



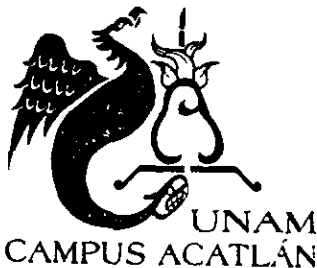
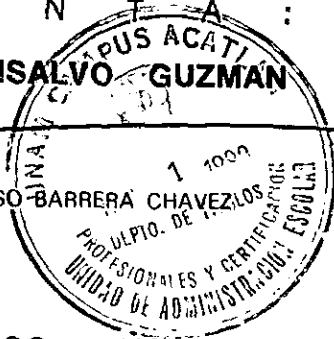
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

"DOSIFICACION DE MEZCLAS DE SUELO-
CEMENTO PARA SUELOS ARENOSOS APLICANDO
LOS METODOS RAPIDO, CORTO Y DETALLADO.
PROPUESTOS POR LA PORTLAND CEMENT
ASSOCIATION".

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
EL C. JORGE MONSALVO GUZMÁN

ASESOR: ING. CELSO BARRERA CHAVEZLOS



ACATLAN, EDO. DE MEXICO. NOVIEMBRE 1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

268768



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

SR. JORGE MONSALVO GUZMAN.
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.
PRESENTE.

En atención a su solicitud presentada con fecha de 21 de abril de 1997, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa aprobó el tema que propuso, para que lo desarrolle como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS SUELO-CEMENTO PARA SUELOS ARENOSOS, APLICANDO LOS MÉTODOS RÁPIDO, CORTO Y DETALLADO PROPUESTOS POR LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION"

INTRODUCCIÓN.

1. GENERALIDADES.
2. SUELOS ARENOSOS.
3. DISEÑO DE MEZCLAS SUELO-CEMENTO.
4. PRUEBAS DE LABORATORIO ESPECÍFICAS PARA SUELO-CEMENTO.
5. RESULTADOS.

CONCLUSIONES.

Asimismo fue designado como asesor de tesis el ING. CELSO BARRERA CHÁVEZ, pido a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Esta comunicación deberá publicarse en el interior del trabajo profesional.

ATENTAMENTE.
" POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "
Acatlán Edo. de México a 13 de noviembre de 1998.

Jefe del Programa

Ing. Enrique del Castillo Fragos



ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

A MIS PADRES:
Ma. de Jesús Guzmán Nuñez
F. Crescenciano Monzalvo Mejia
POR SU CARINO Y APOYO.

A MIS PROFESORES:
POR LOS CONOCIMIENTOS
TRANSMITIDOS.

CON CARINO,
A MIS HERMANOS:
Genaro, Juliana,
Guillermo, Elena,
Roberto y Luis.

A MIS AMIGOS EN
LAS BUENAS Y EN LAS
"JARRAS" :
Beto, Rojas, Javier, Gerardo,
Trejo, Luis Angel, El Benó,
Ciro, Manuel y Felipe

A UNA PERSONA MUY
ESPECIAL:
Marcela P. V.

Índice

	Página
Introducción	1
Capítulo I. Generalidades.	2
1.1 Historia.	2
1.2 Propiedades del Cemento.	6
1.3 Propiedades y Características del Suelo - Cemento.	11
1.4 Aplicaciones.	37
Capítulo II. Suelos Arenosos.	40
2.1 Características de los Suelos Arenosos.	40
2.2 Obtención de las Características de los Suelos Arenosos en el Laboratorio.	45
Capítulo III. Diseño de Mezclas Suelo-Cemento.	53
3.1 Método Detallado Propuesto por la Portland Cement Association.	53
3.2 Método Corto de la Portland Cement Association.	55
3.3 Método Rápido de la Portland Cement Association.	64
Capítulo IV. Pruebas de Laboratorio Específicas para Suelo-Cemento.	66
4.1 Prueba de Humedecimiento - Secado.	66
4.2 Prueba de Congelación - Deshielo.	69
4.3 Prueba de Compactación para Suelo-Cemento.	72
4.4 Prueba de Resistencia a la Compresión Simple.	73
Capítulo V. Resultados.	75
Análisis e Interpretación de Resultados.	75
Conclusiones.	

Introducción.

La aplicación del suelo-cemento como medio para la estabilización de suelos, ofrece al ingeniero una alternativa más, para satisfacer sus necesidades y requerimientos de construcción.

