

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**"ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO
ARCILLOSO MEDIANTE LA ADICIÓN DE CLORURO DE
CALCIO"**

POR:

ANA SHIRLEY OÑA VALDEZ

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

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

**"ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO
ARCILLOSO MEDIANTE LA ADICIÓN DE CLORURO DE
CALCIO"**

POR:

ANA SHIRLEY OÑA VALDEZ

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

V°B°

M. Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gosalvez

DECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

M. Sc. Ing. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANA

Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADO POR TRIBUNAL:

Ing. Laura Karina Soto Salgado.

Ing. Trinidad Cinthia Baldiviezo Montalvo.

Ing. José Ricardo Arce Avendaño.

El tribunal calificador del presente trabajo,
no se solidariza con la forma, términos,
modos y expresiones vertidas en el mismo
siendo estas responsabilidad del autor.

Dedicatoria:

A Jorge y Fernanda, por ser el motor que me
inspira a seguir.

A mi familia, amigos por el apoyo brindado.

Agradecimiento:

El presente trabajo lo dedicamos principalmente a Dios, por darnos la fuerza para continuar. A nuestros padres por su amor, trabajo y paciencia en todos estos años.

Pensamiento:

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor,
la electricidad y la energía atómica: la voluntad"

-Albert Einstein

ÍNDICE

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

	PÁG.
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 SITUACIÓN PROBLEMICA	3
1.4.1 Formulación del problema	3
1.5 OBJETIVOS	4
1.5.1 Objetivo general	4
1.5.2 Objetivos específicos	4
1.6 HIPÓTESIS	4
1.6.1 Identificación de hipótesis	4
1.7 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	5

CAPÍTULO II: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

	PÁG.
2.1 SUBRASANTES	7
2.1.1 Propiedades de la subrasante	7
2.2 ARCILLAS EXPANSIVAS	8
2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS	10
2.3.1 Beneficios de la estabilización de suelos	10
2.4 TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	11
2.5 PROPIEDADES DE LOS SUELOS	12

	PÁG.
2.5.1. Estabilidad volumétrica.....	12
2.5.2 Resistencia.....	13
2.5.3 Permeabilidad.....	13
2.5.4 Durabilidad.....	14
2.5.5 Compresibilidad.....	14
2.6 CLORURO DE CALCIO.....	14
2.6.1 Estabilización con cloruro de calcio.....	16
2.6.2 Limitaciones del empleo del cloruro de calcio.....	19
2.6.3 Construcción con cloruro de calcio.....	20
2.6.4 Efectos del aditivo.....	21
2.7 CAL.....	21
2.7.1 Reacción química de la arcilla con cal.....	22
2.7.2 Características de la estabilización con cal.....	23
2.7.3 Beneficios de la cal.....	23
2.8 ENSAYOS.....	24
2.8.1 Granulometría.....	24
2.8.2 Límites de Atterberg.....	25
2.8.2.1 Límite líquido.....	26
2.8.2.2 Límites plástico.....	27
2.8.2.3 Índice de plasticidad.....	27
2.8.3 Clasificación de suelos.....	27
2.8.4 Proctor modificado.....	29
2.8.5 California Bearing Ratio C.B.R.....	30

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN

	PÁG.
3.1 UBICACIÓN.....	31
3.2 MUESTREO DE MATERIALES.....	32

	PÁG.
3.3 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN.....	33
3.3.1 Contenido de humedad in situ.....	33
3.3.2 Análisis granulométrico por tamizado.....	34
3.3.3 Análisis granulométrico por hidrómetro	35
3.3.4 Calibración de frasco volumétrico	39
3.3.5 Determinación del peso específico.....	41
3.3.6 Límites de Atterberg.....	41
3.3.6.1 Límite líquido.....	41
3.3.6.2 Límite plástico.....	42
3.3.7 Proctor modificado	44
3.3.8 Relación de soporte de California C.B.R.	49
3.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	52

CAPÍTULO IV: APLICACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO

	PÁG.
4.1 DOSIFICACIÓN ÓPTIMA.....	54
4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO CON CLORURO DE CALCIO	55
4.2.1. Límites de Atterberg con cloruro de calcio.....	55
4.2.2 Proctor modificado con cloruro de calcio	57
4.2.3 California Bearing Ratio C.B.R. con cloruro de calcio	59
4.3 ENSAYOS DE LABORATORIO CON CAL.....	59
4.3.1 Límites de Atterberg con cal	59
4.3.2. Proctor modificado con cal.....	62
4.3.3. Ensayo de C.B.R. con cal.....	63
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
4.4.1 Análisis de los resultados del suelo en estado natural	64
4.4.2 Análisis de los resultados con cloruro de calcio.....	64
4.4.2.1 Influencia del cloruro de calcio en los límites de Atterberg.....	64

