



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

## **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO (NaCl) PARA BASES Y SUB BASES**

**Jairon Roldán de Paz**

Asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Guatemala, julio de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO  
(NaCl) PARA BASES Y SUB BASES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**JAIRON ROLDÁN DE PAZ**

ASESORADO POR EL ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR/A	Inga. María del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR/A	Ing. Guillermo Melini Salguero
EXAMINADOR/A	Ing. Jeovany Miranda Castañón
SECRETARIO/A	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO (NaCl) PARA BASES Y SUB-BASES**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 27 de abril de 2009.

**JAIRON ROLDÁN DE PAZ**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, mayo de 2010

Ingeniero

José Gabriel Ordoñez Morales

Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles

Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Ingeniero Ordoñez

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación **"ESTABILIZACION DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO (NaCl)" PARA BASES Y SUB-BASES**, elaborado por el estudiante universitario Jairon Roldán De Paz, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular

Atentamente

  
Ing. Civil Omar Enrique Medrano Méndez

Colegiado 6842

Jefe de la Sección de Mecánica de Suelos





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
26 de mayo de 2010

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO (NaCl) PARA BASES Y SUB-BASES**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jairon Roldán de Paz, quien contó con la asesoría del Ing. Omar Enrique Medrano Méndez.

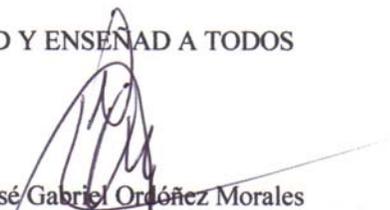
Considero que el trabajo realizado por el estudiante Roldán de Paz, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

  
José Gabriel Ordoñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles

/bbdeb.

Más de **130** Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Omar Enrique Medrano Méndez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Jairon Roldán de Paz, titulado ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO (NaCl) PARA BASES Y SUB-BASES, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio de 2010

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO (NaCl) PARA BASES Y SUB-BASES**, presentado por el estudiante universitario **Jairon Roldán De Paz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, julio de 2010

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- DIOS** Por ser mi fuente inagotable de sabiduría, por ser la luz que alumbra mi camino.
- MIS PADRES** Humberto Roldán y Mercedes De Paz Alvarez, en especial a mi madre por estar siempre a mi lado con su amor incondicional, apoyándome moral y económicamente. Que ha sido ejemplo a lo largo de toda mi vida.
- MIS HERMANOS** Anabella, Navia, Willy, por el apoyo y la paciencia que me han brindado en el transcurso de mi vida.
- MIS ABUELOS** Por estar a mi lado en mi niñez y aconsejarme en mi juventud.
- MI SOBRINA** Katherinne Alejandra Roldán Santizo, por llenar de alegría nuestro hogar, que esto sea un ejemplo para que pueda alcanzar sus metas.
- MI ASESOR** Ing. Omar Enrique Medrano Méndez, por su amistad y el apoyo académico que me brindó para culminar este trabajo de graduación.

**MI AMIGO**

Siddhartha Ramírez y a su familia. Por las palabras de aliento, apoyo moral y espiritual, en la formación de mi carácter.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>DIOS</b>	Por ser mi padre y mi amigo.
<b>ING. ELLIOS</b>	Por su amistad y apoyo para realizar este trabajo de graduación.
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	Por permitirme culminar mis estudios y formarme académicamente como profesional.
<b>CII/USAC</b>	En especial al Laboratorio de Mecánica de Suelos, por permitirme elaborar cada ensayo de este trabajo de graduación.
<b>A MIS AMIGOS</b>	Ing. Omar Medrano, Ing. Ellios Rodriguez, Paola, Sergio, Jose, Werner, Iris, Julio, Regina, Jorge, Bea, Rafael, Guillermo, Edvin, Marly, Diego, Elvis, Eber, Emerson, Mariano, Fredy, Jennifer, Mariela, Nery, Gelvear, Javier, Eliseo, Beatriz, Carlos, en especial a Juan Hernández en paz descanse, Eswin, Eddy, Giancarlo, Ilsy, Evis, Karen, Hector, Angela, Milton, Perla, Andy, Miriam, Andrea, Leda, Ludin, Lorena, y a todos los amigos y compañeros universitarios que no nombré y que me han brindado su apoyo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XIII</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XV</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XVII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XIX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXI</b>

## **1. CONCEPTOS BÁSICOS**

1.1 Definición de suelos	1
1.2 Origen de los suelos	1
1.3 Tipos de suelos	2
1.3.1 Suelos granulares	4
1.3.1.1 Gravas	5
1.3.1.2 Arenas	5
1.3.2 Suelos cohesivos	6
1.3.2.1 Limos	7
1.3.2.2 Arcillas	8
1.4 Características de los suelos	8
1.4.1 Resistencia	8
1.4.2 Cargas eléctricas en los suelos	9
1.5 Propiedades de los suelos y su determinación	10
1.6 Carreteras	11
1.6.1 Sub-base	11
1.6.1.1 Materiales en sub-bases	13

1.6.2 Base	13
1.6.2.1 Bases de grava artificial	14
1.7 Estabilización de suelos	15
1.7.1 Tipos de estabilizaciones en los suelos	16
1.7.1.1 Estabilización mecánica	16
1.7.1.2 Estabilización volumétrica	16
1.7.2 Métodos de estabilización de suelos	17
1.7.2.1 Estabilización con cloruro de calcio	17
1.7.2.2 Estabilización con silicato de sodio	18
1.7.2.3 Estabilización con métodos químicos	19
1.7.2.4 Estabilización con cloruro de sodio	19
1.7.2.4.1 Cloruro de sodio	21
1.7.2.4.2 Propiedades del cloruro de sodio	23
1.7.2.4.2.1 Cloruro de calcio	23
1.7.2.4.2.2 Identificadores	23
1.7.2.4.2.3 Propiedades físicas	23
1.7.2.4.2.4 Componentes	24
1.7.2.4.2.5 Riesgo	24
1.7.3 Comportamiento de suelos estabilizados con cloruro de sodio	25
1.7.3.1 Cambio en el peso volumétrico con la adición de sal	27
1.8 Formas de aplicar cloruro de sodio a los suelos	27
1.8.1 En grano	28
1.8.2 En salmuera	29
<b>2. ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	
2.1 Análisis de suelos	33
2.2 Ensayos de laboratorio	33

2.2.1	Ensayo de proctor modificado	33
2.2.1.1	Influencia de la energía de compactación	35
2.2.1.2	Influencia del tipo de suelo	36
2.2.2	Ensayo de capacidad soporte california	37
2.2.3	Ensayo granulométrico	38
2.2.4	Ensayo límites de Atterberg	40
2.2.4.1	Límite líquido	40
2.2.4.2	Límite plástico	41
2.2.4.3	Estados de consistencia	41
2.2.4.3.1	Líquido	41
2.2.4.3.2	Plástico	42
2.2.4.3.3	Semi – sólido	42
2.2.4.3.4	Sólido	42
2.2.5	Ensayo triaxial	43
2.2.5.1	Cambios de volumen en esfuerzos de corte	45
2.3	Dosificación de cloruro de sodio	45
2.4	Ensayos a muestras de suelo estabilizado	46

### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

3.1	Resultados de laboratorio	49
3.1.1	Arena limosa color beige	49
3.1.1.1	Granulometría	49
3.1.1.2	Límites de Atterberg	49
3.1.1.3	Proctor	50
3.1.1.3.1	Proctor con 0% de NaCl	50
3.1.1.3.2	Proctor con 2% de NaCl	50
3.1.1.3.3	Proctor con 4% de NaCl	51
3.1.1.3.4	Proctor con 6% de NaCl	52
3.1.1.4	Valor soporte California (CBR)	53

3.1.1.4.1	CBR con 0% de NaCl	53
3.1.1.4.2	CBR con 2% de NaCl	55
3.1.1.4.3	CBR con 4% de NaCl	57
3.1.1.4.4	CRB con 6% de NaCl	59
3.1.1.5	Ensayo triaxial	62
3.1.1.5.1	Triaxial con 0% de NaCl	62
3.1.1.5.2	Triaxial con 2% de NaCl	63
3.1.1.5.3	Triaxial con 4% de NaCl	64
3.1.1.5.4	Triaxial con 6% de NaCl	65
3.1.1.6	Pérdida de humedad (evaporación)	67
3.1.1.6.1	Evaporación con 0% de NaCl	67
3.1.1.6.2	Evaporación con 2% de NaCl	68
3.1.1.6.3	Evaporación con 4% de NaCl	69
3.1.1.6.4	Evaporación con 6% de NaCl	70
3.1.2	Arena caliza color gris	72
3.1.2.1	Granulometría	72
3.1.2.2	Límites de Atterberg	72
3.1.2.3	Proctor	72
3.1.2.3.1	Proctor con 0% de NaCl	72
3.1.2.3.2	Proctor con 2% de NaCl	73
3.1.2.3.3	Proctor con 4% de NaCl	74
3.1.2.3.4	Proctor con 6% de NaCl	74
3.1.2.4	Valor soporte California (CBR)	76
3.1.2.4.1	CBR con 0% de NaCl	76
3.1.2.4.2	CBR con 2% de NaCl	78
3.1.2.4.3	CBR con 4% de NaCl	80
3.1.2.4.4	CBR con 6% de NaCl	82
3.1.2.5	Ensayo triaxial	85
3.1.2.5.1	Triaxial con 0% de NaCl	85

3.1.2.5.2	Triaxial con 2% de NaCl	86
3.1.2.5.3	Triaxial con 4% de NaCl	87
3.1.2.5.4	Triaxial con 6% de NaCl	88
3.1.2.6	Pérdida de humedad (evaporación)	90
3.1.2.6.1	Evaporación con 0% de NaCl	90
3.1.2.6.2	Evaporación con 2% de NaCl	91
3.1.2.6.3	Evaporación con 4% de NaCl	92
3.1.2.6.4	Evaporación con 6% de NaCl	93
3.2	Interpretación de resultados	95
3.2.1	Arena limosa color beige	95
3.2.1.1	Proctor	95
3.2.1.2	Valor soporte California (CBR)	99
3.2.1.3	Triaxial	106
3.2.1.4	Evaporación	109
3.2.2	Arena caliza color gris	111
3.2.2.1	Proctor	111
3.2.2.2	Valor soporte California (CBR)	117
3.2.2.3	Triaxial	125
3.2.2.4	Evaporación	128
	<b>CONCLUSIONES</b>	131
	<b>RECOMENDACIONES</b>	135
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	137
	<b>ANEXOS</b>	139



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Clasificación composicional de los suelos	3
2.	Origen de la cohesión en suelos arcillosos	6
3.	Cargas eléctricas en la arcilla	10
4.	Corte transversal de una carretera	11
5.	Estructura del cloruro de sodio	22
6.	Aplicación de cloruro de sodio al suelo	28
7.	Aplicación directa de cal al suelo	29
8.	Salmuera	30
9.	Aplicación de salmuera en laboratorio	30
10.	Aplicación de salmuera en campo	31
11.	Influencia de la energía de compactación	36
12.	Influencia del tipo de suelo	37
13.	Curva granulométrica	39
14.	Estados de consistencia de los suelos	42
15.	Rectas de resistencia intrínseca de los suelos	44
16.	Penetración – deformación (0% NaCl)	53
17.	Penetración – deformación (2% NaCl)	55
18.	Penetración – deformación (4% NaCl)	57
19.	Penetración – deformación (6% NaCl)	59
20.	Círculos de Mohr para triaxial con 0% de NaCl	62
21.	Círculos de Mohr para triaxial con 2% de NaCl	63
22.	Círculos de Mohr para triaxial con 4% de NaCl	64
23.	Círculos de Mohr para triaxial con 6% de NaCl	65

24.	Evaporación – tiempo 0% de NaCl (arena limosa)	67
25.	Evaporación – tiempo 2% de NaCl (arena limosa)	68
26.	Evaporación – tiempo 4% de NaCl (arena limosa)	69
27.	Evaporación – tiempo 6% de NaCl (arena limosa)	70
28.	Penetración – deformación (0% NaCl)	76
29.	Penetración – deformación (2% NaCl)	78
30.	Penetración – deformación (4% NaCl)	80
31.	Penetración – deformación (6% NaCl)	82
32.	Círculos de Mohr para triaxial con 0% NaCl	85
33.	Círculos de Mohr para triaxial con 2% NaCl	86
34.	Círculos de Mohr para triaxial con 4% NaCl	87
35.	Círculos de Mohr para triaxial con 6% NaCl	88
36.	Evaporación – tiempo 0% de NaCl (arena caliza)	90
37.	Evaporación – tiempo 2% de NaCl (arena caliza)	91
38.	Evaporación – tiempo 4% de NaCl (arena caliza)	92
39.	Evaporación – tiempo 6% de NaCl (arena caliza)	93
40.	Comparación en porcentajes de NaCl para proctor	96
41.	Comportamiento de densidad seca máxima – NaCl	97
42.	Comportamiento de humedad óptima – % NaCl	98
43.	Incidencia de NaCl en la compactación	99
44.	Incidencia de NaCl en el porcentaje de CBR	101
45.	Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (65 golpes)	102
46.	Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (30 golpes)	104
47.	Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (10 golpes)	105
48.	Incidencia de NaCl en el ángulo de fricción interna	107
49.	Incidencia de NaCl en la cohesión	108
50.	Evaporación – tiempo	110
51.	Comparación en porcentajes de NaCl para proctor	112
52.	Comportamiento de densidad seca máxima – NaCl	113

53.	Comportamiento de humedad óptima – % NaCl	115
54.	Incidencia de NaCl en la compactación	116
55.	Incidencia de NaCl en el porcentaje de CBR	118
56.	Incidencia de NaCl en la resistencia el corte (65 golpes)	119
57.	Incidencia de NaCl en la resistencia el corte (30 golpes)	121
58.	Incidencia de NaCl en la resistencia el corte (10 golpes)	123
59.	Incidencia de NaCl en el ángulo de fricción interna	125
60.	Incidencia de NaCl en la cohesión	126
61.	Evaporación – tiempo	129



## TABLAS

I	Características típicas del cloruro de sodio	25
II	Clasificación granulométrica	40
III	Valores típicos de consistencia en los suelos	43
IV	Proctor 0% de NaCl	50
V	Proctor 2% de NaCl	51
VI	Proctor 4% de NaCl	51
VII	Proctor 6% de NaCl	52
VIII	Resistencia al corte a 65 golpes	61
IX	Resistencia al corte a 30 golpes	61
X	Resistencia al corte a 10 golpes	61
XI	Ángulo de fricción interna y cohesión	66
XII	Pérdida de humedad con cloruro de sodio	71
XIII	Proctor 0% de NaCl	73
XIV	Proctor 2% de NaCl	73
XV	Proctor 4% de NaCl	74
XVI	Proctor 6% de NaCl	75
XVII	Resistencia al corte a 65 golpes	84
XVIII	Resistencia al corte a 30 golpes	84
XIX	Resistencia al corte a 10 golpes	84
XX	Ángulo de fricción interna y cohesión	89
XXI	Pérdida de humedad con cloruro de sodio	94
XXII	Densidad seca máxima y humedad óptima con adición de NaCl	95
XXIII	Densidad seca máxima – % NaCl	96
XXIV	Humedad óptima – % NaCl	98
XXV	% compactación – % NaCl	99
XXVI	% CBR – % NaCl	100

XXVII	Resistencia al corte (lb) – % NaCl (65 golpes)	102
XXVIII	Resistencia al corte (lb) – % NaCl (30 golpes)	103
XXIX	Resistencia al corte (lb) – % NaCl (10 golpes)	105
XXX	% NaCl – ángulo de fricción interna	106
XXXI	% NaCl – Cohesión	107
XXXII	Evaporación – tiempo	109
XXXIII	Densidad seca máxima y humedad óptima con adición de NaCl	111
XXXIV	Densidad seca máxima – % NaCl	113
XXXV	Humedad óptima – % NaCl	114
XXXVI	Compactación – % NaCl	116
XXXVII	% CBR - % NaCl	117
XXXVIII	Resistencia al corte (lb) – % NaCl (65 golpes)	119
XXXIX	Resistencia al corte (lb) – % NaCl (30 golpes)	120
XL	Resistencia al corte (lb) – % NaCl (10 golpes)	122
XLI	% NaCl – ángulo de fricción interna	125
XLII	% NaCl – cohesión	126
XLIII	Evaporación – tiempo	128

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
NaCl	Cloruro de sodio
mm	Milímetros
%	Porcentaje
PH	Acidez, alcalinidad de los suelos
CBR	California Bearing Ratio
CaCl <sub>2</sub>	Cloruro de calcio
c.c.	Centímetros cúbicos
°C	Grados Celsius
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Silicato de sodio
MgCl <sub>2</sub>	Cloruro de magnesio
MgSO <sub>4</sub>	Sulfato de magnesio
CaSO <sub>4</sub>	Sulfato de calcio
KCl	Cloruro de potasio
MgBr <sub>2</sub>	Bromuro de potasio
%H	Porcentaje de humedad
P.U.S.	Peso unitario seco



## GLOSARIO

<b>Ángulo de fricción interna</b>	Ángulo de resistencia al deslizamiento causado por la fricción entre superficies de contacto de las partículas del suelo.
<b>Cloruro de calcio</b>	Compuesto químico inorgánico, también llamado cloruro cálcico, con fórmula $\text{CaCl}_2$
<b>Cloruro de sodio</b>	Es un compuesto químico con fórmula $\text{NaCl}$ , denominado comúnmente sal de mesa, o denominado en su forma mineral halita.
<b>Cohesión</b>	Fuerza de atracción entre partículas producida por el agua de constitución del suelo.
<b>Compacidad relativa</b>	Indica la cantidad de vacíos presentes en una muestra de suelo.
<b>Densificación</b>	Aumento de la cantidad de masa de un material en un mismo volumen.
<b>Denudación</b>	Desprendimiento de la capa exterior de las rocas por procesos químicos naturales.
<b>Estabilización</b>	Proceso para mejorar las propiedades mecánicas y físicas de los suelos, a través de métodos confiables.

<b>Grava artificial</b>	Material pétreo triturado mediante procesos controlados hasta obtener un diámetro esperado.
<b>Hialoclástia</b>	Desfragmentación de la roca ocasionada por la tensión que provoca el aumento de volumen en los cristales salinos.
<b>Higroscópico</b>	Capacidad de absorber humedad del medio ambiente.
<b>Óxido de calcio</b>	Compuesto químico conocido comúnmente como cal hidratada.
<b>Salmuera</b>	Agua con cloruro de sodio (sal) disuelto.
<b>Silicato de sodio</b>	Sustancia inorgánica con fórmula $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , conocida como vidrio soluble, al mezclarse con agua crea una solución alcalina
<b>Tensión superficial</b>	Fuerza atractiva ejercida en la superficie de separación entre materiales en diferentes estados físicos (sólido/líquido, líquido/gas).
<b>Termoclástia</b>	Desfragmentación de la roca ocasionada por cambios bruscos de temperatura.

## RESUMEN

El tratamiento adecuado de suelos para intensificar sus propiedades físicas y mecánicas es de suma importancia. Ya que, en algunas regiones del país existen suelos que no son aptos para construir sobre ellos, es por eso que es necesario recurrir a la estabilización de suelos con algunos métodos que representan un costo adicional.

En algunos casos, las construcciones de las bases y sub-bases para carreteras están expuestas a un clima cálido extremo, lo cual conlleva que la humedad necesaria para obtener una densificación adecuada se evapore.

El cloruro de sodio (NaCl) es un elemento que ayuda a aumentar el tiempo en el cual los suelos pierden humedad. Por ser higroscópico absorbe la humedad del ambiente y crea una capa blanquecina en la parte superior que funciona como una barrera para evitar que la humedad contenida se evapore rápidamente.

Al agregar cloruro de sodio al suelo, se incrementa la densidad seca máxima y se reduce la humedad óptima, se obtienen resultados favorables para los porcentajes de CBR, los cuales aumentan con porcentajes de NaCl no mayores al 2% en condiciones críticas. Sin embargo, los mejores resultados se observan cuando se pierde la humedad y se incrementa el contenido de sal en el suelo, ya que se obtiene una cimentación firme con la mezcla suelos-cloruro de sodio.

Los materiales analizados fueron arena limosa color beige (selecto) y arena caliza, en ambos materiales se obtuvieron resultados positivos, sin embargo el selecto reaccionó mejor con el estabilizante.

La mezcla de suelo-cloruro de sodio empleada para realizar ensayos de triaxial mostró un aumento en la cohesión y una leve disminución en el ángulo de fricción interna en ambos materiales.

El cloruro de sodio, comúnmente llamado sal de mesa, es un estabilizante adecuado y de bajo costo, pero se debe tener cuidado en la aplicación, porque está conformado con propiedades corrosivas que afectan la maquinaria utilizada.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Desarrollar un método confiable y económico para evitar la pérdida rápida de humedad en los suelos utilizados en bases y sub-bases, que permita una estabilización adecuada, con el fin de obtener suelos que no varíen sus propiedades físicas y mecánicas al perder humedad.

### **ESPECÍFICOS**

1. Formular una dosificación de suelo-cloruro de sodio, para estabilizar suelos utilizados en bases y sub-bases.
2. Establecer la diferencia de pérdida de humedad en suelos estabilizados con cloruro de sodio y suelos sin estabilizar.
3. Analizar el comportamiento físico y mecánico de suelos empleados en bases y sub-bases estabilizados con cloruro de sodio.
4. Establecer un porcentaje apropiado de cloruro de sodio que se deba agregar a muestras de suelo arenosos, para obtener resultados aceptables.
5. Definir la forma adecuada y factible de agregar el cloruro de sodio a la muestra de suelo, para una estabilización óptima.



## INTRODUCCIÓN

El funcionamiento satisfactorio, a largo plazo, de proyectos de construcción de carreteras depende de la calidad de los suelos donde se fundan las mismas. La mayoría de los suelos al perder humedad sufren un cambio en sus propiedades físicas y mecánicas, que ocasionan problemas significativos y de alto costo económico en la infraestructura de carreteras. Con el diseño y técnicas de construcción apropiados se pueden reducir los cambios no deseados en los suelos utilizados en bases y sub-bases, con el fin de evitar el colapso de la carretera. Una buena técnica para controlar el comportamiento de los suelos es la de estabilizar los materiales a utilizar. Existen varios métodos para estabilizar un suelo, dentro de los cuales se puede mencionar: la estabilización con óxido de calcio, silicato de sodio, cloruro de calcio, cemento, entre otros.

El tratamiento con cloruro de sodio es un método para estabilizar los suelos, aumenta el tiempo de evaporación, hace que no pierdan la humedad rápidamente, y ayuda a transformar las características mecánicas de los suelos inestables en materiales utilizables. Además, controlando la disminución de resistencia al corte y los cambios volumétricos bruscos en los suelos.

El cloruro de sodio (NaCl) funciona como un retardante de pérdida de humedad, proporciona una manera confiable y económica de estabilizar los suelos utilizados en bases y sub-bases. Puede ser utilizado en el tratamiento de suelos, en varios porcentajes o cantidades, dependiendo del objetivo.

Debido al bajo costo del cloruro de sodio (NaCl), en comparación con otros materiales utilizados para la estabilización de suelos, se determina estabilizar con cloruro de sodio para disminuir el costo de la construcción de bases y sub-bases y emplear para este estudio información bibliográfica veraz. Asimismo, realizar ensayos de laboratorio confiables para obtener datos certeros, que proporcionen una información real del comportamiento de los suelos estabilizados con de cloruro de sodio.

Con este estudio se determinará si es confiable y eficiente el método de estabilización con cloruro de sodio y se verificarán las propiedades físicas y comportamientos mecánicos de los suelos, para proporcionar datos confiables a los constructores de carreteras.

# 1. CONCEPTOS BÁSICOS

## 1.1 Definición de suelos

Es todo tipo de material terroso, que conforma una delgada capa sobre la corteza terrestre de material, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie.

El suelo es el soporte último de todas las obras de infraestructura, por lo que es necesario estudiar su comportamiento ante la perturbación que supone cualquier asentamiento.

El suelo se comporta como una estructura más, con unas características físicas propias, densidad, porosidad, módulo de balasto, talud natural, cohesión y ángulo de fricción interna, que le confieren ciertas propiedades resistentes ante diversas sollicitaciones: compresión, cizalla, reflejadas en magnitudes como la tensión admisible o los asentamientos máximos y diferenciales.

## 1.2 Origen de los suelos

La corteza terrestre está compuesta principalmente por roca cuya formación geológica ha tomado varios millones de años. Además, durante el mismo período la superficie rocosa ha sufrido una desintegración y una

descomposición continuas mediante procesos de meteorización. Debido a la permanente exposición a los agentes atmosféricos tales como las inundaciones, actividad glacial y fuertes vientos, gran parte de los residuos de roca fragmentada por la meteorización ha sido arrastrada, sometida a abrasión, fragmentación y eventualmente depositada, por ejemplo, a lo largo del curso de los ríos, en lagos y océanos y a lo largo de los glaciares. Con los cambios climáticos y las fluctuaciones de los niveles medios del mar y de la superficie terrestre, este ciclo de erosión, transporte y formación de los depósitos de materiales producidos por la meteorización ha sido interrumpido, renovado y repetido innumerables veces durante decenas de miles de años.

Como resultado de lo anterior, gran parte de la superficie actual de la tierra, el lecho rocoso relativamente inalterado, está cubierto por una acumulación de materiales sin cementación o muy poco cementados y altamente variables; este es el material al cual se le denomina *suelo*.

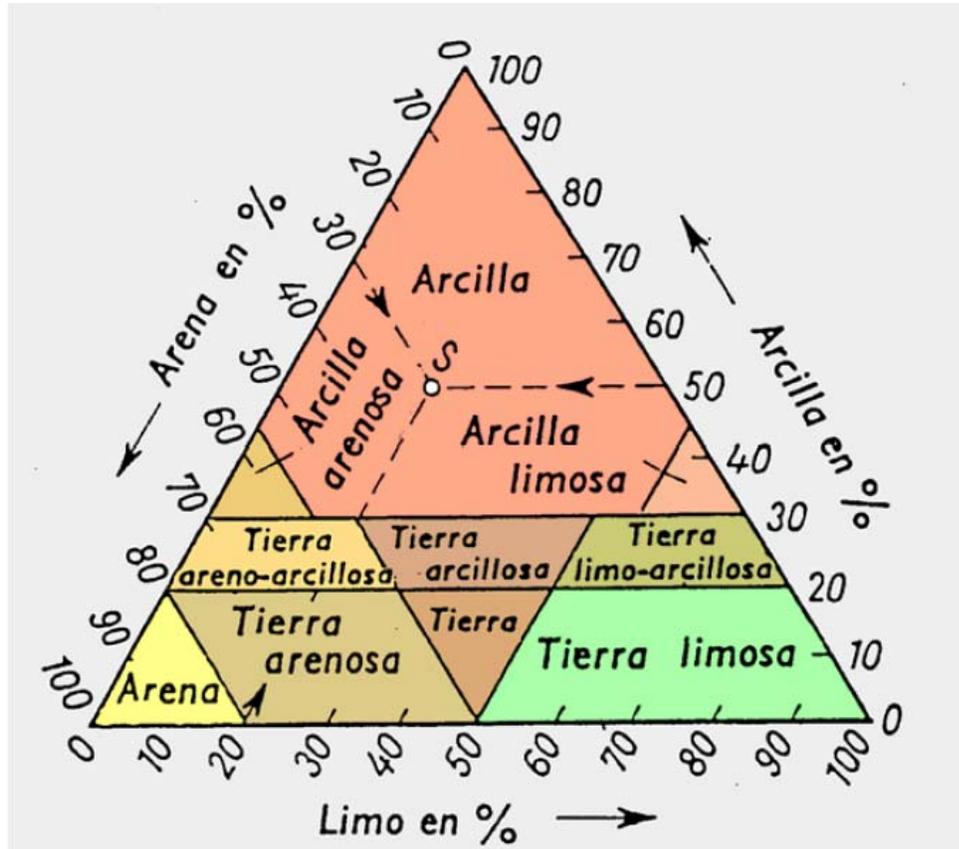
Los agentes físicos que producen cambios en las rocas y dan origen a los suelos son: el sol, el agua, el viento, los glaciares y la actividad biológica.

### **1.3 Tipos de suelos**

Pueden diferenciarse en una primera aproximación diversos tipos de suelos en función de la naturaleza de la roca madre y del tamaño de las partículas que lo componen.

La siguiente gráfica muestra una clasificación composicional de un suelo.

Figura 1. Clasificación composicional de los suelos



Fuente: Manual de carreteras. Sección 15, página 2

El tamaño de las partículas en un depósito de suelo tiene una influencia fundamental en las propiedades y en el comportamiento ingenieril del depósito, por tanto, las partículas de un suelo se describen en función de su tamaño, utilizando términos tales como la grava, arena, limo, arcilla. Sin embargo, para estos términos no existe una definición del tamaño de las partículas que sea reconocida universalmente como estándar.

La arena, la grava y las partículas de mayor tamaño en general son producidas por la meteorización física y a menudo tienen la misma composición mineralógica que la roca madre.

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: suelos, cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas y suelos, cuyo origen es principalmente orgánico.

### **1.3.1 Suelos granulares**

Este tipo de suelos está formado por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas dado el gran tamaño de las mismas. Su origen obedece fundamentalmente a procesos de meteorización física: lajamiento, termoclástica, hialoclástica o fenómenos de hidratación física.

Las características principales de este tipo de suelos son su buena capacidad portante y su elevada permeabilidad, lo que permite una rápida evacuación del agua en presencia de cargas externas. Esta capacidad de drenaje es proporcional al tamaño de las partículas, o dicho de otro modo, al volumen de vacíos o porosidad del suelo. Es destacable que para un determinado grado de humedad, las partículas más finas presentan una cohesión aparente que desaparece al variar el contenido de agua.

Dentro de esta clase de suelos se distinguen dos grandes grupos: el de las gravas y el de las arenas. El límite entre ambos grupos viene dado por su granulometría, ya que se considera arena la fracción de suelo de tamaño comprendida entre 2 mm y 0.05 mm, según las normas AASTHO; y entre 4.75 mm a 0.075 mm, según el sistema unificado SUCS. Dentro de esta clasificación pueden establecerse otras subdivisiones.

Las características mecánicas y resistentes de los suelos granulares vienen en un alto porcentaje determinadas por el ángulo de fricción interna.

### **1.3.1.1 Gravas**

Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de 2 milímetros de diámetro, según las normas AASHTO; y de 4.7 milímetros de diámetro, según el sistema unificado SUCS. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas, las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas. Como material suelto suele encontrarse en los lechos, en los márgenes y en los conos de deyección de los ríos, también en muchas depresiones de terrenos rellenados por el acarreo de los ríos y en muchos otros lugares a los cuales las gravas han sido transportadas.

### **1.3.1.2 Arenas**

La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm para las normas AASHTO y entre 4.75 mm y 0.075 mm para el sistema unificado SUCS de diámetro.

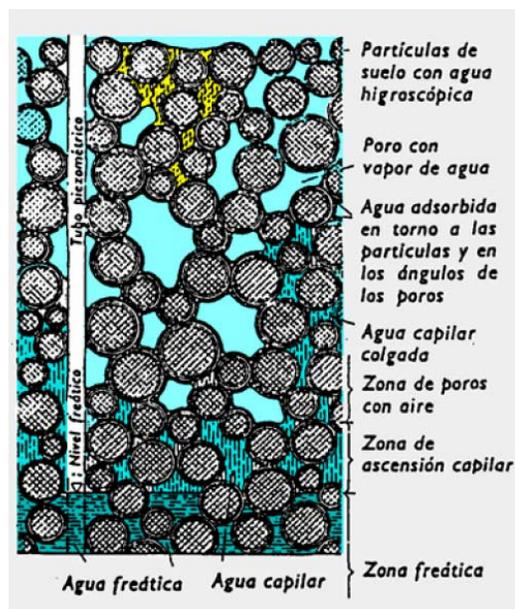
El origen y la existencia de las arenas son análogas a las de gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcillas. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea.

### 1.3.2 Suelos cohesivos

A diferencia de los suelos granulares, esta categoría de suelos se caracteriza por un tamaño más fino de sus partículas constituyentes (inferior a 0.08 mm, según el sistema unificado SUCS), lo que les confiere unas propiedades de superficie ciertamente importantes. Esto se debe a que la superficie específica (relación entre la superficie y el volumen de un cuerpo) de dichas partículas es más que considerable.

La cohesión es la principal propiedad desde el punto de vista mecánico de este tipo de suelos; se define como la fuerza interparticular producida por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando no esté saturado. La cohesión es importante desde el punto de vista de la estabilidad de taludes, ya que aumenta la resistencia de un suelo frente a esfuerzos cortantes o de cizalla.

**Figura 2. Origen de la cohesión en suelos arcillosos**



Fuente: Manual de carreteras. Sección 15, página 4

Los suelos cohesivos se caracterizan por su baja permeabilidad, al dificultar el paso del agua por el reducido tamaño de sus poros, por la atracción de las partículas de arcilla en presencia de humedad y su alta compresibilidad; tan es así que los suelos arcillosos, limosos e incluso algunos arenosos con presencia de limos y arcillas pueden colapsar (comprimirse de forma brusca); simplemente aumentan su grado de humedad hasta un valor crítico (entre el 85% para arcillas y el 40% - 60% para arenas y limos), al romperse los débiles enlaces que unen unas partículas con otras. Esta importante propiedad se emplea de forma directa en la compactación de suelos.

#### **1.3.2.1 Limos**

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pueden ser *limo inorgánico* como el producido en canteras, o *limo orgánico* como el que suele encontrarse en los ríos, este último tiene características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.002 mm de acuerdo con las normas AASHTO y en partículas menores a 0.075 mm según el sistema unificado SUCS. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar.

### **1.3.2.2 Arcillas**

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.002 mm según las normas AASHTO y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados.

## **1.4 Características de los suelos**

### **1.4.1 Resistencia**

La falta de resistencia ocurre con mayor frecuencia en los suelos orgánicos. La influencia de la materia orgánica suele tratarse en forma equivocada, pues se recurre a la compactación como una forma de estabilización mecánica para incrementar la resistencia del suelo en algunos casos. Sin embargo, puede obtenerse el resultado requerido mediante la compactación, sólo por un corto período, ya que el efecto de degradación de la materia orgánica provocará nuevamente la pérdida de resistencia del suelo en cuestión.

El empleo de mayores intensidades de compactación tampoco favorecerá para obtener valores de resistencia mayores y duraderos. Algunos de los procedimientos más utilizados para elevar la resistencia del suelo son:

- La compactación.
- La vibro flotación.
- La precarga.

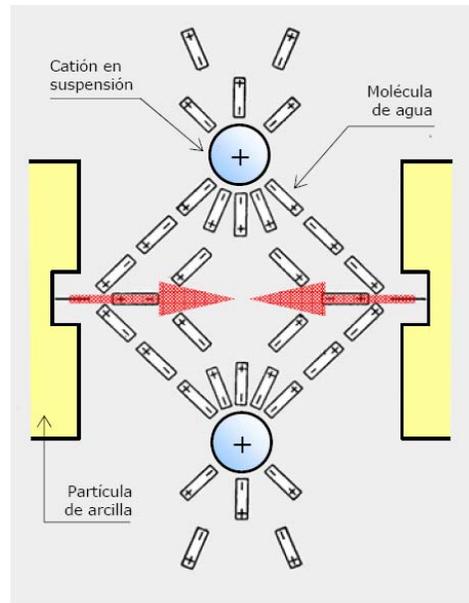
- El drenaje.
- Estabilización mecánica con mezcla de otros suelos.
- Estabilización química con cemento, cal, o aditivos líquidos que funcionan como cementantes.

