

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



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN
DE ARCILLAS Y ARENAS SATURADAS SOMETIDAS A LA ESTABILIZACIÓN
POR CONGELAMIENTO TEMPORAL”**

Realizado por:

Univ.: GONZALES ORTEGA SAMUEL

**TARIJA – BOLIVIA
2015**

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

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN
DE ARCILLAS Y ARENAS SATURADAS SOMETIDAS A LA ESTABILIZACIÓN
POR CONGELAMIENTO TEMPORAL”**

Realizado por:

GONZALES ORTEGA SAMUEL

Proyecto de Ingeniería Civil presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de licenciatura de Ingeniería Civil.

TARIJA – BOLIVIA
2015

Dedicatoria.

Dedico esta tesis a mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A mi familia, compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

AGRADECIMIENTOS

El sincero agradecimiento a Dios y a todas las personas las personas que son su apoyo me motivaron para la ejecución de este trabajo.

Contenido

CAPITULO I CUERPO DEL PERFIL	1
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.- DISEÑO TEÓRICO.....	2
a) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
b) OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	2
c) HIPÓTESIS.....	3
d) VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES:.....	3
1.3.- DISEÑO METODOLÓGICO.....	5
1.3.1 CRITERIOS DE RELEVAMIENTO.....	5
1.3.2 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL.....	6
1.3.3 CRITERIOS A ESTABLECER.....	7
1.3.3.1 DE MUESTREO.....	7
1.3.3.2 DE CARACTERIZACIÓN.....	9
1.3.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.....	11
1.3.2.1 ESTRATEGIA METODOLÓGICA:.....	11
1.3.2.2 PROCEDIMIENTO DETALLADO A SEGUIR:.....	13
EQUPOS A USAR:.....	14
1.3.3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN.....	15
1.3.4 CRITERIOS DE DEPURACIÓN DE DATOS:.....	16
1.3.5 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
CAPITULO II ESTADO DE CONOCIMIENTO:	17
2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:.....	17
2.1 MARCO HISTÓRICO:.....	17
2.1.1 HISTORIA DE LA CONGELACIÓN DE SUELOS.....	17
2.1.2 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	17
2.2.- MARCO TEÓRICO.....	18
2.2.1 La Congelación de suelos:.....	18
2.2.2 VENTAJAS DE LA ESTABILIZACIÓN:.....	19
2.2.3 SISTEMAS DE CONGELACIÓN:.....	19

2.2.3.1 Congelación del Suelo Mediante Salmuera:.....	20
2.2.3.2 Congelación del Suelo con Gas Líquido:.....	21
2.2.4 APLICACIONES DE LA CONGELACIÓN EN SUELOS EN LA INGENIERÍA CIVIL	23
2.2.4.1 Excavaciones Poco Profundas: Control de aguas subterráneas naturales a baja profundidad:.....	24
2.2.4.2 Excavaciones Poco Profundas: Control de aguas subterráneas no naturales a baja profundidad. Terrenos Grandes.....	25
2.2.4.3 Excavaciones Profundas: Control de aguas subterráneas naturales cerca del fondo de la excavación.....	26
2.2.4.4 CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.....	27
2.2.4.5 Pared de Detención del Flujo de Aguas Subterráneas.....	28
2.2.4.6 Apuntalamiento para Estructuras Existentes.....	29
2.2.4.7 Estabilización de Suelos con Baja Capacidad de Soporte	30
2.2.4.8 Estabilización de Terrenos con Fallas y Desmoronamientos.....	31
2.2.4.9 Mitigación de la Licuefacción y la Contaminación.....	31
2.2.5. PROYECTOS UTILIZADOS CON LA CONGELACIÓN DE SUELOS.....	32
2.2.5.1 Condominio en el Parque de Madison, cercano al Lago Washington.....	32
2.2.5.2 Colector de Aguas Lluvias – Woodinville, Washington.....	33
2.2.6. APLICABILIDAD EN NUESTRO MEDIO	36
2.2.7 PELIGROS EN LAS EXCAVACIONES QUE SE PUEDEN EVITAR CON LA CONGELACIÓN:	38
2.3.- COSTOS REFERENCIALES APLICADOS EN OBRA	39
2.4.- MARCO CONCEPTUAL.....	44
2.5.-NORMATIVO	44
CAPÍTULO III RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	45
3.1.- IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	45
3.2.- EXTRACCIÓN DE MUESTRAS:.....	45
3.3 UBICACIÓN DE BANCOS.....	48
3.4 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	52
3.4.1 TABLAS RESUMEN.....	52