En el presente trabajo se tiene como objeto probar la efectividad de los métodos de diseño de mezclas de suelo-cemento. También se pretende describir de manera general los procedimientos de elaboración de mezclas de suelo-cemento.

Este escrito se divide en tres partes: en la primera, se pretende dar al lector un marco teórico que le permita entender mejor los capítulos subsiguientes así como una visión general de la importancia de este método de estabilización de suelos.

En la segunda parte (capítulo II) se establecen las características necesarias de conocer de un suelo arenoso que será tratado con cemento. También se describe la manera de conocer éstas características del suelo.

Por último, se explican los métodos de diseño de mezclas de suelo cemento propuestos por la Portland Cement Association (PCA), las pruebas de laboratorio necesarias para determinar las dosificaciones y el análisis de los resultados de las pruebas realizadas para las dosificaciones obtenidas por los diferentes métodos.

En México el uso del suelo-cemento ha sido un poco limitado en las vías terrestres y los aeropuertos, campos en donde ya se ha demostrado su efectividad, sin embargo, en la construcción de muros y pisos ha sido extensamente utilizado, usando casi exclusivamente suelos predominantemente arenosos.

Cabe mencionar que esta investigación pretende contribuir a la divulgación del conocimiento de este método de estabilización de suelos y que si el lector pretende ahondar en el tema, puede recurrir a la bibliografía que aparece al final de cada capítulo del texto.

Capítulo 1. Generalidades.

1.1. Historia.

Aunque el principal propósito del presente trabajo es comprobar la eficacia de los métodos de dosificación de mezclas de suelo-cemento propuestas por la Portland Cement Association (PCA), es conveniente situar el tema en su perspectiva histórica, haciendo una breve reseña de los acontecimientos relevantes que condujeron a su desarrollo actual. La historia de la ingeniería civil no puede desentenderse de conocer el proceso de crecimiento y maduración de un material que ha sido tan útil.

En diversas notas históricas que tratan sobre el suelo-cemento se ha manifestado frecuentemente que un primer acontecimiento importante fue su pronta aplicación como material para la construcción de pisos y muros, si bien en aquel entonces se trabajaba en forma empírica. Mas adelante otro acontecimiento que mereció especial atención fue la utilidad de su uso en la construcción de caminos, sobre todo cuando había problemas serios de escasez de bancos de materiales apropiados.

Varios años después de sus albores, tuvo bastante relevancia el hecho de que, durante la segunda guerra mundial, se probó que utilizando la tecnología adecuada era posible construir pistas de aterrizaje de magnífica calidad para el servicio de los aeropuertos, disminuyendo substancialmente el tiempo de su construcción tradicional. Esto es, utilizando el suelo-cemento se podían construir económicamente excelentes pavimentos para soportar grandes cargas en muy poco tiempo. También, previo a su etapa de consolidación definitiva, debe considerarse como acontecimiento importante y afortunado el notable impulso y desarrollo de los centros de investigación tecnológica para su cabal estudio primero en Norteamérica, poco después en Europa y la U.R.R.S. y finalmente en

Capítulo 1.

otros países cuyos fructíferos resultados permitieron obtener las bases científicas para su aplicación moderna.

En general, se considera que la aplicación del suelo-cemento empezó a estudiarse en forma metódica y científica en la década de 1910 a 1920, sin embargo, existen muchos antecedentes en la literatura que muestran que su utilización en pisos y muros comenzó desde mucho antes. Puede asegurarse que el arte de su aplicación se inició con el uso del cemento, cuando el constructor común encontró en la mezcla de cemento y suelo un excelente material de construcción. Parece ser que la utilización del suelo-cemento en forma científica, esto es con metodología y técnicas apropiadas, se originó casi simultánea e independientemente en los E.U.A. e Inglaterra.

En Filadelfia, E.U.A., Joseph Hay Amies, el 24 de febrero de 1914, adquirió la U.S. Patent # 1 087 914* de un producto que denominó "Alkaline Cement", manufacturado en una planta central combinando unas 60 partes de cemento Portland con alrededor de 30 partes de hidróxido de calcio y cerca de 10 partes de sosa cáustica. El producto resultante fue mezclado con suelo natural y agua. Además, posteriormente Amies presentó otras dos patentes del mismo tipo en 1914 y 1915.

En Inglaterra, en el año de 1917, Ing. H. E. Brooke-Bradley aplicó exitosamente una mezcla de cemento con suelos arcillosos en la construcción de unas carreteras cerca de la población de Salisbury Plain en el Condado de Wiltshire. A pesar de los resultados halagadores alcanzados por el uso del suelo-cemento en algunos condados ingleses, la técnica no fue muy utilizada, quizá por que el tráfico principal en esa época consistía de coches con ruedas de acero tirados por caballos.