#### **1.4.2 Cargas eléctricas en los suelos**

Cuando las partículas se encuentran rodeadas por cargas del mismo signo se repelen; pero si alguna de las partículas o parte de ellas tiene carga opuesta entonces se desarrollan fuerzas de atracción. Se ha observado que si el medio que rodea a estas partículas es con un bajo pH, entonces los bordes de las partículas tienden a cargarse en forma positiva. En cuanto a las caras, estas permanecen con carga negativa, por lo que resulta una floculación de las caras de unas partículas con los bordes de las otras. En tanto que si tienen un alto pH, tanto los bordes como las caras tienden a quedar con cargas negativas y la estructura puede quedar en forma dispersa.

En las partículas arcillosas el tipo de intercambio importante es el tipo catiónico es decir, intercambio de iones positivos, debido a que las superficies de las partículas están cargadas negativamente.

**Figura 3. Cargas eléctricas en la arcilla**



Fuente: Manual de carreteras. Sección 15, página 4

### 1.5 Propiedades de los suelos y su determinación

Conocidos los principales tipos de suelos existentes, el siguiente paso es establecer una serie de procedimientos científicos que permitan caracterizarlos en función de diferentes propiedades físicas o mecánicas.

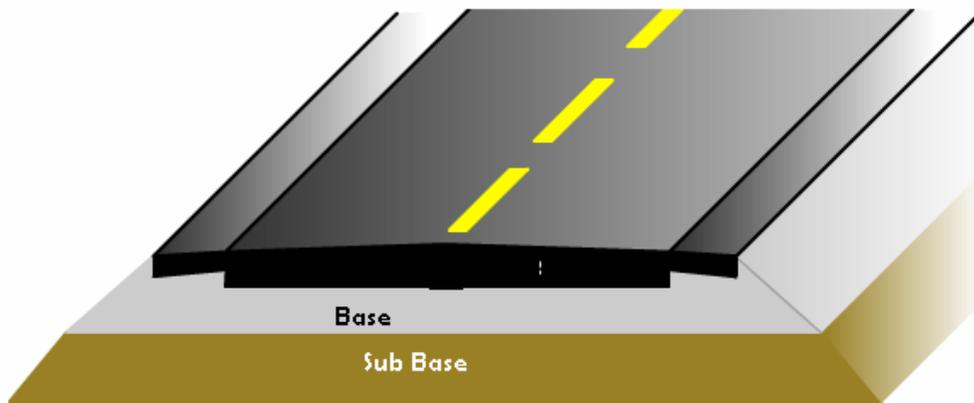
Los ensayos que definen las principales propiedades de los suelos en carreteras son: análisis granulométrico, límites de Atterberg, equivalente de arena, proctor estándar, proctor modificado y determinación de la capacidad portante mediante el índice de CBR.

## 1.6 Carreteras

Se le denomina carretera a la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales fue acondicionada.

La carretera o carpeta de rodadura está sobre puesta en dos capas llamadas sub-base y base. Estas capas están constituidas con suelo de características adecuadas o con suelos de baja calidad, pero tratados con un método de estabilización adecuado para que funcione correctamente.

**Figura 4. Corte transversal de una carretera**



Fuente: [www.e-asfalto.com.ar/pavimentos.htm](http://www.e-asfalto.com.ar/pavimentos.htm)

### 1.6.1 Sub-base

La sub-base se define como la capa granular situada entre la explanada y la base de la capa de rodadura. Es una capa típica de los pavimentos

bituminosos, aunque en ocasiones se emplea en pavimentos rígidos asentados de baja capacidad portante.

Las principales funciones de esta capa son:

- a) Resistencia mecánica: ha de soportar y repartir adecuadamente las cargas de tráfico sobre la explanada, de forma que ésta pueda tolerar las presiones recibidas sin deformarse excesivamente. Además, dada la profundidad a la que se halla situada en el firme, está sometida a una alta presión de confinamiento lateral.
- b) Economía: al estar más alejada del plano de rodadura, sus características portantes no tienen por qué ser muy elevadas, por lo que pueden emplearse materiales de inferior calidad, para economizar de esta manera el coste de la obra.
- c) Drenaje: debe impedir la ascensión capilar del agua procedente del cimiento a las capas superiores del pavimento, ya que afectaría de manera negativa a su comportamiento mecánico y durabilidad. Aparte de exigir características drenantes al material (bajo contenido en finos arcillosos) deben disponerse drenes o cunetas conectados con esta capa que faciliten una rápida evacuación del agua filtrada, ya que una acumulación resultaría muy perjudicial para la funcionalidad de esta capa.

### **1.6.1.1 Materiales en sub-bases**

Debido a las funciones y características de la sub-base, se suelen utilizar materiales con una granulometría muy bien estudiada, estricto contenido en finos y con gravas resistentes para evitar su degradación con el paso del tiempo.

Las gravas naturales son sin duda los materiales más apropiados para sub-bases, dado que es un material altamente friccionante, aunque no presentan una elevada capacidad de soporte. Son mas económicas que las gravas artificiales obtenidas de rocas trituradas mediante el proceso de machaqueo, estas pueden emplearse en casos de mayor exigencia mecánica.

En muchos casos se han utilizado capas sub-base confeccionadas con materiales que por diversos motivos (tráfico, clima, calidad del material) han sido estabilizadas con ligantes o conglomerantes. Algunas de estas capas han conservado una permeabilidad elevada después del tratamiento.

### **1.6.2 Base**

La capa de base se encuentra situada entre la capa sub-base (o la explanada en casos donde no existe sub-base) y el pavimento. La principal función que se le atribuye a esta capa es la resistente, para lo cual debe presentar un alto grado de compacidad relativa. También debe ser durable, por lo que debe presentar insensibilidad al agua y los cambios volumétricos que ocasiona su presencia, así como una estabilidad a las cargas prolongadas en el tiempo.

Actualmente se emplean dos tipos de materiales granulares para confeccionar las bases:

### **1.6.2.1 Bases de grava artificial**

Debido a sus características granulométricas y superficiales, las gravas artificiales proporcionan una alta capacidad de soporte, por lo que son el material idóneo para emplear en la capas de base.

Propiedades requeridas:

- **Granulometría:**  
Para garantizar la máxima compacidad posible en la capa.
- **Rugosidad superficial:**  
Elevado porcentaje de caras fracturadas mediante machaqueo, para aumentar el rozamiento interno entre las partículas.
- **Ausencia de materiales plásticos:**  
Las partículas de arcilla y limo pueden actuar como lubricante entre los materiales más gruesos, disminuyendo la capacidad portante y favoreciendo la aparición de deformaciones remanentes.
- **Calidad del material:**  
Esta propiedad se materializa en la dureza del mismo; una mayor dureza evita el redondeo de las partículas gruesas (causante de una pérdida progresiva de capacidad portante) y reduce la producción de finos.

En determinadas circunstancias, como en firmes carentes de capa sub-base, puede ser necesario conferir unas mayores propiedades drenantes sin apenas perder capacidad de soporte.

### **1.7 Estabilización de suelos**

La estabilización de suelos es una técnica de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que no reúnen las condiciones necesarias para su utilización. Crea poco impacto ambiental, ya que ahorra transportar a un vertedero enormes volúmenes de material de excavación, y por otro, traer enormes volúmenes de material de préstamo.

Con la estabilización se pretende aumentar la resistencia mecánica de los suelos, se entrelazan las partículas de una forma más efectiva y se aseguran que las condiciones de humedad en las que trabaja el suelo varíen dentro de unos rangos reducidos, para conseguir una adecuada estabilidad a las cargas y una escasa variación volumétrica. Además, se produce un aumento de la durabilidad de dicha capa.

El proceso de estabilización que inicialmente se aplicaba sólo a suelos y materiales de escasa calidad se ha extendido actualmente a capas granulares formadas por gravas de calidad, que originan las gravas tratadas. Este tipo de materiales se fabrican en plantas especiales y están sometidos a continuos controles de calidad, para ser transportados posteriormente a obra.

Hasta ahora los principales aditivos empleados han sido el cemento y la cal, sin embargo, la estabilización con estos aditivos aumenta los costos en la construcción y no controlan de manera satisfactoria la pérdida de humedad en

los suelos utilizados en bases y sub-bases. Es por ello que se analizará la estabilización mediante el cloruro de sodio (NaCl), con el fin de obtener suelos con características físicas y mecánicas que reúnan las condiciones óptimas para su uso.

### **1.7.1 Tipos de estabilizaciones en suelos**

#### **1.7.1.1 Estabilización mecánica**

La estabilización mecánica es una técnica de mejora basada en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, de forma que se obtenga un nuevo material de mayor calidad y que cumpla las exigencias deseadas.

Las propiedades que generalmente se pretenden mejorar con este tipo de estabilizaciones son la plasticidad y/o la granulometría; la plasticidad afecta a la susceptibilidad del material al agua y su capacidad drenante; la granulometría incide en la resistencia, trabajabilidad y compacidad final de la capa de suelo.

#### **1.7.1.2 Estabilización volumétrica**

Cuando se pretende mejorar un suelo a efecto de evitar la expansión volumétrica, es porque algunos suelen variar su volumen considerablemente ante los cambios de humedad, esto ocurre con mayor frecuencia en los suelos arcillosos. El modificar las propiedades de este suelo implica transformar la masa granulada, entrelazar suficientemente sus partículas, para lograr que

resista la presión interna de expansión. Estudios anteriores han demostrado que los tratamientos químicos son los más recomendados para las arcillas superficiales, en tanto que los procedimientos térmicos (calentamientos que modifiquen la estructura molecular de las arcillas) son adecuados para las arcillas profundas expansivas.

## **1.7.2 Métodos de estabilización de suelos**

### **1.7.2.1 Estabilización con cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>)**

El cloruro de calcio se obtiene como un subproducto en forma de salmuera en algunos procesos industriales, aunque también se puede obtener de algunos arroyos y pozos naturales siendo la fuente más común el obtenido en la elaboración de carbonato de sodio mediante procedimientos químicos.

La solubilidad del cloruro de calcio es de 60 g aproximadamente, por cada 100 c.c. de agua destilada a 0 °C, o de 159 g aproximadamente, por cada 100 c.c. de agua destilada a 100 °C.

Se ha demostrado que con la adición de cloruro de calcio disminuyen las fuerzas de repulsión entre las arcillas; pero en algunos libros se asegura que la película de agua que rodea a las partículas se ve eléctricamente reforzada con la adición del cloruro de calcio, a tal grado que se incrementa notablemente la cohesión aparente.

Se ha encontrado un incremento en los pesos volumétricos hasta en un 11% con la adición de 0.5 a 3% de cloruro de calcio, según el tipo de suelo. Sin

embargo, existen datos que reporta disminuciones en el peso volumétrico con respecto a un suelo arcilloso que no contenga cloruro de calcio.

Así también, se tiene que el cloruro de calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo, pero desafortunadamente esta sal es fácilmente lavable. Se reduce la evaporación y es capaz de absorber hasta 10 veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, dicha humedad puede mantenerse en sus dos terceras partes durante el día de calor seco, lo cual hace de esta sal un producto muy eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo en terracerías.

Sin embargo, existen limitaciones para el empleo del cloruro de calcio, entre las más importantes están:

- Que en el medio ambiente se tenga una humedad relativa superior a 3%
- Que se tengan minerales que pasen por la malla 200 y que estos reaccionen favorablemente con la sal.

#### **1.7.2.2 Estabilización con silicato de sodio $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ (vidrio líquido)**

El silicato de sodio pertenece al grupo de compuestos químicos que poseen un amplio intervalo en sus propiedades físicas y químicas. Se le ha empleado como adhesivo, cementante, detergente, defloculante, catalizador, etc., en solución es incoloro e inodoro y actúa en términos generales, como un jabón fuerte. Causa serios daños a los ojos si se llega a introducir en ellos.

La estabilización con silicato de sodio para su uso en carreteras se ha empleado en el mundo desde 1945, aproximadamente, y parece ser que los mejores resultados se han obtenido en el caso de suelos arenosos y climas moderados.

Desde 1945 se ha investigado la efectividad del silicato de sodio como estabilizante de suelos, algunas veces se empleó sólo y otras, junto con otros productos químicos. Sin embargo, los éxitos logrados fueron en el caso de suelos arenosos y en climas moderados. Para estabilizar suelos de otro tipo diferente al arenoso se necesitaría emplear el silicato de sodio con otros productos químicos.

### **1.7.2.3 Estabilización con métodos químicos**

En la actualidad se ha aplicado un gran número de productos químicos con el fin de lograr estabilizar los suelos, la mayoría de los productos empleados han generado resultados satisfactorios. Aunque es poco común el empleo de químicos para la estabilización, está adquiriendo bastante difusión y experimentación. De los productos químicos que han sido efectivos en la estabilización de suelos; algunos son económicamente competitivos contra los productos más comunes empleados para el mismo fin; sin embargo, se debe tener la asesoría de especialistas en la materia, tanto durante la etapa de diseño, como en la etapa de construcción de la estabilización.

### **1.7.2.4 Estabilización con cloruro de sodio NaCl (sal)**

El cloruro de sodio (NaCl) se presenta en forma de cristales fácilmente solubles en agua, los cuales son higroscópicos y fáciles de conseguir.

Con la adición de cloruro de sodio al agua se puede abatir la temperatura de congelamiento de esta última. Las soluciones que contienen NaCl disueltas presentan una mayor tensión superficial que en el caso del agua destilada y en 1% de sal incrementa la tensión superficial en 1 a 2 dinas por  $\text{cm}^2$ , la adición de cloruro de sodio al agua abate la presión de vapor.

Los cambios en el agua, debidos a la adición de cloruro de sodio, tanto en el punto de congelación como en la tensión superficial y la tensión de vapor, dependen de la solubilidad de la sal. El cloruro de sodio se adiciona al agua en pequeños porcentajes, ésta se disuelve rápidamente, pero a medida que el porcentaje adicionado va siendo más elevado, se disuelve con más dificultad y se tendrá un cierto porcentaje más allá del cual el cloruro de sodio ya no se disuelve.

Existe en la superficie de las partículas arcillosas una doble capa de iones adsorbidos, en el cual la energía potencial existente se disipa a partir de dicha superficie, hasta que en una cierta distancia se tenga el mismo potencial que el líquido circundante.

La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que la rodean, para reducir el punto de evaporación y mejorar la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, se produce una acción cementante.

Al agregar sal a los suelos se considera que se reduce el punto de evaporación del agua, debido al incremento en la tensión superficial. Sin embargo, cuando la superficie expuesta es menor que la evaporación, ésta se empieza a secar y el cloruro de sodio se cristaliza en la superficie y en los vacíos, lo que puede ayudar a formar una barrera que impedirá posteriores evaporaciones.

Es de suma importancia tener conocimiento de la reacción íntima entre la sal y el suelo, así como la permanencia a través del tiempo de la estabilización lograda y los efectos colaterales que causaría, en algunos elementos de la estructura del camino.

La adición de cloruro de sodio en una arcilla produce decremento en la contracción volumétrica, la formación de costra superficial y la reducción de la variación en la humedad; además, mantienen unidas las partículas no arcillosas y que se encuentran en la superficie, se desprenden con menor facilidad cuando sufren los ataques abrasivos del tránsito.

#### **1.7.2.4.1 Cloruro de sodio**

Es un compuesto químico de fórmula NaCl. Las sales se caracterizan por sus enlaces iónicos, lo cual da lugar a puntos de fusión relativamente altos, conductividad eléctrica en disolución o fundidas y estructura cristalina en estado sólido.

El cloruro de sodio es un sólido incoloro, soluble en agua fría o caliente, ligeramente soluble en alcohol e insoluble en ácido clorhídrico concentrado. En su forma cristalina es transparente, con un brillo parecido al hielo. Generalmente, contiene impurezas de cloruro de magnesio ( $MgCl_2$ ), sulfato de

magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ), sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ) y bromuro de magnesio ( $\text{MgBr}_2$ ).

**Figura 5. Estructura del cloruro de sodio**



Fuente: <http://ichn.iec.cat/bages/geologia>

La sal se halla ampliamente distribuida en la naturaleza. Se encuentra diluida en el agua de los océanos en concentraciones que alcanzan los 30 g/L de agua y constituye un 3% de la masa del agua de los océanos. También se encuentra distribuida por ríos, lagos y mares interiores en concentraciones que varían entre el 0.002% y 30%. Asimismo forma capas en pantanos y en el fondo de lagos secos, sobre todo en zonas extremadamente áridas. El mineral halita, conocido comúnmente como sal de piedra, aparece en lechos de ríos y lagos, depositado por la deshidratación de antiguas masas de agua salada. La sal se forma constantemente por la acción ríos y corrientes sobre rocas que contienen cloruros y compuestos de sodio.

El método más simple de obtener sal en las zonas cercanas a los mares es por evaporación del agua salada, pero este método es costoso. En la

mayoría de los casos se obtiene de depósitos subterráneos mediante técnicas de minería o a través de pozos excavados en dichos depósitos.

#### **1.7.2.4.2 Propiedades del cloruro de sodio**

##### **1.7.2.4.2.1 Cloruro de sodio**

Nombre comercial: CLORURO DE SODIO

Sinónimos: sal de mesa, halita, sal de mar

Peso molecular: 58.44

Familia química: haluros, sal inorgánica

Fórmula: NaCl

##### **1.7.2.4.2.2 Identificadores**

Número CAS: 7647-14-5

Número RTECS: VZ4725000

##### **1.7.2.4.2.3 Propiedades físicas**

Estado de agregación: sólido

Apariencia: incoloro; aunque parece blanco si son cristales finos o pulverizados

Olor: Inodoro

Densidad: 2200 kg/m<sup>3</sup>, 2.2 gr/cm<sup>3</sup>

Masa: 58.4 uma

Punto de Fusión: 1074K (801 °C)

Punto de ebullición: 1738 K (1465 °C)

Punto de descomposición: 0K (-273.16 °C)

Temperatura crítica: 0K (-273.16°C)

Presión de vapor: 1 atm @ 463 °C

Densidad relativa: 1.165

Solubilidad en agua: muy soluble

Reactividad en agua: ninguna

#### **1.7.2.4.2.4 Componentes**

99% cloruro de sodio

#### **1.7.2.4.2.5 Riesgo**

Salud: ligero

Inflamabilidad: ninguna

Reactividad: ninguna

**Tabla I. Características típicas del cloruro de sodio (NaCl)**

Características	Límites
Cloruro de sodio, %	98.00 – 99.70
Humedad, %	2.00 – 3.60
Materia insoluble, %	0.007 – 0.175
Ion calcio, %	0.035 – 0.910
Ion magnesio, %	0.002 – 0.074
Ion sulfato, %	0.125 – 0.355
Tamiz 4.75 mm (Nº 4)	20 – 55%
Tamiz 1.18 mm (Nº 16)	50 – 70%
% Pasa Tamiz 1.18 mm (Nº 16)	13% max

Fuente: [www.itson.mx/laboratorios/](http://www.itson.mx/laboratorios/)

### **1.7.3 Comportamiento de los suelos estabilizados con cloruro de sodio**

Las investigaciones sobre el tema de estabilización de suelos con cloruro de sodio que presentan un detalle del comportamiento esfuerzo-deformación son escasas.

Existen autores que han estudiado el efecto del cloruro de sodio en las propiedades de los suelos, principalmente en las propiedades físicas y entre las principales observaciones se pueden citar las siguientes:

- a. El peso volumétrico seco y la resistencia a la compresión se incrementan al adicionar cloruro de sodio hasta un 3%.

- b. El límite líquido y el índice plástico se reducen al adicionar cloruro de sodio.
- c. La cohesión y el ángulo de fricción interna parecen disminuir al adicionar cloruro de sodio en especímenes en los que no se permita la pérdida de humedad. Si se permite el sacado antes de ensayar los especímenes, tanto la cohesión como el ángulo de fricción interna aumentan de manera importante.
- d. Las partículas de roca caliza parecen solubles a soluciones de cloruro de sodio.
- e. La capacidad de retención de humedad aumenta en los suelos tratados con cloruro de sodio.
- f. Se aumenta significativamente la tensión superficial del agua que puede, después del endurecimiento, ser responsable del aumento de la densidad del suelo hasta un 15% sobre aquella de un suelo sin tratar.
- g. La cristalización durante el tiempo seco cementa las partículas de suelo en la superficie de los suelos. La expansión de estos cristales, a medida que se forman, llena los espacios vacíos del suelo y reduce el secado posterior.

Al analizar estudios realizados se evidencia que no todos los suelos responden de manera adecuada a la adición de cloruro de sodio, para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

### **1.7.3.1 Cambio en el peso volumétrico con la adición de sal**

Con respecto a la estabilización de suelos con cloruro de sodio, se ha discutido mucho sobre el cambio en el peso volumétrico de un material con la adición de sal; mientras algunos investigadores aseguran un pequeño incremento, otros no apoyan esa teoría. Se sabe que la adición de cloruro de sodio hace que disminuya la humedad óptima. Se admite teóricamente que el cloruro de sodio ocasiona que los suelos se estructuren en forma dispersa y produce así un acercamiento entre las partículas y en consecuencia un mayor peso volumétrico, pero en la práctica este criterio no se ha verificado en todos los casos analizados.

## **1.8 Formas de aplicar el cloruro de sodio a los suelos**

La estabilización con cloruro de sodio mejora algunas propiedades de los suelos a utilizar en bases y sub-bases. De igual forma que otros métodos de estabilización, el cloruro de sodio necesita de un método adecuado para mezclarse con el suelo a estabilizar, con el fin de reducir riesgos en la salud de los trabajadores in situ, y obtener una mezcla de suelo-cloruro de sodio que produzca mejores resultados.

Al igual que en la mayoría de las estabilizaciones, el cloruro de sodio puede aplicarse directamente al suelo a tratar y encontrar una relación en porcentaje que permita estabilizar adecuadamente el suelo.

Las formas de aplicación del cloruro de sodio son:

- en grano
- en salmuera

### 1.8.1 En grano

Esta forma de emplear consiste en aplicar un porcentaje de cloruro de sodio directamente al suelo, que homogenice de forma uniforme.

Este método de aplicación no es 100% eficaz, ya que al homogenizar el suelo con el cloruro de sodio quedan porciones de suelo, en las cuales tiene un menor porcentaje de NaCl con respecto a otros. Sin el ensayo en laboratorio es fácil la homogenización con métodos prácticos, haciendo que la mezcla suelo-cloruro de sodio sea la correcta, de esta manera el cloruro de sodio estará presente en toda la muestra de suelo.

**Figura 6. Aplicación de cloruro de sodio al suelo**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

**Figura 7. Aplicación directa de cal al suelo**



Fuente: <http://picasaweb.google.com/lh/photo/>

### **1.8.2 En salmuera**

Una de las principales propiedades del cloruro de sodio es que puede disolverse en agua fácilmente, es una ventaja para aplicar satisfactoriamente el porcentaje adecuado al suelo. Al diluir el cloruro de sodio en agua es más fácil aplicarlo al suelo y homogeneizarlo.

El Emplear este método de dilución en agua se crea salmuera, la cual es aplicada al suelo controladamente. La salmuera llena los espacios entre las partículas de suelo y establece un método eficiente al mismo tiempo que se agrega la humedad óptima al suelo. Sin embargo, al crear salmuera se corre el riesgo de afectar la maquinaria empleada para su realización, ya que la sal es un agente oxidante.

**Figura 8. Salmuera**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

**Figura 9. Aplicación de salmuera en laboratorio**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

**Figura 10. Aplicación de salmuera en campo**



Fuente: <http://picasaweb.google.com/lh/photo2>



## **2. ENSAYOS DE LABORATORIO**

### **2.1 Análisis de suelos**

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se analizan en dos grupos: los suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, o sea los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

Los depósitos naturales que forman todo tipo de suelo son tan variados que ningún método de exploración es ideal para todos los casos; esto significa que cada suelo requerirá, probablemente, de un procedimiento para investigarlo muy diferente del que necesitará otro subsuelo. Antes de proceder a explorar, es conveniente un análisis y observación preliminar de la zona para tener información que, en muchos casos, evitará investigaciones costosas e innecesarias.

### **2.2 Ensayos de laboratorio**

#### **2.2.1 Ensayo proctor modificado**

*AASHTO T180-01: standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54 kg (10 lb) Rammer and a 457 mm (18 in)*

La relación existente entre la densidad seca de un suelo (su grado de compactación) y su contenido en agua es de gran utilidad en la compactación de suelos. Su regulación se realiza mediante el ensayo de proctor en sus dos variantes, *normal* y *modificado*.

La diferencia entre las dos variantes (proctor normal y proctor modificado) radica únicamente en la energía de compactación empleada, del orden de 4.5 veces superior en el segundo caso que en el primero. Esta diferencia puede explicarse fácilmente, ya que el proctor modificado no es más que la lógica evolución del normal.

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no sólo depende de las características del dispositivo que se usó para compactar, sino fundamentalmente de la humedad que tenía en ese momento el material. Si las partículas están secas, la fricción intergranular oponen una resistencia mayor al desplazamiento relativo de ellas, que si se encuentran lubricadas por una película de agua; por el contrario, si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena los vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso. Esto es cierto en suelos que tienen alto porcentaje de finos y no en las arenas gruesas y gravas. Por lo tanto, existe un contenido de agua con el que se obtiene el máximo peso volumétrico.

Para medir el grado de compactación de un material o un relleno se debe establecer la densidad seca del material. En la obtención de la ésta se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo. Para obtener una buena compactación será necesario controlar debidamente la cantidad de agua, porque si ésta es muy poca, no existirá lubricación y no se podrá

disminuir la fricción existente entre las partículas; en caso de que la humedad sea en exceso, las partículas podrán ser separadas por el agua.

La situación anterior, demuestra que es necesario determinar la cantidad de agua para obtener una excelente lubricación, que permita la mayor densidad posible llamada “Densidad Máxima o Peso Unitario Seco Máximo”; y a la cantidad de agua necesaria para obtener dicha densidad recibe el nombre de “Humedad Óptima”.

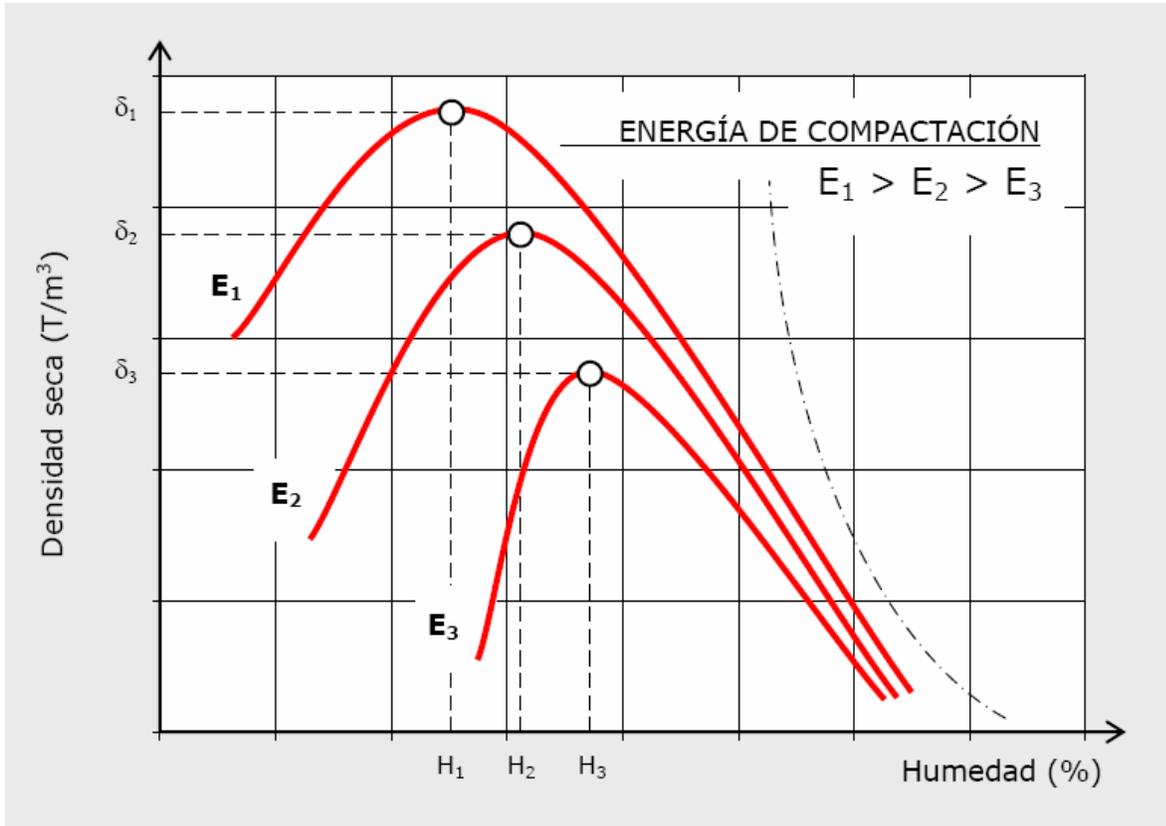
En general, es conveniente compactar un suelo para:

- Aumentar la resistencia al corte y por consiguiente, mejorar la estabilidad y la capacidad de carga de pavimentos.
- Disminuir la compresibilidad y así reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos y por consiguiente, reducir la permeabilidad.
- Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

#### **2.2.1.1 Influencia de la energía de compactación**

Se toma un mismo suelo y se estudia la relación humedad-densidad para distintas energías de compactación, se observará que el punto de humedad óptima varía en función de la energía que se haya aplicado a la muestra.

**Figura 11. Influencia de la energía de compactación**

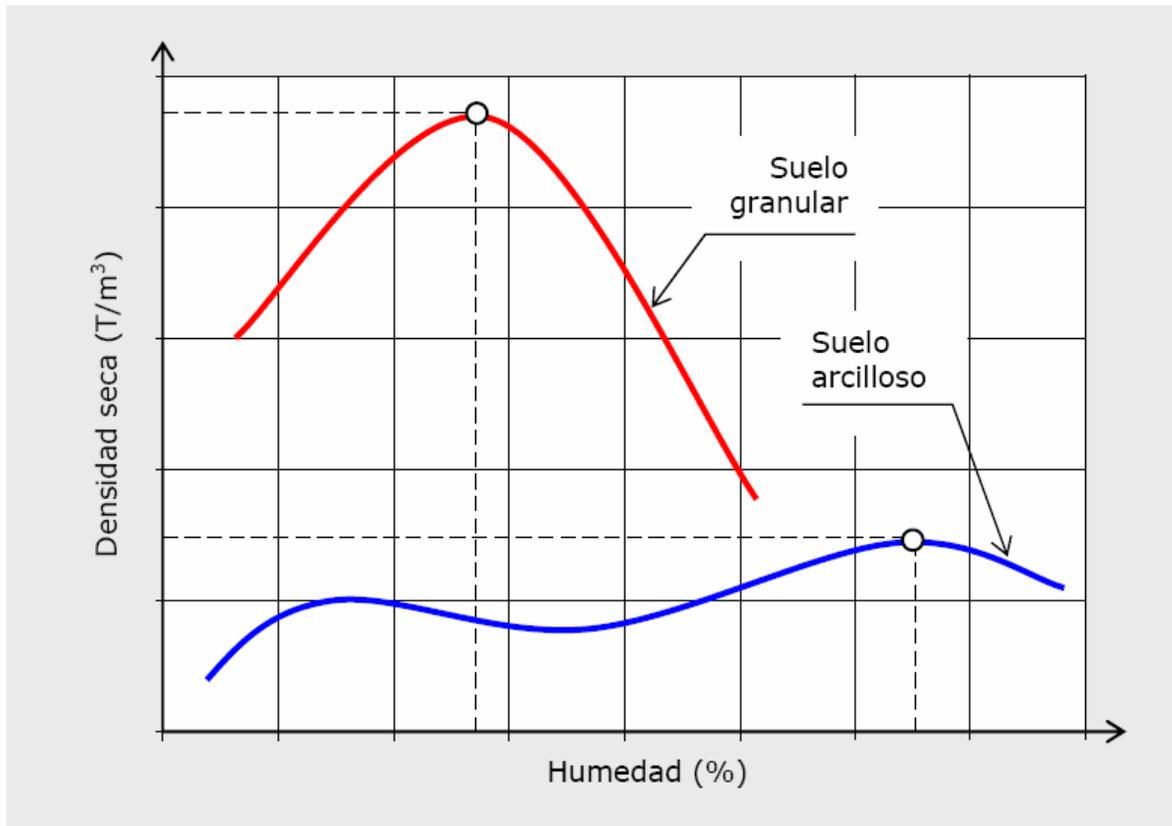


Fuente: Manual de carreteras. Sección 15, página 14

### 2.2.1.2 Influencia del tipo de suelo

La tipología del suelo, concretamente su composición granulométrica, determina la forma de la curva de compactación. Se podría decir que “no hay dos suelos iguales”, pero si pueden englobarse en dos grupos de comportamiento.

**Figura 12. Influencia del tipo de suelo**



Fuente: Manual de Carreteras. Sección 15, página 15

### 2.2.2 Ensayo capacidad soporte California

*AASHTO T193-99: Standard Method of Test for The California Bearing Ratio*

*ASTM D1883-07: Standard Test Method for CBR*

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte (*CBR*, *California Bearing Ratio*) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California, como una forma

de clasificación y evaluación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-base o material de base en construcciones de carreteras.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, que permite obtener un porcentaje de la relación de soporte. El porcentaje de CBR está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la fuerza necesario para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, una probeta con una muestra estándar de material triturado.

### **2.2.3 Ensayo granulométrico**

*AASHTO T27: Standard Method of Test for The California Bearing Ratio*

*AASHTO T11: Standard Method of Test for The California Bearing Ratio*

La función de este ensayo es determinar las proporciones de los distintos tamaños de granos existentes en el suelo.

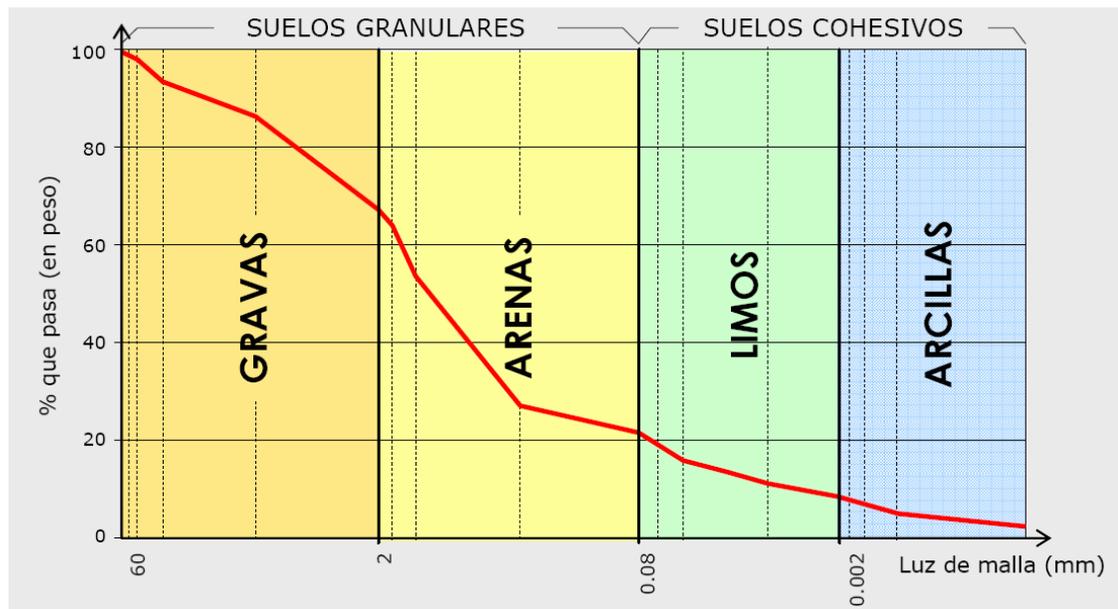
El tamiz es la herramienta fundamental para efectuar este ensayo; se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujeta una malla caracterizada por un espaciamiento uniforme denominado *abertura*, a través del cual se hace pasar la muestra de suelo a analizar.

