

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



**“ESTABILIZACION DE SUELOS FINOS EXPANSIVOS
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE GRADIENTES TERMICOS”**

Por:

AYLLON CAZON ROMINA NATALI

Proyecto de Grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para obtener grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

JULIO DE 2013

TARIJA – BOLIVIA

El tribunal calificador del presente trabajo no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad de la autora

DEDICATORIA

A Dios:

Por haberme dado la vida, una familia maravillosa, por no haberme abandonado en ningún momento, por brindarme paciencia en momentos difíciles, y por haberme permitido realizar un logro más en mi vida.

A mi familia

Por el apoyo incondicional en todas las decisiones que he tomado a lo largo de estos años, y por ser el motivo de seguir adelante.

A mis Docentes:

Porque me enseñaron más que números y letras, por compartirme sus conocimientos, su paciencia y su motivación que han sido fundamentales para mi formación y realización de este trabajo.

A mis compañeros:

Por hacerme más amena la estadía en la universidad, a mis compañeros de

Mucho mejor atreverse a hacer cosas grandes, a obtener triunfos gloriosos, aun cuando matizados con fracasos, que formar en las filas de aquellos pobres de espíritu que ni gozan mucho ni sufren mucho porque viven en el crepúsculo gris que no conoce la victoria ni la derrota.

Anónimo

INDICE

Advertencia

Dedicatoria

Pensamiento

Resumen

CAPITULO I INTRIDUCCION

1.1. GENERALIDADES	¡Error! Marcador no definido.
1.2. JUSTIFICACION	¡Error! Marcador no definido.
1.3. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....	¡Error! Marcador no definido.
1.4. OBJETIVOS	¡Error! Marcador no definido.
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	¡Error! Marcador no definido.
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	¡Error! Marcador no definido.
1.5. ALCANCE.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1. INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
2.2. SUELO.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.1. Formación de los Suelos.....	¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 1 Formación de los Suelos.</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2. Composición de los Suelos.....	¡Error! Marcador no definido.
a) <i>Sólidos</i>	¡Error! Marcador no definido.
b) <i>Líquidos</i>	¡Error! Marcador no definido.
c) <i>Gases</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.2.3. Tipos de Suelos	¡Error! Marcador no definido.
a) <i>Suelos Orgánicos</i>	¡Error! Marcador no definido.
b) <i>Suelos residuales</i>	¡Error! Marcador no definido.
c) <i>Suelos Transportados</i>	¡Error! Marcador no definido.

- d) *Gravas*..... **¡Error! Marcador no definido.**
- e) *Arenas* **¡Error! Marcador no definido.**
- f) *Limos*..... **¡Error! Marcador no definido.**
- g) *Arcillas* **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.3. SUELOS EXPANSIVOS **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.3.1. La expansión de los suelos. **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.3.2. Origen de los suelos expansivos. **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.3.3. Problema de los Suelos expansivos **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.3.4. Movimiento de los Suelos Expansivos. **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.3.5. Mecanismos que generan cambio volumétrico **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.3.6. Como identificar un suelo potencialmente expansivo.. **¡Error! Marcador no definido.**
- a) *Identificación Mineralógica* **¡Error! Marcador no definido.**
- b) *Determinación de ciertas propiedades básicas de los suelos* **¡Error! Marcador no definido.**
- c) *Métodos indirectos de determinación del potencial expansivo del suelo*..... **¡Error! Marcador no definido.**
- d) *Medidas directas de la expansión del suelo.* **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.3.7. Exploración de los suelos expansivos..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.4. ARCILLAS. **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.4.1. Generalidades de los Suelos Arcillosos **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.4.2. Origen de las arcillas **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.4.3. Propiedades de las arcillas **¡Error! Marcador no definido.**
- a) *Superficie específica.*- **¡Error! Marcador no definido.**
- b) *Carga superficial de absorción.*- **¡Error! Marcador no definido.**
- c) *Capacidad de intercambio básico.*- **¡Error! Marcador no definido.**
- d) *Estructura.*- **¡Error! Marcador no definido.**
- e) *Expansión y contracción.*- **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.4.4. Propiedades índices de los suelos arcillosos **¡Error! Marcador no definido.**
- a) *Forma y tamaño de las partículas.*..... **¡Error! Marcador no definido.**
- b) *Consistencia y plasticidad.* **¡Error! Marcador no definido.**
- c) *Actividad (A).* **¡Error! Marcador no definido.**