En el año de 1921 en el estado de California, E.U.A., se usó el suelo-cemento para estabilizar suelos arcillosos. Posteriormente, en el año de 1932, el

Capítulo 1.

Departamento de Caminos Estatales de California del Sur, E.U.A., creó laboratorios para su investigación e impulsó científicamente su estudio. Ya con sólidas bases, en 1935, se hizo la primera construcción supervisada de suelo-cemento con técnica moderna, cerca de Johnsonville, South Caroline. A partir de entonces se tuvo la certeza de la factibilidad técnica y económica de su construcción masiva con éxito. Es por eso que se reconoce en la literatura que este paso fue muy importante, por que inicia su madurez, desde esta fecha el departamento anterior, junto con otros departamentos estatales de los EUA, la Portland Cement Association, la Highway Research Board y la Transport Research Board, se han distinguido como sus activos divulgadores y promotores de investigación, tanto en los E.U.A. como en otros países.

Resulta interesante conocer el hecho que finalmente lo impulsó y fue que durante la segunda guerra mundial las fuerzas militares alemanas utilizaron eficientemente el suelo-cemento para una muy rápida construcción de 130 aeropuertos en Europa, que funcionarían en condiciones muy difíciles ya que buen número de éstos estaban situados en la U.R.R.S. y otros en Europa Central donde ocurren condiciones climatológicas sumamente severas de congelación en el invierno. El diseño se realizó aprovechando en buenas medidas las técnicas desarrolladas en los países aliados (irónicamente, el ingles A.H.D. Marwick hace una revisión de los principales trabajos sobre suelo-cemento hechos en Inglaterra y los E.U.A. para aprovechamiento por los aliados en la construcción de aeropuertos, en la entonces previsible 2a guerra mundial). Parece ser que la principal razón por la que se recurrió al uso del cemento fue por la escasez de asfaltos que siempre ha existido en la Europa Central. Un tiempo después de pasada la guerra no dejo de admirar a los ingenieros el sorprendente buen estado que guardaban las pistas a pesar del uso constante y de los intensos bombardeos a que fueron sometidas, por lo que se consideró muy conveniente seguir aprovechando esta técnica, pero ahora casi exclusivamente para la construcción de obras civiles. Por haber probado su bondad en condiciones tan adversas después de pasada la segunda guerra mundial se le utilizó en forma masiva para la

Capítulo 1.

construcción de modernas aeropistas y carreteras en Alemania y en las Naciones mas desarrolladas.

En los países industrializados se consideró sumamente provechosa su aplicación para resolver las severas condiciones de trabajo que les provoca el constante incremento de peso y volumen en tránsito que circula por sus carreteras. Por lo que en estos países se apoyó firmemente su estudio intensivo creando laboratorios y centros para su investigación. Bastante pronto estas acciones rindieron el fruto esperado, pues permitieron desarrollar la tecnología y equipos de trabajo sin los cuales evidentemente no hubieran podido alcanzar el éxito constructivo y económico obtenido.

El primer uso del suelo-cemento en E.U.A. como material de protección de taludes para presas de tierra y enrocamiento fue una sección de prueba de la presa Bonny cerca de New Hale, Colorado, en 1951. Después de que los estudios e investigaciones realizadas permitieron concluir que el comportamiento fue bueno para las presas Merrit y Cheney.

En la construcción de cortinas para presas se utilizó por primera vez en los E.U.A., en 1980, para la construcción de la presa "Willow Creek" de 50 m de altura. Aunque anteriormente en 1975 se le usó para la reparación de la roca erosionada en la presa "Tarbella", ubicada en Pakistán y también, en Canadá en 1979, en la construcción de un bordo provisional de la presa "Revelstoke". Posteriormente se han construido varias presas en los E.U.A, entre las que destaca "Upper Stillwater Duchesne Utah" de 88 m de altura, construida en 1985-1987.

Actualmente se le han encontrado toda una serie de nuevos usos en las obras hidráulicas, como son las protecciones de costas marítimas y márgenes de los ríos, así como en las cimentaciones de ciertas estructuras y la construcción de silos enterrados, gaviones, muros de contención, muros pantalla, etc., por lo que es de esperarse que su utilidad y aprovechamiento se incremente todavía más.