Se emplea una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una determinada

cantidad de suelos seco, quedando retenida en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura de dicho tamiz.

Una vez realizado el proceso de tamizado, se procede a pesar las cantidades retenidas en cada uno de los tamices, y se construye una gráfica semilogarítmica donde se representa el porcentaje en peso de muestra retenida (o el que pasa) para cada abertura de tamiz.

**Figura 13. Curva Granulométrica**



Fuente: Manual de carreteras. Sección 15, página 6

Como aplicación directa de este ensayo, puede establecerse una clasificación genérica de suelos para atender a su granulometría.

**Tabla II. Clasificación granulométrica**

<b>Clasificación granulométrica de los suelos</b>		
TIPO	DENOMINACIÓN	TAMAÑO (mm)
SUELOS GRANULARES	Bolos y bloques	> 60
	Grava	Gruesa Media Fina
	Arena	Gruesa Media Fina
SUELOS COHESIVOS	Limo	Grueso Medio Fino
	Arcilla	< 0.002

Fuente: Manual de carreteras. Sección 15, página 8

### **2.2.4 Ensayo límites de Atterberg**

El comportamiento de un suelo está muy influenciado por la presencia de agua. Este hecho se acentúa cuanto menor es el tamaño de las partículas que componen dicho suelo. Especialmente, es relevante en aquellos donde predomina el componente arcilloso, ya que en ellos los fenómenos de interacción superficial se imponen a los de tipo gravitatorio.

#### **2.2.4.1 Límite líquido**

*AASHTO T089-02: Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils*

*ASTM D423-66 (1982): Method of Test for Liquid Limit of Soils*

El límite líquido está definido como la humedad en la cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico y el estado líquido.

#### **2.2.4.2 Límite plástico**

*AASHTO T090-00: Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity index of Soils*

*ASTM D424-54 (1982): Method of Test for Plastic Limit of Solis*

El límite plástico está definido como el contenido de humedad, en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico.

#### **2.2.4.3 Estados de consistencia**

Los estados de consistencia que pueden darse en los suelos coherentes en función de su grado de humedad: líquido, plástico, semisólido, sólido.

##### **2.2.4.3.1 Líquido**

La presencia de una cantidad excesiva de agua anula las fuerzas de atracción interparticular que mantienen unido al suelo (la cohesión) y lo convierte en un líquido viscoso sin capacidad resistente.

### 2.2.4.3.2 Plástico

El suelo es fácilmente moldeable y presenta grandes deformaciones con la aplicación de esfuerzos pequeños. Su comportamiento es plástico, por lo que no recupera su estado inicial una vez cesado el esfuerzo. Mecánicamente no es apto para resistir cargas adicionales.

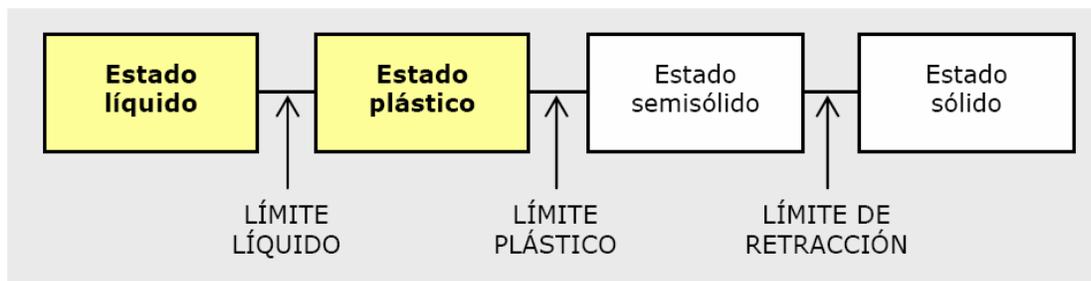
### 2.2.4.3.3 Semi-sólido

El suelo deja de ser moldeable, pues se quiebra y resquebraja antes de cambiar de forma. No obstante, no es un sólido puro, ya que disminuye de volumen si continúa perdiendo humedad. Su comportamiento mecánico es aceptable.

### 2.2.4.3.4 Sólido

En este estado el esfuerzo alcanza la estabilidad, ya que su volumen no varía con los cambios de humedad. El comportamiento mecánico es óptimo. Las humedades correspondientes a los puntos de transición entre cada uno de los estados definen los límites líquido (LL), plástico (LP) y de tracción (LR) respectivamente.

**Figura 14. Estados de consistencia de los suelos**



Fuente: Manual de carreteras. Sección 15, página 9

En Tabla III se muestran los rangos de valores más frecuentes de todos estos parámetros en diferentes tipos de suelos:

**Tabla III. Valores típicos de consistencia en los suelos**

<b>Valores típicos de consistencia del suelo</b>				
<b>PARÁMETRO</b>		<b>TIPO DE SUELO</b>		
		Arena	Limo	Arcilla
LL	Límite líquido	15 - 20	30 - 40	40 - 150
LP	Límite plástico	15 - 20	20 - 25	25 - 50
LR	Límite de retracción	12 - 18	14 - 25	8 - 35
<b>IP</b>	<b>Índice de plasticidad</b>	<b>0 - 3</b>	<b>10 - 15</b>	<b>10 - 100</b>

Fuente: Manual de carreteras. Sección 15, página 11

### **2.2.5 Ensayo triaxial**

*AASHTO T296-05: Standard Method of the Test for Uncosolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression*

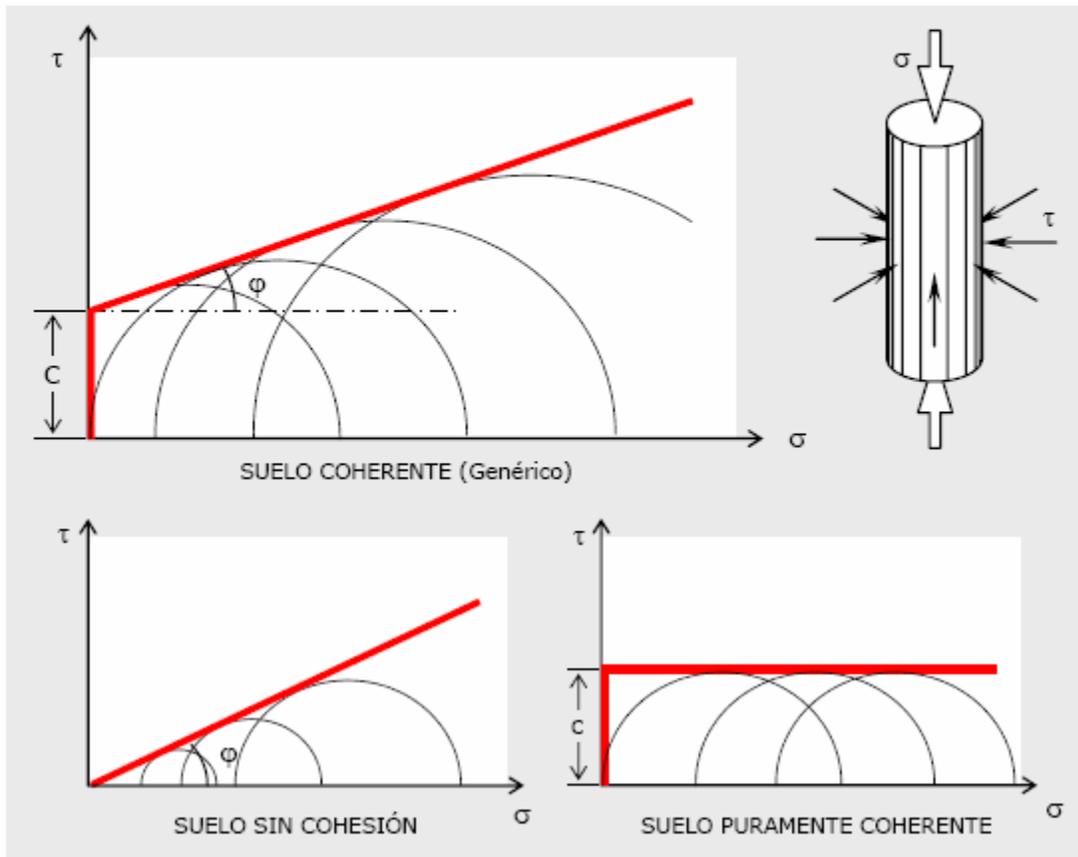
En carreteras se emplean dos ensayos destinados a este fin: el triaxial y el ensayo de corte directo. Ambos procedimientos determinan la llamada recta de resistencia intrínseca del suelo, definida como la envolvente de los círculos de Mohr obtenidos para distintas tensiones axiales, y que relaciona las

características mecánicas del suelo con dos de sus propiedades físicas: la cohesión y el ángulo de rozamiento interno.

**Figura 15. Rectas de resistencia intrínseca de los suelos**

$$\tau = C + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

donde  $\tau$  es la tensión tangencial o de cizalla, aplicada de forma radial  
 $\sigma$  es la tensión normal o axial aplicada sobre la muestra  
 $C$  es la cohesión del suelo en  $\text{kg}/\text{cm}^2$   
 $\varphi$  es el ángulo de rozamiento interno del suelo



Fuente: Manual de carreteras. Sección 15, página 19

### **2.2.5.1 Cambios de volumen en esfuerzos de corte**

Para las arenas sueltas el volumen disminuye durante el corte, ya que las partículas en el plano de falla se desplazan y forman un arreglo más denso. Para grandes deformaciones cortantes del orden del 20%, la muestra se cizalla a volumen constante con un valor constante de esfuerzo cortante.

Los cambios de volumen tienen una influencia fundamental en el valor de la resistencia al corte de los suelos.

Estos ensayos se realizan en probetas cilíndricas remoldeadas con una densidad seca máxima obtenida del ensayo de proctor modificado, se le aplican un esfuerzo de confinamiento en todas sus caras.

El ensayo triaxial constituye el método más versátil en el estudio de las propiedades esfuerzo-deformación, con este ensayo es posible obtener una gran variedad de estados reales de carga.

## **2.3 Dosificación del cloruro de sodio**

Una buena dosificación implica establecer proporciones apropiadas de los materiales, para obtener una trabajabilidad y valor soporte esperados en una estabilización adecuada.

La estabilización de suelos con cloruro de sodio depende de una buena dosificación. Esto ayudará a que las propiedades del cloruro de sodio se aprovechen de una manera óptima.

El cloruro de sodio se dosificará en la muestra de suelos en porcentajes consecutivos a partir de 2% de cloruro de sodio, hasta llegar a un porcentaje adecuado en el cual la estabilización sea apropiada y el cloruro de sodio no afecte las condiciones mecánicas del suelo.

La variación en los parámetros utilizados de cloruro de calcio dependen de:

- La temperatura y la humedad dominante.
- La topografía de la zona, en relación al drenaje natural.
- El porcentaje de finos en el suelo.
- Los límites de consistencia.

Sin embargo, algunos estudios previos concluyen que el máximo porcentaje de cloruro de sodio no debe ser muy alto y que las dosificaciones dependen del tipo de cloruro de sodio utilizado.

## **2.4 Ensayos a muestras de suelo estabilizado**

Los ensayos que se realizan al suelo estabilizado son ensayos conforme a las normas estipuladas para estos, todos los ensayos están supervisados por el personal calificado del laboratorio.

Los ensayos que se realizan han sido detallados en este capítulo, los cuales son:

- Proctor modificado  
Norma AASHTO T180-01

- CBR (Valor Soporte California)  
Norma AASHTO T193-99
- Granulometría  
Norma AASHTO T-27  
Norma AASHTO T-11
- Límites de Atterberg  
Norma ASSHTO T089-02  
Norma AASHTO T090-00
- Triaxial  
Norma ASSHTO T296-05
- Control de evaporación

Este ensayo se utiliza para medir la evaporación de la humedad en las muestras de suelo con cloruro de sodio y se realizará en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería. Sin embargo, no se regirá por ninguna norma, debido a que en el laboratorio no se cuenta con equipo especial para esto; por lo cual, se implementará equipo con el cual se medirán los parámetros de evaporación para muestras de suelo estabilizadas.

Estos ensayos proporcionan datos necesarios para establecer si el cloruro de sodio es eficaz para la estabilización de los materiales estudiados.



### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **3.1 Resultados de laboratorio**

##### **3.1.1 Arena limosa color beige**

###### **3.1.1.1 Granulometría**

El material utilizado para esta estabilización contiene los siguientes datos. Este ensayo fue realizado acorde a las normas AASHTO T-27 y AASHTO T-11 requeridas por el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Grava = 2.83%

Arena = 77.22%

Finos = 19.94%

###### **3.1.1.2 Límites de Atterberg**

El material por ser granular no presenta límites de Atterberg en ninguno de los porcentajes de cloruro de sodio.

### 3.1.1.3 Proctor

#### 3.1.1.3.1 Proctor con 0% de NaCl

Ensayo proctor realizado, el comportamiento de una arena limosa sin cloruro de sodio trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

**Tabla IV. Proctor 0 % de NaCl**

Proctor con 0% NaCl (Arena limosa)				
%H. promedio	17.4	21.8	25.7	27.0
P.U.S. (lb/pie <sup>3</sup> )	74.9	75.4	74.6	74.4

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

- Humedad óptima: 21.8%
- Densidad seca máxima: 75.4 lbs/pie<sup>3</sup>  
1207.908 kg/m<sup>3</sup>

#### 3.1.1.3.2 Proctor con 2% de NaCl

Ensayo proctor realizado, el comportamiento de una arena limosa con 2% de cloruro de sodio, trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

**Tabla V. Proctor 2 % de NaCl**

Proctor con 2% NaCl (Arena limosa)				
%H. promedio	9.3	11.7	14.8	17.8
P.U.S. (lb/pie <sup>3</sup> )	72.6	74.5	75.6	74.1

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

- Humedad óptima: 14.1%
- Densidad seca máxima: 75.6 lbs/pie<sup>3</sup>  
1211.112 kg/m<sup>3</sup>

### 3.1.1.3.3 Proctor con 4% de NaCl

Ensayo proctor realizado, el comportamiento de una arena limosa con 4% de cloruro de sodio, trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

**Tabla VI. Proctor 4 % de NaCl**

Proctor con 4% NaCl (Arena limosa)				
%H. promedio	6.3	9.4	11.7	14.6
P.U.S. (lb/pie <sup>3</sup> )	74.6	74.9	75.7	75.0

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

- Humedad óptima: 11.7%
- Densidad seca máxima: 75.8 lbs/pie<sup>3</sup>  
1214.316 kg/m<sup>3</sup>

### 3.1.1.3.4 Proctor con 6% de NaCl

Ensayo proctor realizado, el comportamiento de una arena limosa con 6% de cloruro de sodio, trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

**Tabla VII. Proctor 6 % de NaCl**

Proctor con 6% NaCl (Arena limosa)				
%H. promedio	6.5	8.2	9.9	12.5
P.U.S. (lb/pie <sup>3</sup> )	73.8	65.1	75.8	71.1

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

- Humedad óptima: 9.5%
- Densidad seca máxima: 76.1 lbs/pie<sup>3</sup>  
1229.122 kg/m<sup>3</sup>

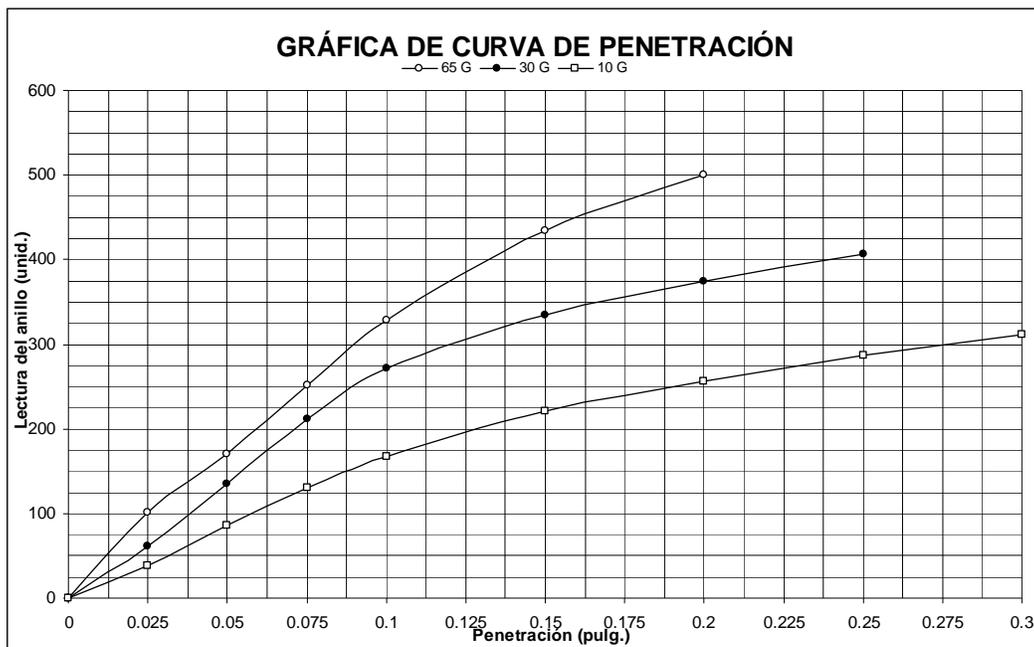
### 3.1.1.4 Valor soporte california (CBR)

#### 3.1.1.4.1 CBR con 0% de NaCl

Ensayo de valor soporte California realizado, el comportamiento de una arena limosa sin cloruro de sodio trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

Humedad óptima: 21.8%

**Figura 16. Penetración – deformación (0% NaCl)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración

### 65 golpes

- Penetración 0.1: 1,500 lb
- Penetración 0.2: 2,285 lb

### 30 golpes

- Penetración 0.1: 1,240 lb
- Penetración 0.2: 1,713 lb

### 10 golpes

- Penetración 0.1: 773 lb
- Penetración 0.2: 1,177 lb

### Datos obtenidos % CBR vs. % compactación:

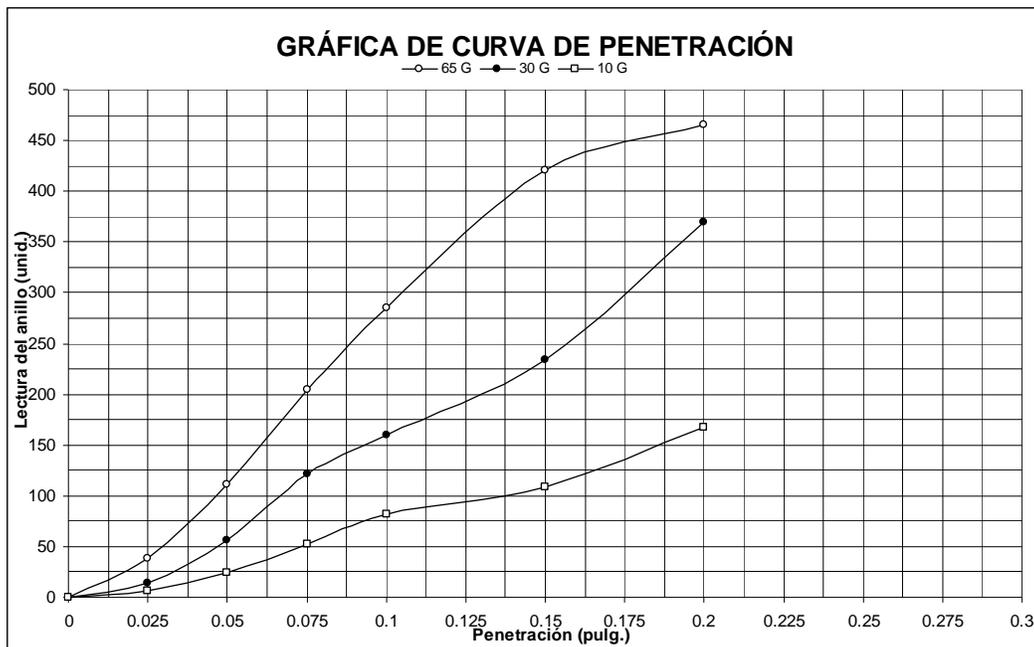
- %Compactación
  - 10 golpes: 87.09
  - 30 golpes: 93.54
  - 65 golpes: 99.70
- %CBR
  - 10 golpes: 56.8
  - 30 golpes: 87.6
  - 65 golpes: 111.1

### 3.1.1.4.2 CBR con 2% de NaCl

Ensayo de Valor Soporte California realizado, el comportamiento de una arena limosa con 2% de cloruro de sodio trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

Humedad óptima: 14.1%

**Figura 17. Penetración – deformación (2% NaCl)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración

65 golpes

- Penetración 0.1: 1,304 lb
- Penetración 0.2: 2,122 lb

30 golpes

- Penetración 0.1: 736 lb
- Penetración 0.2: 1,686 lb

10 golpes

- Penetración 0.1: 382 lb
- Penetración 0.2: 773 lb

Datos obtenidos % CBR vs. % compactación:

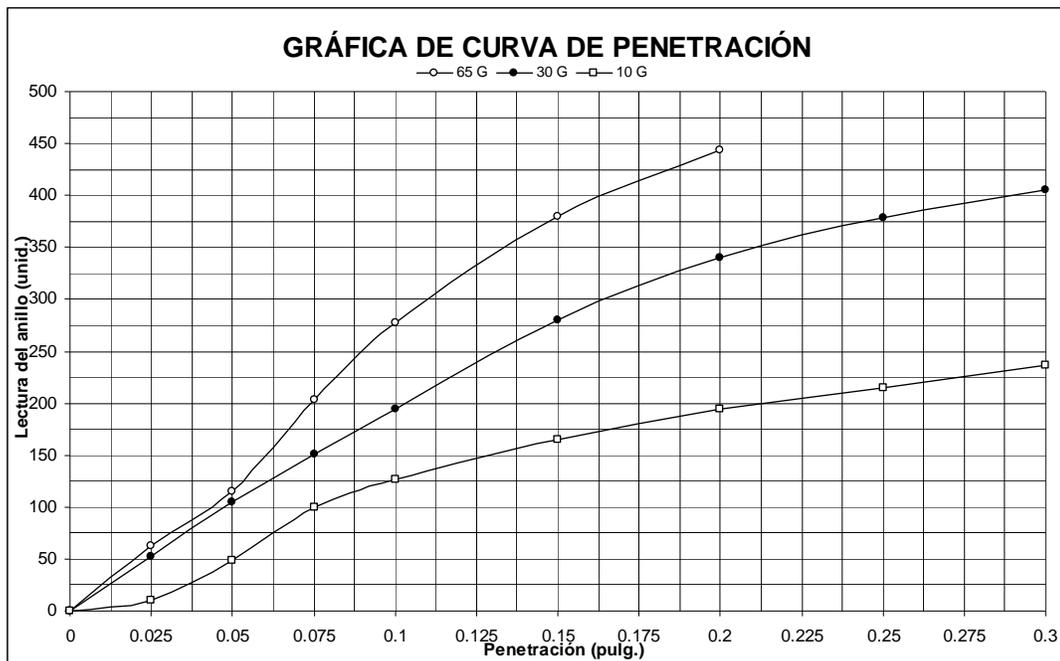
- %Compactación
  - 10 golpes: 88.81
  - 30 golpes: 93.27
  - 65 golpes: 100.50
- %CBR
  - 10 golpes: 28.1
  - 30 golpes: 68.4
  - 65 golpes: 99.9

### 3.1.1.4.3 CBR con 4% de NaCl

Ensayo de Valor Soporte California realizado, el comportamiento de una arena limosa con 4% de cloruro de sodio trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos se comporta de la siguiente manera.

Humedad Optima: 11.7%

**Figura 18. Penetración – deformación (4% NaCl)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración

65 Golpes

- Penetración 0.1: 1,268 lb
- Penetración 0.2: 2,026 lb

### 30 Golpes

- Penetración 0.1: 896 lb
- Penetración 0.2: 1,554 lb

### 10 Golpes

- Penetración 0.1: 587 lb
- Penetración 0.2: 891 lb

### Datos obtenidos % CBR vs. % compactación:

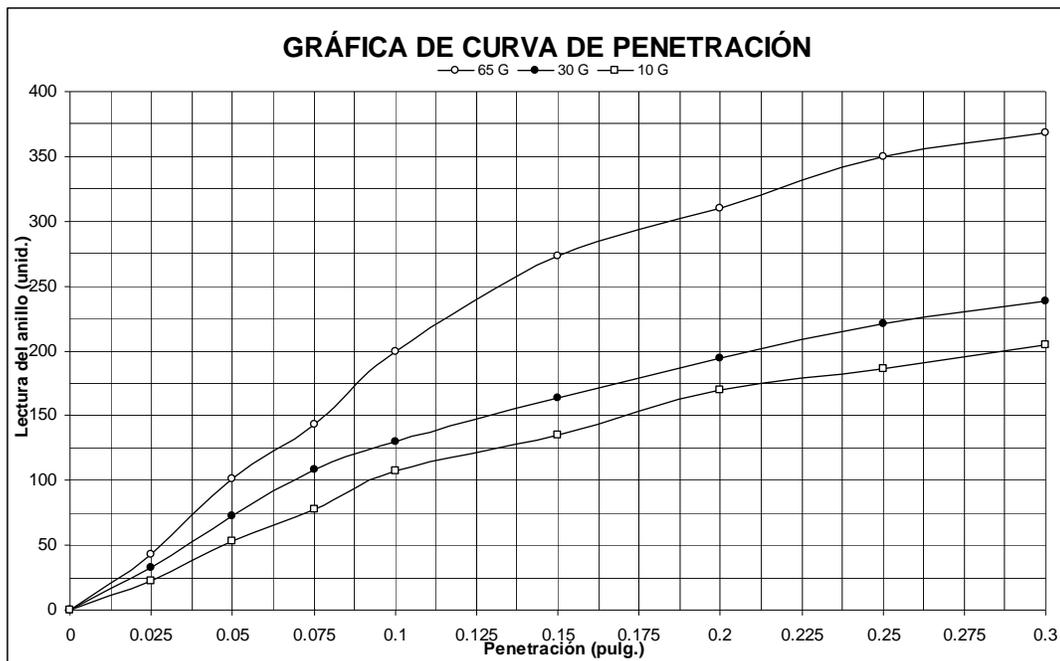
- %Compactación
  - 10 golpes: 86.32
  - 30 golpes: 92.91
  - 65 golpes: 97.43
- %CBR
  - 10 golpes: 43.1
  - 30 golpes: 71.0
  - 65 golpes: 96.2

### 3.1.1.4.4 CBR con 6% de NaCl

Ensayo de Valor Soporte California realizado, el comportamiento de una arena limosa con 6% de cloruro de sodio trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

Humedad óptima: 9.5%

**Figura 19. Penetración – deformación (6% NaCl)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración

65 golpes

- Penetración 0.1: 918 lb
- Penetración 0.2: 1,418 lb

30 golpes

- Penetración 0.1: 600 lb
- Penetración 0.2: 891 lb

10 golpes

- Penetración 0.1: 496 lb
- Penetración 0.2: 782 lb

Datos obtenidos % CBR vs. % compactación:

- %Compactación
  - 10 golpes: 89.51
  - 30 golpes: 92.69
  - 65 golpes: 98.02
- %CBR
  - 10 golpes: 36.5
  - 30 golpes: 43.9
  - 65 golpes: 68.5

**Tabla VIII. Resistencia al corte a 65 golpes**

Resistencia a corte vs. %NaCl (65 golpes, arena limosa)		
% NaCl	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.1"	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.2"
0%	1500	2285
2%	1304	2122
4%	1268	2016
6%	918	1418

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

**Tabla IX. Resistencia al corte a 30 golpes**

Resistencia a corte vs. %NaCl (30 golpes, arena limosa)		
% NaCl	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.1"	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.2"
0%	1240	1713
2%	736	1686
4%	896	1554
6%	600	891

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

**Tabla X. Resistencia al corte a 10 golpes**

Resistencia a corte vs. %NaCl (10 golpes, arena limosa)		
% NaCl	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.1"	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.2"
0%	773	1177
2%	382	773
4%	587	891
6%	496	782

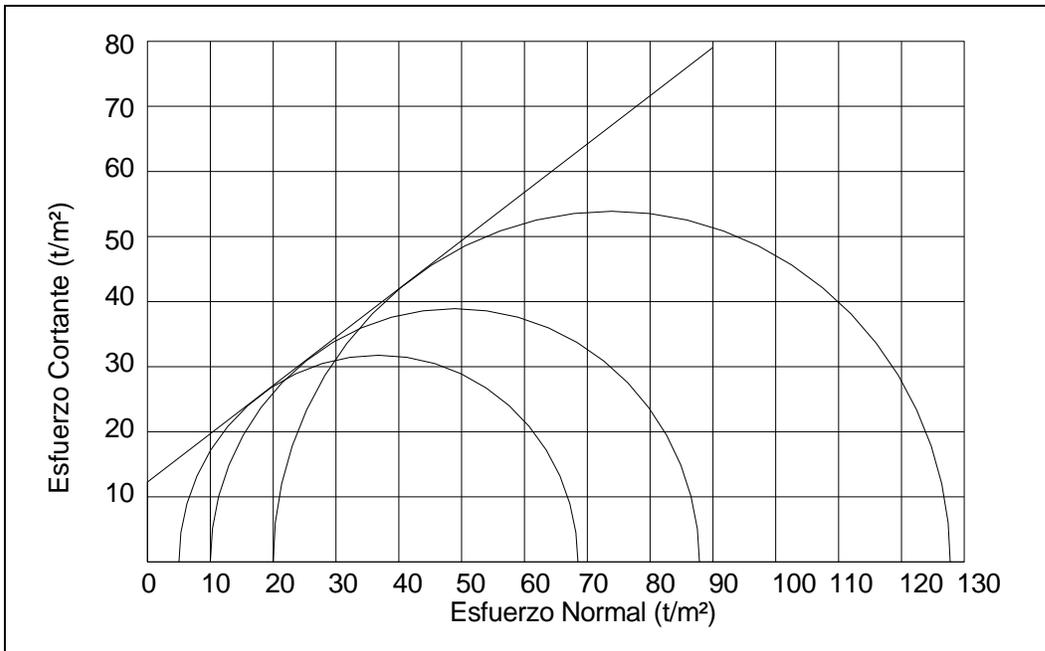
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

### 3.1.1.5 Ensayo triaxial

#### 3.1.1.5.1 Triaxial con 0% de NaCl

Ensayo triaxial con probeta remoldeada de arena limosa, empleando la densidad seca máxima, obtenida en proctor y con 0% de NaCl.

**Figura 20. Círculos de Mohr para triaxial con 0% de NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Ángulo de fricción interna:  $36.58^\circ$

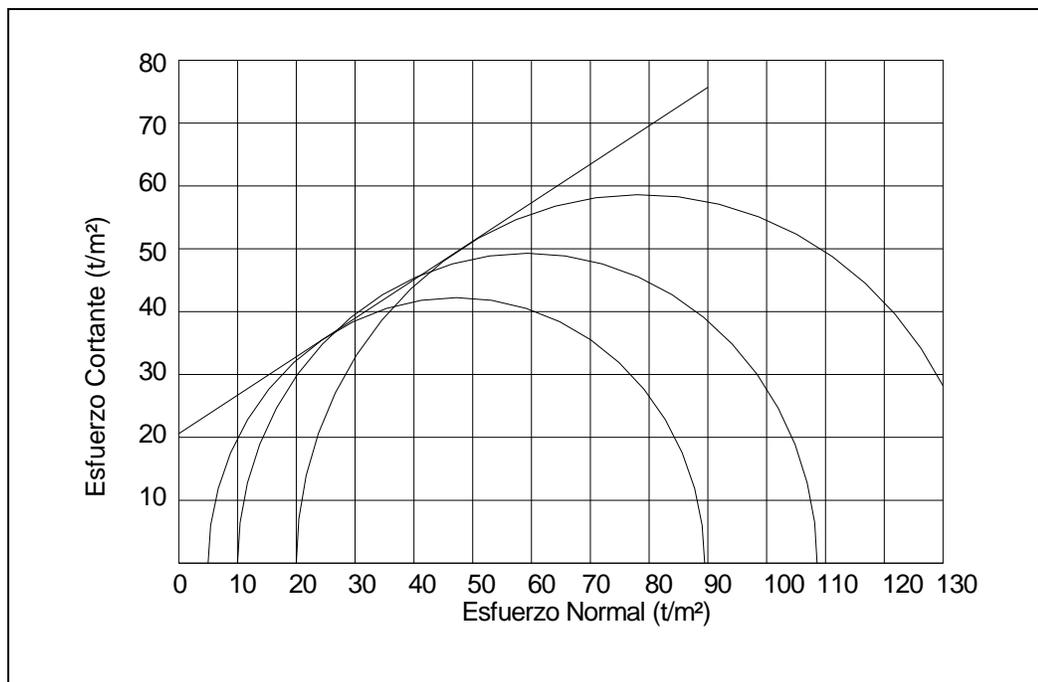
Cohesión:  $12.3 t/m^2$

La Figura 20 muestra los círculos de Mohr para las presiones de confinamiento de 5, 10 y 20 toneladas sobre metro cuadrado, obtenidos del ensayo triaxial no consolidado - no drenado.

### 3.1.1.5.2 triaxial con 2% de NaCl

Ensayo triaxial con probeta remoldeada de arena limosa, empleando la densidad seca máxima, obtenida en proctor y con 2% de NaCl.

**Figura 21. Círculos de Mohr para triaxial con 2% de NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Ángulo de fricción interna:  $31.48^\circ$

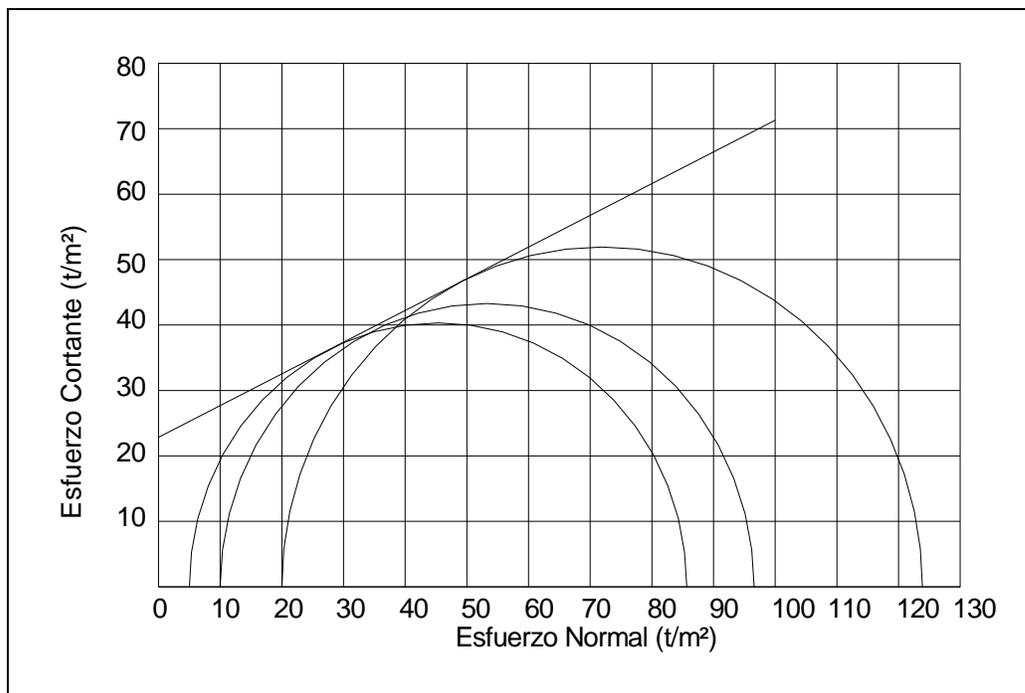
Cohesión:  $20.6 t/m^2$

La Figura 21 muestra los círculos de Mohr para las presiones de confinamiento de 5, 10 y 20 toneladas sobre metro cuadrado, obtenidos del ensayo triaxial no consolidado - no drenado.

