

# Titulo: Estabilización e impermeabilización de suelos mediante el empleo de ROCAMIX y su efecto en el tiempo.

## AUTORES:

Prof. Msc Ing. Juan M. Junco del Pino, Prof. Msc Lic Pedro Morales Quevedo  
Facultad de Ingeniería Civil  
I.S.P.J.A.E.

## Resumen:

El Mundo se dirige hacia el aprovechamiento de los Suelos mediante el desarrollo de nuevas técnicas, y adaptarse a las condiciones del entorno resulta importante para la Ingeniería.

El mejoramiento de los suelos abre nuevas posibilidades de ahorro que pueden llegar de 20 a 45 % respecto a los costos de construcción convencional.

La Estabilización Química de Suelos consiste en el empleo de sustancias químicas con el objetivo de modificar las propiedades del suelo para hacerlo más denso o incrementar la vinculación de las partículas del mismo para aumentar su capacidad de soporte sin deformación. Las formas más empleadas en la Estabilización Química de Suelos son con cemento, sales y cal.

A partir de estas necesidades se desarrolló una Investigación en Cuba que culminó con la creación de un Sistema de Estabilización e Impermeabilización de Suelos a partir del empleo de Sales Cuaternarias, el cual tiene como efectos:

**Economía, Resistencia, Simplicidad y beneficios ecológicos.** Las Aplicaciones fundamentales de esta Técnica de Estabilización e Impermeabilización son en Subrasantes estabilizadas para pavimentos, Mantenimiento y Construcción de Vías, Terraplenes para ferrocarril y Basureros, entre otros.

Nuestro trabajo abarca parte de los Resultados logrados mediante la aplicación de este Sistema de Estabilización e Impermeabilización, mostrando como su efecto sobre las Propiedades Mecánicas y de Impermeabilidad en los Suelos aumentan con el tiempo.

## Palabras Claves:

Estabilización de Suelos, Límites de Consistencia, Resistencia a Compresión, Sales Cuaternarias.

## Summary:

The World goes toward the use of the Soils by means of the development of new techniques, and to adapt to the conditions of the environment is important for the Engineering.

The improvement of the soils opens new saving possibilities that can arrive from 20 to 45% regarding the costs of conventional construction.

The Chemical Stabilization of Soils consists on the employment of chemical substances with the objective of modifying the properties of the soil to make it but dense or to increase the linking of the particles of the same one to increase its support capacity without deformation. The forms more employees in the Chemical Stabilization of Soils are with cement, salts and lime.

Starting from these necessities it developed an Investigation in Cuba that it culminated with the creation of a System of Stabilization and Impermeableness of Soils starting from the employment of Quaternary Salts, which has as effects: Economy, Resistance, Simplicity and ecological benefits. The fundamental Applications of this Technique of Stabilization and Impermeableness are in subgrades stabilized for pavements, Maintenance and Construction of Roads, Embankments for railroad and Trash cans, among others.

Our work embraces a part of the Results achieved by means of the application of this System of Stabilization and Impermeableness, showing as its effect on the Mechanical Properties and Impermeability of the Soils increase with the time.

## 1. Introducción:

### Estabilización de Suelos para Subrasantes.

En muchas zonas alrededor del Mundo las Redes Viales, Vitales y Fundamentales en el desarrollo de los Países están en franco deterioro, causando preocupación y dificultades a los Gobiernos desde las Federaciones, Estados, Provincias, hasta los Niveles Locales. El Costo de la Construcción y Reparación de los Viales es a menudo el más alto ítem en los Presupuestos gubernamentales en todo el Mundo, independientemente del tamaño del País, este Costo puede invariablemente bordear el billón de dólares anualmente.

Debido a la falta de financiamiento en muchos países deben ser establecidos métodos de construcción y mantenimiento de viales más eficientes desde el punto de vista costo - efectividad.