	PÁG.
4.4.2.2 Influencia del cloruro de calcio en la compactación.....	65
4.4.2.3 Influencia del cloruro de calcio en el ensayo de C.B.R.	66
4.4.3 Análisis de los resultados con cal	67
4.4.3.1 Influencia de la cal en los límites de Atterberg.	67
4.4.3.2 Influencia de la cal en la compactación	68
4.4.3.3 Influencia de la cal en el ensayo de C.B.R.	69
4.4.4 Comparación de los resultados entre cloruro de calcio y cal	69
4.5 COMPARACIÓN CON OTROS MÉTODOS	70
4.5.1 Estabilización con rap cemento.....	70
4.5.2 Estabilización con Rocamix cemento	70
4.5.3 Estabilización con vinaza de caña de azúcar	71
4.5.4 Estabilización con cascarilla de arroz.....	71
4.5.5 Estabilización con ceniza volcánica.....	72
4.6 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS	73
4.6.1 Tratamiento estadístico para muestra arcilla-cloruro de calcio	73
4.6.2 Estadística inferencial	75
4.6.3 Prueba de hipótesis.....	76

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	PÁG.
5.1 CONCLUSIONES.....	80
5.2 RECOMENDACIONES	84

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO N°1 MUESTRA N° 1

ANEXO 2: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO N°1 MUESTRA N° 2

ANEXO 3: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO N°1 MUESTRA N° 3

ANEXO 4: LÍMITES DE ATTERBERG DEL SUELO N°1 CON CLORURO DE CALCIO

ANEXO 5: COMPACTACIÓN DEL SUELO N°1 CON CLORURO DE CALCIO

ANEXO 6: C.B.R. DEL SUELO N°1 CON CLORURO DE CALCIO

ANEXO 7: LÍMITES DE ATTERBERG DEL SUELO N°1 CON CAL

ANEXO 8: COMPACTACIÓN DEL SUELO N°1 CON CAL

ANEXO 9: C.B.R. DEL SUELO N°1 CON CAL

ANEXO 10: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO N°2 MUESTRA N°1

ANEXO 11: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO N°2 MUESTRA N°2

ANEXO 12: LÍMITES DE ATTERBERG DEL SUELO N°2 CON CLORURO DE CALCIO

ANEXO 13: COMPACTACIÓN DEL SUELO N°2 CON CLORURO DE CALCIO

ANEXO 14: C.B.R. DEL SUELO N°2 CON CLORURO DE CALCIO

ANEXO 15: LÍMITES DE ATTERBERG DEL SUELO N°2 CON CAL

ANEXO 16: COMPACTACIÓN DEL SUELO N°2 CON CAL

ANEXO 17: C.B.R. DEL SUELO N°2 CON CAL

ANEXO 18: FICHA TÉCNICA DEL CLORURO DE CALCIO

ANEXO 19: TABLAS VARIAS

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
Tabla N°1.1: Conceptualización de la variable independiente	5
Tabla N°1.2: Conceptualización de la variable dependiente	5
Tabla N°2.1: Categorías de suelos para terracerías y capa subrasante.....	8
Tabla N°2.2: Plasticidad en función al límite líquido	10
Tabla N°2.3: Clasificación y uso del suelo según el valor de C.B.R.	30
Tabla N°3.1: Contenido de humedad in situ suelo N°1.....	33
Tabla N°3.2: Contenido de humedad in situ suelo N°2.....	33
Tabla N°3.3: Resultados del análisis granulométrico del suelo N°1.....	35
Tabla N°3.4: Resultados del análisis granulométrico del suelo N°2.....	35
Tabla N°3.5: Resultados del análisis granulométrico por hidrómetro suelo N°1.....	36
Tabla N°3.6: Resultados del análisis granulométrico por hidrómetro suelo N°2.....	38
Tabla N°3.7: Peso del frasco volumétrico	40
Tabla N°3.8: Resultados de la calibración del frasco volumétrico	40
Tabla N°3.9: Resultados del ensayo de peso específico.....	41
Tabla N°3.10: Resultados de los límites de Atterberg suelo N°1	43
Tabla N°3.11: Resultados de los límites de Atterberg suelo N°2	44
Tabla N°3.12: Especificaciones para la prueba de proctor modificado	45
Tabla N°3.13: Resultados de proctor modificado suelo N°1	46
Tabla N°3.14: Resultados de proctor modificado suelo N°2.....	48
Tabla N°3.15: Clasificación y uso del suelo según el valor de C.B.R.	49