### 3.1.1.5.3 Triaxial con 4% de NaCl

Ensayo triaxial con probeta remoldeada de arena limosa, empleando la densidad seca máxima, obtenida en proctor y con 4% de NaCl.

**Figura 22. Círculos de Mohr para triaxial con 4% de NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Ángulo de fricción interna:  $25.85^\circ$

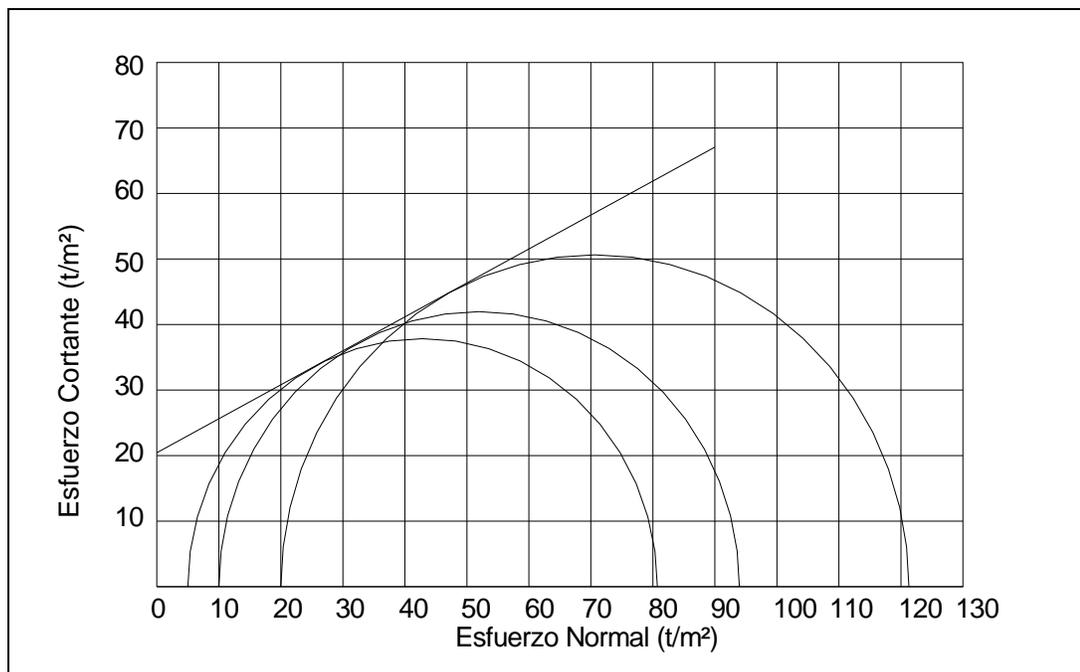
Cohesión:  $22.8 t/m^2$

La Figura 22 muestra los círculos de Mohr para las presiones de confinamiento de 5, 10 y 20 toneladas sobre metro cuadrado, obtenidos del ensayo triaxial no consolidado - no drenado.

### 3.1.1.5.4 Triaxial con 6% de NaCl

Ensayo triaxial con probeta remoldeada de arena limosa, empleando la densidad seca máxima, obtenida en proctor y con 6% de NaCl.

**Figura 23. Círculos de Mohr para triaxial con 6% de NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Ángulo de fricción interna:  $27.39^\circ$

Cohesión:  $20.4 \text{ t/m}^2$

La Figura 23 muestra los círculos de Mohr para las presiones de confinamiento de 5, 10 y 20 toneladas sobre metro cuadrado, obtenidos del ensayo triaxial no consolidado - no drenado.

**Tabla XI. Ángulo de fricción interna y cohesión**

% NaCl	Ángulo de fricción interna	Cohesión
0%	36.58	12.3
2%	31.48	20.6
4%	25.85	22.8
6%	27.39	20.4

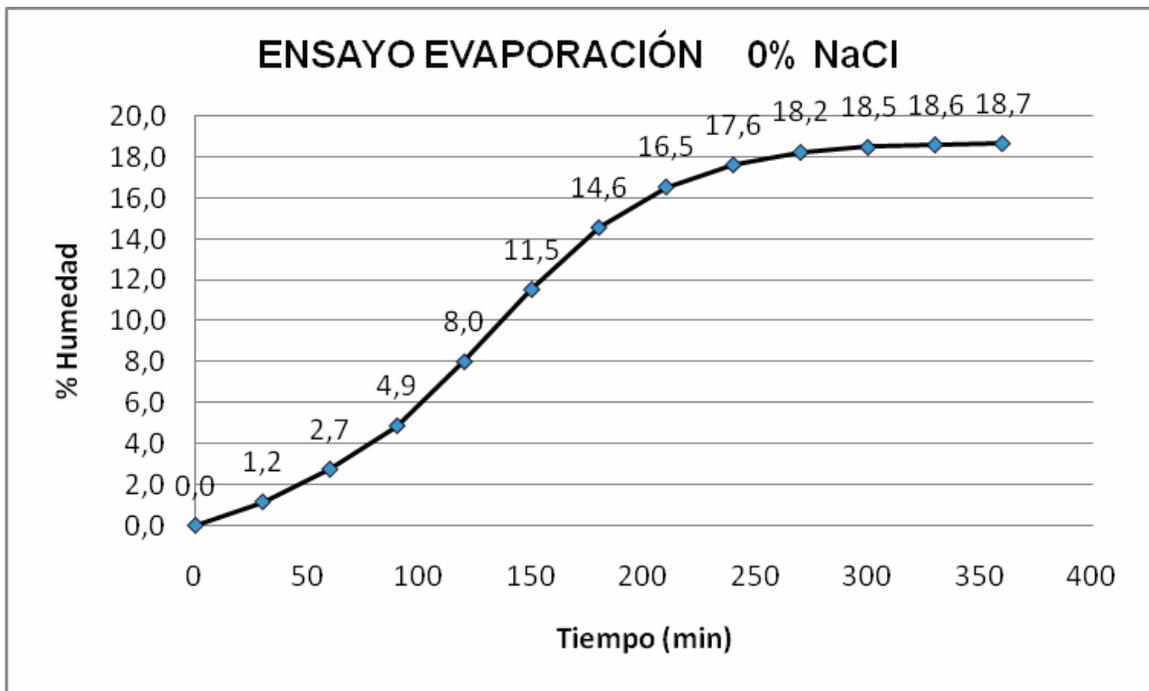
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

### 3.1.1.6 Pérdida de humedad (evaporación)

#### 3.1.1.6.1 Evaporación con 0% de NaCl

Pérdida de humedad en ensayo de evaporación con 0% de NaCl para el material arena limosa, a 360 min, con temperatura constante de 38 °C

Figura 24. Evaporación - Tiempo 0% de NaCl (arena limosa)



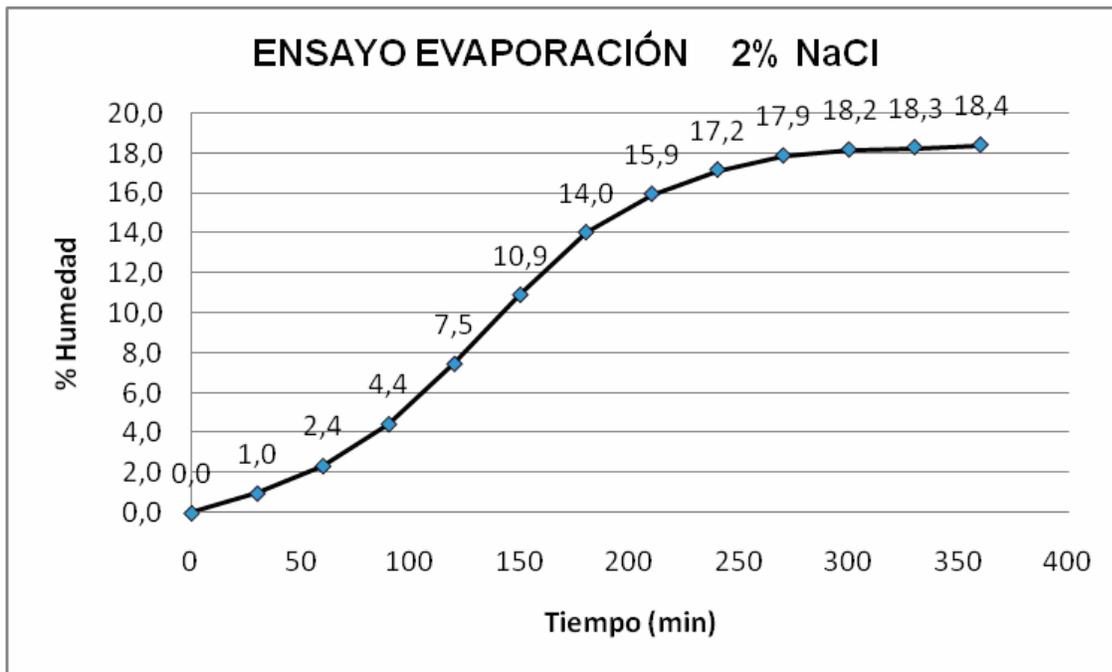
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La Figura 24 muestra los datos obtenidos de pérdida de la humedad en el suelo, al transcurrir el tiempo y empleando 0% de cloruro de sodio. La muestra de suelo estuvo en el horno a una temperatura constante durante seis horas, se tomó lecturas de pérdida de humedad a cada 30 minutos.

### 3.1.1.6.2 Evaporación 2% de NaCl

Pérdida de humedad en ensayo de evaporación con 4% de NaCl para el material arena limosa, a 360 min, con temperatura constante de 38 °C

Figura 25. Evaporación - Tiempo 2% de NaCl (arena limosa)



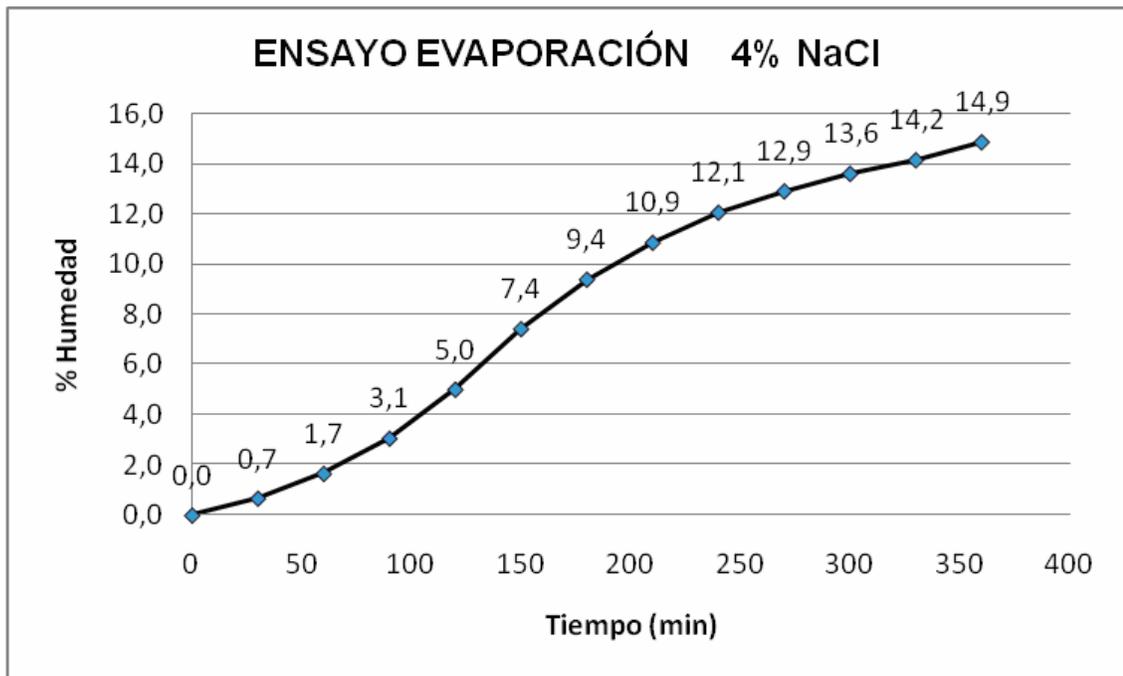
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La Figura 25 muestra los datos obtenidos de pérdida de la humedad en el suelo, al transcurrir el tiempo y empleando 2% de cloruro de sodio. La muestra de suelo estuvo en el horno a una temperatura constante durante seis horas, se tomó lecturas de pérdida de humedad a cada 30 minutos.

### 3.1.1.6.3 Evaporación 4% de NaCl

Pérdida de humedad en ensayo de evaporación con 4% de NaCl para el material arena limosa, a 360 min, con temperatura constante de 38 °C

Figura 26. Evaporación - Tiempo 4% de NaCl (arena limosa)



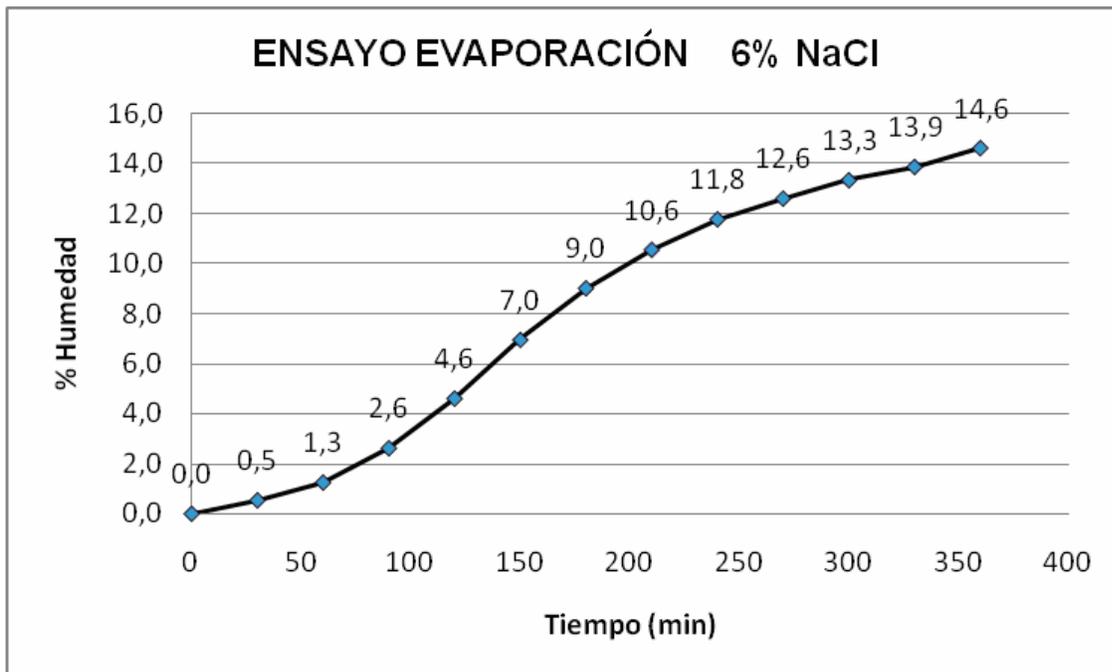
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La Figura 26 muestra los datos obtenidos de pérdida de la humedad en el suelo, al transcurrir el tiempo y empleando 4% de cloruro de sodio. La muestra de suelo estuvo en el horno a una temperatura constante durante seis horas, se tomó lecturas de pérdida de humedad a cada 30 minutos.

### 3.1.1.6.4 Evaporación 6% de NaCl

Pérdida de humedad en ensayo de evaporación con 6% de NaCl para el material arena limosa, a 360 min, con temperatura constante de 38 °C

Figura 27. Evaporación - Tiempo 6% de NaCl (arena limosa)



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La Figura 27 muestra los datos obtenidos de pérdida de la humedad en el suelo, al transcurrir el tiempo y empleando 6% de cloruro de sodio. La muestra de suelo estuvo en el horno a una temperatura constante durante seis horas, se tomó lecturas de pérdida de humedad a cada 30 minutos.

**Tabla XII. Pérdida de humedad con cloruro de sodio**

Lecturas	Tiempo (min)	0% NaCl	2% NaCl	4% NaCl	6% NaCl
		H%	H%	H%	H%
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	30	1.2	1.0	0.7	0.5
3	60	2.7	2.4	1.7	1.3
4	90	4.9	4.4	3.1	2.6
5	120	8.0	7.5	5.0	4.6
6	150	11.5	10.9	7.4	7.0
7	180	14.6	14.0	9.4	9.0
8	210	16.5	15.9	10.9	10.6
9	240	17.6	17.2	12.1	11.8
10	270	18.2	17.9	12.9	12.6
11	300	18.5	18.2	13.6	13.3
12	330	18.6	18.3	14.2	13.9
13	360	18.7	18.4	14.9	14.6

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

### **3.1.2 Arena caliza color gris**

#### **3.1.2.1 Granulometría**

El material utilizado para esta estabilización contiene los siguientes datos. Este ensayo fue realizado acorde a las normas AASHTO T-27 y AASHTO T-11 requeridas por el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Grava = 0.89%

Arena = 93.08%

Finos = 6.03%

#### **3.1.2.2 Límites de Atterberg**

El material por ser granular no presenta límites de atterberg en ninguno de los porcentajes de cloruro de sodio.

#### **3.1.2.3 Proctor**

##### **3.1.2.3.1 Proctor con 0% de NaCl**

Proctor realizado, el comportamiento de una arena caliza limosa sin cloruro de sodio trabajada bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

**Tabla XIII. Proctor 0 % de NaCl**

Proctor con 0% NaCl (arena caliza)				
%H. promedio	2.0	4.9	7.4	11.4
P.U.S. (lb/pie <sup>3</sup> )	125.1	125.3	125.5	125.1

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

- Humedad óptima: 7.4%
- Densidad seca máxima: 125.65 lbs/pie<sup>3</sup>  
2012.913 kg/m<sup>3</sup>

### 3.1.2.3.2 Proctor con 2% de NaCl

Proctor realizado, el comportamiento de una arena Caliza limosa con 2% de cloruro de sodio trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

**Tabla XIV. Proctor 2 % de NaCl**

Proctor con 2% NaCl (arena caliza)				
%H. promedio	2.5	5.2	7.2	11.7
P.U.S. (lb/pie <sup>3</sup> )	123.1	126.3	126.4	126.0

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

- Humedad óptima: 5.8%
- Densidad seca máxima: 127.6 lbs/pie<sup>3</sup>  
2029.734 kg/m<sup>3</sup>

### 3.1.2.3.3 Proctor con 4% de NaCl

Proctor realizado, el comportamiento de una arena caliza limosa con 4% de cloruro de sodio trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

**Tabla XV. Proctor 4 % de NaCl para**

Proctor con 4% NaCl (arena caliza)				
%H. promedio	0.3	1.8	3.8	5.8
P.U.S. (lb/pie <sup>3</sup> )	123.2	124.0	123.5	123.1

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

- Humedad óptima: 2%
- Densidad seca máxima: 124.6 lbs/pie<sup>3</sup>  
1996.092 kg/m<sup>3</sup>

### 3.1.2.3.4 Proctor con 6% de NaCl

Proctor realizado, el comportamiento de una arena caliza limosa con 6% de cloruro de sodio trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

**Tabla XVI. Proctor 6 % de NaCl**

Proctor con 6% NaCl (arena caliza)				
%H. promedio	0.5	0.9	1.9	2.8
P.U.S. (lb/pie <sup>3</sup> )	123.0	123.1	124.5	124.1

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

- Humedad óptima: 1.9%
- Densidad seca máxima: 124.5 lbs/pie<sup>3</sup>  
1994.49 kg/m<sup>3</sup>

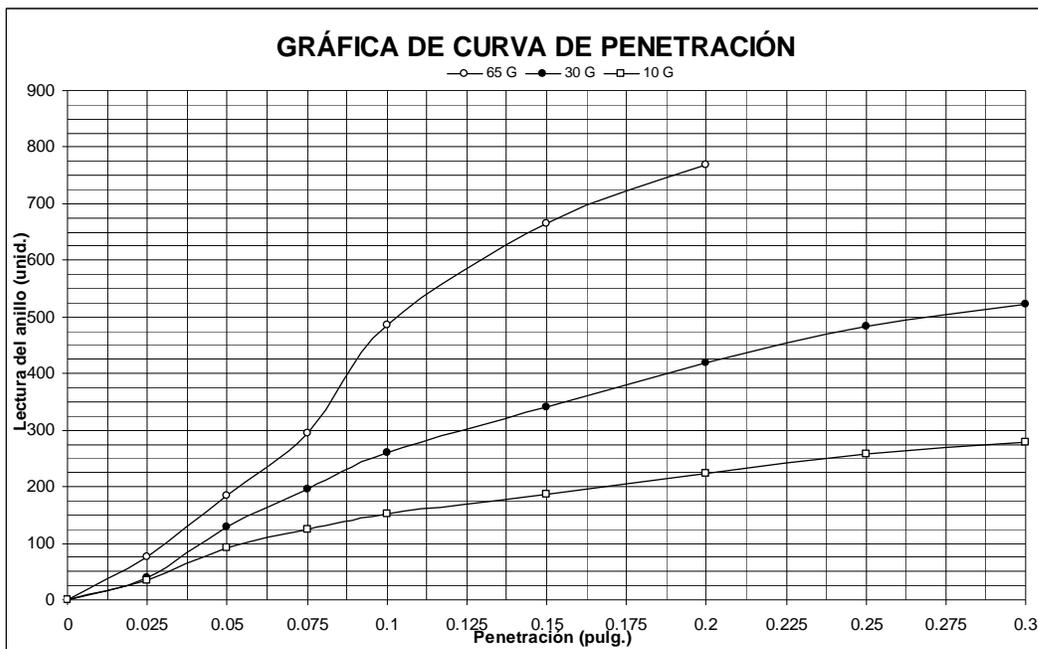
### 3.1.2.4 Valor soporte california (CBR)

#### 3.1.2.4.1 CBR con 0% de NaCl

Ensayo de valor soporte California realizado, el comportamiento de una arena caliza limosa sin cloruro de sodio, trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

Humedad óptima: 7.4%

**Figura 28. Penetración – deformación (0% NaCl)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración

65 golpes

- Penetración 0.1: 2,212 lb
- Penetración 0.2: 3,502 lb

30 golpes

- Penetración 0.1: 1,191 lb
- Penetración 0.2: 1,917 lb

10 golpes

- Penetración 0.1: 700 lb
- Penetración 0.2: 1,027 lb

Datos obtenidos % CBR vs. % compactación:

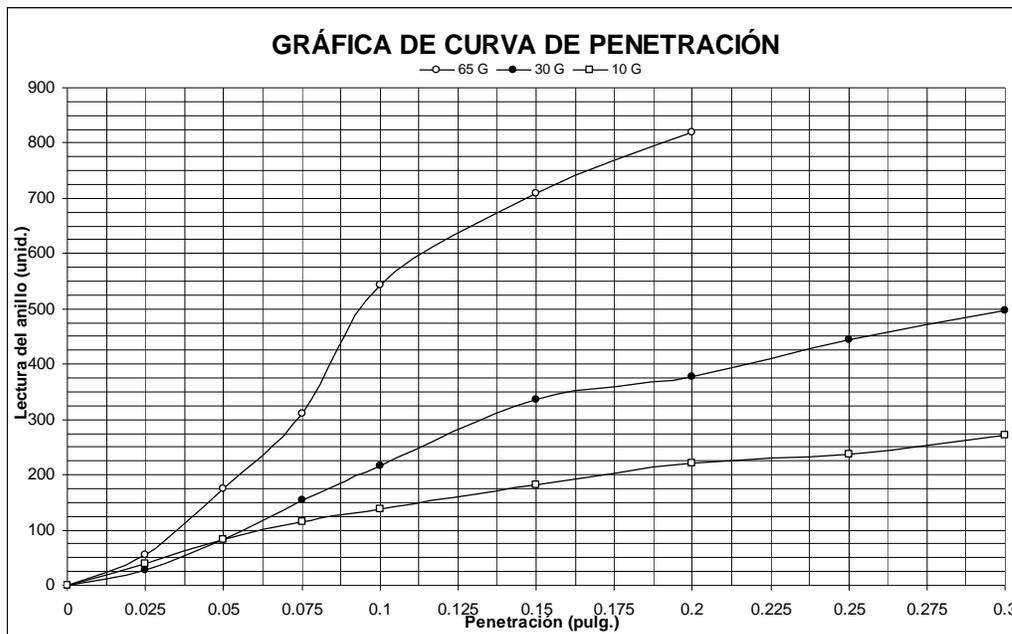
- %Compactación
  - 10 golpes: 90.15
  - 30 golpes: 95.62
  - 65 golpes: 101.11
- %CBR
  - 10 golpes: 51.5
  - 30 golpes: 90.7
  - 65 golpes: 167.1

### 3.1.2.4.2 CBR con 2% de NaCl

Ensayo de valor soporte California realizado, el comportamiento de una arena caliza limosa con 2% de cloruro de sodio, trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

Humedad óptima: 5.8%

**Figura 29. Penetración – deformación (2% NaCl)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración

65 golpes

- Penetración 0.1: 2,480 lb
- Penetración 0.2: 3,734 lb

30 golpes

- Penetración 0.1: 995 lb
- Penetración 0.2: 1727 lb

10 golpes

- Penetración 0.1: 637 lb
- Penetración 0.2: 1,009 lb

Datos obtenidos % CBR vs. % compactación:

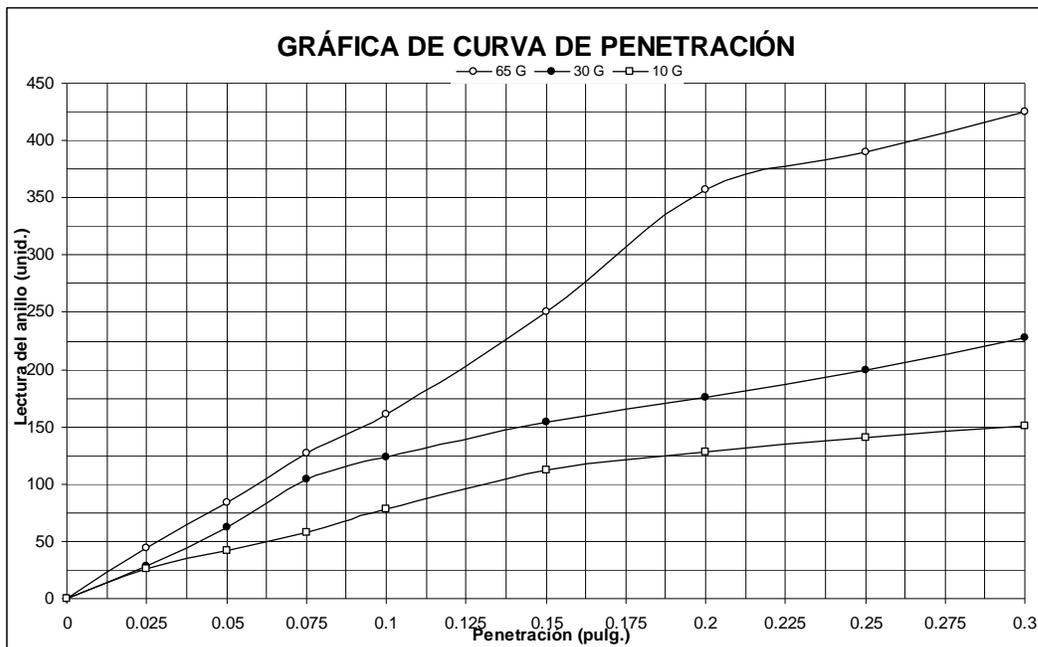
- %Compactación
  - 10 golpes: 91.55
  - 30 golpes: 95.93
  - 65 golpes: 101.43
- %CBR
  - 10 golpes: 46.8
  - 30 golpes: 78.9
  - 65 golpes: 182.6

### 3.1.2.4.3 CBR con 4% de NaCl

Ensayo de valor soporte California realizado, el comportamiento de una arena caliza limosa con 4% de cloruro de sodio, trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

Humedad óptima: 2%

**Figura 30. Penetración – deformación (4% NaCl)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración

65 golpes

- Penetración 0.1: 741 lb
- Penetración 0.2: 1,631 lb

30 golpes

- Penetración 0.1: 569 lb
- Penetración 0.2: 809 lb

10 golpes

- Penetración 0.1: 364 lb
- Penetración 0.2: 591 lb

Datos obtenidos % CBR vs. % compactación:

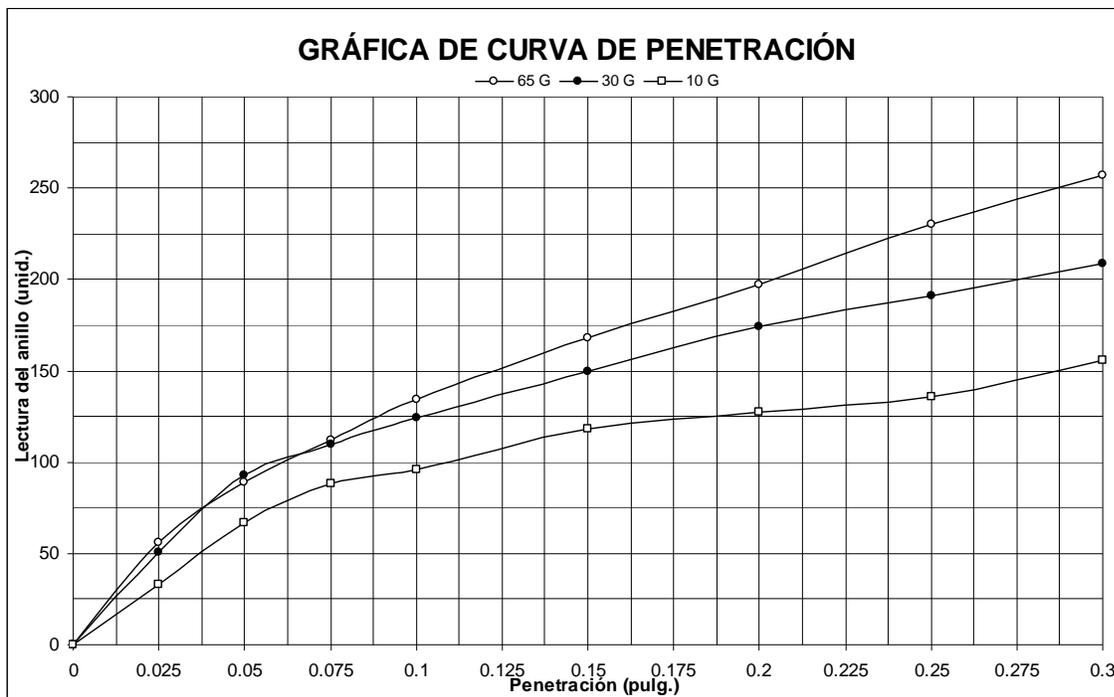
- %Compactación
  - 10 golpes: 90.37
  - 30 golpes: 95.25
  - 65 golpes: 99.68
- %CBR
  - 10 golpes: 26.8
  - 30 golpes: 40.7
  - 65 golpes: 67.2

### 3.1.2.4.4 CBR con 6% de NaCl

Ensayo de valor soporte California realizado, el comportamiento de una arena caliza limosa con 6% de cloruro de sodio, trabajado bajo los requerimientos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, se comporta de la siguiente manera.

Humedad óptima: 1.9%

**Figura 31. Penetración – deformación (6% NaCl)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Datos obtenidos:

Resistencia a la penetración

#### 65 golpes

- Penetración 0.1: 619 lb
- Penetración 0.2: 905 lb

#### 30 golpes

- Penetración 0.1: 573 lb
- Penetración 0.2: 800 lb

#### 10 golpes

- Penetración 0.1: 446 lb
- Penetración 0.2: 587 lb

#### Datos obtenidos % CBR vs. % compactación:

- %Compactación
  - 10 golpes: 91.42
  - 30 golpes: 95.36
  - 65 golpes: 100.24
- %CBR
  - 10 golpes: 32.8
  - 30 golpes: 40.7
  - 65 golpes: 44.9

**Tabla XVII. Resistencia al corte a 65 golpes**

Resistencia a corte vs. %NaCl (65 golpes, arena caliza)		
% NaCl	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.1"	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.2"
0%	2212	3502
2%	2480	3734
4%	741	1631
6%	619	905

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

**Tabla XVIII. Resistencia al corte a 30 golpes**

Resistencia a corte vs. %NaCl (30 golpes, arena caliza)		
% NaCl	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.1"	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.2"
0%	1191	1917
2%	995	1727
4%	569	809
6%	573	800

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

**Tabla XIX. Resistencia al corte a 10 golpes**

Resistencia a corte vs. %NaCl (10 golpes, arena caliza)		
% NaCl	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.1"	Resistencia a corte (lb) Penetración 0.2"
0%	700	1027
2%	637	1009
4%	364	591
6%	446	587

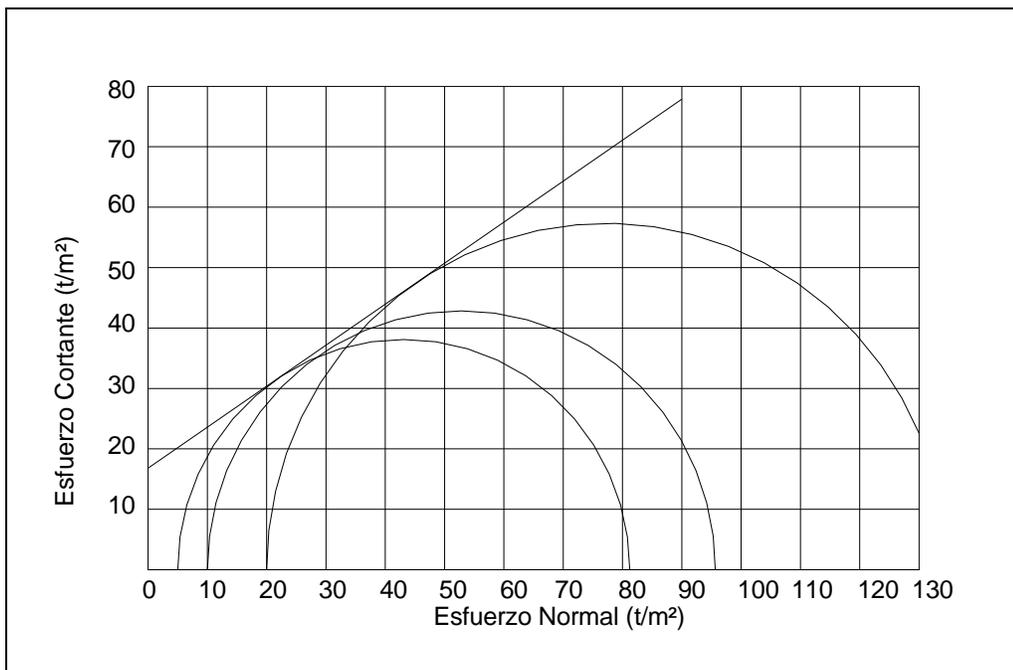
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

### 3.1.2.5 Ensayo Triaxial

#### 3.1.2.5.1 Triaxial con 0% de NaCl

Ensayo triaxial con probeta remoldeada de arena caliza, empleando la densidad seca máxima obtenida en proctor y con 0% de NaCl.