El empleo de la Estabilización química de suelos se ha convertido en una muy seria alternativa de empleo a considerar en estos momentos, a partir de contar con una gran cantidad de viales que han sido evaluados y construidos con este método en los últimos diez años con resultados altamente alentadores.

Se le denomina estabilizador químico de suelos a cualquier elemento químico que al ser agregado al suelo o a la Base del Terraplén lo altera mejorando sus propiedades ingenieras. Esto ocurre a través de una variedad de mecanismos entre los que están incluidos el incremento de la compactación, densidad, portadores de resistencia, partículas vinculantes al suelo que reducen la susceptibilidad del mismo a cambios tales como el contenido de humedad óptimo, reduciendo la cantidad de agua posible a incorporarse al suelo, así como impermeabilizando el mismo.

La Estabilización química de suelos ofrece una alternativa en costos más bajo a los Métodos tradicionales de Construcción de Subrasantes y tiene la gran ventaja de utilizar los Suelos del sitio de los Trabajos. A partir de los exitosos trabajos realizados y la ventajosa relación costo-efectividad lograda, el Método ha ido ganando adeptos en muchos sectores de Gobierno en todo el Mundo.

En Cuba como es conocido, una de las grandes limitaciones en la construcción, sobre todo en la capital del país, es lograr una fuente de préstamo (o como se conoce comúnmente cantera) como material adecuado para base o estructura de los terraplenes en las vías. Lo mismo sucede para las terrazas en las obras de arquitectura o ingeniería. La solución no debe ser nunca la autorización indiscriminada de fuentes de préstamo, en lo cual la política oficial de las autoridades competentes ha sido restrictiva, producto de los daños al medio ambiente que acarrea cualquier apertura de este tipo. El Presente Trabajo, el cual forma parte de un Trabajo de Tesis Doctoral, abarca parte de los Resultados logrados en la Estabilización e Impermeabilización de unas Muestras de Suelos, provenientes de la Formación Capdevila a las cuales se les aplicó unas dosis de Sales Cuaternarias, así como cemento y cal, y se analizaron mediante Ensayos la influencia en el tiempo a diferentes edades sobre sus Propiedades Ingenieriles.

## 2.0 Materiales y Métodos

### 2.1 Caracterización del Suelo objeto de Estudio

El Nombre de 'Formación Capdevila' fue aplicado a una Serie de Lutitas Calcáreas y Areniscas finas de color achocolatado que afloran en varios lugares de la Provincia de La Habana. Su aspecto litológico es muy típico y fácil de distinguir.

En las Provincias Occidentales de Cuba, sobre todo en las cercanías de la Habana, se encuentra intercalada con otras formaciones, las mismas se dice que son de la misma edad que la de Capdevila. La misma es muy abundante en la Región Occidental, y ha sido utilizada como Material de Construcción de Presas de tierras. Este tipo de material es posible encontrarlo en la Naturaleza con humedades por encima de la Humedad Óptima de Ensayo Proctor Standard. Las características físicas y mecánicas de la Arcilla de esta Formación han sido ampliamente estudiadas, aunque las presentamos en este trabajo.

Las Propiedades de este Suelo empleado en el Estudio, se presentan a continuación en las Tablas No. 1, 2, 3 y 4, así como en la Fig. 1.

**Clasificación del Suelo por el HRB. Suelo Solo**

**Tabla No. 1 Granulometría**

Tamiz	Porcentaje Pasado
4	100
10	97.51
20	97.02
30	96.34
40	95.51
60	94.21
100	92.02
200	85.45

