

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DPTO. DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DE LAS MEJORAS QUE TIENEN LAS PROPIEDADES
FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS SUELOS FINOS CON SODA
CÁUSTICA”**

Por:

RIVERA VELASQUEZ JESÚS ALBERTO

Tesis presentada a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II 2019

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 LAS MEJORAS QUE TIENEN LAS PROPIEDADES
FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS SUELOS FINOS CON SODA
CÁUSTICA”**

Por:

RIVERA VELÁSQUEZ JESÚS ALBERTO

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
“JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II 2019

TARIJA - BOLIVIA

.....
M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozávez
**DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....
M.Sc. Lic Elizabeth Castro Figueroa
**VICEDECANA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....
Ing. Luis Alberto Yurquina Flores

.....
Ing. Moisés Eduardo Diaz Ayarde

.....
Ing. José Ricardo Arce Avendaño

ADVERTENCIA:

El Tribunal Calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

DEDICATORIAS:

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios por brindarme el regalo de la vida y permitirme alcanzar mis metas, siendo mi fortaleza en los momentos difíciles. A mis padres; Luis E. Rivera Rivera y Julia Velásquez Arenas por su sacrificio, amor, apoyo y ser ejemplo de perseverancia en mi vida. A mi hermana Raquel Nicole Rivera Velásquez por sus consejos y su apoyo brindado.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme siempre, darme salud, sabiduría y perseverancia para alcanzar este logro.

Un agradecimiento especial a mi madre Julia Velásquez Arenas, una mujer que simplemente me llena de orgullo; te amo y no habrá manera de devolvarte todo lo que me ofreciste desde el día que me diste la vida. A mi hermana Raquel Nicole Rivera Velásquez por ayudarme a concluir esta meta y también por el apoyo incondicional en todo el proceso.

PENSAMIENTO:

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en donde quiera que vayas”

Josué 1:9 “Biblia - RVR 1960”

ÍNDICE

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

	Página
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. SITUACIÓN PROBLÉMICA	2
1.3.1. Conceptualización puntual del objeto de estudio.....	2
1.3.2. Descripción del fenómeno ocurrido.....	3
1.3.3. Breve explicación de la perspectiva de solución.....	3
1.4. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4.1. Problema de investigación	3
1.5. OBJETIVOS	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos	3
1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	4
1.6.1. Hipótesis.....	4
1.7. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	4
1.7.1. Variable independiente.....	4
1.7.2. Variable dependiente.....	4
1.7.3. Conceptualización y operacionalización de las variables	4

1.8. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.8.1. Identificación del tipo de diseño de investigación	5
1.8.2. Población y muestra	5
1.8.3. Tamaño de muestra	5
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	7
1.8.5. Listado de actividades a realizar, junto a los insumos y medios utilizados	7
1.9. ALCANCE.....	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

	Página
2. EL SUELO	10
2.1. GENERALIDADES	10
2.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	11
2.2.1. Clasificación de suelos AASHTO.....	11
2.2.2. Clasificación Unificada de Suelos (S.U.C.S.).....	13
2.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	17
2.4. LA SUBRASANTE	27
2.4.1. Categorías de la subrasante	28
2.4.2. Propiedades de la subrasante.....	29
2.5. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	31
2.5.1. Importancia de la estabilización de suelos	31
2.6. TIPOS DE ESTABILIZACIÓN	34
2.6.1. Estabilización física	34
2.6.2. Estabilización mecánica	35

2.6.3. Estabilización química	37
2.7. HIDRÓXIDO DE SODIO.....	39
2.7.1. Usos de la soda cáustica.....	41
2.7.2. Identificación.....	43
2.7.3. Propiedades físicas y químicas.....	44
2.7.4. Reactividad y estabilidad	44
2.7.5. Manejo y almacenamiento	45
2.7.6. Identificación de daños	45
2.7.7. Dilución de la solución de soda cáustica.....	46
2.7.8. Precauciones de seguridad y medidas preventivas.....	46
2.7.9. Primeros auxilios.....	46
2.7.10. Medidas a tomar en caso de emisiones accidentales.....	47

CAPÍTULO III

INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

	Página
3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	49
3.1.1. Muestreo de materiales	49
3.1.2. Coordenadas.....	50
3.1.3. Caracterización del material extraído.....	51
3.1.4. Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422; AASHTO T88).....	52
3.1.4.1. Resultados en análisis granulométrico.....	53
3.1.5. Determinación de Límites de Atterberg (ASTM D 4318; AASHTO T89-T90)....	56
3.1.6. Determinación de la relación humedad - densidad del suelo, método compactación Proctor Modificado (ASTM D422; AASHTO T-180).....	61