CAPITULO IV INCIDENCIA DE LA CONGELACIÓN EN LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS EN ESTUDIO	53
4.1 DISEÑOS DE ESPECIMENES DE PRUEBA:.....	53
4.1.1 SUELOS ARCILLOSOS.....	53
4.1.1.1 Preparación de probetas	53
4.1.1.2 Saturación.....	55
4.1.1.3 Congelación.....	56
4.1.1.4 Rotura de Probetas:.....	57
4.1.1.5 CALIBRACIÓN DE ANILLOS DINAMOMÉTRICOS (2000 lb).....	58
4.1.2 SUELOS ARENOSOS.....	59
4.1.2.1 Preparación de moldes.....	59
4.1.2.2 Saturación.....	59
4.1.2.3 Pre congelación.....	60
4.1.2.4 Congelación.....	60
4.1.2.5 Rotura de Probetas:.....	61
4.1.2.6 CALIBRACIÓN DE ANILLOS DINAMOMÉTRICOS (5000kg).....	62
4.2 EXPRESIONES, COMPORTAMIENTO Y ANÁLISIS:.....	63
4.2.1 PRUEBAS DE RESISTENCIA PROBETAS ARCILLOSAS A HUMEDAD ÓPTIMA (SIN CONGELAR).....	63
4.2.1.1 FALLAS.....	63
4.2.1.2 DEPURACIÓN DE PROBETAS:.....	64
4.2.2 PRUEBAS DE RESISTENCIA PROBETAS ARCILLOSAS CONGELADAS.....	69
4.2.2.1 Fallas en pruebas de resistencia	69
4.2.2.2 DEPURACIÓN DE PROBETAS.....	70
4.2.2.3 Densidad Volumen y Grado de saturación.....	71
4.2.2.4 Esfuerzo vs Temperatura.....	73
4.2.2.4.1 GRAFICAS RESUMEN BANCO 1.....	74
4.2.2.4.2 GRAFICAS RESUMEN BANCO 2	75
4.2.3 PRUEBAS DE RESISTENCIA ARENAS CONGELADAS.....	78
4.2.3.1 Fallas en pruebas de resistencia.....	78
4.2.3.2 DEPURACIÓN DE PROBETAS.....	79

4.2.3.3 Esfuerzo vs Temperatura.....	80
4.2.3.3.1 RESUMEN GRAFICAS BANCO 3 Y 4.....	81
4.2.3.4 Tabla resumen arenas.....	84
4.2.4 Cohesión.....	85
4.2.5 Respaldo estadístico.....	90
4.2.6 CORRELACIÓN SUELOS ARENOSOS.....	92
4.2.7 CORRELACIÓN SUELOS ARCILLOSOS.....	93
4.2.8 TABLAS RESUMEN GENERAL.....	94
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1 CONCLUSIONES.....	98
5.2 RECOMENDACIONES.....	99
5.3 SECCIÓN DE REFERENCIA.....	100
5.3.1 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN.....	100
5.3.2 BIBLIGRAFÍA BÁSICA.....	100
5.4 ANEXOS.....	102