LL= 42.68%

LP= 22.78%

IP= 42.68-22.78=19.89

a = Tamiz 200 - 35 = 85.45 - 35 = 50.45 ≈ 40

0 ≤ a ≤ 40

b = Tamiz 200 - 15 = 85.45 - 15 = 70.45 ≈ 40

0 ≤ b ≤ 40

c = LL - 40 = 42.68-40=2.68

0 ≤ c ≤ 20

d = IP - 10 = 19.89 - 10 = 9.89

0 ≤ d ≤ 20

IG = 0.20 a + 0.005 ac + 0.01 bd

IG = 0.20 (40) + 0.005(40) (2.68) + 0.01 (40) (9.89) = 12.88 ≈ 13

IP >= LL - 30

19.89 > 43-30

19.89 > 13

**A-7-6 (13) Arcilla de alta compresibilidad y alto cambio de volumen.**

**Tabla No. 2 Resultado del Hidrómetro**

Diámetro (mm)	% Fino Real
0.115	74.49
0.086	62.49
0.050	56.40
0.040	53.12
0.027	50.34
0.021	48.37
0.015	41.56
0.009	35.30
0.006	30.27
0.004	25.89
0.003	22.18
0.001	15.34

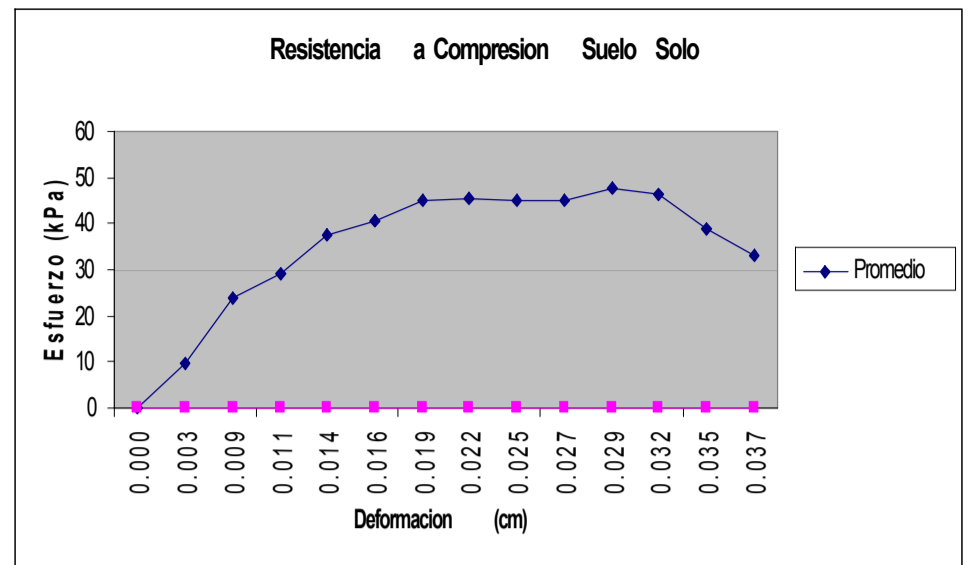
**Tabla No. 3 Peso Especifico de las Partículas Sólidas**

Muestras	Gs
1	2.69
2	2.72
3	2.71
<b>Promedio</b>	<b>2.71</b>

**Compactación**

**Tabla No. 4 Resultados del PROCTOR STANDARD y el PROCTOR MODIFICADO**

Muestra No	Proctor Standard		Proctor Modificado	
	Wopt (%)	Wopt (%)	γ d-max (kN/m3)	γ d-max (kN/m3)
1	22.54	13.10	19.10	14.60
2	23.51	12.40	22.45	14.20
3	28.39	12.20	22.23	14.20
<b>Promedio</b>	<b>25.00</b>	<b>12.70</b>	<b>21.00</b>	<b>14.30</b>



**Fig. No 1 Resistencia a Compresión Simple**

**2.2 Preparación de las Muestras de Suelo con Aditivo a Ensayar**

Para la Preparación de las Muestras de Suelo a las cuales se la agrega el aditivo ROCAMIX, así como la cal y el cemento, se sigue el siguiente proceso:

- En un recipiente, echar una cantidad del producto concentrado.
- Agregar una cantidad de agua igual a 3 veces en peso la cantidad de producto concentrado, realizando la mezcla de manera que todo el producto sea diluido en el agua, para poder hidratarse completamente.
- Dejar en reposo durante 24 horas.
- Transcurridas las 24 horas, agregar una cantidad de agua igual en peso a la mezcla realizada y mezclar de nuevo esa composición de manera que se obtenga un producto líquido.
- Agregar la proporción de cemento y cal según lo establecido.