3.1.7. Determinación del valor relativo de soporte e hinchamiento de los suelos C.B.R. (ASTM D1883; AASHTO T-193).....	66
---	----

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN, PROCESAMIENTO DE DATOS, DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS UTILIZANDO SODA CÁUSTICA

	Página
4.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HIDRÓXIDO DE SODIO (OHNA)	72
4.2. ENSAYOS REALIZADOS CON ADICIÓN DE SODA CÁUSTICA.....	74
4.2.1. Determinación de los Límites de Atterberg con soda cáustica	75
4.2.2. Determinación de Proctor Modificado con soda cáustica.....	77
4.2.3. Determinación de C.B.R. y expansión del suelo con soda cáustica.....	80
4.3. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE ÓPTIMO.....	83
4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	93
4.4.1. Análisis de resultados de los ensayos realizados a suelo en su estado natural	94
4.4.2. Análisis de los resultados obtenidos del suelo tratado con soda cáustica	95
4.4.2.1. Resultados de Límites de Atterberg con soda cáustica	95
4.4.2.2. Resultados de densidad con el aumento de soda cáustica.....	96
4.4.2.3. Resultados de Expansión y C.B.R.....	97
4.4.3. Análisis de precios unitarios para la construcción de una subrasante de suelo natural y suelo soda caustica	98

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. CONCLUSIONES	100

5.2. RECOMENDACIONES	102
----------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A – 1 GRANULOMETRÍA

ANEXO A – 2 LIMITES DE ATTERBERG SUELO NATURAL

ANEXO A – 3 PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL

ANEXO A – 4 C.B.R. SUELO NATURAL

ANEXO A – 5 LIMITES DE ATTERBERG CON SODA CÁUSTICA

ANEXO A – 6 PROCTOR MODIFICADO CON SODA CÁUSTICA

ANEXO A – 7 C.B.R. CON SODA CÁUSTICA

ANEXO A – 8 ANÁLISIS DE PRECIOS

ANEXO A – 9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SODA CÁUSTICA

ANEXO A – 10 GUÍA DE APLICACIÓN DE SODA CÁUSTICA EN SUBRASANTES

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.7.1 Conceptualización de la variable dependiente	4
Tabla 1.8.1 Cálculo de muestra.....	6
Tabla 2.2.1 Clasificación según AASHTO	13
Tabla 2.2.2 Clasificación S.U.C.S.-grano grueso	15
Tabla 2.2.3 Clasificación S.U.C.S-grano fino.....	16
Tabla 2.2.4 Carta de Plasticidad.....	16
Tabla 2.3.1 Tamaño de partículas del suelo	18
Tabla 2.3.2 Colores asociados con los componentes minerales del suelo	20
Tabla 2.3.3 Clasificación de permeabilidad (cm/h)	25
Tabla 2.4.1 Categorías de subrasante	28
Tabla 2.4.2 Escala granulométrica	29
Tabla 3.1.1 Coordenadas Cartesianas	50
Tabla 3.1.2 Coordenadas UTM.....	51
Tabla 3.1.3 Resultados de análisis granulométricos	53
Tabla 3.1.4 Resultados de Límite Plástico	60
Tabla 3.1.5 Resultados de Límites de Atterberg	61
Tabla 3.1.6 Clasificación de suelos según AASHTO Y S.U.C.S	61
Tabla 3.1.7 Resultados de los ensayos de compactación	66
Tabla 3.1.8 Resultado de C.B.R en suelo natural	71
Tabla 4.1.1 Análisis químico del aditivo utilizado	72
Tabla 4.1.2 Factura de Xingang, China.....	72
Tabla 4.2.1 Límite Plástico con soda cáustica	77
Tabla 4.2.2 Resultados de Límites con soda cáustica	77
Tabla 4.2.3 Resultados de Proctor Modificado con soda cáustica	80
Tabla 4.2.4 Resultado de C.B.R. con soda cáustica	83
Tabla 4.3.1 Requisitos de calidad para capa subrasante	83
Tabla 4.3.2 Resultados de porcentaje óptimo	86
Tabla 4.3.3 Tabulación de C.B.R. 95 %.....	87
Tabla 4.3.4 Tabulación de C.B.R. 100 %.....	88