Tabla N°3.16: Resultados del ensayo de C.B.R. suelo N°1	50
Tabla N°3.17: Resultados del ensayo de C.B.R. suelo N°2.....	50
Tabla N°3.18: Resultados de la clasificación de suelos N°1	53
Tabla N°3.19: Resultados de la clasificación de suelos N°2	53
Tabla N°4.1: Resultados de plasticidad con cloruro de calcio al 3 %	55
Tabla N°4.2: Resultados de plasticidad con cloruro de calcio al 4 %	55
Tabla N° 4.3: Resultados de plasticidad con cloruro de calcio al 5 %	56
Tabla N° 4.4: Resultados de plasticidad suelo CH con cloruro de calcio al 4%	56
Tabla N° 4.5: Resultados de densidad máxima con cloruro de calcio	57
Tabla N° 4.6: Resultados de densidad máxima con cloruro de calcio para el suelo N°2	58
Tabla N° 4.7: Resultados del valor de C.B.R. suelo CL con cloruro de calcio.....	59
Tabla N° 4.8: Resultados del valor de C.B.R. suelo CH con cloruro de calcio.....	59
Tabla N° 4.9: Resultados de plasticidad con cal al 3 %	60
Tabla N° 4.10: Resultados de plasticidad con cal al 5 %	60
Tabla N° 4.11: Resultados de plasticidad con cal al 7 %	60
Tabla N° 4.12: Resultados de plasticidad del suelo CH con cal	61
Tabla N° 4.13: Resultados de compactación con cal suelo CL	62
Tabla N° 4.14: Resultados de compactación con cal suelo CH.....	62
Tabla N° 4.15: Resultados de los C.B.R. de suelo CL con cal	63
Tabla N° 4.16: Resultados de los C.B.R. de suelo CH con cal.....	63

PÁG.

Figura N° 3.14: Extracción de muestra para densidad seca y humedad óptima	46
Figura N°3.15: Lectura de la resistencia en prensa de C.B.R.....	50
Figura N°4.1: Caso N° 1.....	77
Figura N°4. 2: Caso N° 2.....	77
Figura N°4. 3: Caso N° 3.....	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	PÁG.
Gráfico N° 3.1: Distribución granulométrica del suelo N°1 - muestra 1	37
Gráfico N° 3.2: Distribución granulométrica del suelo N° 1 - muestra 2	37
Gráfico N° 3.3: Distribución granulométrica del suelo N° 1 - muestra 3	37
Gráfico N° 3.4: Distribución granulométrica de suelo 2 - muestra N°1	38
Gráfico N° 3.5: Distribución granulométrica de suelo 2 - muestra N°2	39
Gráfico N° 3.6: Curva de calibración de los frascos volumétricos	40
Gráfico N° 3.7: Cuadro resumen de los límites de Atterberg suelo N°1.....	43
Gráfico N° 3.8: Cuadro resumen de los límites de Atterberg suelo N°2.....	44
Gráfico N°3.9: Curva de compactación suelo N°1 muestra 1	47
Gráfico N°3.10: Curva de compactación suelo N°1 muestra 2	47
Gráfico N°3.11: Curva de compactación suelo N°1 muestra3.....	47
Gráfico N°3.12: Curva de compactación suelo N°2 muestra 1	48
Gráfico N°3.13: Curva de compactación suelo N°2 muestra 2	48
Gráfico N°3.14: Gráfico carga - penetración. Suelo N°1 muestra 1	50
Gráfico N°3.15: Gráfico carga - penetración. Suelo N°1 muestra 2.....	51
Gráfico N°3.16: Gráfico carga - penetración. Suelo N°1 muestra 3.....	51
Gráfico N°3.17: Gráfico carga - penetración. Suelo N°2 muestra 1	52
Gráfico N°3.18: Gráfico carga - penetración. Suelo N°2 muestra 2.....	52
Gráfico N°4.1: Comparación de los límites con cloruro de calcio	56
Gráfico N° 4.2: Comparación de los límites suelo CH con cloruro de calcio	57
Gráfico N° 4.3: Curva de compactación suelo CL con cloruro de calcio	58
Gráfico N° 4.4: Curva de compactación suelo CH con cloruro de calcio.	58
Gráfico N° 4.5: Comparación de los límites con cal.....	61

PÁG.

Gráfico N° 4.6: Comparación de los límites del suelo CH con cal.....	61
Gráfico N° 4.7: Curva de compactación con cal suelo CL.....	62
Gráfico N° 4.8: Curva de compactación con cal suelo CH	63
Gráfico N° 4.9: Índice de plasticidad con porcentaje óptimo de cloruro de calcio en suelo CL.....	65
Gráfico N° 4.10: Índice de plasticidad con porcentaje óptimo de cloruro de calcio en suelo CH.....	65
Gráfico N° 4.11: Densidad máxima con diferentes porcentajes de cloruro de calcio para el suelo CL.....	66
Gráfico N° 4.12: Valor de C.B.R. para suelo CL con diferentes porcentajes de cloruro de calcio.....	67
Gráfico N° 4.13: Índice de plasticidad con porcentaje óptimo de cal suelo CL.....	67
Gráfico N° 4.13-1: Índice de plasticidad con porcentaje óptimo de cal suelo CH.....	68
Gráfico N° 4.14: Densidad máxima con diferentes porcentajes de cal suelo CL.....	68
Gráfico N° 4.15: Densidad máxima de suelo CL con diferentes porcentajes de cal.....	69