En la Tabla No 5 se muestra tanto la cantidad de aditivos, y agua, como las proporciones de cemento y cal para la preparación de 1000g de suelo.

**Tabla No. 5. Dosificaciones empleadas**

Tipo Dosific.	Aditivo Sólido puro (g)	Cantidad de agua (ml)	1 parte + 7 parte de agua	Cemento (g)	Cal (g)
A	0.45 g	3.15	3.60	4 g	2.5 g
B	0.60 g	4.20	4.80	4 g	2.5 g

En esta investigación fue empleada la dosis máxima del producto (Dosificación B)

**3. Ensayos de Ingeniería: Granulometría.**

**Tabla No. 6 Valores de los % pasados promediados por días**

Tamiz #	% pasado 1 día	% pasado 3 días	% pasado 7 días	% pasado 60 días	% pasado 96 días
4	100	100	100	100	100
10	98.24	98.04	97.98	98.60	98.45
20	96.46	96.08	96.16	96.43	96.02
40	95.49	94.81	95.04	94.47	93.60
60	93.93	92.88	93.31	92.67	91.75
100	91.30	89.75	90.47	90.16	89.57
200	83.30	82.98	82.24	81.40	78.95

**Tabla No. 7 Resultados del Hidrómetro por periodo de tiempo**

Diámetro (mm)	% pasado 1 día	% pasado 3 días	% pasado 7 días	% pasado 60 días	% pasado 96 días
0.115	74.36	73.21	72.18	70.68	68.18
0.086	62.25	61.05	60.16	58.25	56.99
0.050	56.68	54.86	52.21	51.05	49.96
0.040	53.08	51.63	50.65	48.96	47.10
0.027	50.10	49.25	48.17	47.05	46.21
0.021	48.06	47.08	46.02	44.79	43.18
0.015	41.25	40.36	39.18	37.21	36.18
0.009	35.05	33.98	32.05	31.02	30.18
0.006	30.16	28.10	27.08	25.56	24.29
0.004	25.10	24.10	23.12	21.12	20.16
0.003	22.06	21.10	20.12	19.16	17.13
0.001	15.10	14.01	13.18	12.21	11.01

A medida que el tiempo transcurrió, hubo un aumento notable del peso específico relativo de la fase sólida del suelo. Esto se debe a la actividad química que ejerció el estabilizador sobre el suelo.

Tabla No. 8 Peso Especifico relativo de las partículas sólidas

Muestras	Gs
1	2.71
3	2.73
7	2.75
60	2.77
96	2.81

Tabla No. 9 Limites de Consistencias

	Muestra	Limite Liquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice de Plasticidad
96 días	1	39.00	21.12	17.93
	2	41.00	19.60	21.40
	3	40.00	21.36	18.64
	<b>Promedio</b>	<b>40.00</b>	<b>21.00</b>	<b>19.00</b>
7 días	1	43.00	22.41	20.59
	2	42.00	23.37	19.07
	3	41.00	21.36	19.94
	<b>Promedio</b>	<b>42.00</b>	<b>22.36</b>	<b>19.64</b>

Clasificación del Suelo:

Clasificación del Suelo por el HRB. 7 días

Tabla No. 10 Granulometría

Tamiz	Por ciento Pasado
4	100
10	97.98
20	96.16
40	95.04
60	93.31
100	90.47
200	82.24

LL= 42.23%  
LP= 22.36%  
IP= 42.23-22.36=19.87

a = Tamiz 200 - 35 = 82.24 - 35 = 47.24 ≈ 40  
0 ≤ a ≤ 40

b = Tamiz 200 - 15 = 82.24 - 15 = 67.24 ≈ 40  
0 ≤ b ≤ 40

c = LL - 40 = 2.23  
0 ≤ c ≤ 20

d = IP - 10 = 19.87 - 10 = 9.87  
0 ≤ d ≤ 20

IG = 0.20 a + 0.005 ac + 0.01 bd  
IG = 0.20 (40) + 0.005(40) (2.23) + 0.01 (40) (9.87) = 12.39 ≈ 12