Tabla 4.3.5 Tabulación de expansión.....90

Tabla 4.4.1 Costos de subrasante99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 3.1.1 Curva granulométrica zona N° 1.....	54
Gráfico 3.1.2 Curva granulométrica zona N° 2.....	54
Gráfico 3.1.3 Curva granulométrica zona N° 3.....	55
Gráfico 3.1.4 Curva granulométrica zona N° 3.....	55
Gráfico 3.1.5 Límite Líquido zona N° 1	57
Gráfico 3.1.6 Límite Líquido zona N° 2	57
Gráfico 3.1.7 Límite Líquido zona N° 3	58
Gráfico 3.1.8 Límite Líquido zona N° 4	58
Gráfico 3.1.9 Curva de compactación zona N° 1	64
Gráfico 3.1.10 Curva de compactación zona N° 2	64
Gráfico 3.1.11 Curva de compactación zona N° 3	65
Gráfico 3.1.12 Curva de compactación zona N° 4	65
Gráfico 3.1.13 Curva de carga vs Penetración suelo natural zona N° 1	69
Gráfico 3.1.14 Curva de carga vs Penetración suelo natural zona N° 2	69
Gráfico 3.1.15 Curva de carga vs Penetración suelo natural zona N° 3	70
Gráfico 3.1.16 Curva de carga vs Penetración suelo natural zona N° 4	70
Gráfico 4.2.1 Límite Líquido con 1 % de soda cáustica	75
Gráfico 4.2.2 Límite Líquido con 5 % de soda cáustica	75
Gráfico 4.2.3 Límite Líquido con 10 % de soda cáustica	76
Gráfico 4.2.4 Límite Líquido con 20 % de soda cáustica	76
Gráfico 4.2.5 Compactación con 1 % de soda cáustica	78
Gráfico 4.2.6 Compactación con 5 % de soda cáustica	78
Gráfico 4.2.7 Compactación con 10 % de soda cáustica	79
Gráfico 4.2.8 Compactación con 20 % de soda cáustica	79
Gráfico 4.2.9 Curva de carga vs Penetración (1 % soda cáustica).....	81
Gráfico 4.2.10 Curva de carga vs Penetración (5 % soda cáustica).....	81
Gráfico 4.2.11 Curva de carga vs Penetración (10 % soda cáustica).....	82
Gráfico 4.2.12 Curva de carga vs Penetración (20 % soda cáustica).....	82
Gráfico 4.3.1 C.B.R. vs soda cáustica.....	84

Gráfico 4.3.2 Expansión vs soda cáustica.....	84
Gráfico 4.3.3 Contenido de pH en la muestra.....	85
Gráfico 4.3.4 Histograma C.B.R. 95 %.....	87
Gráfico 4.3.5 Histograma C.B.R. 100 %.....	89
Gráfico 4.3.6 Histograma de expansión.....	90
Gráfico 4.4.1 Resultados de Límites de Atterberg.....	94
Gráfico 4.4.2 Resultados de Proctor Modificado.....	95
Gráfico 4.4.3 Variación de límites con adición de soda cáustica.....	96
Gráfico 4.4.4 Relación densidad máxima vs soda cáustica.....	96
Gráfico 4.4.5 Expansión vs soda cáustica.....	97
Gráfico 4.4.6 C.B.R. vs soda cáustica.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.8.1 Esquema de planificación de actividades	8
Figura 2.3.1 Textura de la muestra.....	18
Figura 2.4.1. Estructura típica de pavimentos.....	29
Figura 2.4.2 Límites de consistencia.....	30
Figura 2.6.1 Estabilización con geotextiles.....	35
Figura 2.6.2 Estabilización por compactación mecánica	36
Figura 2.6.3 Estabilización con cemento	37
Figura 2.6.4 Estabilización con cal	38
Figura 2.7.1 Soda cáustica en granos y escamas.....	40
Figura 2.7.2 Soda cáustica sólida.....	41
Figura 2.7.3 Identificación de Hidróxido de sodio	43
Figura 2.7.4 Equipo necesario para el manejo de soda cáustica	48
Figura 3.1.1 Barrio Nueva Terminal.....	49
Figura 3.1.2 Determinación de subzonas de muestreo.....	50
Figura 3.1.3 Extracción de material	51
Figura 3.1.4 Análisis granulométrico (Lavado N° 200).....	52
Figura 3.1.5 Materiales y realización del Límite Líquido.....	59
Figura 3.1.6 Materiales y realización del Límite Plástico.....	59
Figura 3.1.7 Materiales utilizados para la realización de Límites de Atterberg	60
Figura 3.1.8 Proceso de adición de humedad y mezclado de muestra.....	63
Figura 3.1.9 Proceso de compactación T - 180.....	63
Figura 3.1.10 Proceso de elaboración de Relación de Soporte California (C.B.R.).....	68
Figura 4.1.1 Obtención de soda cáustica.....	73
Figura 4.1.2 Proceso de triturado de la soda cáustica	74
Figura 4.1.3 Proceso de dilución de la soda cáustica	74
Figura 4.3.1 Elaboración de C.B.R. con porcentaje óptimo	85
Figura 4.4.1 Dimensiones de subrasante adoptadas.....	99