1.2. Propiedades del Cemento.

Los cementos Portland son compuestos principalmente por silicatos de calcio hidráulicos. Los cementos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta de aspecto similar a una roca. Cuando la pasta (cemento y agua) se mezcla con los agregados (material granular) actúa como adhesivo y une a todas las partículas de agregado.

-Tipos de cemento Portland.

La norma C150 "Especificación estándar para cemento portland" de la American Society for Testing and Materials (ASTM), estipula ocho tipos de cemento portland:

Tipo I Normal.

Tipo IA Normal, inductor de aire.

Tipo II De resistencia moderada a los sulfatos.

Tipo IIA De resistencia moderada a los sulfatos, inductor de aire.

Tipo III De alta resistencia a edad temprana.

Tipo IIIA De alta resistencia a edad temprana, inductor de aire.

Tipo IV De bajo calor de hidratación

Tipo V De resistencia elevada a los sulfatos.

Tipo I. El cemento tipo I es un cemento de uso general, para ser empleado cuando las propiedades especiales de los demás tipos de cementos no sean necesarias. Se utiliza cuando no hay ataque de sulfatos y cuando no se requiere un bajo calor de hidratación.

Tipo II. El cemento portland tipo II se emplea donde sea necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos, como ocurre en las estructuras de drenaje, donde las concentraciones de los sulfatos existentes en las aguas freáticas son mayores de lo normal, pero sin llegar a ser demasiado severas (ver tabla A). El cemento tipo II generará normalmente menos calor a menor velocidad que el tipo I. Su uso reducirá el aumento de temperatura, hecho especialmente importante al realizar colados en climas cálidos.

Tipo III. El cemento portland tipo III proporciona resistencias elevadas a edades tempranas.

Tipo IV. El cemento portland tipo IV se emplea cuando se tenga que mantener en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor provocada por la hidratación. Desarrolla resistencia a una velocidad muy inferior a la de otros tipos de cemento. Este tipo de cemento se utiliza en estructuras masivas.

Tipo V. El cemento portland tipo V se emplea exclusivamente cuando habrá exposiciones severas al ataque de sulfatos, especialmente en donde los suelos o las aguas freáticas contengan fuertes contenidos de sulfatos (Ver tabla A). Su resistencia es adquirida mas lentamente comparada con el cemento tipo I. La elevada resistencia a los sulfatos se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico (C3A). La resistencia a los sulfatos se incrementa si se incluye aire o se aumentan los contenidos de cemento (relaciones agua-cemento bajas).

Capítulo 1.

Tabla A. Tipos de cemento necesarios para concreto expuesto al ataque de sulfatos.

Exposición a los sulfatos	Sulfatos en el suelo solubles al agua, porciento por peso.	Sulfatos en el agua ppm.	Tipo de cemento.
Despreciable.	0.00-0.10	0-150	-
Moderada.	0.10-0.20	150-1500	II
Severa.	0.20-2.00	1500-10000	V
Muy severa.	Arriba de 2.00	Arriba de 10000	V mas puzolana.

-Composición del cemento portland.

El cemento portland está constituido por los siguientes compuestos:

Silicato tricálcico $3\text{CaOSiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$

Silicato dicálcico $2\text{CaO SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$

Aluminato tricálcico $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$

Aluminoferrito

tetracalcico $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$

En presencia del agua, los cuatro compuestos se hidratan para formar nuevos compuestos que constituyen la infraestructura de la pasta de cemento endurecido en el concreto. Los silicatos de calcio, C₃S y C₂S, que constituyen cerca del 75 % del peso del cemento, se hidratan para formar los compuestos de hidróxido de calcio e hidrato de silicato de calcio (gel de tobermonita). El cemento hidratado contiene aproximadamente 25 % de hidróxido de calcio y un 50 % de gel de tobermonita en peso. La resistencia y otras propiedades del cemento hidratado se deben principalmente al gel de tobermonita.

-Propiedades.

Finura. La finura del cemento influye en la cantidad de calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento mayor rapidez de hidratación del cemento por lo tanto mayor desarrollo de resistencia a edad temprana. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiesta principalmente durante los 7 primeros días. Aproximadamente del 85% al 95 % de las partículas del cemento son menores de 45 micras.

Sanidad. La sanidad se refiere a la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado. La expansión destructiva retardada o falta de sanidad es provocada por un exceso en las cantidades de cal libre o de magnesia.

Consistencia. La consistencia se refiere a la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de fluir la cual depende principalmente de la cantidad de agua en la mezcla.