IP >= LL - 30  
19.87 > 42.23-30  
19.87 > 12.23

A-7-6 (12) Arcilla compresibilidad baja a media

Clasificación del Suelo por el HRB. 96 días

Tabla No. 11 Granulometría

Tamiz	Por ciento Pasado
4	100
10	98.45
20	96.02
40	93.60
60	91.75
100	89.57
200	78.95

LL= 40.00%  
LP= 21.00%  
IP= 40.00-21=19.00

a = Tamiz 200 - 35 = 78.95 - 35 = 43.95 ≈ 40  
0 ≤ a ≤ 40

b = Tamiz 200 - 15 = 78.95 - 15 = 63.95 ≈ 40  
0 ≤ b ≤ 40

c = LL - 40 = 0.01  
0 ≤ c ≤ 20

d = IP - 10 = 19 - 10 = 9  
0 ≤ d ≤ 20

IG = 0.20 a + 0.005 ac + 0.01 bd  
IG = 0.20 (40) + 0.005(40) (0.01) + 0.01 (40) (9) = 11.61 ≈ 12

IP >= LL - 30  
19 > 40.0-30  
19 > 10.00

A-6(12) Arcilla compresibilidad baja a media.

Resistencia a Compresión Simple vs. Tiempo:

Tabla No. 12 Resistencia a Compresión vs. Tiempo

Días Trascurridos	Resistencia a Compresión Dosis Aditivo 0.60g (kPa)
1	54.04
3	62.25
7	94.87
60	122.31
96	179.39

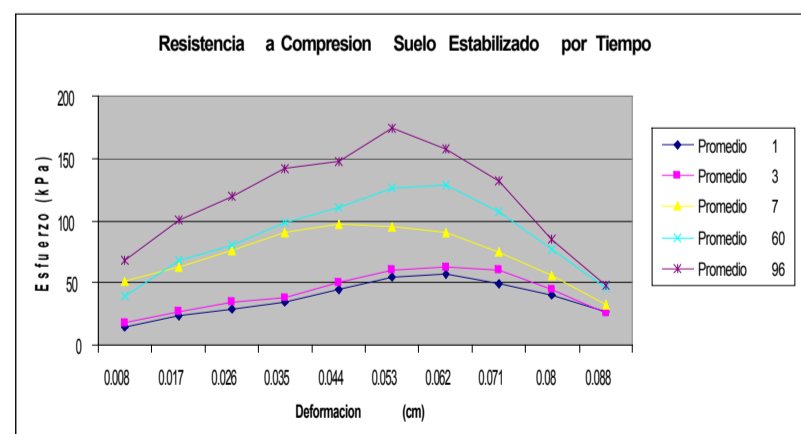


Fig. No 2 Grafico Esfuerzo Axial vs. Deformación Axial para diferentes edades de estabilización

En los resultados obtenidos se pueden apreciar como ocurre un aumento significativo de las resistencias del suelo tratado en la medida que aumentan las edades. En el primer día el suelo solo alcanzo una resistencia de 54.04 kPa, aumentando un 8.21% mas a los tres días; mientras que a los 96 días alcanzo un 373.73 % de la resistencia a compresión, del suelo sin aditivos.

**Resultados por Absorción Capilar. Comparación del Comportamiento del Suelo Natural vs. Suelo Estabilizado en el tiempo:**

**Tabla No. 13 Resultados Absorción Capilar**

Hora de ensayo horas	Suelo sin aditivo g	Suelo con aditivo g	
		0.45 g	0.60 g
<b>Hora de Inicio</b>	180	148.5	151.0
1	186	151.0	158.0
2	187	153.5	162.0
3	190	155.0	164.0
4	-	155.5	164.0
8	-	159.0	164.5
24	-	159.0	164.5

Esta tabla recoge los Pesos de las probetas a distintas horas correspondiente al Ensayo de Capilaridad

El suelo sin material estabilizante a las tres horas se desmorono. Llegando a tener un peso de 190 g suficiente para que el mismo cediera con facilidad. Las arcillas por lo regular tienen gran contenido de humedad y se absorbe un poco mas, producto de este ensayo, la misma se desmorona más rápido.