**Figura 32. Círculos de Mohr para triaxial con 0% de NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Ángulo de fricción interna:  $34.16^\circ$

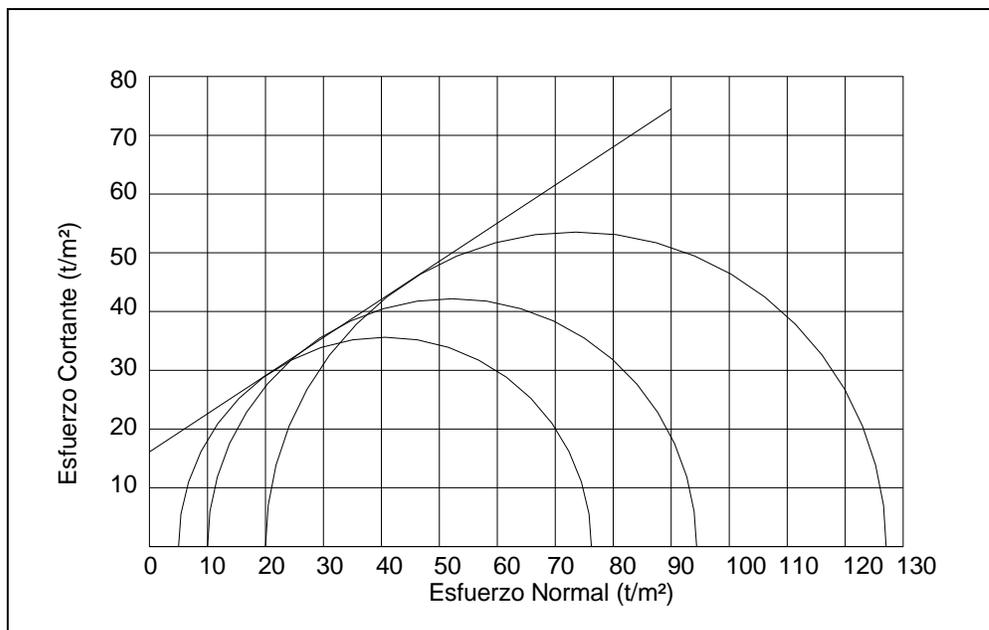
Cohesión:  $16.8 \text{ t/m}^2$

La Figura 32 muestra los círculos de Mohr para las presiones de confinamiento de 5, 10 y 20 toneladas sobre metro cuadrado, obtenidos del ensayo triaxial no consolidado - no drenado.

### 3.1.2.5.2 Triaxial con 2% de NaCl

Ensayo triaxial con probeta remoldeada de arena caliza, empleando la densidad seca máxima obtenida en proctor y con 2% de NaCl.

**Figura 33. Círculos de Mohr para triaxial con 2% de NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Ángulo de fricción interna:  $32.98^\circ$

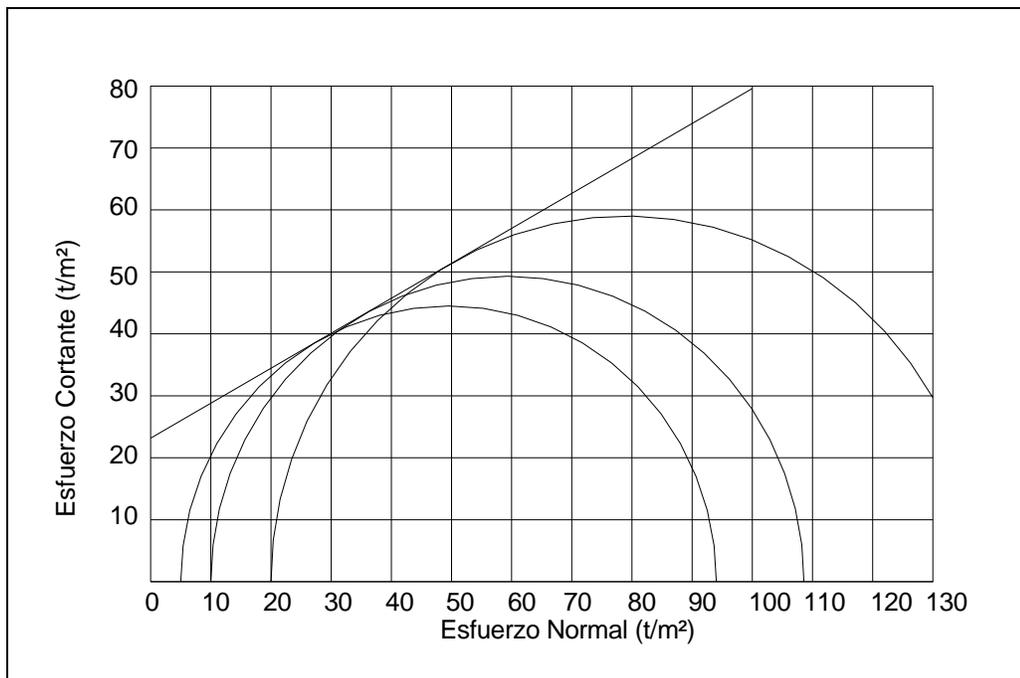
Cohesión:  $16.1 t/m^2$

La Figura 33 muestra los círculos de Mohr para las presiones de confinamiento de 5, 10 y 20 toneladas sobre metro cuadrado, obtenidos del ensayo triaxial no consolidado - no drenado.

### 3.1.2.5.3 Triaxial con 4% de NaCl

Ensayo triaxial con probeta remoldeada de arena caliza, empleando la densidad seca máxima obtenida en proctor y con 4% de NaCl.

**Figura 34. Círculos de Mohr para triaxial con 4% de NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Ángulo de fricción interna:  $29.44^\circ$

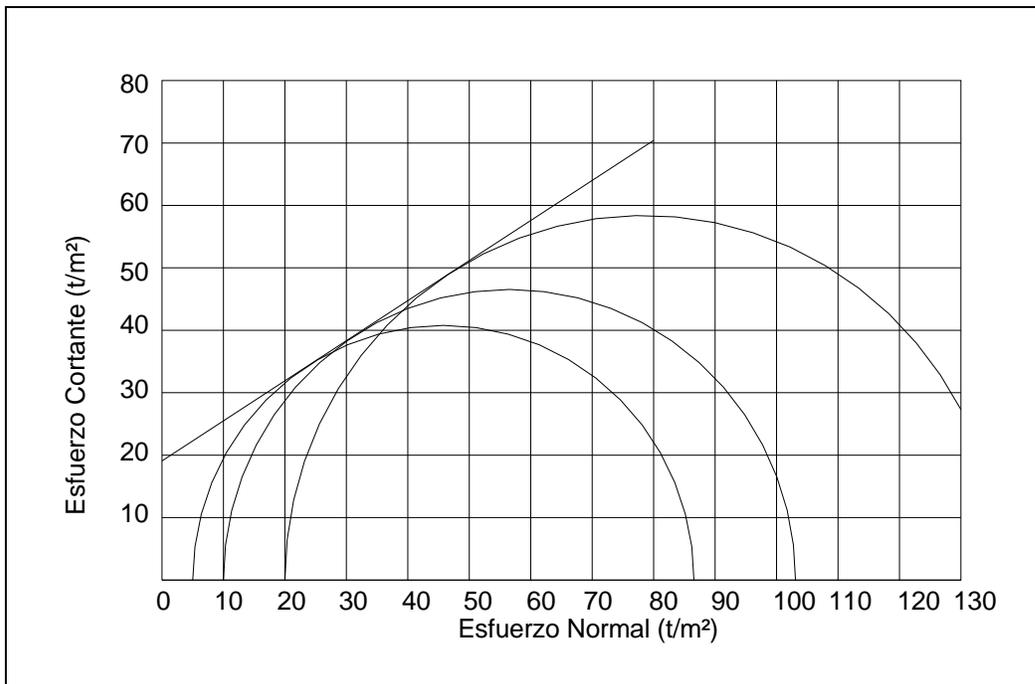
Cohesión:  $23.2 t/m^2$

La Figura 34 muestra los círculos de Mohr para las presiones de confinamiento de 5, 10 y 20 toneladas sobre metro cuadrado, obtenidos del ensayo triaxial no consolidado - no drenado.

### 3.1.2.5.4 Triaxial con 6% de NaCl

Ensayo triaxial con probeta remoldeada de arena caliza, empleando la densidad seca máxima obtenida en proctor y con 6% de NaCl.

**Figura 35. Círculos de Mohr para triaxial con 6% de NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Ángulo de fricción interna:  $32.68^\circ$

Cohesión:  $19.1 t/m^2$

La Figura 35 muestra los círculos de Mohr para las presiones de confinamiento de 5, 10 y 20 toneladas sobre metro cuadrado, obtenidos del ensayo triaxial no consolidado - no drenado.

**Tabla XX. Ángulo de fricción interna y cohesión**

% NaCl	Ángulo de fricción interna	Cohesión
0	34.16	16.8
2	32.98	16.1
4	29.44	23.2
6	32.68	19.1

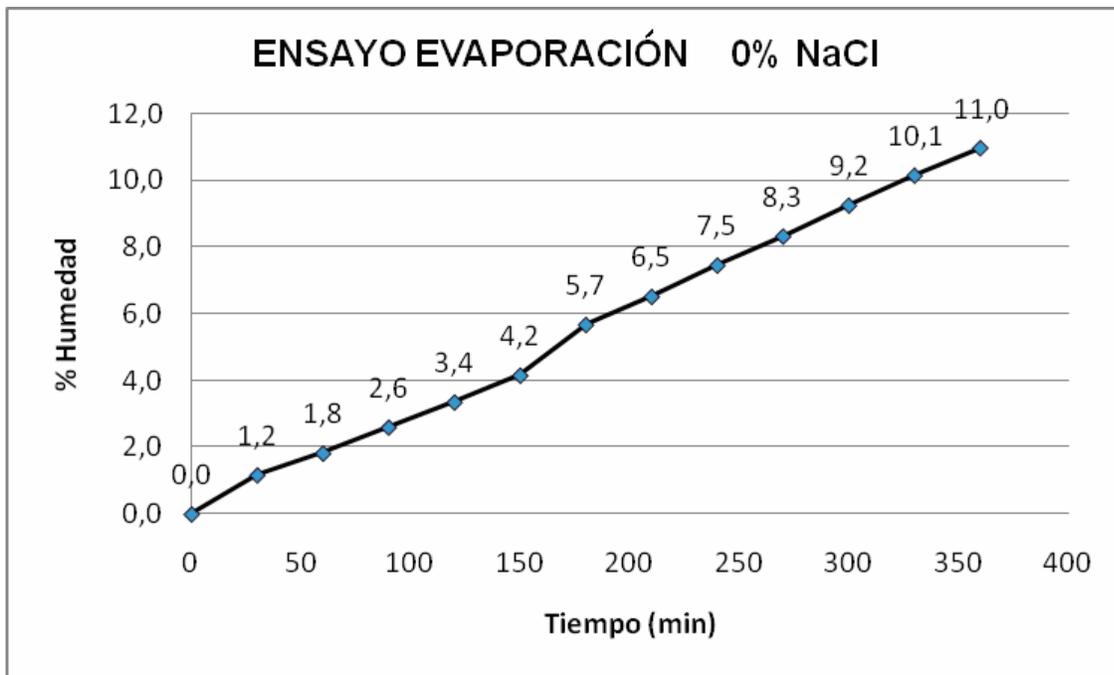
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

### 3.1.2.6 Pérdida de humedad (evaporación)

#### 3.1.2.6.1 Evaporación con 0% de NaCl

Pérdida de humedad en ensayo de evaporación con 0% de NaCl para el material arena caliza, a 360 min, con temperatura constante de 38 °C

Figura 36. Evaporación - Tiempo 0% de NaCl (arena caliza)



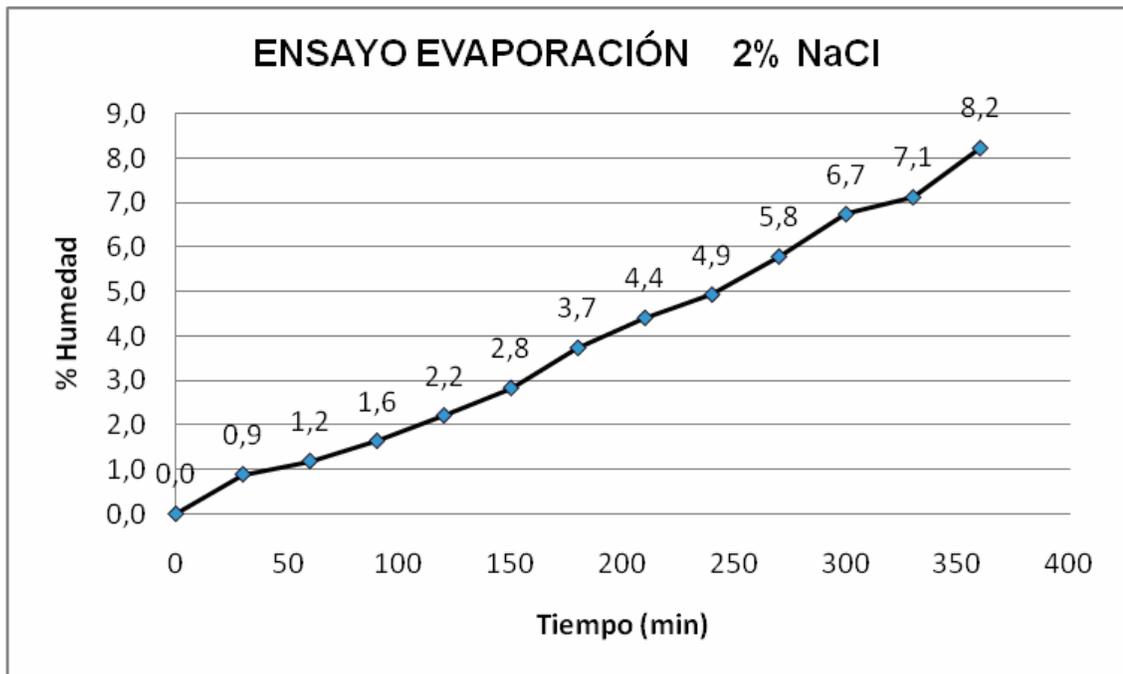
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La figura 36 muestra los datos obtenidos de pérdida de la humedad en el suelo, al transcurrir el tiempo y empleando 0% de cloruro de sodio. La muestra de suelo estuvo en el horno a una temperatura constante durante seis horas, se tomó lecturas de pérdida de humedad a cada 30 minutos.

### 3.1.2.6.2 Evaporación con 2% de NaCl

Pérdida de humedad en ensayo de evaporación con 2% de NaCl para el material arena caliza, a 360 min, con temperatura constante de 38 °C

Figura 37. Evaporación - Tiempo 2% de NaCL (arena caliza)



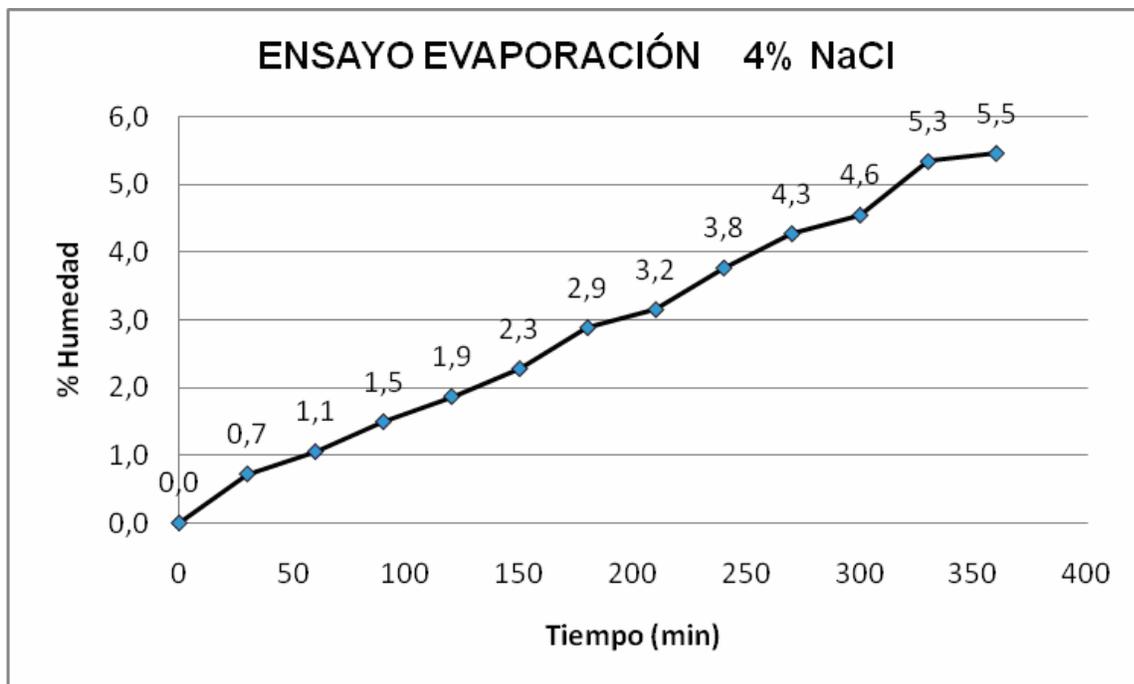
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La figura 37 muestra los datos obtenidos de pérdida de la humedad en el suelo, al transcurrir el tiempo y empleando 2% de cloruro de sodio. La muestra de suelo estuvo en el horno a una temperatura constante durante seis horas, se tomó lecturas de pérdida de humedad a cada 30 minutos.

### 3.1.2.6.3 Evaporación con 4% de NaCl

Pérdida de humedad en ensayo de evaporación con 4% de NaCl para el material arena caliza, a 360 min, con temperatura constante de 38 °C

**Figura 38. Evaporación - Tiempo 4% de NaCl (arena caliza)**



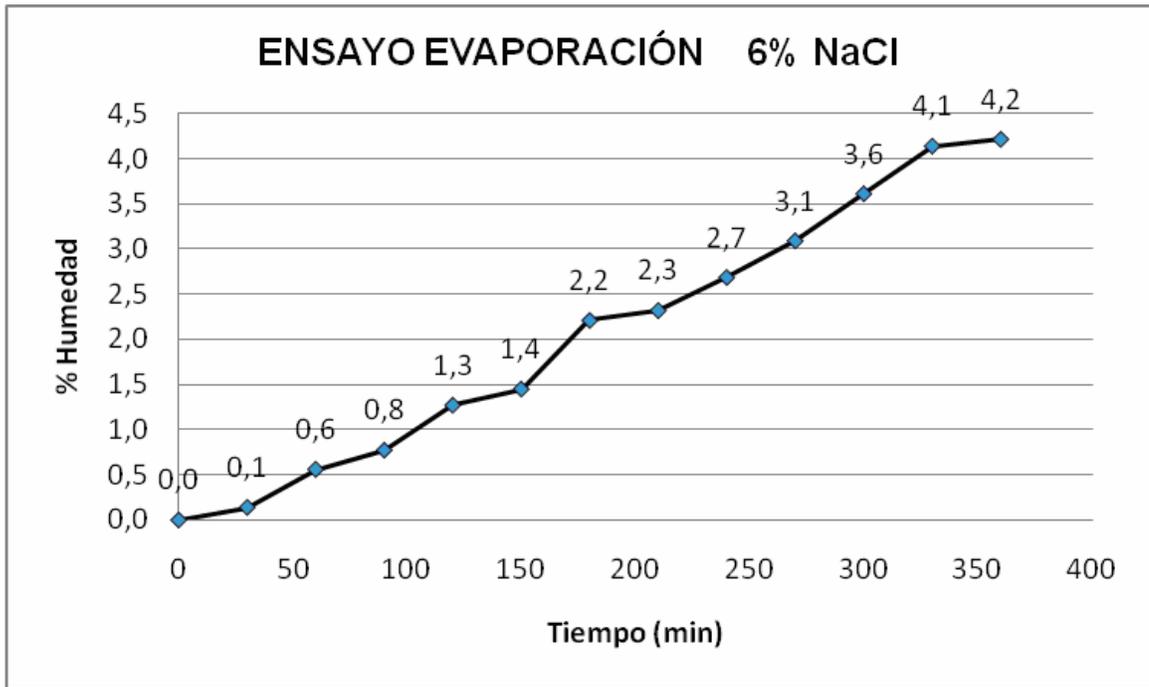
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La figura 38 muestra los datos obtenidos de pérdida de la humedad en el suelo, al transcurrir el tiempo y empleando 4% de cloruro de sodio. La muestra de suelo estuvo en el horno a una temperatura constante durante seis horas, y se tomó lecturas de pérdida de humedad a cada 30 minutos.

### 3.1.2.6.4 Evaporación con 6% de NaCl

Pérdida de humedad en ensayo de evaporación con 6% de NaCl para el material arena caliza, a 360 min, con temperatura constante de 38 °C

Figura 39. Evaporación - Tiempo 6% de NaCl (arena caliza)



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La figura 39 señala los datos obtenidos de pérdida de la humedad en el suelo, al transcurrir el tiempo y empleando 6% de cloruro de sodio. La muestra de suelo estuvo en el horno a una temperatura constante durante seis horas, se tomó lecturas de pérdida de humedad a cada 30 minutos.

**Tabla XXI. Pérdida de humedad con cloruro de sodio**

Lecturas	Tiempo (min)	0% NaCl	2% NaCl	4% NaCl	6% NaCl
		H%	H%	H%	H%
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	30	1.2	0.9	0.7	0.1
3	60	1.8	1.2	1.1	0.6
4	90	2.6	1.6	1.5	0.8
5	120	3.4	2.2	1.9	1.3
6	150	4.2	2.8	2.3	1.4
7	180	5.7	3.7	2.9	2.2
8	210	6.5	4.4	3.2	2.3
9	240	7.5	4.9	3.8	2.7
10	270	8.3	5.8	4.3	3.1
11	300	9.2	6.7	4.6	3.6
12	330	10.1	7.1	5.3	4.1
13	360	11.0	8.2	5.5	4.2

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

## 3.2 Interpretación de resultados

### 3.2.1 Arena limosa color beige

#### 3.2.1.1 Proctor

Tabla XXII. Densidad seca máxima y humedad óptima con adición de NaCl

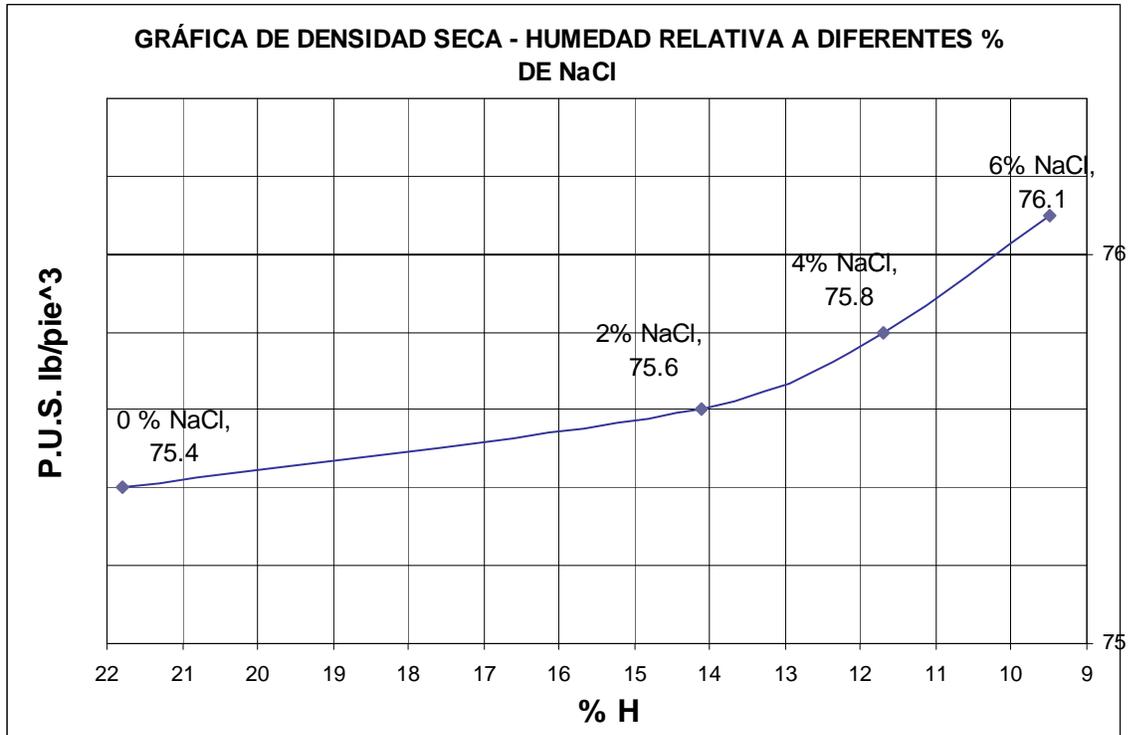
Cloruro de Sodio (%)	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima Lb/pie <sup>3</sup>
0	21.8	75.4
2	14.1	75.6
4	11.7	75.8
6	9.5	76.1

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXII muestra la variación en la humedad óptima y la densidad seca máxima con diferentes porcentajes de cloruro de sodio (NaCl)

En la figura 40 se muestra la curva de peso volumétrico máximo y humedad óptima obtenida con diferentes porcentajes de NaCl para el material arena limosa color beige.

**Figura 40. Comparación en porcentajes de NaCl para Proctor**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Al aumentar el porcentaje de cloruro de sodio (NaCl), el comportamiento del material cambia su comportamiento, cuando se aumenta el contenido de NaCl en la muestra de suelo, aumenta la Densidad Seca Máxima y se reduce la Humedad Óptima de compactación.

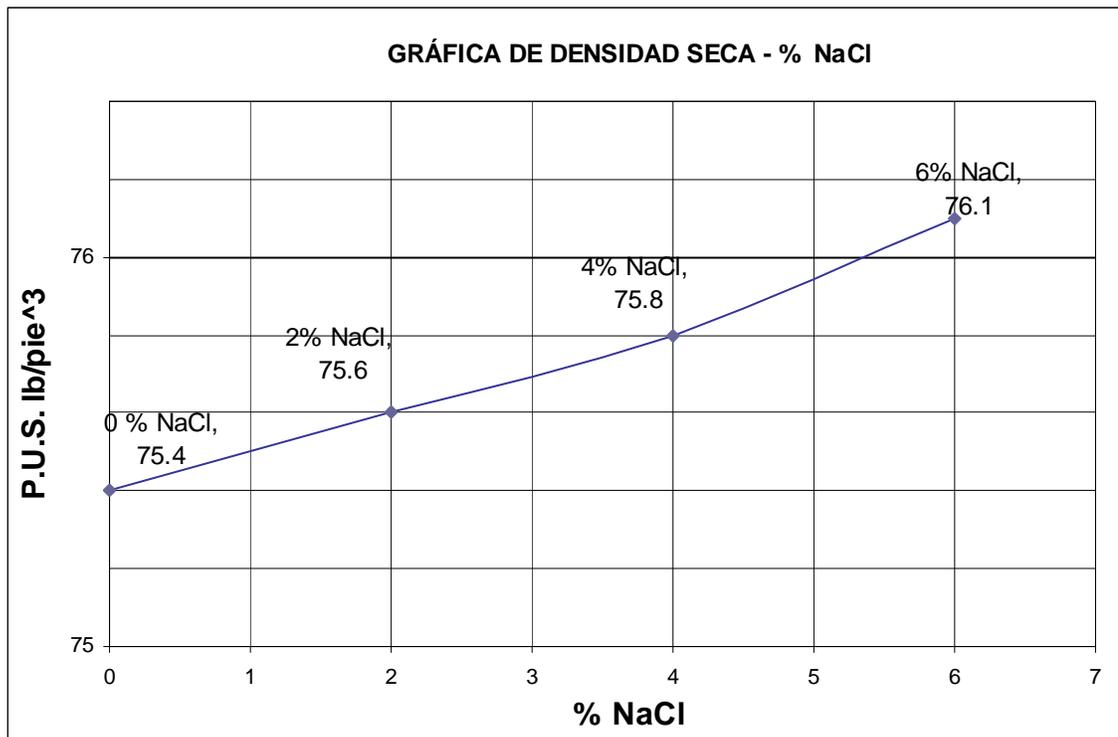
**Tabla XXIII. Densidad Seca Máxima - % NaCl**

Cloruro de Sodio (%)	Densidad Seca Máxima Lb/pie <sup>3</sup>
0	75.4
2	75.6
4	75.8
6	76.1

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXIII muestra un resumen de la variación en la densidad seca máxima que tiene el suelo compactado con el aumento de cloruro de sodio (NaCl).

**Figura 41. Comportamiento de densidad seca máxima - % NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La gráfica 41 muestra que al aumentar el porcentaje de NaCl en el suelo, se aumenta la densidad seca máxima en el ensayo proctor modificado, el incremento en la densidad del suelo es constante al agregar porcentajes de NaCl de 2% y 4%. Sin embargo, al agregar un 6% la densidad se incrementa de manera mayor a los incrementos anteriores.

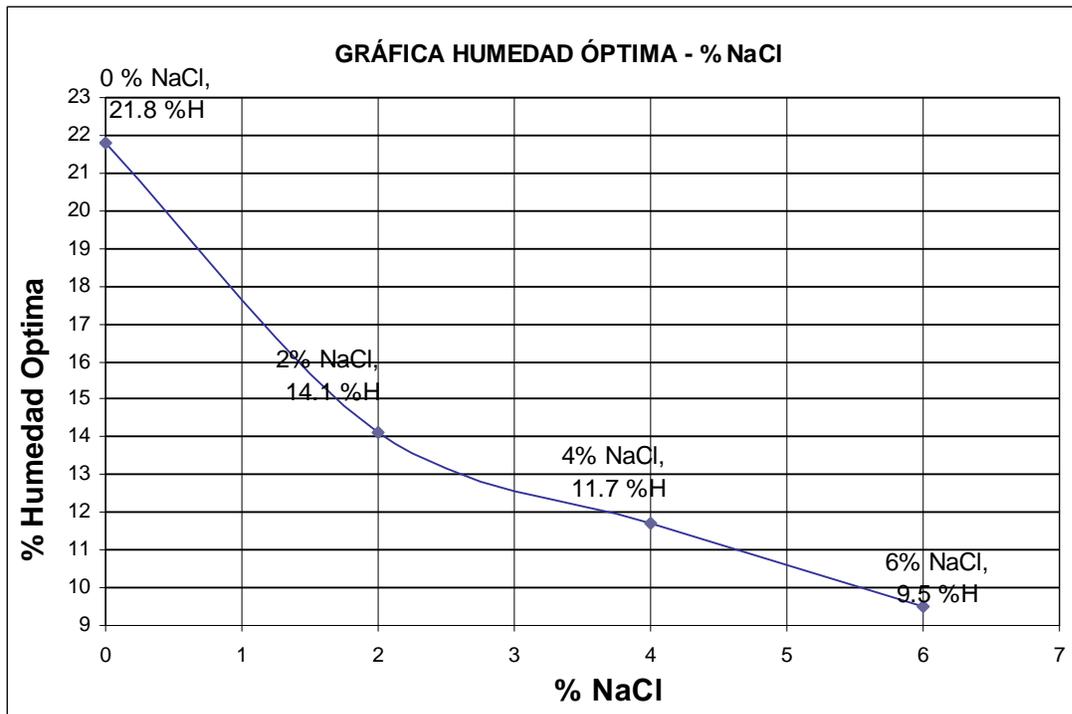
**Tabla XXIV. Humedad Óptima - % NaCl**

<b>Cloruro de Sodio (%)</b>	<b>Humedad Óptima (%)</b>
0	21.8
2	14.1
4	11.7
6	9.5

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXIV muestra la variación en la humedad óptima de la muestra de suelo compactado con el aumento de cloruro de sodio (NaCl).

**Figura 42. Comportamiento de Humedad Óptima - % NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La gráfica 42 indica que al aumentar el porcentaje de NaCl en la muestra de suelo, se disminuye la humedad óptima necesaria para obtener una

densidad seca máxima en el ensayo Proctor, pero al agregar un porcentaje de NaCl muy alto, se corre el riesgo de tener una humedad óptima muy baja, con lo cual la compactación no es la adecuada.

### 3.2.1.2 Valor soporte California (CBR)

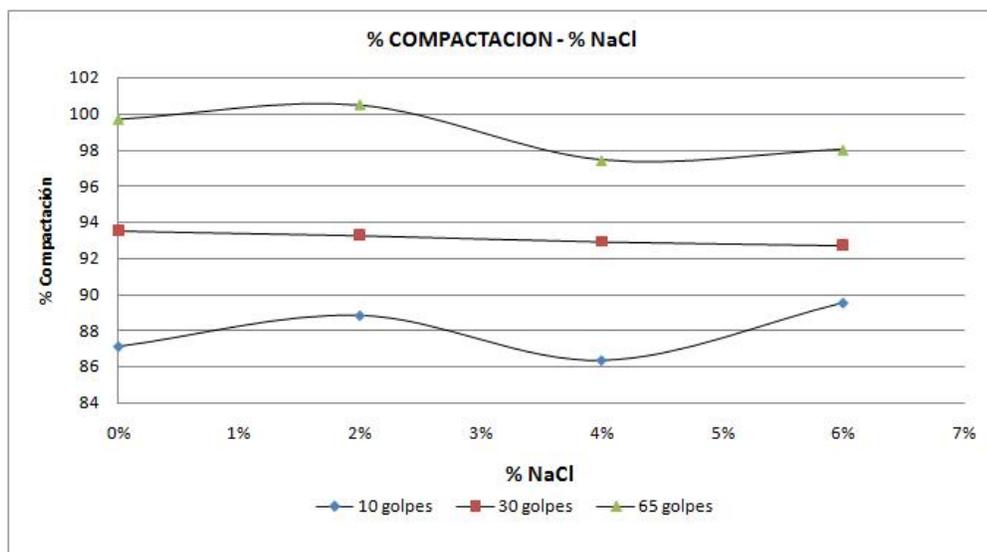
**Tabla XXV. Porcentaje de compactación – porcentaje de NaCl**

% NaCl	10 golpes	30 golpes	65 golpes
0	87.09	93.54	99.7
2	88.81	93.27	100.5
4	86.32	92.91	97.43
6	89.51	92.69	98.02

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXV muestra un resumen de la variación en la compactación del suelo en el ensayo CBR con el aumento de cloruro de sodio.