d) <i>Consistencia inalterada</i>	¡Error! Marcador no definido.
e) <i>Sensitividad (ST)</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.4.5. Esfuerzos en los suelos arcillosos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4.6. Deformaciones en los suelos arcillosos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4.7. Influencias del agua sobre las arcillas.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.1. Clasificación general de Casagrande modificada.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.2. Clasificación de la AASHTO.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.3. Determinación del Potencial de expansión.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6. ANÁLISIS MECÁNICO DE LOS SUELOS.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6.1. Análisis por cribado.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6.2. Análisis Hidrométrico.....	¡Error! Marcador no definido.
2.7. COMPACTACIÓN DE SUELOS.....	¡Error! Marcador no definido.
2.7.1. Principios Generales.....	¡Error! Marcador no definido.
2.7.2. Contenido de Humedad.....	¡Error! Marcador no definido.
2.7.3. Prueba de Proctor Modificado.....	¡Error! Marcador no definido.
2.8. CAPACIDAD SOPORTE DE LOS SUELOS.....	¡Error! Marcador no definido.
2.8.1. Evaluación en Laboratorio.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1. INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2. DEFINICIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3. TIPOS DE ESTABILIZACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.1. Estabilización Física.....	¡Error! Marcador no definido.
a) <i>Estabilización por compactación</i>	¡Error! Marcador no definido.
b) <i>Estabilización empleando la mezcla de suelos</i>	¡Error! Marcador no definido.
c) Elementos prefabricados.....	¡Error! Marcador no definido.
d) <i>Vibro flotación</i>	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2. Estabilización química.....	¡Error! Marcador no definido.
a) <i>Cal</i>	¡Error! Marcador no definido.
b) <i>Cemento Portland</i>	¡Error! Marcador no definido.
c) <i>Ácido fosfórico y fosfatos</i>	¡Error! Marcador no definido.

- d) *Cloruro de Sodio o de calcio (sales)*. **¡Error! Marcador no definido.**
- e) *Hidróxido de Sodio (sosa caustica)*. **¡Error! Marcador no definido.**
- f) *Polímeros y resinas*. **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.3.3. Estabilización Eléctrica. **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.3.4. Estabilización térmica. **¡Error! Marcador no definido.**
 - a) *Por calentamiento* **¡Error! Marcador no definido.**
 - b) *Por enfriamiento*. **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.4. PARÁMETROS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS. ... **¡Error! Marcador no definido.**
 - a) *Estabilidad volumétrica*. **¡Error! Marcador no definido.**
 - b) *Resistencia Mecánica*. **¡Error! Marcador no definido.**
 - c) *Permeabilidad*. **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.5. ESTABILIZACIÓN TÉRMICA “IN SITU”. **¡Error! Marcador no definido.**
 - a) *Método I de la llama directa*. **¡Error! Marcador no definido.**
 - b) *Método II de llama directa*. **¡Error! Marcador no definido.**
 - c) *Método III para descontaminación de suelos*. **¡Error! Marcador no definido.**
 - d) *Método IV para eliminación de residuos peligrosos*. **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.2. MUESTREO DEL MATERIAL. **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.3. DATOS DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS.
¡Error! Marcador no definido.
- 4.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS. **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.5. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS **¡Error! Marcador no definido.**
 - 4.5.1. Norma AASHTO..... **¡Error! Marcador no definido.**
 - 4.5.2. Norma Sistema Unificado de clasificación de Suelos S.U.C.S ... **¡Error! Marcador no definido.**
 - 4.5.3. Determinación del Potencial expansivo **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.6. DESCRIPCIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN. **¡Error! Marcador no definido.**
 - 4.6.2. Introducción **¡Error! Marcador no definido.**
 - 4.6.3. Programación de ensayos **¡Error! Marcador no definido.**
 - 4.6.4. Descripción de la estabilización. **¡Error! Marcador no definido.**

4.6.4.1.	Equipo Necesario	¡Error! Marcador no definido.
4.6.4.2.	Procedimiento	¡Error! Marcador no definido.
4.7.	RESULTADOS	¡Error! Marcador no definido.
4.8.	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ESPECÍMENES.	¡Error! Marcador no definido.
4.9.	DETERMINACIÓN DE TASA DE RIEGO.	¡Error! Marcador no definido.
4.10.	APLICACIÓN EN CAMPO.	¡Error! Marcador no definido.
4.11.	ESTIMACIÓN DE COSTOS.	¡Error! Marcador no definido.
4.12.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	¡Error! Marcador no definido.
5.1.	CONCLUSIONES.	¡Error! Marcador no definido.
5.2.	RECOMENDACIONES	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1 Intemperización del Granito.....**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 2 Factores que influye en el potencial de expansión y contracción del suelo.
.....**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 3 Determinación de Suelo Expansivo**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 4 Clasificación Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) . **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 5 Clasificación Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) . **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6 Características de los suelos según SUCS. ...**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 7 Grado de expansión.....**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 8 Grado de Potencial expansivo.....**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 9 Potencial de Cambio Volumétrico**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 10 Tamaños de las mallas según la norma A.S.T.M;**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 11 Especificaciones para la prueba de Proctor T-180 de la AASHTO y D-1557 de la ASTM.....**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 12 Datos de localización e identificación de la Muestra N°1;**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 13 Datos de localización e identificación de la Muestra N°2;**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 14 Datos de localización e identificación de la Muestra N°3;**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 15 Cuadro de Resultados de la Caracterización de los suelos **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 16 Cuadro de Resultados de la Caracterización de los suelos;**Error! Marcador no definido.**