INDICE DE FIGURAS

	DESCRIPCIÓN	PAG.
FIGURA 1	Esquema representativo control de aguas subterráneas naturales a baja profundidad.	24
FIGURA 2	Esquema representativo control de aguas subterráneas naturales a baja profundidad, terrenos grandes	25
FIGURA 3	Esquema representativo control de aguas subterráneas naturales cerca del fondo de la excavación	26
FIGURA 4	Esquema representativo construcción de túneles	27
FIGURA 5	Esquema representativo pared de detención del flujo de aguas subterráneas	28
FIGURA 6	Esquema representativo de apuntalamiento para estructuras existentes	29
FIGURA 7	Esquema representativo de estabilización de suelos con baja capacidad de soporte.	30
FIGURA 8	Esquema representativo de estabilización de terrenos con fallas y desmoronamientos	31
FIGURA 9	Esquema representativo de mitigación de licuefacción y contaminación	31
FIGURA 10	Suelo congelado de apuntalamiento de una excavación del subterráneo	32
FIGURA 11	Descripción del lugar de trabajo estabilización	33
FIGURA 12	Excavación realizada en suelo congelado	34
FIGURA 13	Excavación casi completa	34
FIGURA 14	Sistema de apuntalamiento de suelo congelado instalado con dificultad sobre la ladera.	35
FIGURA 15	Vista superior del pozo congelado, con la exposición parcial de la pared	35

INDICE DE CUADROS

	DESCRIPCIÓN	PAG.
TABLA RESUMEN 1	Caracterización de materiales	52
TABLA RESUMEN 2	Compresión de arcillas sin congelar:	68
TABLA RESUMEN 3	densidad - saturación banco 1	71
TABLA RESUMEN 4	densidad - saturación banco 2	72
TABLA RESUMEN 5	esfuerzo temperatura banco 1	76
TABLA RESUMEN 6	esfuerzo temperatura banco 2	77
TABLA RESUMEN 7	ESFUERZO TEMPERATURA BANCO 3 Y 4	82
TABLA RESUMEN 8	RESUMEN GENERAL DEL ESTUDIO ESFUERZO VS TEMPERATURA	82

INDICE DE ANEXOS TOMO 1

ANEXO 1: Especímenes rotos sin congelar BANCO 1

1,1) Banco 1 Densidad 1

Depuración gráfica

a) Banco 1 Densidad 2

Depuración gráfica

ANEXO 2: Especímenes rotos sin congelar BANCO 2

1,1) Banco 2 Densidad 1

Depuración gráfica

a) Banco 2 Densidad 2

Depuración gráfica

ANEXO 3: Especímenes arcillosos congelados Banco 1

a) Temperatura 0 °C Densidad 1 (12 golpes/capa)

Depuración gráfica

b) Temperatura 0 °C Densidad 2 (25 golpes/capa)

Depuración gráfica

c) Temperatura -5 °C Densidad 1 (12 golpes/capa)

Depuración gráfica

d) Temperatura -5 °C Densidad 2 (25 golpes/capa)

Depuración gráfica

e) Temperatura -10 °C Densidad 1 (12 golpes/capa)

Depuración gráfica

f) Temperatura -10 °C Densidad 2 (25 golpes/capa)

Depuración gráfica

g) Temperatura -17 °C Densidad 1 (12 golpes/capa)

Depuración gráfica

h) Temperatura -17 °C Densidad 2 (25 golpes/capa)

Depuración gráfica

INDICE TOMO II

ANEXO 4: Especímenes arcillosos congelados Banco 2

- a) Temperatura 0 °C Densidad 1 (12 golpes/capa)
- b) Temperatura 0 °C Densidad 2 (25 golpes/capa)
- c) Temperatura -5 °C Densidad 1 (12 golpes/capa)
- d) Temperatura -5 °C Densidad 2 (25 golpes/capa)
- e) Temperatura -10 °C Densidad 1 (12 golpes/capa)
- f) Temperatura -10 °C Densidad 2 (25 golpes/capa)
- g) Temperatura -17 °C Densidad 1 (12 golpes/capa)
- h) Temperatura -17 °C Densidad 2 (25 golpes/capa)

ANEXO 5: Especímenes Arenosos congelados Banco 3

- a) Temperatura 0 °C
- b) Temperatura -5 °C
- c) Temperatura -10 °C
- d) Temperatura -17 °C

ANEXO 6: Especímenes Arenosos congelados Banco 4

- a) Temperatura 0 °C
- b) Temperatura -5 °C
- c) Temperatura -10 °C
- d) Temperatura -17 °C

ANEXO 7: Tablas saturación, densidad y cambio volumétrico

ANEXO 8: Caracterización de materiales