Tiempo de fraguado. El fraguado inicial de la pasta no debe ocurrir demasiado pronto; el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta esta desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También la finura del cemento, la relación agua-cemento y los aditivos influyen en el tiempo de fraguado de las pastas.

Resistencia a la compresión (según la ASTM).

Resistencia a compresión mínima kg/cm²

Tipo de cemento.	1 día	3 días	7 días	28 días
Cemento Portland				
I	-	127	197	281
IA	-	102	158	225
II	-	105	176	281
	-	70	120	225
IIA	-	84	141	225
	-	56	95	180
III	127	246	-	-
IIIA	102	197	-	-
IV	-	-	70	176
V	-	84	155	211

Calor de hidratación. El calor de hidratación, es el calor que se genera cuando reaccionan el agua y el cemento. La cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento, siendo el C₃A y el C₃S los compuestos particularmente responsables de elevado desarrollo de calor.

Otros factores que también influyen son la relación agua-cemento, la finura y la temperatura de curado. Incrementos en la relación agua-cemento, en la finura y en la temperatura de curado aumentan el calor de hidratación.

Las cantidades aproximadas de calor generado durante los primeros siete días, tomado como 100 % al del cemento portland normal Tipo I, son las siguientes:

Tipo II	80 % a 85 %.
Tipo III	hasta 150 %.
Tipo IV	40 % a 60 %.
Tipo V	60 % a 75 %.

Peso específico. Generalmente el peso específico del cemento portland es de aproximadamente 3.15 ton/m³. El cemento portland de escoria de alto horno y los cementos Portland-puzolana pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente 2.90 ton/m³.

1.3. Propiedades y Características del Suelo-Cemento.

El suelo-cemento, según la Portland Cement Association, "es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas proporciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido. Se usa principalmente como base en los pavimentos de carreteras, calles y aeropuertos."

Muchos otros investigadores entendieron que una mejor denominación sería decir "suelo tratado con cemento, que aunque es más largo evita ambigüedades en la definición, es de connotación amplia y permite clasificarlo según el tipo de suelo, clase de tratamiento y cemento utilizado. Sin embargo, todas las referencias coinciden en afirmar que el suelo-cemento es un material que presenta características propias, que no corresponden ni a las de un concreto, ni a las de un suelo sin mezclar aunque no indican cuáles son.

Cemento.

Cualquier cemento puede utilizarse en la estabilización de suelos. El cemento portland normal tipo 1 es el más utilizado, aunque también se han utilizado mucho los de alta resistencia. El cemento portland tipo 1 permite a la mezcla alcanzar mayor resistencia que el tipo II; pero el tipo II es preferible al tipo I cuando se trata de reducir agrietamiento. Los cementos expansivos han demostrado ser muy efectivos en suelos granulares gruesos para minimizar el agrietamiento.

Los sulfatos contenidos en los suelos ejercen mucha influencia en la durabilidad y resistencia a la compresión simple. El suelo-cemento es susceptible al ataque de los sulfatos en forma similar al concreto por lo que hay que tomar en cuenta que los cementos tipo II y IV son más resistentes al ataque de los sulfatos que el tipo I.

El cemento portland tipo I se puede usar cuando los sulfatos solubles en el agua de la mezcla son menores de 0.10 % o cuando el agua exterior que puede penetrar el suelo-cemento contiene menos de 150 ppm (partes por millón) de sulfatos. Para contenidos pequeños de sulfatos conviene utilizar cementos con moderada resistencia a los mismos. En el caso de que existan en el agua de la mezcla sulfatos solubles con más de 0.20 % o donde el agua exterior contenga mas de 1500ppm. de sulfatos, entonces puede usarse el cemento ASTM tipo V de alta resistencia a los sulfatos, pero con contenidos de aluminato tricálcicos no mayores al 5%.

La cantidad de cemento puede variar entre el 2 y el 25 por ciento del peso seco de la mezcla. El promedio es de 10% y se procura que no pase del 15 % por razones económicas.

Capítulo 1.

En la siguiente tabla se proporciona el rango normal de cantidades de cemento requeridas para los varios tipos de suelos, clasificados por la AASHO (American Association of State Highway Officials).

