N° 7 Equipo para Proctor estándar | 14 |
| Figura N° 8 Equipo para proctor modificado..... | 15 |
| Figura N° 9 Martillo para proctor modificado y proctor estándar | 16 |
| Figura N° 10 Equipo para el ensayo de la mesa vibratoria..... | 18 |
| Figura N° 11 Plano de ubicación del banco 1 | 27 |
| Figura N° 12 Plano de ubicación del banco 2 | 28 |
| Figura N° 13 Plano de ubicación del banco 3 | 29 |
| Figura N° 14 Imagen del río Guadalquivir | 30 |
| Figura N° 15 Extracción de muestras del banco 1 | 30 |
| Figura N° 16 Imagen del río Tolomosa | 31 |
| Figura N° 17 Extracción de muestras del banco 2 | 31 |
| Figura N° 18 Imagen del río Camacho | 32 |
| Figura N° 19 Extracción de muestras del banco 3 | 32 |
| Figura N° 20 Imagen del ensayo de granulometría..... | 33 |
| Figura N° 21 Imagen del ensayo de granulometría..... | 33 |
| Figura N° 22 Imagen de tamices utilizados | 34 |
| Figura N° 23 Imagen de muestra y balanza | 34 |
| Figura N° 24 imagen de ensayo compactación t-180 | 40 |
| Figura N° 25 imagen de ensayo compactación t-180 | 40 |
| Figura N° 26 imagen de ensayo compactación t-180 | 41 |
| Figura N° 27 Imagen de la mesa vibratoria | 43 |
| Figura N° 28 Imagen de los moldes metálicos | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura N° 29 Imagen de materiales de laboratorio | 45 |
| Figura N° 30 Imagen de la calibración del molde | 45 |
| Figura N° 31 Imagen de molde y cuchara..... | 47 |
| Figura N° 32 Imagen de lectura inicial | 48 |
| Figura N° 33 Imagen del equipo armado | 49 |
| Figura N° 34 Imagen de lectura final..... | 50 |
| Figura N° 35 Imagen del molde en la balanza | 50 |
| Figura N° 36 Imagen de suelo húmedo enrasado | 52 |
| Figura N° 37 Imagen de suelo húmedo después de la vibración | 53 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|--|--------|
| Tabla N° 1 Conceptualización de variable independiente | 5 |
| Tabla N° 2 Conceptualización de variable dependiente | 6 |
| Tabla N° 3 Especificaciones de la prueba T-180 | 17 |
| Tabla N° 4 Población del proyecto | 21 |
| Tabla N° 5 Muestra del proyecto | 23 |
| Tabla N° 6 Resumen de coordenadas de los bancos de material | 26 |
| Tabla N° 7 Resumen banco 1 | 35 |
| Tabla N° 8 Resumen banco 2..... | 36 |
| Tabla N° 9 Resumen banco 3..... | 37 |
| Tabla N° 10 Resumen de datos banco 1 | 38 |
| Tabla N° 11 Resumen de datos banco 2 | 38 |
| Tabla N° 12 Resumen de datos banco 3 | 39 |
| Tabla N° 13 Resumen de caracterización de suelos | 39 |
| Tabla N° 14 Resumen de compactación (t-180) banco 1..... | 41 |
| Tabla N° 15 Resumen de compactación (t-180) banco 2..... | 42 |
| Tabla N° 16 Resumen de compactación (t-180) banco 3..... | 42 |
| Tabla N° 17 Densidad de agua en función de la temperatura | 46 |
| Tabla N° 18 Densidad de agua en función de la temperatura | 46 |
| Tabla N° 19 Resumen de compactación método seco banco 1 | 51 |
| Tabla N° 20 Resumen de compactación método seco banco 2..... | 51 |
| Tabla N° 21 Resumen de compactación método seco banco 3..... | 52 |
| Tabla N° 22 Resumen de compactación método húmedo banco 1 | 53 |
| Tabla N° 23 Resumen de compactación método húmedo banco 2..... | 54 |
| Tabla N° 24 Resumen de compactación método húmedo banco 3..... | 54 |
| Tabla N° 25 Resumen de ensayos realizados..... | 55 |
| Tabla N° 26 Densidades máximas de 3 bancos y sus variaciones | 56 |
| Tabla N° 27 Tabla de frecuencia método t-180 | 57 |
| Tabla N° 28 Tabla de frecuencia mesa método seco | 59 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabla N° 29 | Tabla de frecuencia mesa método húmedo | 61 |
| Tabla N° 30 | Tabla de medidas centrales y de dispersión | 68 |
| Tabla N° 31 | Tabla de errores e intervalos de confianza | 71 |
| Tabla N° 32 | Tabla de interv. de conf. para la media banco 1 | 72 |
| Tabla N° 33 | Tabla de interv. de conf. para la media banco 2 | 74 |
| Tabla N° 34 | Tabla de interv. de conf. para la media banco 3 | 75 |
| Tabla N° 35 | Tabla de interv. de conf. para la media banco 1 | 76 |
| Tabla N° 36 | Tabla de interv. de conf. para la media banco 2 | 77 |
| Tabla N° 37 | Tabla de interv. de conf. para la media banco 3 | 78 |
| Tabla N° 38 | Tabla resumen de prueba de hipótesis | 79 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | Página |
|--|--------|
| Gráfico N° 1 Resumen banco 1..... | 35 |
| Gráfico N° 2 Resumen banco 2..... | 36 |
| Gráfico N° 3 Resumen banco 3..... | 37 |
| Gráfico N° 4 Curva de frecuencia t-180 distr. normal..... | 58 |
| Gráfico N° 5 Polígono de frecuencia relat. t-180..... | 58 |
| Gráfico N° 6 Polígono de frecuencia acum. t-180..... | 59 |
| Gráfico N° 7 Curva de frecuencia método seco distr. normal | 60 |
| Gráfico N° 8 Polígono de frecuencia relat. mesa mto. seco | 60 |
| Gráfico N° 9 Polígono de frecuencia acum. mesa Mto. seco..... | 61 |
| Gráfico N° 10 Curva de frecuencia Mto. húmedo distri. normal..... | 62 |
| Gráfico N° 11 Polígono de frecuencia relat. mesa Mto. húmedo | 62 |
| Gráfico N° 12 Polígono de frecuencia acum. mesa Mto. húmedo..... | 63 |
| Gráfico N° 13 Histograma de frecuencia relat. t-180 | 63 |
| Gráfico N° 14 Histograma de frecuencia acum. t-180..... | 64 |
| Gráfico N° 15 Histograma de frecuencia relat. mesa Mto. seco | 64 |
| Gráfico N° 16 Histograma de frecuencia acum. mesa Mto. Seco..... | 65 |
| Gráfico N° 17 Histograma de frecuencia relat. mesa Mto. húmedo | 65 |
| Gráfico N° 18 Histograma de frecuencia acum. mesa Mto. húmedo | 66 |
| Gráfico N° 19 Ejemplo de campana de Gauss | 70 |