**Figura 43. Incidencia de NaCl en la compactación**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

El porcentaje de compactación varía al agregar NaCl al suelo, se puede observar claramente que la resistencia a la compresión aumenta entre 0% y 2% de NaCl, al agregar más NaCl al suelo la resistencia a la compresión disminuye, sin embargo al agregar un porcentaje de NaCl mayor a 4% la resistencia a la compresión aumenta un una leve proporción y se estabiliza al llegar al 6% de NaCl, dando un comportamiento no uniforme en el suelo en las primeras aplicaciones de Cloruro de Sodio.

El ensayo compactado a 10 golpes es el que presenta una mayor variación en el porcentaje de compactación, el ensayo compactado a 30 golpes mantiene un decremento muy bajo en la compactación, el ensayo compactado a 65 golpes se comparte de forma similar al de 10 golpes, sin embargo después de aplicar un 4% de NaCl se va estabilizando el porcentaje de compactación.

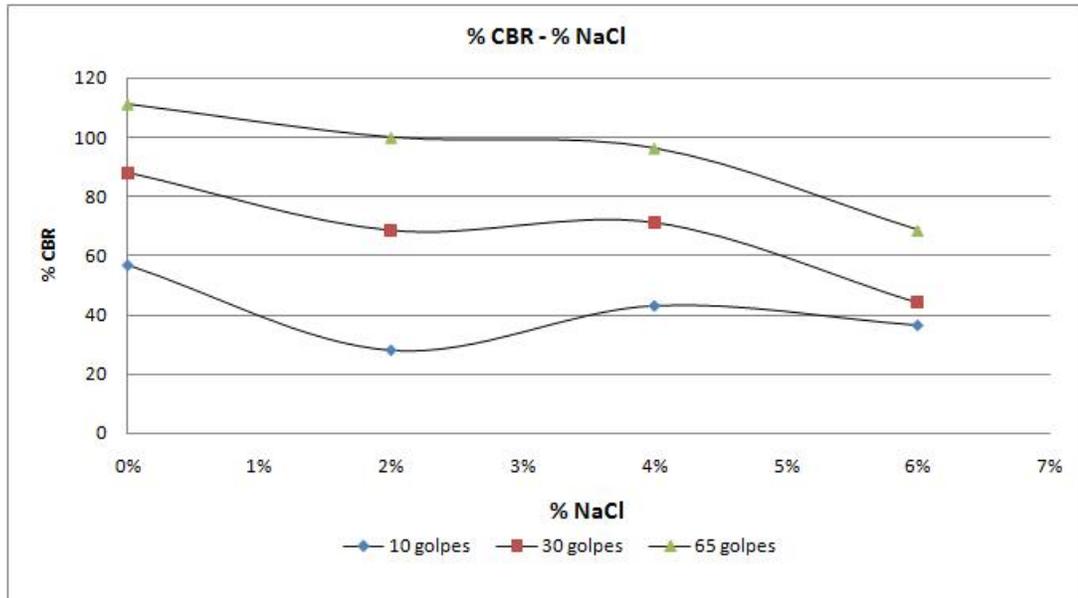
**Tabla XXVI. Porcentaje de CBR – porcentaje de NaCl**

% NaCl	10 golpes	30 golpes	65 golpes
0	87.09	93.54	99.7
2	88.81	93.27	100.5
4	86.32	92.91	97.43
6	89.51	92.69	98.02

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXVI muestra la variación en el porcentaje CBR con el aumento de cloruro de sodio.

**Figura 44. Incidencia de NaCl en el porcentaje CBR**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La figura 44 muestra la variación en el porcentaje de CBR con la adición de NaCl, se observa el comportamiento que tiene al agregar ciertos porcentajes, sin embargo, con una cantidad entre el 2% y el 4% de NaCl el % de CBR aumenta. Al agregar más del 4% de NaCl, el porcentaje de CBR continúa disminuyendo, lo que indica que el contenido de cloruro de sodio afecta de forma negativa el porcentaje de CBR en la muestra, a pesar de tener un leve aumento con porcentajes entre el 2 y el 4% de NaCl.

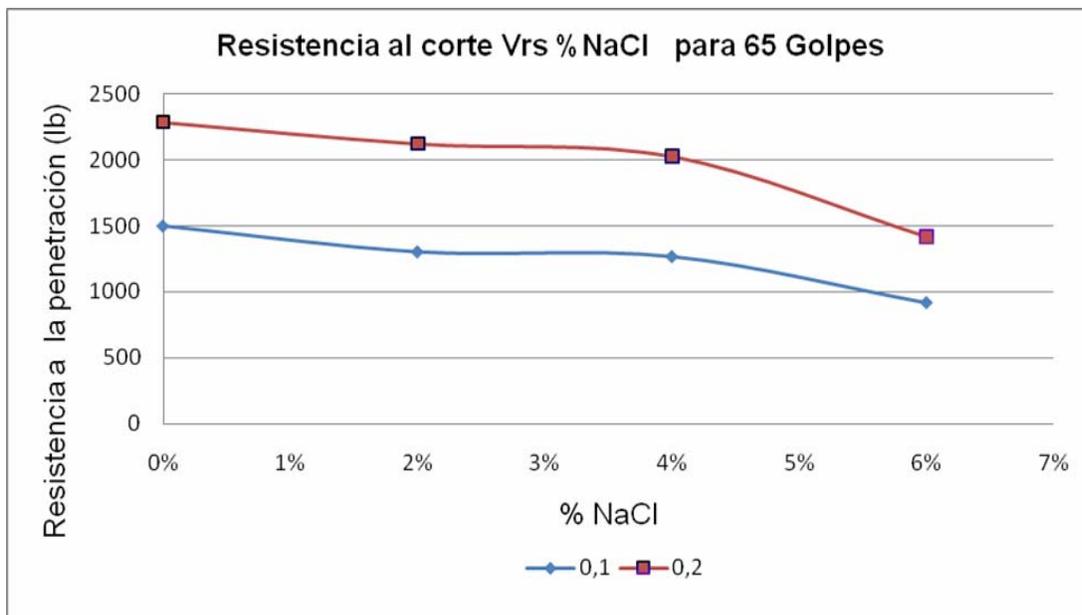
**Tabla XXVII. Resistencia al corte (lb) -% NaCl (65 golpes)**

% NaCl	Resistencia (lb) Penetración 0.1"	Resistencia (lb) Penetración 0.2"
0%	1500	2285
2%	1304	2122
4%	1268	2026
6%	918	1418

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXVII muestra la variación en la resistencia al corte en lb con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo de CBR a 65 golpes.

**Figura 45. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (65 golpes)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La resistencia al corte en el ensayo de penetración a 0.1” y 0.2” en una probeta compactada a 65 golpes se ve afectada negativamente con la adición de NaCl, esta resistencia disminuye cuando el suelo ha sido sumergido durante cuatro días en agua, con cada aumento en el porcentaje de NaCl la resistencia al corte disminuye considerablemente.

Al agregar un porcentaje de NaCl mayor a 4%, la resistencia al corte decrece a una razón mayor que con porcentajes iguales o menores al 4% de cloruro de sodio.

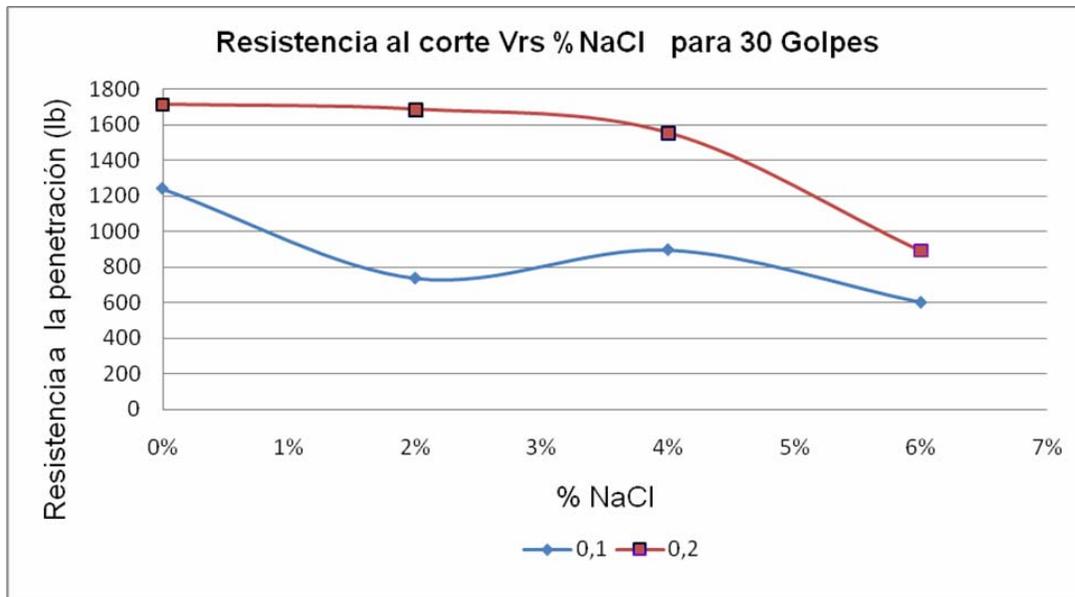
**Tabla XXVIII. Resistencia al corte (lb) -% NaCl (30 golpes)**

% NaCl	Resistencia (lb) Penetración 0.1”	Resistencia (lb) Penetración 0.2”
0%	1240	1713
2%	736	1686
4%	896	1554
6%	600	891

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXVIII muestra la variación en la resistencia al corte en lb con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo de CBR a 30 golpes.

**Figura 46. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (30 golpes)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La resistencia al corte en el ensayo de penetración en una probeta compactada a 30 golpes se ve afectada negativamente con la adición de NaCl. Esta resistencia disminuye cuando el suelo ha sido sumergido durante cuatro días en agua, con cada aumento en el porcentaje de NaCl la resistencia al corte disminuye considerablemente.

Al agregar un porcentaje de NaCl menor a 4%, la resistencia al corte en una penetración de 0.2" decrece a una razón relativamente baja, sin embargo con porcentajes iguales o mayores al 4% de cloruro de sodio, la resistencia a la misma penetración disminuye considerablemente.

Para una penetración de 0.1" la resistencia al corte se comporta de manera variada, al adicionar NaCl al suelo hasta un 2% la resistencia

disminuye en forma considerable, sin embargo en porcentajes mayores a 2%, pero no mayores a 4% la resistencia tiene un aumento relativamente bajo, al aumentar más de 4% de NaCl, la resistencia vuelve a decrecer.

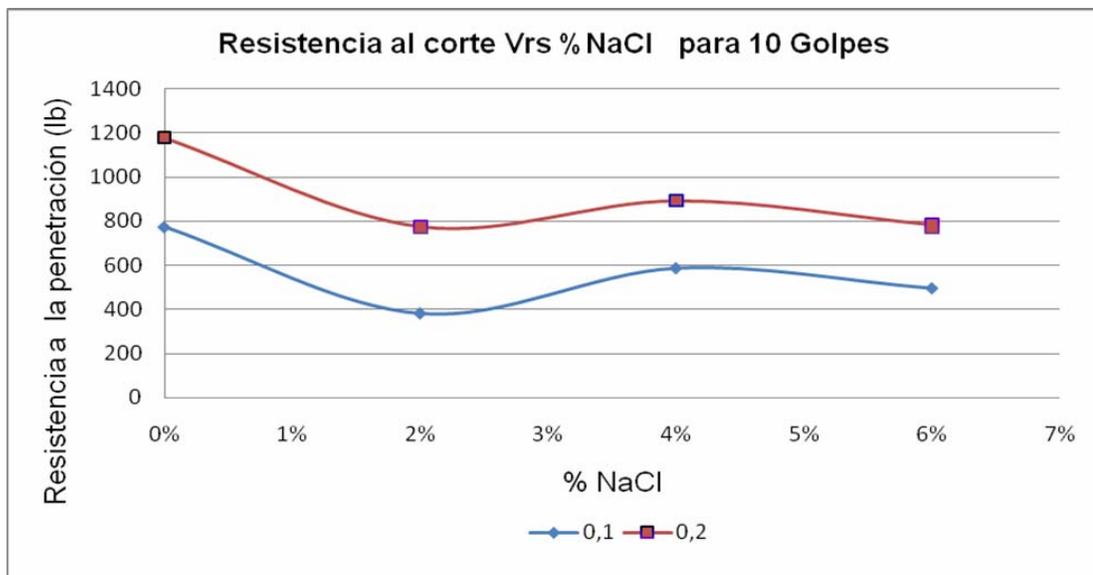
**Tabla XXIX. Resistencia al corte (lb) -% NaCl (10 golpes)**

% NaCl	Resistencia (lb) Penetración 0.1"	Resistencia (lb) Penetración 0.2"
0%	773	1177
2%	382	773
4%	587	891
6%	496	782

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXIX muestra la variación en la resistencia al corte en lb con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo de CBR a 10 golpes.

**Figura 47. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (10 golpes)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La resistencia al corte en el ensayo de penetración en una probeta compactada a 10 golpes se ve afectada negativamente con la adición de NaCl. Esta resistencia disminuye cuando el suelo ha sido sumergido durante cuatro días en agua, con cada aumento en el porcentaje de NaCl la resistencia al corte disminuye considerablemente.

Al agregar un porcentaje de NaCl no mayor de 2%, la resistencia al corte en una penetración de 0.2" decrece considerablemente, sin embargo con porcentajes mayores a 2% pero no mayores a 4% la resistencia aumenta, si se agrega más del 4% la resistencia al corte vuelve a disminuir.

Para una penetración de 0.1" la resistencia al corte se comporta de forma similar la resistencia a una penetración de 0.2".

### 3.2.1.3 Triaxial

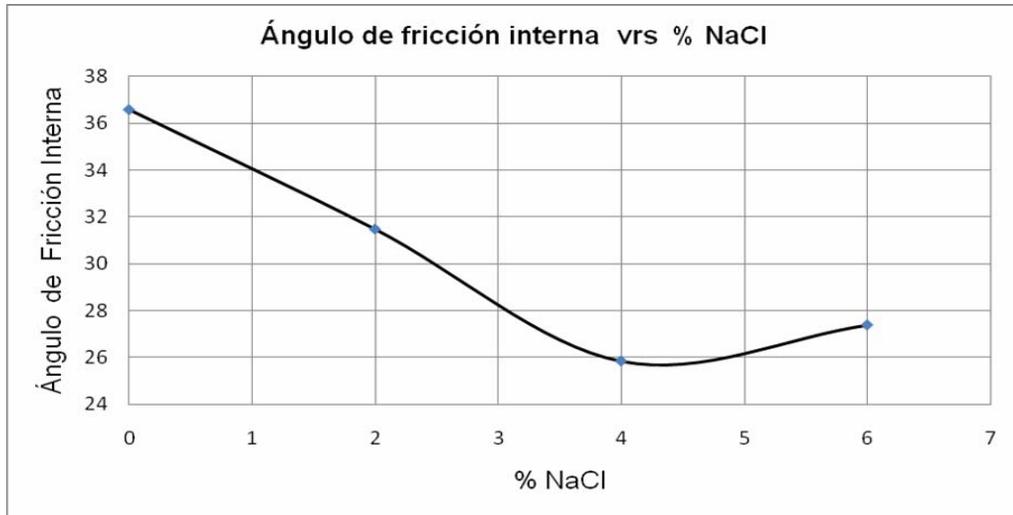
**Tabla XXX. % NaCl – Ángulo de fricción interna**

% NaCl	Angulo de fricción interna
0	36.58
2	31.48
4	25.85
6	27.39

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXX muestra la variación en el ángulo de fricción interna con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo triaxial.

**Figura 48. Incidencia de NaCl en el ángulo de fricción interna**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Al aplicar NaCl hasta un 4% a una determinada muestra de suelo el ángulo de fricción interna (ángulo de fricción entre partículas) se reduce considerablemente, sin embargo con porcentajes mayores al 4%, el ángulo de fricción interna se incrementa, pero no llega a recuperarse completamente en el rango investigado de NaCl.

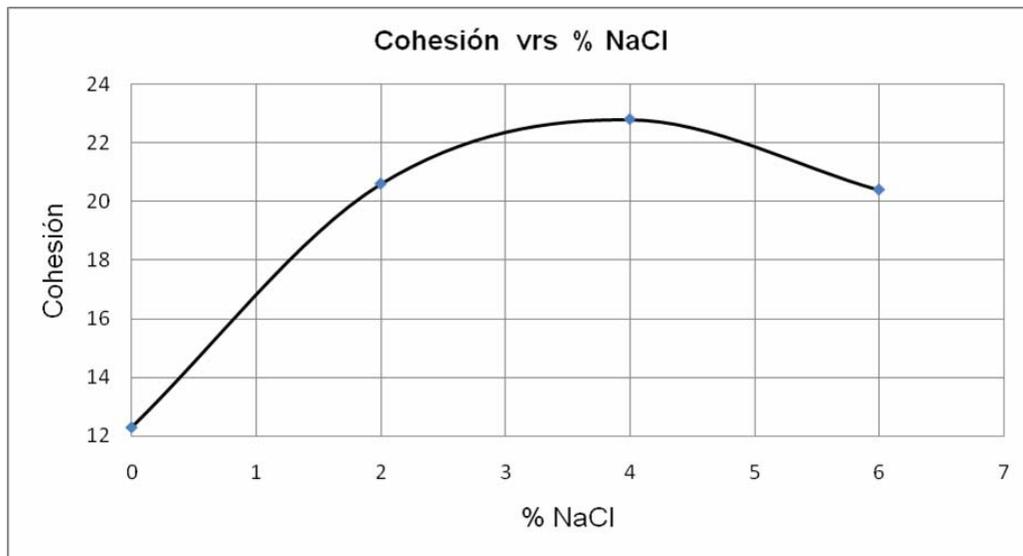
**Tabla XXXI. % NaCl – Cohesión**

% NaCl	Cohesión
0	12.3
2	20.6
4	22.8
6	20.4

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXXI muestra la variación en la cohesión con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo TRIAXIAL.

**Figura 49. Incidencia de NaCl en la Cohesión**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Al aplicar NaCl hasta un 4% a la probeta de triaxial, la cohesión del material aumenta considerablemente, sin embargo el mayor porcentaje se registra hasta un 2%, de este punto la cohesión sigue aumentando pero con la tendencia a estabilizarse hasta el 4% de NaCl.

Al adicionar más de 4% de NaCl el comportamiento es negativo para este tipo de suelos, la cohesión disminuye, lo cual indica que el material se comporta de una manera frágil, presentando menos resistencia a la deformación.

### 3.2.1.4 Evaporación

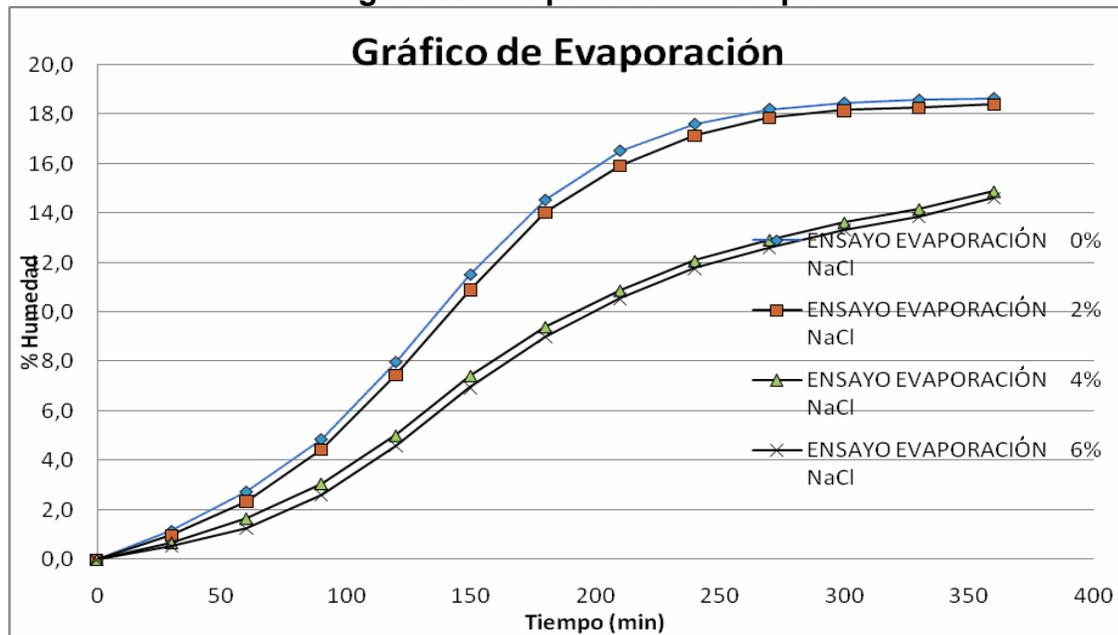
Tabla XXXII. Evaporación-tiempo

	0% NaCl	2% NaCl	4% NaCl	6% NaCl
Tiempo (min)	H%	H%	H%	H%
0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	1.2	1.0	0.7	0.5
60	2.7	2.4	1.7	1.3
90	4.9	4.4	3.1	2.6
120	8.0	7.5	5.0	4.6
150	11.5	10.9	7.4	7.0
180	14.6	14.0	9.4	9.0
210	16.5	15.9	10.9	10.6
240	17.6	17.2	12.1	11.8
270	18.2	17.9	12.9	12.6
300	18.5	18.2	13.6	13.3
330	18.6	18.3	14.2	13.9
360	18.7	18.4	14.9	14.6

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXXII muestra la variación en la pérdida de humedad que tiene el material a intervalos de tiempo de 30 minutos, con diferentes porcentajes de Cloruro de sodio.

Figura 50. Evaporación – tiempo



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

El cloruro de sodio aumenta el tiempo de evaporación considerablemente en la muestra de suelo. Se agrega un porcentaje entre el 0 y 2% de NaCl a la muestra de suelo, el comportamiento no va a variar mucho, sin embargo si el porcentaje de NaCl presente en la muestra es mayor o igual al 4%, la reducción de la pérdida de humedad es altamente considerable, lo que ayudaría a obtener mejores compactaciones en lugares de clima cálido.

Entre los 0 y 100 minutos la humedad presente en la parte superior de la muestra de suelos se evapora y crea una capa que impide que la humedad que se encuentra a mayor profundidad se evapore con facilidad, es por eso que al transcurrir 250 minutos la velocidad de evaporación disminuye.

Es útil lograr reducir la tasa de evaporación en la humedad óptima que se le agrega a los suelos, con el fin de obtener mejores resultados en la densificación de las capas de suelo a utilizar en bases y sub-bases.

### 3.2.2 Arena caliza color gris

#### 3.2.2.1 Proctor

**Tabla XXXIII. Densidad seca máxima y humedad óptima con adición de NaCl**

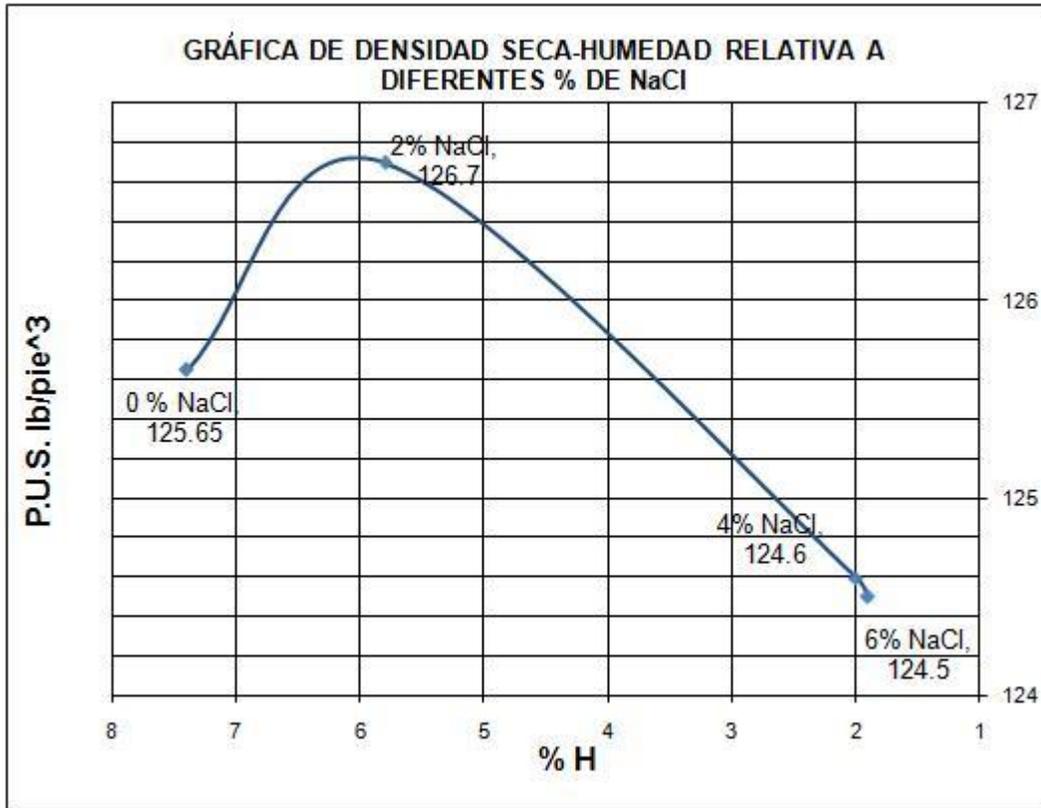
<b>Cloruro de Sodio (%)</b>	<b>Humedad Óptima (%)</b>	<b>Densidad Seca Máxima Lb/pie<sup>3</sup></b>
0	7.4	125.65
2	5.8	126.7
4	2.0	124.6
6	1.9	124.5

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXXIII muestra la variación en la humedad óptima y la densidad seca máxima con diferentes porcentajes de cloruro de sodio (NaCl)

En la siguiente figura se muestra la curva de peso volumétrico máximo y humedad óptima obtenida con diferentes porcentajes de NaCl para el material arena caliza color gris.

Figura 51. Comparación en porcentajes de NaCl para proctor



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Al aumentar el porcentaje de cloruro de sodio (NaCl) el comportamiento del material cambia su comportamiento, cuando se adiciona un porcentaje de NaCl no mayor al 2% en la muestra de suelo, aumenta la densidad seca máxima y se reduce la humedad óptima de compactación, al adicionar más del 2% de NaCl, la densidad seca máxima tiene un decremento considerable, sin embargo la humedad óptima sigue disminuyendo.

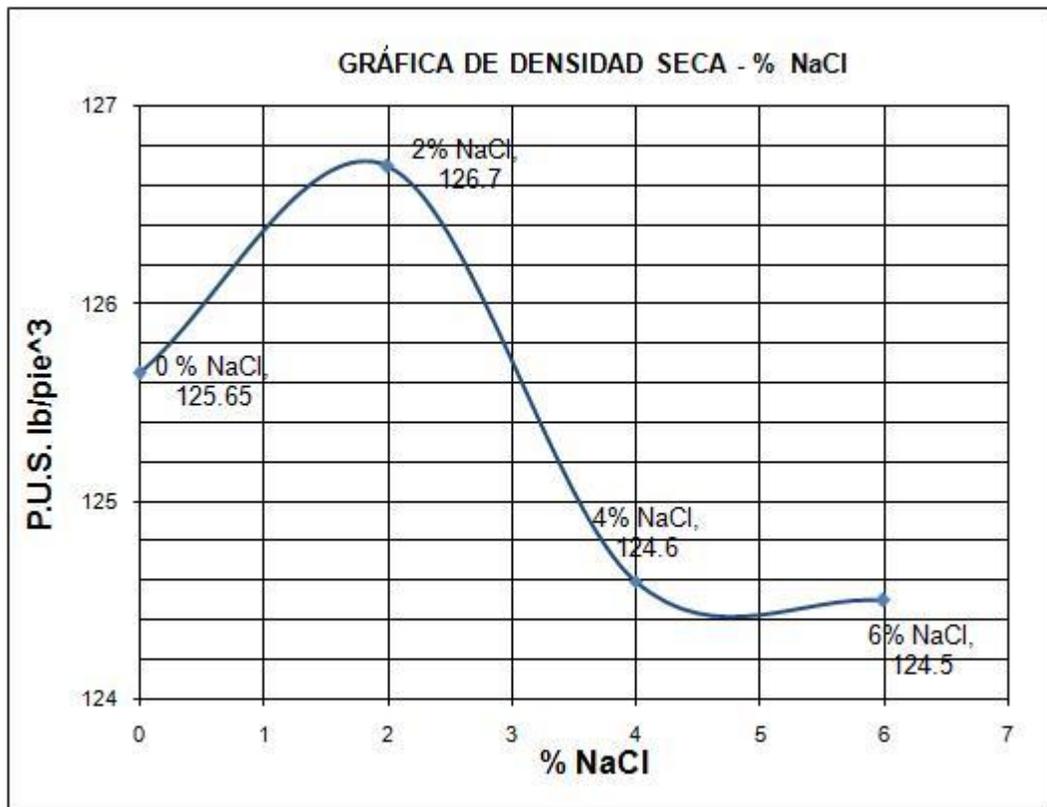
**Tabla XXXIV. Densidad seca máxima - % NaCl**

Cloruro de Sodio (%)	Densidad Seca Máxima Lb/pe <sup>3</sup>
0	125.65
2	126.7
4	124.6
6	124.5

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXXIV muestra un resumen de la variación en la densidad seca máxima que tiene el suelo compactado con el aumento de cloruro de sodio (NaCl).

**Figura 52. Comportamiento de Densidad Seca Máxima - % NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La figura 52 muestra que al aumentar el porcentaje de NaCl hasta un valor máximo de 2% en el suelo, se aumenta la densidad seca máxima en el ensayo proctor modificado, sin embargo al agregar un porcentaje igual ó mayor al 2% la densidad seca decrece en forma significativa.

Con porcentajes de 5% a 6%, la densidad seca máxima aumenta, sin embargo este incremento no es significativo en comparación al decremento total que se obtuvo.

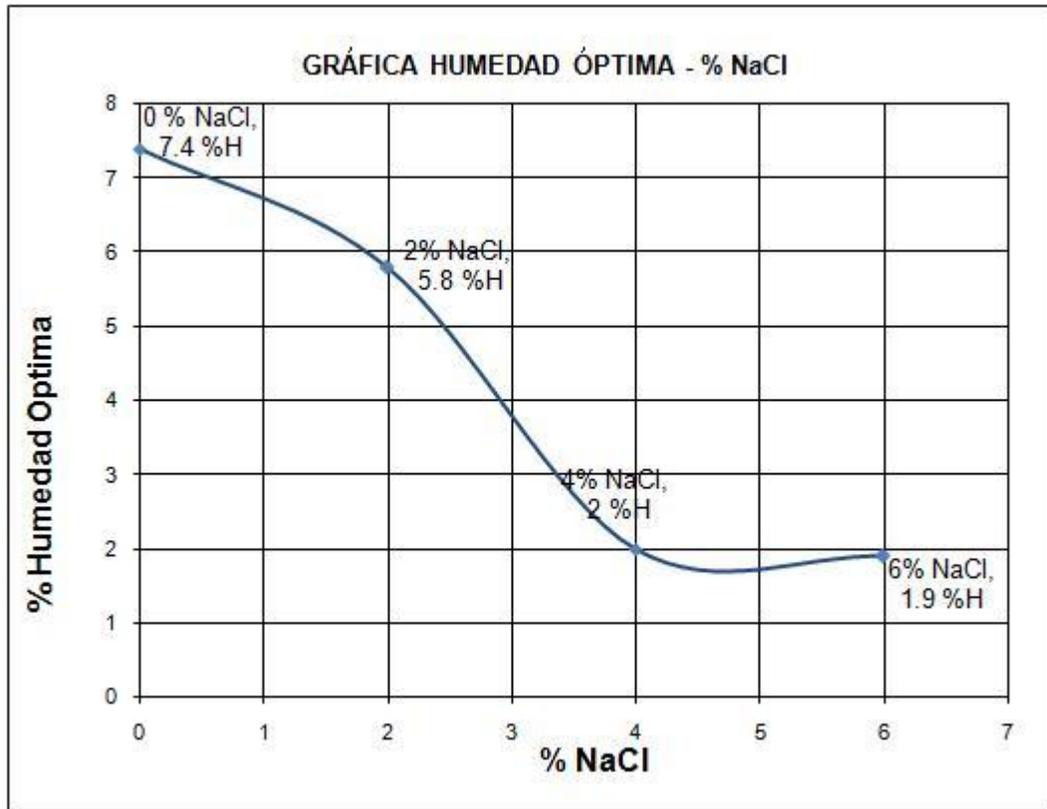
**Tabla XXXV. Humedad óptima - % NaCl**

<b>Cloruro de Sodio (%)</b>	<b>Humedad Óptima (%)</b>
0	7.4
2	5.8
4	2.0
6	1.9

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXXV muestra la variación en la humedad óptima de la muestra de suelo compactado con el aumento de cloruro de sodio (NaCl).

**Figura 53. Comportamiento de humedad óptima - % NaCl**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La figura 53 indica que al aumentar el porcentaje de NaCl en la muestra de suelo, se disminuye la humedad óptima necesaria para obtener la densidad seca máxima en el ensayo Proctor, pero al agregar un porcentaje de NaCl muy alto, se corre el riesgo de tener una humedad óptima muy baja, con lo cual la compactación no es la adecuada.

Se observa que al adicionar un 6% de NaCl, la humedad óptima se redujo considerablemente a 1.9%. Sin embargo, con este porcentaje de humedad la compactación no es satisfactoria.

### 3.2.2.2 Valor soporte California (CBR)

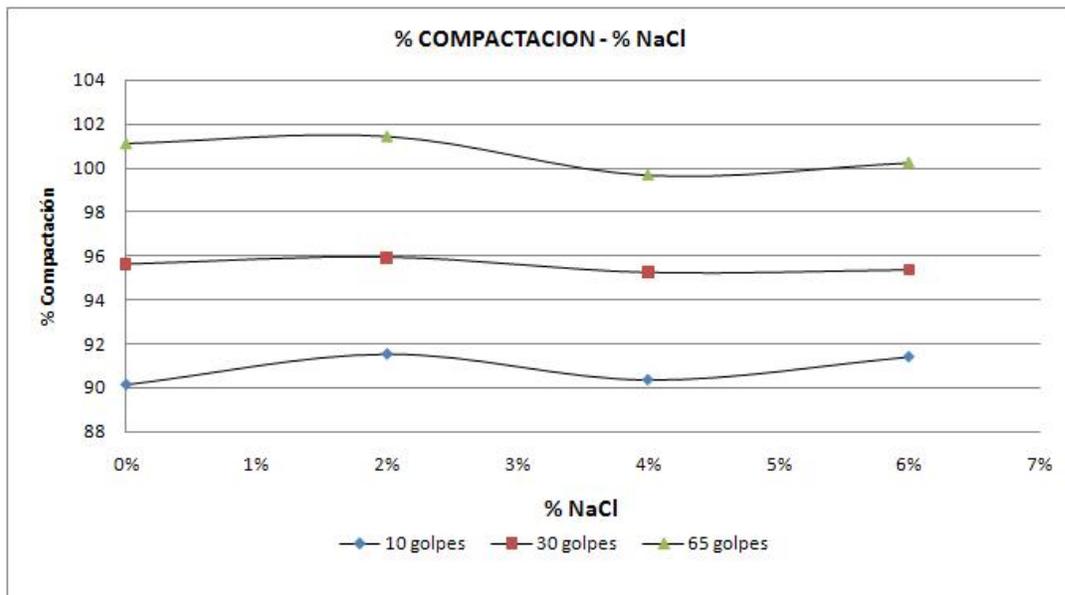
**Tabla XXXVI. Compactación – porcentaje de NaCl**

% NaCl	10 golpes	30 golpes	65 golpes
0	90.15	95.62	101.11
2	91.55	95.93	101.43
4	90.37	95.25	99.68
6	91.42	95.36	100.24

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXXVI muestra un resumen de la variación en la compactación del suelo en el ensayo CBR con el aumento de cloruro de sodio.