Grupos de suelos según la AASHO.	Por ciento por volumen.	Por ciento por peso.
A-1-a (GW,GP)	5-7	3-5
A-1-b (GM,SW)	7-9	5-8
A-2-4,A-2-5,A-2-6, A-2-7 (SC)	7-10	5-9
A-3 (SP,SM)	8-12	7-11
A-4(ML)	8-12	7-12
A-5(CL,OL,MH)	8-12	8-13
A-6(CH)	10-14	9-15
A-7(OH,Pt)	10-14	10-16

La cantidad de cemento también es función de la eficiencia del mezclado en la obra; mejorando las técnicas del mezclado se puede reducir el contenido de cemento real especificado.

A bajos contenidos de cemento la resistencia a la compresión simple en mezclas con suelos predominantemente arcillosos puede no aumentar y aun disminuir apreciablemente. Se considera que este efecto de disminución es debido a que con estos contenidos pequeños de cemento se produce un efecto de encapsulamiento de las partículas de arcilla sobre las mayores del cemento; obteniéndose por ende una estructura interna débil, a veces menos resistente que la que presenta el suelo sin cemento. Esto sucede frecuentemente con porcentajes pequeños de cemento (3 a 5 %, en peso).

Agua.

El agua tiene como funciones principales:

- Hidratar el cemento para producir la aglutinación de las partículas sólidas.
- Producir la lubricación entre las partículas para facilitar la compactación.

La cantidad de agua varía comúnmente entre el 10 y el 20 % del peso seco de la mezcla en suelos plásticos y menores del 10 % en los granulares.

Se recomienda que el agua que se utilice esté relativamente limpia y libre de cantidades apreciables de ácidos, álcalis y materia orgánica que puedan afectar al cemento.

Durante la construcción el cemento se hidratará completamente hasta después de 43 días en suelos granulares.

Suelo.

En teoría cualquier suelo puede estabilizarse con cemento, a excepción de los suelos con bastante contenido tanto de sales que afecten al cemento como de materia orgánica o materiales deletéreos. Sin embargo, en el campo de la aplicación práctica, los suelos que se pueden utilizar se encuentran limitados por:

- Adecuada granulometría del suelo.

En general, la experiencia ha demostrado que para que un suelo pueda ser endurecido correctamente, mediante la adición de cantidades razonables de cemento, debe tener la granulometría siguiente:

Que el límite superior del tamaño de las partículas sea de una tercera parte del espesor de la capa compactada, lo que representa unos 8 centímetros máximo. En la distribución granulométrica, el límite máximo de partículas finas que pasan la malla No.200 debe ser cercano al 50 %, con un límite líquido de 25 %. O sea que conviene evitar los suelos altamente compresibles y los muy plásticos. La PCA propone que no más del 45 % sea retenido en la malla No.4 y un tamaño máximo del agregado de 3", y acepta suelos granulares mal graduados. También recomienda que no utilicen suelos con muchas gravas, que preferiblemente

Capítulo 1.

contengan menos del 15 % de arcillas y que el contenido de limos varíe entre 20 y 45 % y que contenga arena, preferiblemente entre el 55 y 80 %.

Por otra parte, la PCA considera que no resultan adecuados suelos cohesivos cuyo límite líquido es mayor de 45 % y su límite plástico mayor de 20 %.

Los suelos con bastante contenido de arcillas tienen serios inconvenientes ya que producen mucho agrietamiento final y los tratamientos previos de humedecimiento o de secado comúnmente necesarios para su compactación son costosos y difíciles.

En la siguientes tablas se presentan las recomendaciones de la AASHO:

Graduaciones recomendables para tratamientos de suelos areno-arcillosos.			
Material.	Condiciones de lluvia en la zona. Fuerte 1. (%)	Condic. de lluvia en la zona. Moderada 2. (%)	Condic. de lluvia en la zona. Rara 3. (%)
Porciones de arena:			
Pasa la malla No. 10	100	100	100
Pasa la malla No. 40	40 - 80	40 - 80	40 - 80
Pasa la malla No. 60	30 - 70	40 - 55	55 - 70
Pasa la malla No. 270	10 - 40	20 - 35	30 - 50
Porciones de Limo:			
Finos de 0.05 a 0.005 mm.	3 - 20	0 - 15	10 - 20
Porciones de Arcilla:			
Finos menores de 0.005 mm.	7 - 20	9 - 18	15 - 25

Clasificación de la AASHO preparada para el diseño del Suelo – Cemento							
Análisis Granulométrico.	Grupos de Suelos Granulares (35 % ó menos pasa la malla No. 200)						
% Que pasa la:	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Malla # 10.	50 max.						
Malla # 40.	30 max.	50 max.	51 max.				
Malla # 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
CARACTERÍSTICAS DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA # 200.							
Límite Líquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad.	6 max.		N.P	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Análisis Granulométrico.	Grupos de Suelos Limo-Arcillosos (mas del 35 % retenido en la malla # 200).						
% que pasa la:	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 y A-7-6.			
Malla # 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.			
Características de la fracción que pasa la malla # 200.							
Límite líquido.	40 max.	41 max.	40 max.	41 min.			
Índice de plasticidad.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.			