**4. Conclusiones:**

En el Ensayo Granulométrico se aprecia como para el suelo estado natural, el por ciento que pasa por el tamiz numero 200 es del orden del 85 % mientras que para el estabilizado en el periodo de un día paso el 83 % y a los 96 días del 78 %, esta disminución indica que las partículas se aglomeraron para formar granos de mayor tamaño, lo que indican un disminución en el contenido de material fino de dicho suelo.

El **Limite Líquido** (LL) del suelo en estado natural es de un 43 %, mientras que a los 7 días de estabilizado con el Sistema es de 42 % y a los 96 días es de 40 %. El **Limite Plástico** (LP) del suelo en estado natural es de 23 % y para el suelo estabilizado a los 7 días es de 22.36 % y a los 96 días es de 21 %. El índice de Plasticidad del suelo en estado natural es igual al 20 % y a los 7 días de estabilizado es igual a 19.87 % y a los 96 días es de 19 %.

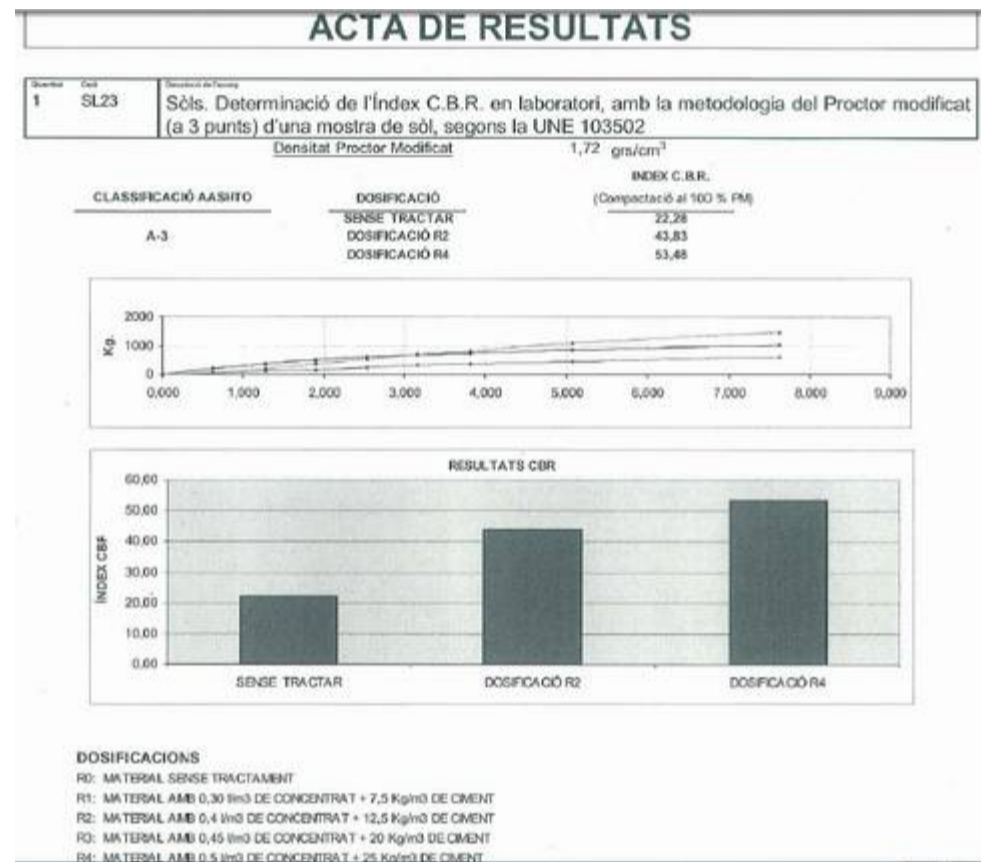
Esto indica un descenso en la plasticidad del suelo Por el método de clasificación de suelo SUCS, clasifico como un suelo CL: Arcilla limosa con contenido de arena, manteniendo la misma clasificación, en su estado natural clasifico como un A-7-6(13): Arcilla de alta compresibilidad y alto cambio de volumen, manteniendo esta misma clasificación a los 7 días de establecido con el Sistema, mientras que a los 96 días clasificación como un A-6 (12): Arcilla de alta compresibilidad y alto cambio de volumen.