Tabla 17 Cuadro de Resultados de la Caracterización de los suelos **Error! Marcador no definido.**

Tabla 18 Resumen de la Clasificación de los suelos mediante AASHTO..... **Error! Marcador no definido.**

Tabla 19 Clasificación mediante el método S.U.C.S **Error! Marcador no definido.**

Tabla 20 Clasificación y descripción de los suelos....**Error! Marcador no definido.**

Tabla 21 Tablas para clasificar el grado de expansión de los suelos **Error! Marcador no definido.**

Tabla 22 Clasificación según el grado de Potencial expansivo.**Error! Marcador no definido.**

Tabla 23 Programación de Ensayos e Identificación de Cada muestra **Error! Marcador no definido.**

Tabla 24 Comparación de los C.B.R de suelo Natural Vs C.B.R suelo estabilizado.**Error! Marcador no definido.**

Tabla 25 Rangos de C.B.R según Clasificación y Uso;**Error! Marcador no definido.**

Tabla 26 Comparación, expansión del suelo Natural con expansión del suelo estabilizado (1 día en cámara húmeda).....**Error! Marcador no definido.**

Tabla 27 Comparación, expansión del suelo Natural con expansión del suelo estabilizado (15 días en cámara húmeda).....**Error! Marcador no definido.**

Tabla 28 Comparación, expansión del suelo Natural con expansión del suelo estabilizado (30 días en cámara húmeda).....**Error! Marcador no definido.**

Tabla 29 Comparación, expansión del suelo Natural con expansión del suelo estabilizado (60 días en cámara húmeda).....**Error! Marcador no definido.**

Tabla 30 Comparación, límites de consistencia del suelo Natural con límites de consistencia del suelo estabilizado (60 días en cámara húmeda);**Error! Marcador no definido.**

Tabla 31 Comparación general de las propiedades de los suelos para diferentes periodos y temperaturas en el horno, después de 60 días colocados en cámaras húmedas.....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 32 Comparación de los porcentajes de arcilla y limo en los suelos..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 33 Comparación de límites de contracción.....**¡Error! Marcador no definido.**

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Formación de los Suelos. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 2 Composición de los Suelos **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 3 Distribución de la estructura del suelo en estado natural (izq.) y la representación de las tres fases del suelo (Der.)..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4 Problemas de los suelos expansivos..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 5 Estados y límites de consistencia para un suelo fino **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 6 Carta de Casagrande para los suelos cohesivos..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7 Clasificación según AASHTO.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8 Juego de Tamices y vibrador para el análisis por cribado	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9 Hidrómetro.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 10 Curva de Compactación	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11 Equipo para la prueba de Proctor Modificado.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12 Relación de la presión de expansión y la compactación. (Holtz W. G. and Gibbs H.)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13 Pala y picota.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14 Carta de Plasticidad.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15 Instalación para llama directa. (Vista en Planta) ...	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16 Instalación para llama directa. (Vista de perfil)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17 Comparación de Curva Granulométrica suelo “Mercado del Sur”	¡Error! Marcador no definido.
Figura 18 Comparación de Curva Granulométrica suelo “El Tejar”	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19 Comparación de Curva Granulométrica suelo “Parada del Norte”	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE GRAFICAS

Grafica N° 1 Comparación de C.B.R.....	¡Error! Marcador no definido.
Grafica N° 2 Comparación de Límite líquido	¡Error! Marcador no definido.
Grafica N° 3 Comparación del Índice de Plasticidad.....	¡Error! Marcador no definido.
Grafica N° 4 Comparación del porcentaje de arcilla.....	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Extracción de la muestra Mercado del Sur	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 2 Extracción de la muestra “Universidad Autónoma Juan Misael	¡Error! Marcador no definido.

Ilustración 3 Extracción de la muestra de la Parada del Norte	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 4 Molde más base.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 5 Vástago	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 6 Trípode y Extensómetro	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 7 Pesas en forma de herradura.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 8 Horno regulable a 300°C y refrigerador	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 9 Equipo completo para realizar la prueba de penetración	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 10 Molido y tamizado del material.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 11, Peso del Molde Vacío.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 12 Compactación del suelo.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 13, Molde más muestra compactada.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 14, Lectura de la expansión inicial	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 15 Extracción del espécimen.	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 16 Identificación de los especímenes	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 17 Especímenes dentro del horno.	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 18 Especímenes dentro de la cámara húmeda.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 19 Lectura final de la expansión.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 20, Capacidad Soporte del Suelo.	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 21 Contenido de humedad.....	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1, Ensayos de Laboratorio.

Anexo 2, Calibración de Equipos.

Anexo 3, Memoria de Cálculos.