Por otro lado la ASTM da una serie de recomendaciones que se recopilan en la siguiente tabla:

Especificaciones para los agregados de las sub-bases.

Tamaño de la Malla.	Porcentajes que pasan Bases.	Porcentajes que pasan Sub-bases.
2" (50 mm)	100	100
1-1/2"(37.5 mm)	95-100	90-100

Capítulo 1.

Tamaño de la Malla.	Porcentajes que pasan Bases	Porcentajes que pasan Sub-bases.
3/4" (19 mm)	70-92	-
3/8" (9.5 mm)	50-70	-
No. 4 (4.75 mm)	35-55	30-60
No. 30	12-25	-
No. 200	0-8	0-12

Requerimientos Adicionales:

- 1.- Al menos 75 % de las partículas retenidas en la malla de 3/8" deben tener dos caras fracturadas.
- 2.- La cantidad de material que pasa la malla No. 200 no debe ser mayor que el 60 % de la que pasa por la No.30.
- 3.- La fracción que pasa la malla No. 40 debe tener:
 - máximo $w = 25 \%$
 - máximo I.P. = 4 %

Consideraciones Constructivas.

Se debe tomar en cuenta, entre otros factores:

- * La facilidad para realizar el mezclado del suelo con el cemento y el agua. Los suelos con muchos finos pueden ser muy difíciles de mezclar.
- * La facilidad para hacer la compactación.
- * El adecuado contenido natural de agua del suelo en el banco y en la obra para su tratamiento.
- * Evitar tratamientos costosos de los materiales de banco.

Condiciones Ambientales.

Es necesario tomar en cuenta el efecto de la temperatura durante el fraguado ya que en climas extremos es significativo.

Será necesario considerar en los suelos posibles de utilizarse su facilidad para formar mezclas que se adapten a las condiciones ambientales, sobre todo en donde sucede la congelación. Partículas intemperizadas o inapropiadas deben desecharse.

Desventajas con Respecto a Otros Tipos de Estabilización, para el Problema Dado.

Algunos tratamientos pueden ser mas ventajosos, ya que cada uno tiene su campo de aplicación donde resultan ser los más adecuados.

Por otra parte, las desventajas mas notables que presenta son: el aumento del costo por la adición de cemento y actividades constructivas; una vez que se ha mezclado el cemento con el suelo y se incorpora el agua, la colocación y compactación de las capas deben hacerse con gran rapidez para evitar el fraguado anticipado y tener resultados pésimos; lo anterior produce mayor agrietamiento en los pavimentos; es necesario contar con personal especializado y establecer cuidados preventivos para el personal por el daño que puede provocar el constante tocar y aspirar el polvo del cemento.

Los suelos con bastante contenido de arcillas tienen serios inconvenientes ya que producen mucho agrietamiento final y los tratamientos previos de humedecimiento o secado comúnmente necesarios para su compactacion son costosos y difíciles. Además, durante la construcción el proceso de mezclado es sumamente laborioso.

El uso y efectividad del suelo cemento para la estabilización de suelos dependerá del tipo de suelo que se desee tratar y de las características del mismo que se querrán modificar, por lo tanto, las ventajas y desventajas de la aplicación del método dependerán de la adecuada selección del tipo de estabilización que se desee emplear. Por lo anterior resulta lógico pensar que para cada problema de

estabilización que se tenga y de las características de éste deberá seleccionarse el método de estabilización más óptima.

Materia Orgánica.

La materia orgánica se encuentra casi siempre en la capa superficial de los suelos hasta profundidades que alcanzan aproximadamente 1.50m. En un banco, si existen cantidades apreciables pueden hacer inservible al suelo para su tratamiento con cemento. En general, se considera que el 2 % de materia orgánica es un límite superior que no conviene pasar; a menos que se realicen las pruebas de laboratorio pertinentes que determinen el comportamiento con cantidades mayores. Conviene considerar que un alto contenido de materia orgánica no necesariamente indica que el cemento reaccionará desfavorablemente.