**Figura 54. Incidencia de NaCl en la compactación**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

El porcentaje de compactación varía al agregar NaCl al suelo, se puede observar claramente que la resistencia a la compresión aumenta entre 0% y 2% de NaCl. Al agregar más NaCl al suelo la resistencia a la compresión disminuye, sin embargo al agregar un porcentaje de NaCl mayor a 4% la resistencia a la compresión aumenta un una leve proporción y se estabiliza al llegar al 6% de NaCl, dando un comportamiento no uniforme en el suelo en las primeras aplicaciones de cloruro de sodio.

Las probetas de CBR compactadas a 65 y 10 golpes son las que presenta una mayor variación en el porcentaje de compactación, el ensayo compactado a 30 golpes mantiene un decremento muy bajo en la compactación.

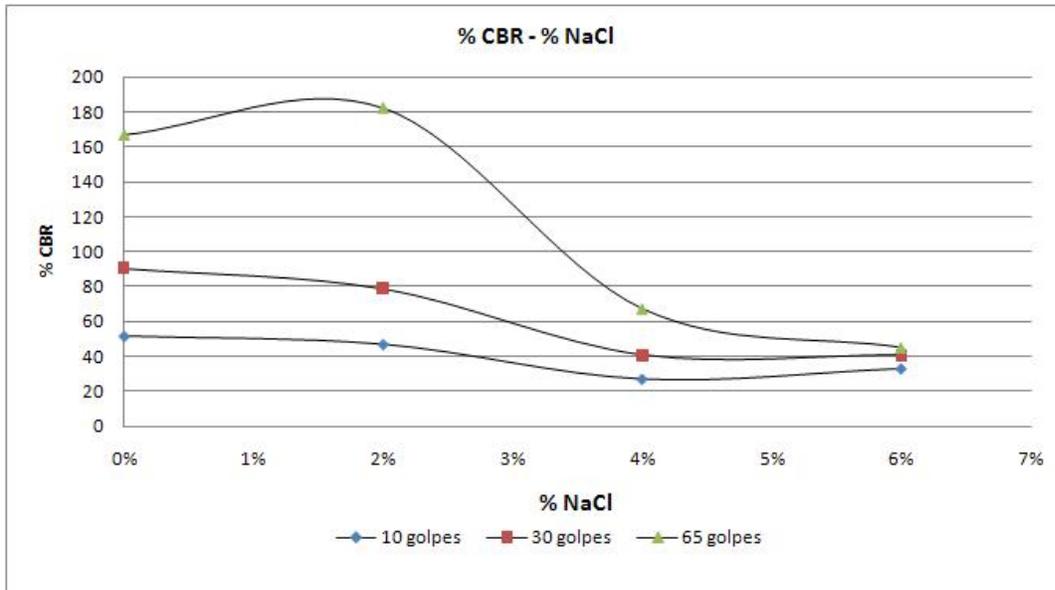
**Tabla XXXVII. Porcentaje de CBR – porcentaje de NaCl**

% NaCl	10 golpes	30 golpes	65 golpes
0	51.5	90.7	167.1
2	46.8	78.9	182.6
4	26.8	40.7	67.2
6	32.8	40.7	44.9

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXXVII muestra la variación en el porcentaje CBR con el aumento de cloruro de sodio.

**Figura 55. Incidencia de NaCl en el porcentaje CBR**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La figura 55 muestra la variación en el porcentaje de CBR con la adición de NaCl, se observa el comportamiento que tiene al agregar ciertos porcentajes.

La probeta compactada a 65 golpes aumenta el porcentaje de CBR con una cantidad de NaCl no mayor a 2%; al agregar un 2% de NaCl o una cantidad mayor, el porcentaje de CBR decrece de forma considerable, sin embargo al llegar a 4% de NaCl, el decremento se reduce pero continua con su tendencia.

Las probetas compactadas a 30 y 10 golpes tienen un decremento con el aumento en el porcentaje de NaCl, pero no tan drástico como la probeta de 65 golpes.

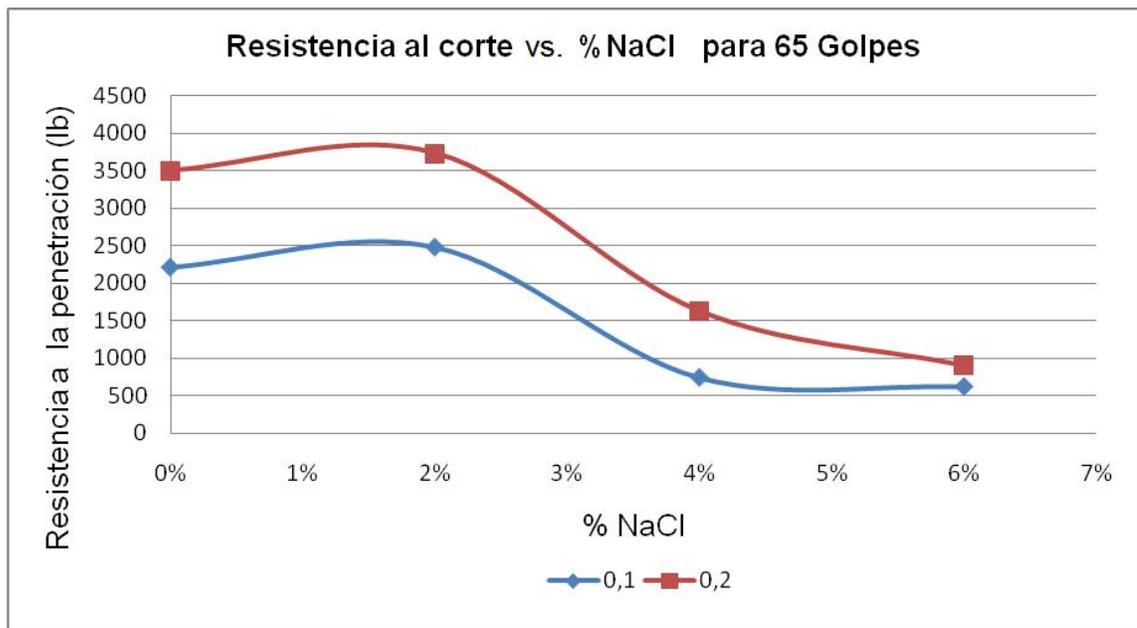
**Tabla XXXVIII. Resistencia al corte (lb) -% NaCl (65 golpes)**

% NaCl	Resistencia (lb) Penetración 0.1"	Resistencia (lb) Penetración 0.2"
0%	2212	3502
2%	2480	3734
4%	741	1631
6%	619	902

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXXVIII muestra la variación en la resistencia al corte en lb con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo de CBR a 65 golpes.

**Figura 56. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (65golpes)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La resistencia al corte en el ensayo de penetración a 0.1” y 0.2” en una probeta compactada a 65 golpes, es afectada negativamente con la adición de NaCl, esta resistencia disminuye cuando el suelo ha sido sumergido durante cuatro días en agua.

Al adicionar un porcentaje no mayor del 2% de NaCl, la resistencia al corte aumenta a una penetración de 0.1 y 0.2”, pero al seguir aumentando el porcentaje de cloruro de sodio la resistencia al corte disminuye considerablemente.

Al agregar un porcentaje de NaCl mayor a 4%, la resistencia al corte decrece a una razón mayor que con porcentajes iguales o menores al 4% de cloruro de sodio.

Con porcentajes de 6% de NaCl la resistencia a la penetración en 0.2” disminuye considerablemente, hasta comportarse igual que la resistencia a una penetración 0.1” con el mismo porcentaje de cloruro de sodio.

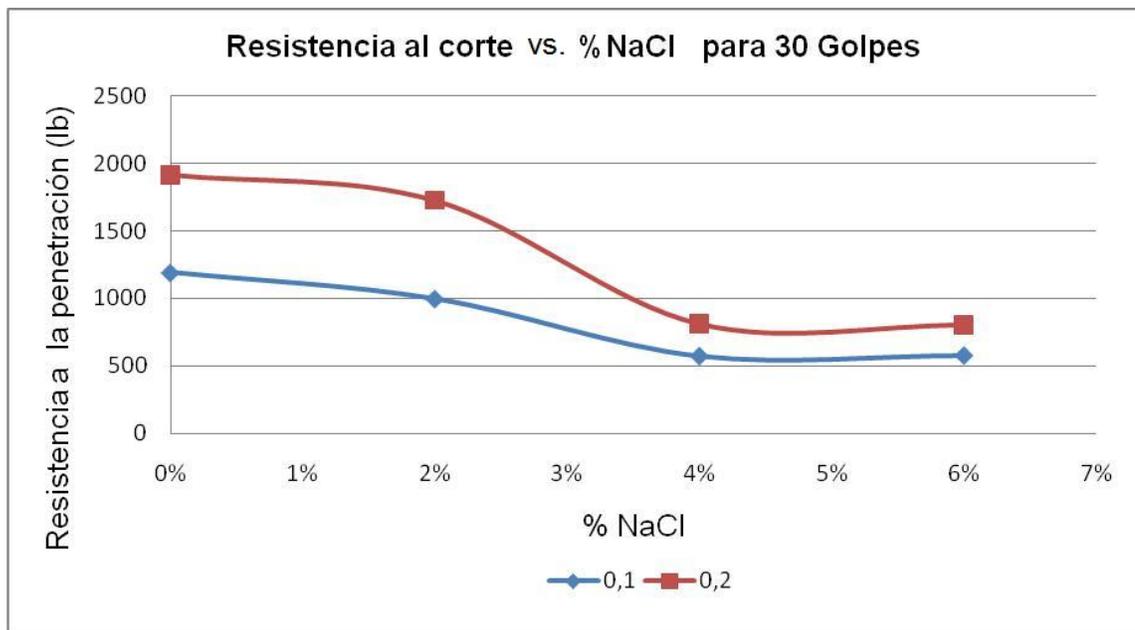
**Tabla XXXIX. Resistencia al corte (lb) -% NaCl (30 golpes)**

% NaCl	Resistencia (lb) Penetración 0.1”	Resistencia (lb) Penetración 0.2”
0%	1191	1917
2%	995	1727
4%	569	809
6%	573	800

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XXXIX muestra la variación en la resistencia al corte en lb con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo de CBR a 30 golpes.

**Figura 57. Incidencia de NaCl en la Resistencia al Corte (30 golpes)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La resistencia al corte en el ensayo de penetración en una probeta compactada a 30 golpes se ve afectada negativamente con la adición de NaCl, esta resistencia disminuye cuando el suelo ha sido sumergido durante cuatro días en agua; con cada aumento en el porcentaje de NaCl la resistencia al corte disminuye considerablemente.

Al agregar un porcentaje de NaCl menor a 4%, la resistencia al corte en una penetración de 0.2" disminuye considerablemente. Sin embargo, con porcentajes iguales o mayores al 4% de cloruro de sodio, la resistencia a la

misma penetración se estabiliza, pero es una resistencia muy baja comparada con la resistencia que el suelo presenta sin presencia de NaCl.

Para una penetración de 0.1" la resistencia al corte decrece, al adicionar NaCl al suelo hasta un porcentaje de 4% la resistencia disminuye en forma lenta, sin embargo en porcentajes mayores a 4% la resistencia se estabiliza al igual que la resistencia al corte con una penetración de 0.2", pero ésta es muy baja comparada con la resistencia que tiene el suelos sin presencia de NaCl.

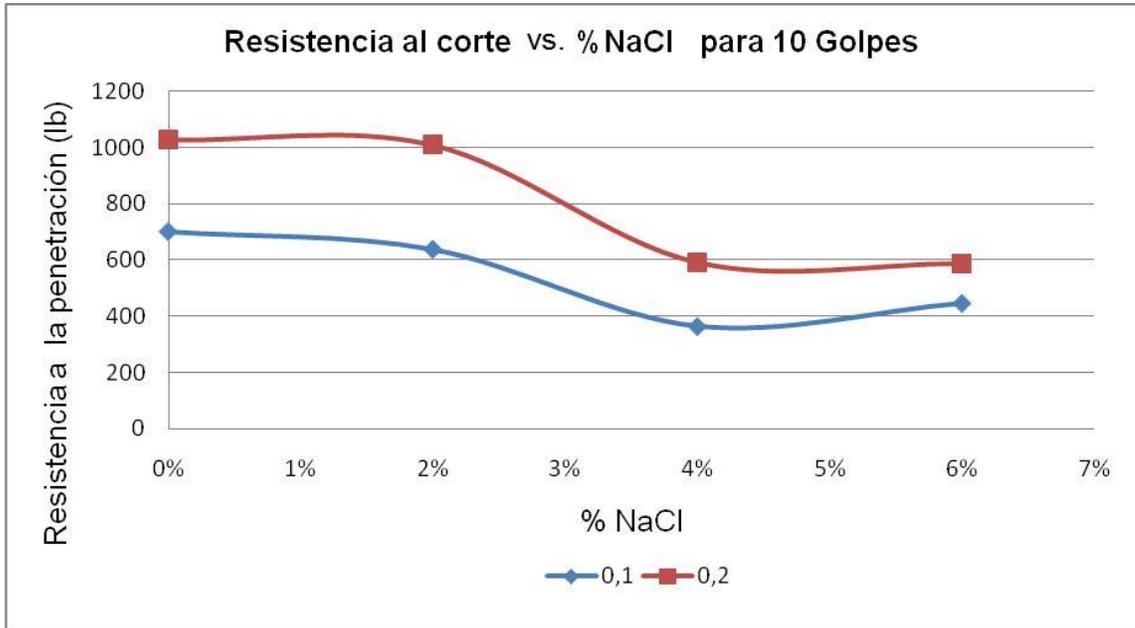
**Tabla XL. Resistencia al corte (lb) -% NaCl (10 golpes)**

% NaCl	Resistencia (lb) Penetración 0.1"	Resistencia (lb) Penetración 0.2"
0%	700	1027
2%	637	1009
4%	364	591
6%	446	587

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XL muestra la variación en la resistencia al corte en lb con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo de CBR a 10 golpes.

**Figura 58. Incidencia de NaCl en la resistencia al corte (10 golpes)**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La resistencia al corte en el ensayo de penetración en una probeta compactada a 10 golpes se ve afectada negativamente con la adición de NaCl, ésta disminuye cuando el suelo ha sido sumergido durante cuatro días en agua, con cada aumento en el porcentaje de NaCl la resistencia al corte disminuye considerablemente.

Al agregar un porcentaje de NaCl no mayor de 2%, la resistencia al corte en una penetración de 0.2" tiene un decremento bajo, sin embargo con porcentajes mayores a 2% pero no mayores a 4% la resistencia decrece considerablemente; si se agrega más del 4% la resistencia al corte presenta un pequeño aumento.

Para una penetración de 0.1" la resistencia al corte se comporta de forma similar a la resistencia de una penetración de 0.2". Con la diferencia que en

porcentajes no mayores de 2% de NaCl, el decremento en la resistencia al corte es mayor al decremento a 0.2" de penetración.

### 3.2.2.3 Triaxial

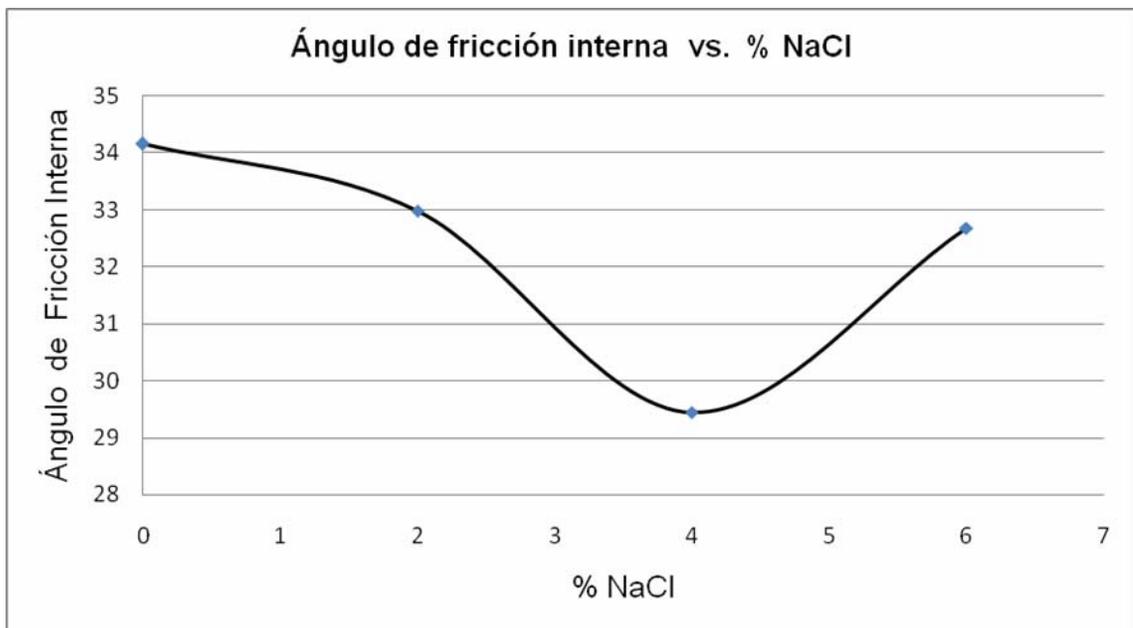
**Tabla XLI. % NaCl – ángulo de fricción interna**

% NaCl	Angulo de fricción interna
0	34.16
2	32.98
4	29.44
6	32.68

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XLI muestra la variación en el ángulo de fricción interna con el aumento en el porcentaje de Cloruro de Sodio en el ensayo triaxial.

**Figura 59. Incidencia de NaCl en el ángulo de fricción interna**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Al aplicar NaCl hasta un 4% a una determinada muestra de suelo, el ángulo de fricción interna (ángulo de fricción entre partículas) se reduce considerablemente. Sin embargo, con porcentajes mayores al 4%, el ángulo de fricción interna se incrementa, pero no llega a recuperarse completamente en el rango investigado de NaCl.

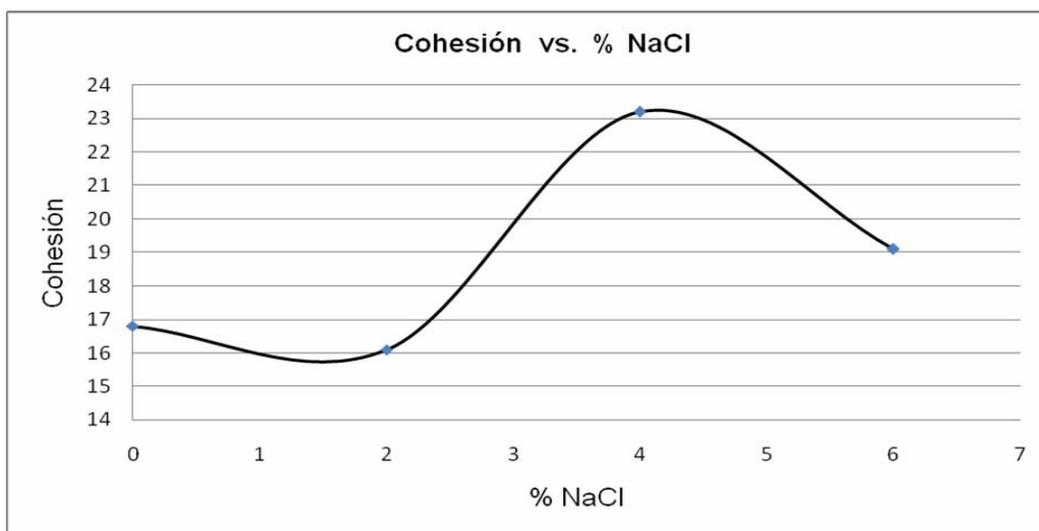
**Tabla XLII. % NaCl – Cohesión**

% NaCl	Cohesión
0	16.8
2	16.1
4	23.2
6	19.1

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XLII muestra la variación en la cohesión con el aumento en el porcentaje de cloruro de sodio en el ensayo TRIAXIAL.

**Figura 60. Incidencia de NaCl en la cohesión**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

Al aplicar NaCl hasta un 2% a la probeta de triaxial, la cohesión del material tiene una disminución poco considerable; sin embargo, al aplicar NaCl del 2% hasta un 4% la cohesión aumenta considerablemente.

Al adicionar más de 4% de NaCl el comportamiento es negativo para este tipo de suelos, la cohesión disminuye, lo que indica que el material se comporta de una manera frágil, presentando menos resistencia a la deformación.

El porcentaje de NaCl óptimo para obtener una cohesión elevada oscila entre 2% y un 4%.

### 3.2.2.4 Evaporación

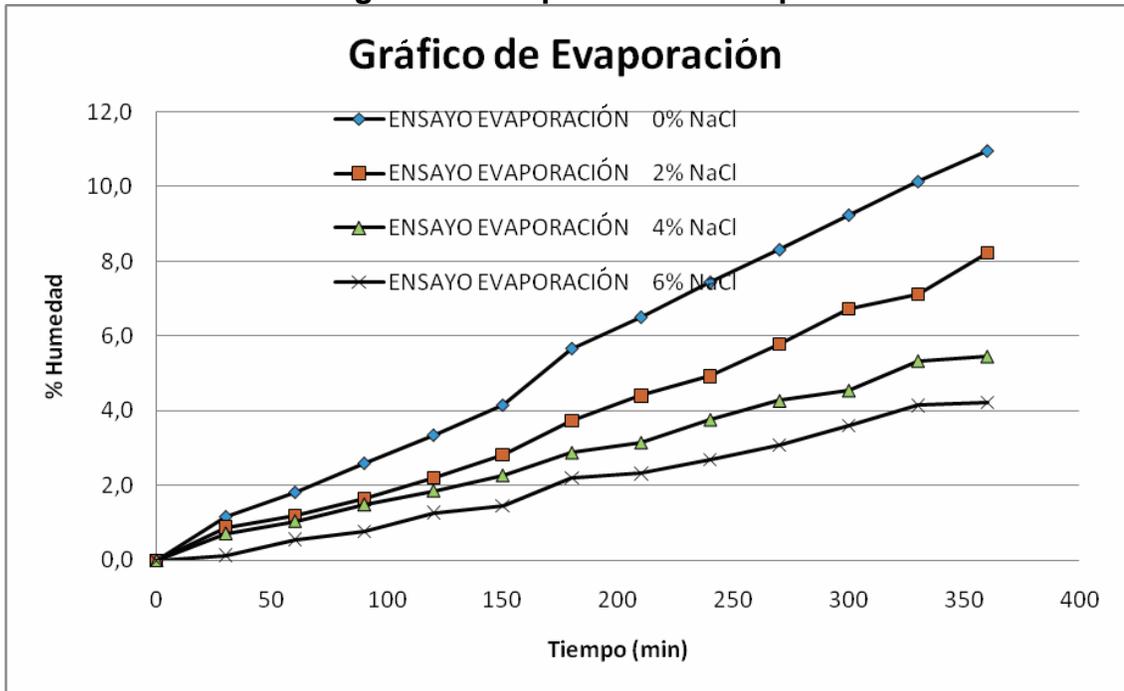
Tabla XLIII. Evaporación - tiempo

	0% NaCl	2% NaCl	4% NaCl	6% NaCl
Tiempo (min)	H%	H%	H%	H%
0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	1.2	0.9	0.7	0.1
60	1.8	1.2	1.1	0.6
90	2.6	1.6	1.5	0.8
120	3.4	2.2	1.9	1.3
150	4.2	2.8	2.3	1.4
180	5.7	3.7	2.9	2.2
210	6.5	4.4	3.2	2.3
240	7.5	4.9	3.8	2.7
270	8.3	5.8	4.3	3.1
300	9.2	6.7	4.6	3.6
330	10.1	7.1	5.3	4.1
360	11.0	8.2	5.5	4.2

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

La tabla XLIII muestra la variación en la pérdida de humedad que tiene el material a intervalos de tiempo de 30 minutos, con diferentes porcentajes de cloruro de sodio.

Figura 61. Evaporación - Tiempo



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

El cloruro de sodio aumenta el tiempo en que una muestra de suelo pierde humedad. La reducción en la evaporación a través del tiempo depende de la cantidad de NaCl que se le agrega a la muestra de suelo, ya que con porcentajes de 4% y 6% de NaCl al transcurrir 330 minutos la tasa de evaporación se disminuye considerablemente. Esto se debe a que la humedad contenida en la parte superior del suelo se ha perdido y ocasiona que el cloruro de sodio forme una capa superior que impide la evaporación de la humedad contenida a mayor profundidad en la muestra de suelo.

Es útil lograr reducir la tasa de evaporación en la humedad óptima que se le agrega a los suelos, con el fin de obtener mejores resultados en la densificación de las capas de suelo a utilizar en bases y sub-bases.



## CONCLUSIONES

1. Debe evitarse el uso de NaCl en un terreno de capilaridad alta, donde haya una fuente de agua a poca profundidad (nivel freático) o en un lugar con infiltración lateral; a menos que se tomen las precauciones adecuadas para interceptar este flujo de agua y drenarlo de la base o sub-base estabilizada, ya que el cloruro de sodio es soluble en agua y se le debe proteger contra la cantidad excesiva de humedad.
2. El cloruro de sodio se debe dosificar acorde a la cantidad de material a utilizar, los porcentajes de NaCl deben estar correctamente calculados para obtener resultados esperados en la estabilización de los suelos. Si se dosifica en función a la cantidad de agua a utilizar, pueden ocurrir variaciones en los resultados.
3. La adición de cloruro de sodio es un método para reducir la evaporación en los suelos, ya que atrapa la humedad que la rodea, y crea una capa en la parte superior de las capas compactadas con sal, lo cual impide que la humedad se evapore con facilidad y ayuda a obtener un mejoramiento en la densificación.
4. El tiempo en el que la humedad se evapora en suelos con cloruro de sodio, es significativamente mayor en comparación al tiempo de evaporación de humedad en suelos sin NaCl.

5. Se observa que en las características de compactación de los suelos, la densidad seca máxima aumenta y la humedad óptima de compactación disminuyen con cada incremento en porcentaje de cloruro de sodio (NaCl). Las modificaciones en la densidad seca máxima y la humedad óptima se deben al incremento de los cristales de NaCl que se suman a los minerales de los suelos. También se debe a la lubricación que se logra con el cloruro de sodio, reduciendo la fricción intergranular que presentan los suelos.
  
6. La resistencia a la compresión tiende a disminuir con el incremento de NaCl. Sin embargo, la resistencia muestra un leve aumento en la arena caliza con porcentajes de NaCl inferiores al 2%, por tal motivo, el porcentaje máximo aceptable de NaCl para los materiales arena limosa y arena caliza no debe exceder del 2% respecto al peso del material.
  
7. El porcentaje de compactación para los materiales arena limosa y arena caliza tienen un aumento con la adiciones de NaCl en porcentajes no mayores al 2%, sin embargo el porcentaje de CBR no se comporta de la misma manera. Para el material arena limosa el porcentaje de CBR disminuye, mientras que para el material arena caliza el porcentaje de CBR aumenta para la probeta compactada a 65 golpes.
  
8. Al agregar NaCl a probetas de 2.5" de ancho y 5" de altura para ensayos de tres esfuerzos, compactadas con la densidad máxima obtenida del ensayo de proctor, se observa que el ángulo de fricción

interna y la cohesión son inversamente proporcionales con cloruro de sodio. Para el material arena limosa, la adición de NaCl produce una reducción considerable en el ángulo de fricción interna lo que representaría una disminución de la capacidad de carga en el suelo. Sin embargo, aumenta la cohesión del suelo y causa un incremento en la deformación de la probeta. Para el material arena caliza, el comportamiento es distinto, ya que con cada incremento de porcentaje de NaCl, el ángulo de fricción interna aumenta y la cohesión disminuye.

9. La estabilización con cloruro de sodio produce diferentes comportamientos en las características de los suelos, causa en algunos casos propiedades más desfavorables cuando el contenido de NaCl en la muestra de suelo es demasiado alto. Sin embargo, en porcentajes pequeños de cloruro de sodio los resultados pueden ser favorables, ya que mejora las propiedades mecánicas en los suelos.
  
10. La forma adecuada de adicionar cloruro de sodio a los suelos es emplearla en grano, ya que de esta manera se evita problemas de corrosión en la maquinaria empleada. Con el método de disolución en agua. La sal no se disolvería adecuadamente, cuando se tienen humedades óptimas bajas se crea una mala homogenización.
  
11. Al adicionar cloruro de sodio con un alto contenido de humedad, casi al punto de saturación, y dejar secar el material, se observa que la sal crea una cementación entre partículas dándole una mayor resistencia a la compresión y crea una capa blanquecina en la parte superior de la muestra.

12. El conocimiento adecuado de las principales características físicas y mecánicas de los suelos es fundamental para saber cómo se comportará un suelo estabilizado con sal bajo cargas, cuando tenga diferentes tipos de humedad.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos con porcentajes de cloruro de sodio menores al 2% para los materiales a estabilizar, es necesario para obtener resultados favorables.
2. Al agregar los porcentajes de cloruro de sodio al suelo, se recomienda hacerlo en grano cuando el porcentaje sea muy alto, sin embargo, si el porcentaje de sal es inferior al 2% respecto al peso del suelo, es preferible disolverlo en agua.
3. Realizar ensayos para tener un mejor resultado de la estabilización, ya que existen diferentes combinaciones de suelo y cada una reacciona de diferente manera con porcentajes de sal similares.
4. Se debe investigar el comportamiento en el ensayo triaxial de probetas con adición de NaCl y con 24 horas de secado en horno a una temperatura recomendable de 110°C, para establecer las mejoras en el ángulo de fricción interna y la cohesión al producirse la cementación del cloruro de sodio con la muestra de suelo.
5. Es recomendable realizar ensayos con mezclas de NaCl colocadas en horno y realizar los ensayos a la mezcla sin humedad, para medir el

comportamiento de la cementación que causa el cloruro de sodio en el suelo.