En el peso específico relativo hubo un aumento significativo, el del suelo en su estado natural es de 2.71, y con el transcurso del tiempo fue en aumento hasta llegar a 2.81, valor correspondiente al periodo de los 96 días, esto implica que a la hora de realizar la compactación, los resultados en el suelo con mayor peso específico sean mucho mejor.

La resistencia a compresión simple del suelo en su estado natural es de 47.67 kPa, y a los 96 días es igual a 179.39 kPa, esta ultima representa el 376 % de la inicial, lo que indican un aumento significativo de la resistencia a compresión simple.

Trabajos más recientes, realizados en Laboratorios en España han permitido corroborar que con esta Tecnología, se pueden alcanzar incrementos en el CBR de los Suelos hasta del 240%. La Tabla No 14 lo ilustra al aumentar el CBR desde: 22,28 % del Suelo Natural a 43,83 % con Dosificación R2 y 53,48 % con Dosificación R4.

**Tabla No. 14 Resultados CBR**



**Reconocimientos:**

Los Autores quieren reconocer la cooperación y participación del Claustro de Profesores del Departamento de Mecánica de Suelos del ISPJAE por su inestimable participación en todo el trabajo experimental.

**Bibliografía y Referencias:**

1. Colectivo de autores (1963): Mecánica de suelos para ingenieros de carreteras y aeropuertos. Centro de estudios y experimentación de Obras Publicas. Madrid.
2. Fernández, LC (1982): Mejoramiento y estabilización de suelos. Editorial Limusa México.
3. Juárez, Badillo E y Rico, Rguez A: (1963) Mecánica de Suelo, Tomo 1. fundamentos de mecánica de suelos. Edición Revolucionaria.
4. Sowers George & Sowers (1971). Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones. Primera Parte, Edición Revolucionaria.

**Normas:**

1. NC 10: 1999 Geotecnia. Preparación de las muestras de suelos.
2. NC 19: 1999 Determinación del peso específico relativo de la fase sólida de los suelos.
3. NC 18: 1999 Geotecnia. Determinación de la Resistencia a compresión Axial no confinada de los suelos.
4. NC 20: 1999 Determinación de de la granulometría de los suelos.
5. NC 58: 2000 Geotecnia. Determinación del Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de plasticidad de los suelos.
6. NC 59: 2000 Clasificación geotécnica de los suelos.
7. NC 67: 2000 Determinación de la humedad.

**REFERENCIAS:**

- [1] López Lara, T. y Zepeda Garrido. "Mejoramiento de Suelos" Capitulo 9, 2004 www.lanam, e.ucr.ac.cr (documento on-line)
- (2) Torres Vila, J.A. 'Diseño y construcciones de Explanaciones. 'Tomo I. La Habana, 1986
- (3) Arizpe Narro, G. < articulosgratis>. 01 de 02 de 2007.
- (4) IMT, INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE Estabilización de Suelos con Cloruros para su uso en Vías Terrestres. 'Publicación Técnica No 201 Sanfandila Qru., 2002.
- (5) 'Presas de Tierras Homogéneas con Arcilla Capdevila. Criterios de Diseño.'Revista de Ingeniería Estructural y Vial',1993:14.