6. El suelo con NaCl después de perder la humedad incrementa su resistencia a la compresión, por lo que es recomendable realizar pruebas de resistencia en campo a la base o sub-base estabilizada.
7. Se recomienda investigar la reacción que tendrá la capa asfáltica que este en contacto con el cloruro de sodio, para saber si afecta de forma negativa la vida útil de asfalto y si causa un envejecimiento prematuro.
8. La estabilización con cloruro de sodio en suelos utilizados para cimentar no es recomendable, debido a que, los agentes de corrosión presentes en el NaCl pueden afectar la vulnerabilidad del concreto armado. Si se emplea este tipo de estabilización en suelos para cimentaciones se debe emplear un cemento tipo V que es resistente a los sulfatos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Blázquez Bañon, Luis y José García Beviá. **Manual de carreteras, tomo 2, construcción y mantenimiento.** (Volumen No. 1) Chile: 2004. 2-27 pp.
2. Berry, Peter L. y David Reid. **Mecánica de suelos.** Colombia: Editorial McGraw-Hill, 1993. 2-17 pp.
3. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de suelos y cimentaciones.** 5ª ed. México: Limusa, 2005. 17-26 pp.
4. Das, Braja M. **Principios de ingeniería de cimentaciones.** 4ª ed. México: International Thompson Editores, 2001. 6 pp.
5. Garnica Anguas, Paul. **Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres.** Publicación No. 201. México: Secretaría de Transporte y Comunicaciones, 2002. 11-12 pp.
6. Hernández Canales, Juan Carlos. Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición. Trabajo de Graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 2-91 pp.
7. Juárez Badillo, Eulalio y Alfonso Rico Rodríguez. **Mecánica de suelos, tomo 1, fundamentos de la mecánica de suelos.** 3ª ed. México: Limusa, 2005. 33-37 pp.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

8. <http://www.itson.mx/laboratorios/CLORURO%20DE%20SODIO.pdf>  
agosto 2009
9. <http://www.lamolina.edu.pe/agricola/biblioteca/Tesis/1992/T0051.htm>  
agosto 2009
10. [http://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro\\_de\\_sodio](http://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_sodio)  
octubre de 2009
11. <http://www.scribd.com/doc/29399015/Mantenimiento-Carretera>  
noviembre de 2009
12. <http://picasaweb.google.com/lh/photo/9WI4tfIP2QcyyxXn8gj0g>  
noviembre de 2009

# ANEXOS



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



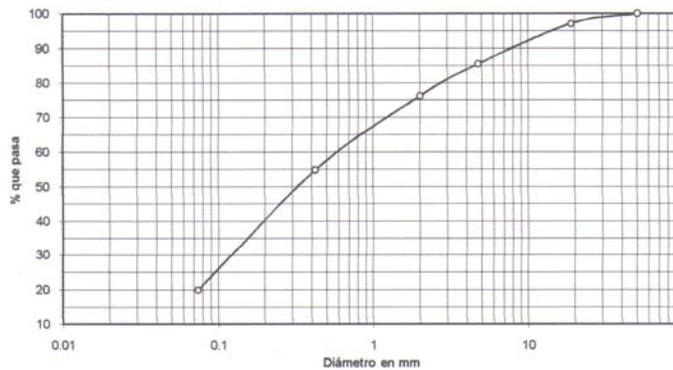
Nº 12793

INFORME No. 179 S.S. O.T. No. 27,048

Interesado: Jairon Roldán De Paz  
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
Proyecto: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
Procedencia: Km 45 Carretera a Parramos  
Fecha: 21 de mayo de 2010

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	97.17
4	4.76	85.57
10	2.00	76.31
40	0.42	54.74
200	0.074	19.94

% de Grava: 2.83  
% de Arena: 77.22  
% de Finos: 19.94



Descripción del suelo: Arena limosa color beige.  
Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-2-4  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Teima Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Médrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 12795

INFORME No. 180 S. S. O.T.: 27048

Interesado: Jairon Roldán De Paz  
Proyecto: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Km 45 Carretera a Parramos

FECHA: 21 de mayo de 2010

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	0	0	S.M.	Arena limosa color beige

(\*) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

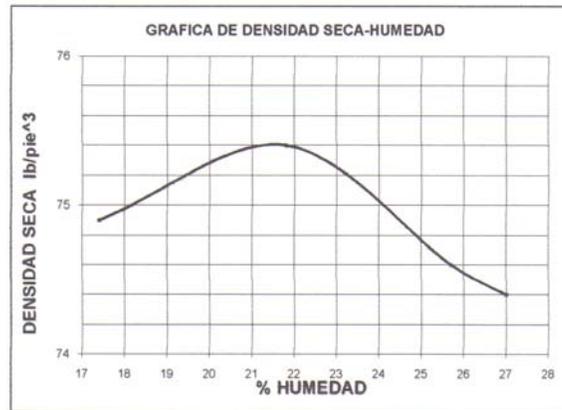


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





INFORME No.: 181 S.S. O.T.: 27,048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN Proctor Estándar: ( ) Norma:  
 Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180  
 Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
 Ubicación: Km 45 Carretera a Parramos  
 Fecha: 21 de mayo de 2010



Descripción del suelo: Arena limosa color beige  
 Densidad seca máxima  $\gamma_{d1}$ : 1208 Kg/m<sup>3</sup> 75.4 lb/ft<sup>3</sup>  
 Humedad óptima Hop.: 21.8 %  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Teima Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Medrano  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

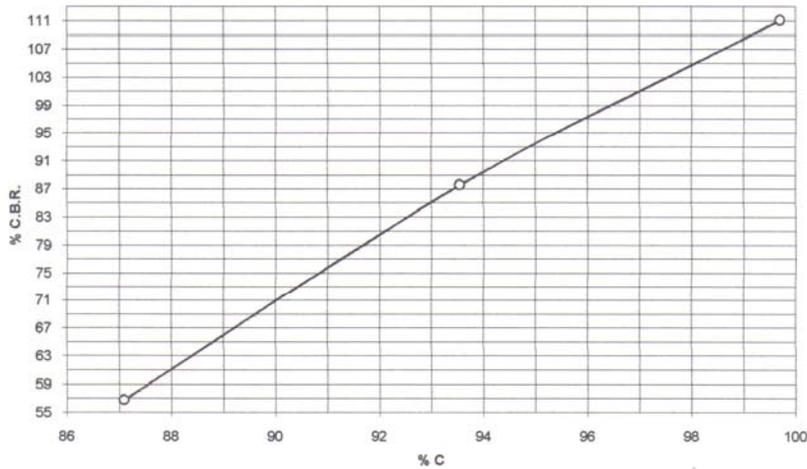


Nº 12797

INFORME No.: 182 S.S. O.T.: 27048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193  
 Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
 Ubicación: Km 45 Carretera a Parramos  
 Descripción del suelo: Arena limosa color beige Mezcla 0% de NaCl.  
 Fecha: 21 de mayo de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )			
1	10	20.83	65.7	87.09	0.00	56.8
2	30	20.83	70.5	93.54	0.00	87.6
3	65	20.83	75.2	99.70	0.00	111.1

GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





INFORME No.: 183 S.S. O.T.: 27,048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN Proctor Estándar: ( ) Norma:  
 Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180  
 Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
 Ubicación: Km 45 Carretera a Parramos  
 Fecha: 21 de mayo de 2010



Descripción del suelo: Arena limosa color beige  
 Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1211 Kg/m<sup>3</sup> 75.6 lb/pe<sup>3</sup>  
 Humedad óptima Hop.: 14.1 %  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Teima Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC




Ing. Omar Enrique Mejía Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos






CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

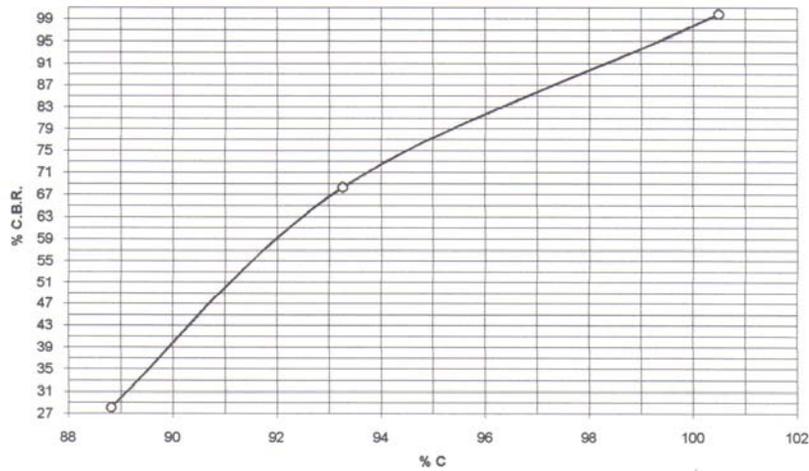


Nº 12799

INFORME No.: 184 S.S. O.T.: 27048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193  
 Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
 Ubicación: Km 45 Carretera a Parramos  
 Descripción del suelo: Arena limosa color beige Mezcla 2% de NaCl.  
 Fecha: 21 de mayo de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )			
1	10	13.36	67.1	88.81	0.00	28.1
2	30	13.36	70.5	93.27	0.00	68.4
3	65	13.36	76.0	100.50	0.00	99.9

GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

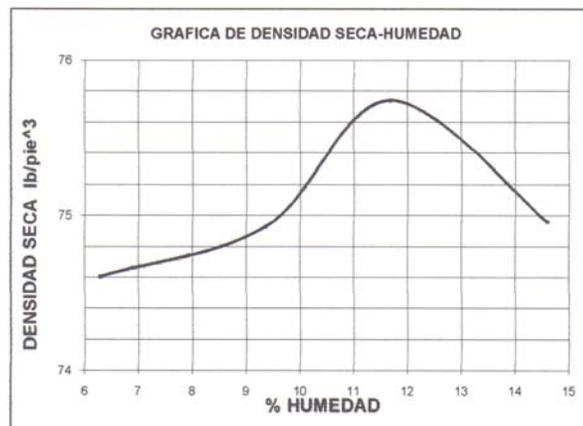


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





INFORME No.: 185 S.S. O.T.: 27,048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN Proctor Estándar: ( ) Norma:  
 Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180  
 Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
 Ubicación: Km 45 Carretera a Parramos  
 Fecha: 21 de mayo de 2010



Descripción del suelo: Arena limosa color beige  
 Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1214 Kg/m<sup>3</sup> 75.8 lb/ft<sup>3</sup>  
 Humedad óptima Hop.: 11.7 %  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC

  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



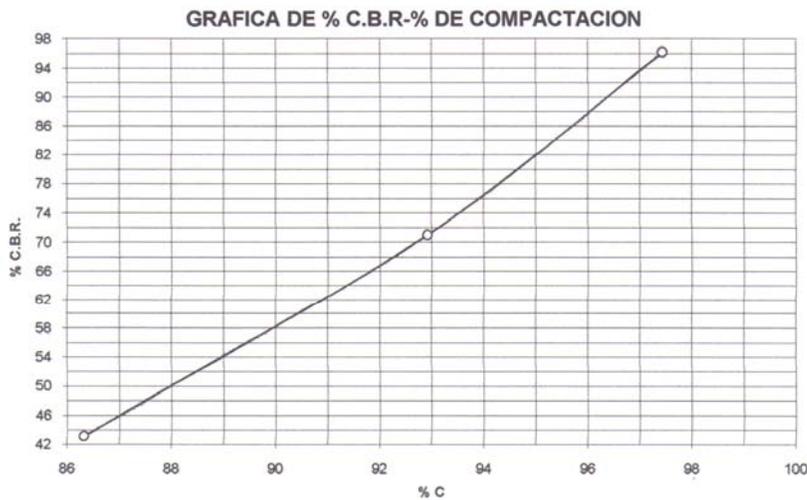
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 12802

INFORME No.: 186 S.S. O.T.: 27048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193  
 Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
 Ubicación: Km 45 Carretera a Parramos  
 Descripción del suelo: Arena limosa color beige Mezcla 4% de NaCl.  
 Fecha: 21 de mayo de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )			
1	10	11.84	65.4	86.32	0.00	43.1
2	30	11.84	70.4	92.91	0.00	71.0
3	65	11.84	73.9	97.43	0.00	96.2



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Marcela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





INFORME No.: 187 S.S. O.T.: 27,048

Interesado: Jairon Roldán De Paz  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Proctor Estándar: ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
Ubicación: Km 45 Carretera a Parramos  
Fecha: 21 de mayo de 2010



Descripción del suelo: Arena limosa color beige  
Densidad seca máxima  $\gamma_{cl}$ : 1219 Kg/m<sup>3</sup> 76.1 lb/ft<sup>3</sup>  
Humedad óptima Hop.: 9.5 %  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

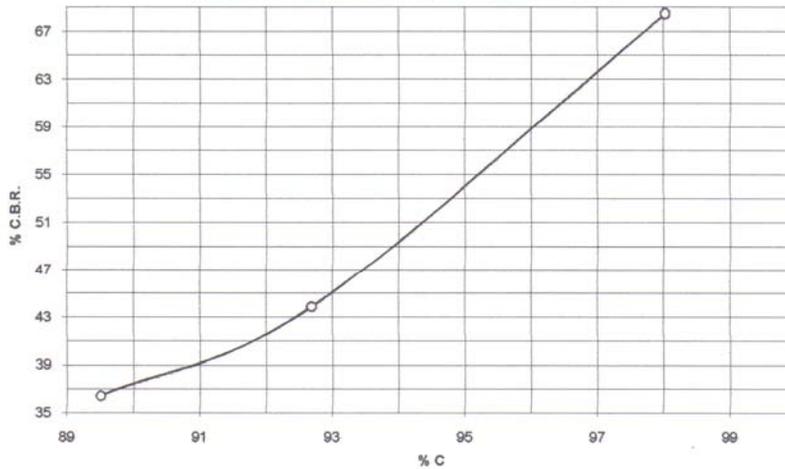


Nº 12807

INFORME No.: 188 S.S. O.T.: 27048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193  
 Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
 Ubicación: Km 45 Carretera a Parramos  
 Descripción del suelo: Arena limosa color beige Mezcla 6% de NaCl.  
 Fecha: 21 de mayo de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )			
1	10	9.15	68.1	89.51	0.00	36.5
2	30	9.15	70.5	92.69	0.09	43.9
3	65	9.15	74.6	98.02	0.09	68.5

GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 12808

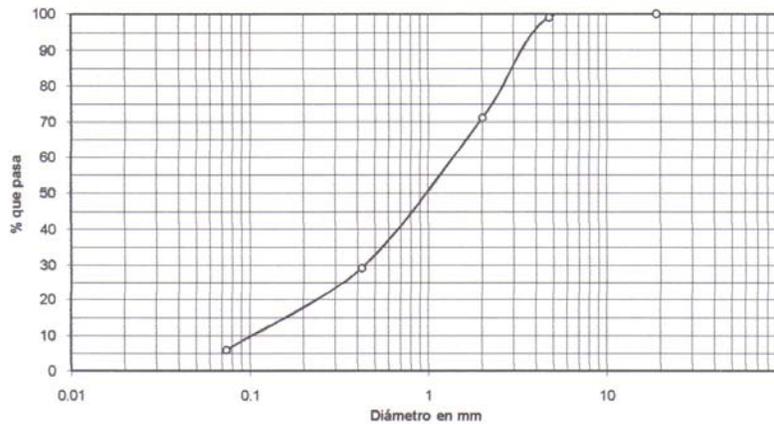
INFORME No. 189 S.S.

O.T. No. 27,048

Interesado: Jairon Roldán De Paz  
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
Proyecto: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
Procedencia: Agregua zona 6  
Fecha: 21 de mayo de 2010

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	99.11
10	2.00	71.24
40	0.42	29.26
200	0.074	6.03

% de Grava: 0.89  
% de Arena: 93.08  
% de Finos: 6.03



Descripción del suelo: Arena caliza color gris  
Clasificación: S.C.U.: SW-SM P.R.A.: A-1-b  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 12809

INFORME No. 190 S. S. O.T.: 27048

Interesado: Jairon Roldán De Paz  
Proyecto: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Agregua zona 6

FECHA: 21 de mayo de 2010

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	0	0	SW-SM	Arena caliza color gris

(\* ) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medina Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



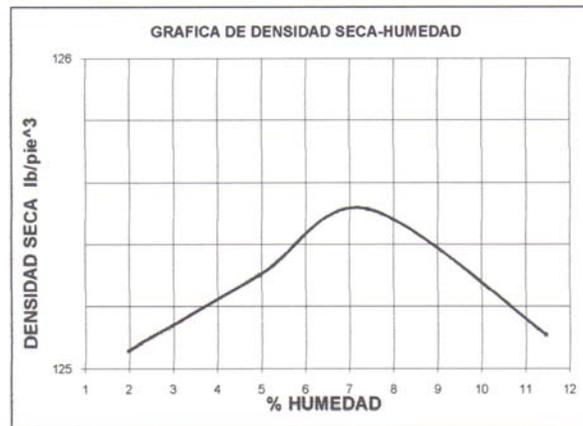


INFORME No.: 192 S.S. O.T.: 27,048

Interesado: Jairon Roldán De Paz  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Proctor Estándar: ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
Ubicación: Agregua zona 6  
Fecha: 21 de mayo de 2010



Descripción del suelo: Arena caliza color gris  
Densidad seca máxima  $\gamma_{d1}$ : 2013 Kg/m<sup>3</sup> 125.7 lb/ft<sup>3</sup>  
Humedad óptima Hop.: 7.4 %  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Mecano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



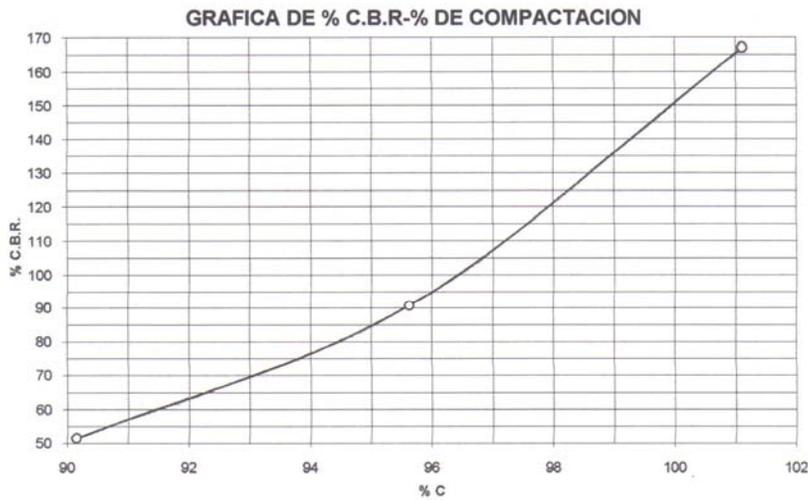
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 12810

INFORME No.: 191 S.S. O.T.: 27048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193  
 Proyecto: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 Ubicación: Agregua zona 6  
 Descripción del suelo: Arena caliza color gris Mezcla 0% de NaCl.  
 Fecha: 21 de mayo de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )			
1	10	6.89	113.3	90.15	0.00	51.5
2	30	6.89	120.1	95.62	0.00	90.7
3	65	6.89	127.0	101.11	0.00	167.1



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





INFORME No.: 193 S.S. O.T.: 27,048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN Proctor Estándar: ( ) Norma:  
 Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180  
 Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
 Ubicación: Agregua zona 6  
 Fecha: 21 de mayo de 2010



Descripción del suelo: Arena caliza color gris  
 Densidad seca máxima  $\gamma_{d1}$ : 2030 Kg/m<sup>3</sup> 126.7 lb/ft<sup>3</sup>  
 Humedad óptima Hop.: 5.8 %  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Marcela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



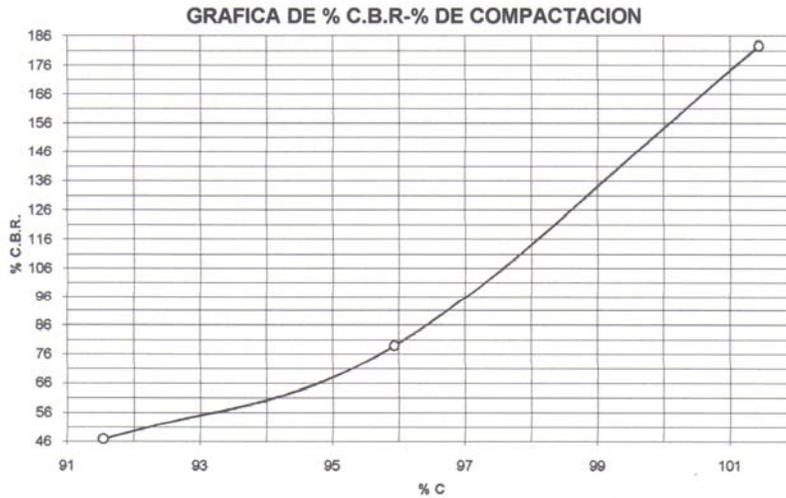
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 15059

INFORME No.: 194 S.S. O.T.: 27048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193  
 Proyecto: Estabilización de suelos con cloruro de sodio  
 Ubicación: Agregua zona 6  
 Descripción del suelo: Arena caliza color gris Mezcla 2% de NaCl.  
 Fecha: 21 de mayo de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ Lb/pie <sup>3</sup>			
1	10	5.90	116.0	91.55	0.00	46.8
2	30	5.90	121.5	95.93	0.00	78.9
3	65	5.90	128.5	101.43	0.00	182.6



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 15060

INFORME No.: 195 S.S. O.T.: 27,048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN Proctor Estándar: ( ) Norma:  
 Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180  
 Proyecto: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 Ubicación: Agregua zona 6  
 Fecha: 21 de mayo de 2010



Descripción del suelo: Arena caliza color gris  
 Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1986 Kg/m<sup>3</sup> 124.0 lb/pie<sup>3</sup>  
 Humedad óptima Hop.: 2.0 %  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Teima Mariela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Mediano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

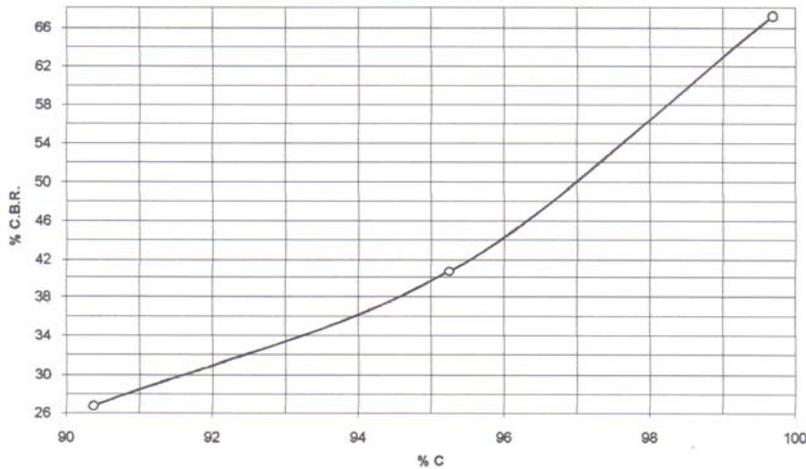


Nº 15061

INFORME No.: 196 S.S. O.T.: 27048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193  
 Proyecto: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 Ubicación: Agregua zona 6  
 Descripción del suelo: Arena caliza color gris Mezcla 4% de NaCl.  
 Fecha: 21 de mayo de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_{cl}$ (Lb/pie <sup>3</sup> )			
1	10	2.02	112.1	90.37	0.00	26.8
2	30	2.02	118.1	95.25	0.00	40.7
3	65	2.02	123.6	99.68	0.00	67.2

GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





INFORME No.: 197 S.S. O.T.: 27,048

Interesado: Jairon Roldán De Paz  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Proctor Estándar: ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
Ubicación: Agregua zona 6  
Fecha: 21 de mayo de 2010



Descripción del suelo: Arena caliza color gris  
Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1996 Kg/m<sup>3</sup> 124.6 lb/ft<sup>3</sup>  
Humedad óptima Hop.: 1.9 %  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Teima Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

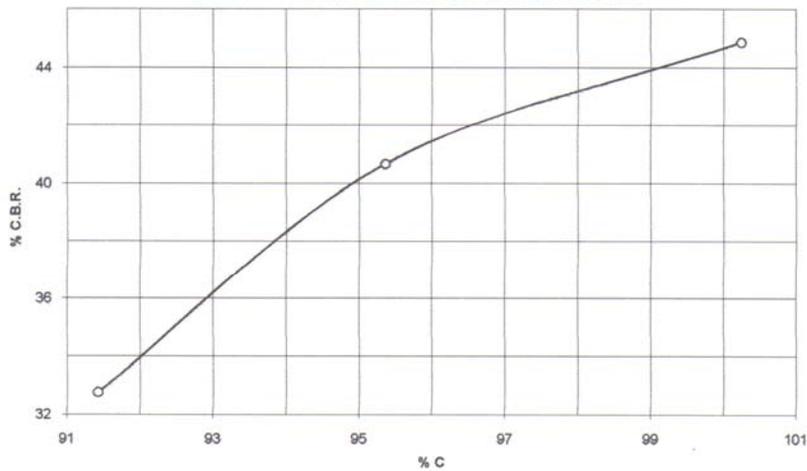


Nº 15063

INFORME No.: 198 S.S. O.T.: 27048  
 Interesado: Jairon Roldán De Paz  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193  
 Proyecto: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 Ubicación: Agregua zona 6  
 Descripción del suelo: Arena caliza color gris Mezcla 6% de NaCl.  
 Fecha: 21 de mayo de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )			
1	10	1.90	113.9	91.42	0.00	32.8
2	30	1.90	118.8	95.36	0.09	40.7
3	65	1.90	124.9	100.24	0.09	44.9

GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



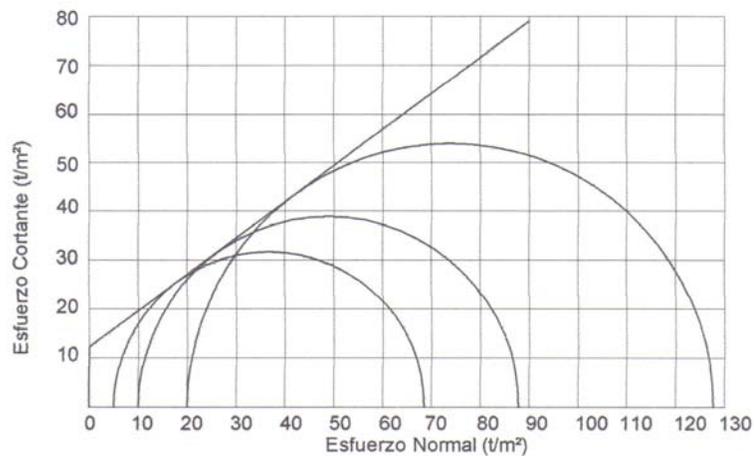
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 199 S.S. O.T.: 27,048  
 INTERESADO: Jairon Roldán De Paz  
 PROYECTO: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 UBICACIÓN: Km 45 Carretera a Parramos Fecha: 21 de Mayo de 2010.  
 Proporción: 0% NaCl Profundidad: 0.00 m Muestra: 1



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 36.58^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 12.3 \text{ t/m}^2$
---	--------------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena limosa color beige.  
 DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL ( $T/m^2$ )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q(T/m^2)$	63.53	77.83	107.75
PRESION INTERSTICIAL $u(T/m^2)$	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA $E_r$ (%)	2.5	4.5	7.0
DENSIDAD SECA ( $T/m^3$ )	1.16	1.16	1.16
DENSIDAD HUMEDA ( $T/m^3$ )	1.41	1.41	1.41
HUMEDAD (%H)	21.3	21.3	21.3

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

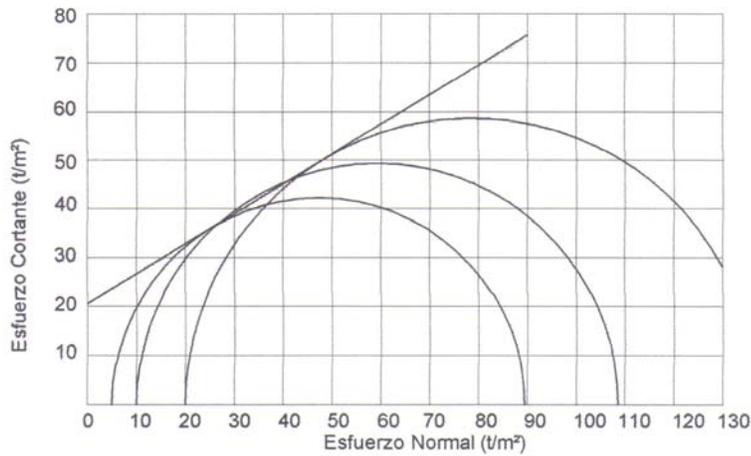
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 200 S.S. O.T.: 27,048  
 INTERESADO: Jairon Roldán De Paz  
 PROYECTO: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 UBICACIÓN: Km 45 Carretera a Parramos Fecha: 21 de Mayo de 2010.  
 Proporción: 2% NaCl Profundidad: 0.00 m Muestra: 2



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 31.48^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 20.6 \text{ t/m}^2$
---	--------------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCION DEL SUELO: Arena Limosa color Beige  
 DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m <sup>2</sup> )	84.45	98.58	117.23
PRESION INTERSTICIAL u(T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	2.0	4.0	6.5
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1.21	1.21	1.21
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1.39	1.39	1.39
HUMEDAD (%H)	14.2	14.2	14.2

Vo. Bo.

Inga. Telma Marcela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

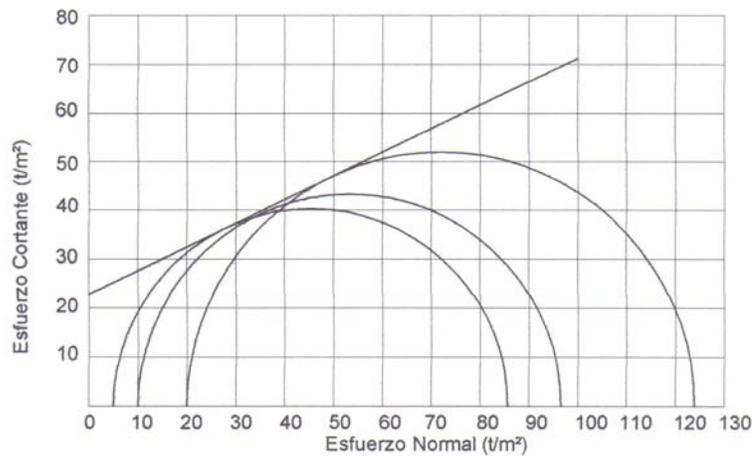
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 201 S.S. O.T.: 27,048  
 INTERESADO: Jairon Roldán De Paz  
 PROYECTO: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 UBICACIÓN: Km 45 Carretera a Parramos Fecha: 21 de Mayo de 2010.  
 Proporción: 4% NaCl Profundidad: 0.00 m Muestra: 3



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 25.85^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 22.8 \text{ t/m}^2$
---	--------------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena Limosa color Beige  
 DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESIÓN LATERAL ( $T/m^2$ )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q(T/m^2)$	80.66	86.58	74.46
PRESIÓN INTERSTICIAL $u(T/m^2)$	x	x	x
DEFORMACIÓN EN ROTURA $E_r$ (%)	3.0	5.0	7.0
DENSIDAD SECA ( $T/m^3$ )	1.19	1.19	1.19
DENSIDAD HUMEDA ( $T/m^3$ )	1.33	1.33	1.33
HUMEDAD (%H)	11.7	11.7	11.7

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales,  
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

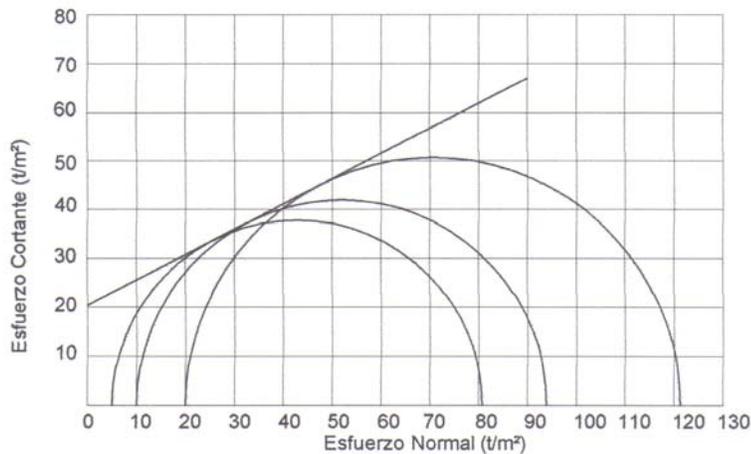
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 202 S.S. O.T.: 27,048  
 INTERESADO: Jairon Roldán De Paz  
 PROYECTO: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 UBICACIÓN: Km 45 Carretera a Parramos Fecha: 16 de Marzo de 2010.  
 Proporción: 6% NaCl Profundidad: 0.00 m Muestra: 4



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 27.39^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 20.4 \text{ t/m}^2$
---	--------------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCION DEL SUELO: Arena Limosa color Beige  
 DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL ( $T/m^2$ )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q(T/m^2)$	75.72	83.93	101.27
PRESION INTERSTICIAL $u(T/m^2)$	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA $E_r$ (%)	3.0	5.0	7.0
DENSIDAD SECA ( $T/m^3$ )	1.19	1.19	1.19
DENSIDAD HUMEDA ( $T/m^3$ )	1.30	1.30	1.30
HUMEDAD (%H)	9.5	9.5	9.5

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

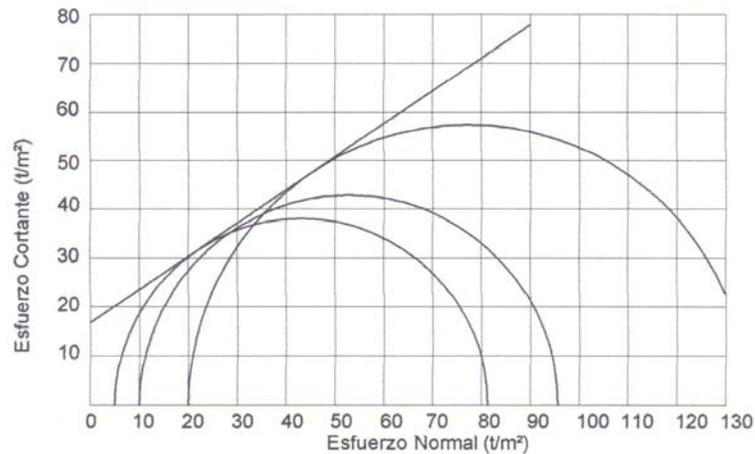
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 203 S.S. O.T.: 27,048  
 INTERESADO: Jairon Roldán De Paz  
 PROYECTO: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 UBICACIÓN: Agregua Zona 6 Fecha: 21 de Mayo de 2010.  
 Proporción: 0% NaCl Profundidad: 0.00 m Muestra: 1



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 34.16^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 16.80 \text{ t/m}^2$
---	---------------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena caliza limosa color gris  
 DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q(T/m^2)$	76.21	85.66	114.63
PRESION INTERSTICIAL $u(T/m^2)$	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA $E_r$ (%)	2.5	4.0	6.5
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1.98	1.98	1.98
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	2.11	2.11	2.11
HUMEDAD (%H)	6.8	6.8	6.8

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

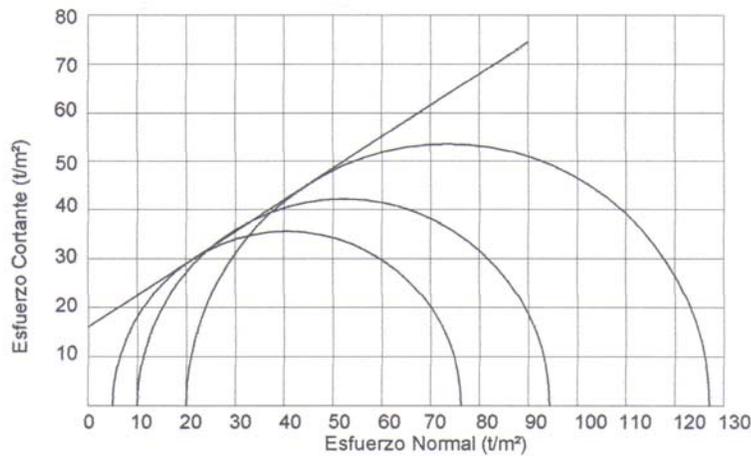
Ing. Omar Enrique Madrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 204 S.S. O.T.: 27,048  
 INTERESADO: Jairon Roldán De Paz  
 PROYECTO: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 UBICACIÓN: Agregua Zona 6 Fecha: 21 de Mayo de 2010.  
 Proporción: 2% NaCl Profundidad: 0.00 m Muestra: 2



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 32.98^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 16.10 \text{ t/m}^2$
---	---------------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCION DEL SUELO: Arena caliza limosa color gris  
 DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m <sup>2</sup> )	71.24	84.38	107.08
PRESION INTERSTICIAL u(T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	2.0	5.0	8.0
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	2.04	2.04	2.04
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	2.20	2.20	2.20
HUMEDAD (%H)	5.7	5.7	5.7

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

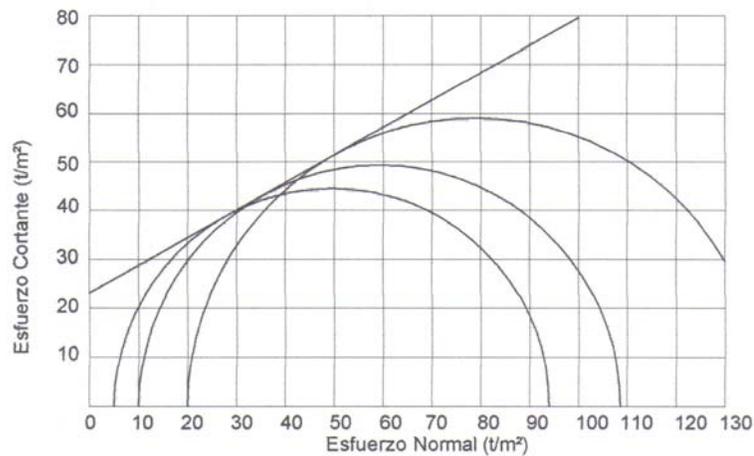
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 205 S.S. O.T.: 27,048  
 INTERESADO: Jairon Roldán De Paz  
 PROYECTO: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 UBICACIÓN: Agrega Zona 6 Fecha: 21 de Mayo de 2010.  
 Proporción: 4% NaCl Profundidad: 0.00 m Muestra: 3



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 29.44^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 23.2 \text{ t/m}^2$
---	--------------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena caliza limosa color gris  
 DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m <sup>2</sup> )	89.01	98.58	118.02
PRESION INTERSTICIAL u(T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	2.0	4.0	6.0
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	2.01	2.01	2.01
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	2.06	2.06	2.06
HUMEDAD (%H)	2.2	2.2	2.2

Vo. Bo.

Inga. Telma Matricula Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

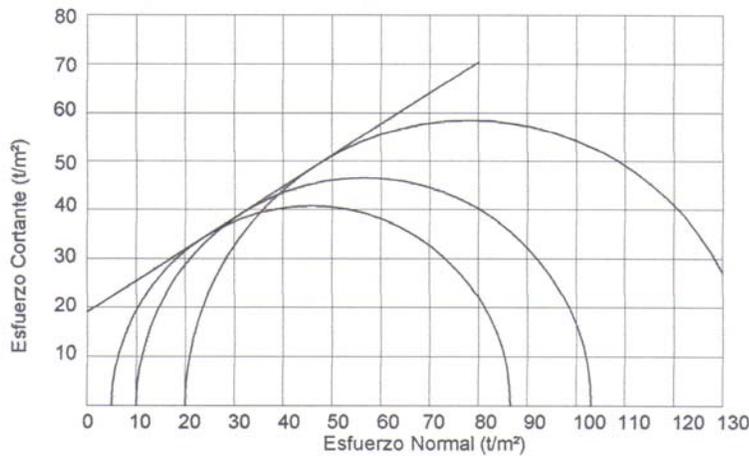
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 206 S.S. O.T.: 27,048  
 INTERESADO: Jairon Roldán De Paz  
 PROYECTO: Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio  
 UBICACIÓN: Aragua Zona 6 Fecha: 21 de Mayo de 2010.  
 Proporción: 6% NaCl Profundidad: 0.00 m Muestra: 4



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 32.68^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 19.10 \text{ t/m}^2$
---	---------------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena caliza limosa color gris  
 DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m <sup>2</sup> )	81.56	87.02	116.78
PRESION INTERSTICIAL u(T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	3.0	5.0	8.0
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1.94	1.94	1.94
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1.99	1.99	1.99
HUMEDAD (%H)	2.0	2.0	2.0

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