El tipo de materia orgánica en el suelo es difícil de probar en el laboratorio; en cambio determinar su cantidad es muy simple. Lo último se logra comúnmente, ya sea quemando juntos la materia orgánica y el suelo en un horno para después pesar lo que queda y restar la cantidad de materia orgánica volatilizada, o bien, haciendo una pasta de suelo-cemento con un 10 % de cemento en peso a la que se le determina el pH, una hora después de que se le agregó el agua. Si el pH es menor que 12.1 el suelo se rechaza, ya que esto indica la presencia de materia orgánica capaz de alterar las propiedades del cemento. La prueba colorimétrica para detectar sustancias orgánicas también es ampliamente usada en muchos laboratorios.

En las investigaciones realizadas por Clare K. E. y Sherwood P. T., se determinó que la materia orgánica y el exceso de sal, especialmente de sulfatos de calcio o magnesio, pueden retardar o evitar la hidratación del cemento. También se encontró que los compuestos orgánicos con peso molecular alto, tales como celulosa, almidón, lignina, no afectan la resistencia; por otra parte, la materia orgánica que tiene peso molecular bajo, tales como los ácidos nucleicos y la

Capítulo 1.

dextrosa, actúan como retardadores de la hidratación del cemento y provocan bajas resistencias.

La Cal.

La adición de pequeñas cantidades de cal en suelos plásticos, 2 % aproximadamente del peso seco, casi siempre favorece el resultado de las reacciones del cemento con el suelo.

La adición de cal en arcillas causa su fluoculación debido al incremento de electrolitos en su contenido de agua y al intercambio catiónico de las partículas de arcilla con el calcio disuelto. La fluoculación y el intercambio catiónico ocurre en poco tiempo; en cambio, la reacción lenta de la cementación puede ocurrir en años. Esta adición de cal generalmente aumenta la resistencia a la compresión simple en suelos que contengan montmorillonita.

Por otra parte, como la adición de cal provoca fluoculación de las arcillas y la formación de grumos, esto se aprovecha para facilitar el mezclado del cemento con los finos.

Los suelos finos compuestos de arcillas muy plásticas han sido exitosamente tratadas, previamente a su utilización en obra, añadiéndoles un poco de cal. G. Inglés recomienda que para trabajos de pavimentación se adicione cal cerca del 1% en peso seco del material por cada 10 % de arcilla contenida en el suelo y que no se exceda este valor antes de hacer cuidadosas consideraciones.

Mezcla.

A) Color y Textura.

En general, se observarán pocos cambios de color y textura con respecto a las que presenta el suelo original.

B) Estructura.

En suelos granulares se presenta una estructura similar a la del suelo que la compone; exceptuando los hechos de que se forman nuevos vínculos entre sus gránulos y que las partículas de cemento rellenan los huecos entre ellos.

En suelos finos ocurren reacciones químicas que alteran substancialmente la estructura original y la forma o comportamiento de las partículas. Para tratar de visualizar la estructura resultante de suelos plásticos tratados con cemento conviene tomar en cuenta lo siguiente:

* Que las partículas de cemento son bastante mayores que las de las arcillas y por lo tanto el número de partículas por unidad de volumen es varias veces mayor que en los cementos.

* El mezclado entre el cemento y los finos plásticos nunca es completo y puede decirse que es prácticamente imposible de lograr en obra.

* Existe una fluoculación inicial de las partículas de arcilla y se forman grumos o paquetes de arcillas.

* Los cambios físico-químicos son más intensos inicialmente y después, aunque mucho menores, son significativos y ocurren durante un tiempo prolongado.

MacLean y Robinson opinan que entre los granos del suelo se pueden formar "adherencias rígidas" y "adherencias plásticas". En suelos granulares limpios se podrán tener "adherencias rígidas" en todos sus granos y se tendrá un material de comportamiento rígido y frágil. En cambio en suelos bastante finos todo lo que podrá lograrse con una cantidad normal de cemento es la formación de tales adherencias en una sola parte de los granos y las demás serán del tipo de "adherencia plástica", entre las partículas arcillosas del suelo. Hay que tomar en cuenta que es muy probable que se formen bastantes vínculos entre grupos de partículas, grumos o paquetes.

Reacciones Químicas Durante el Mezclado.

Las reacciones de la pasta de agua-cemento con el suelo son de naturaleza físico-química. Esta reacción química es función de características de los agentes químicos que existen en la mezcla, de sus concentraciones, tiempo, tipo de suelo, tipo de agua, tipo de cemento, curado y de los aditivos usados.

La reacción del cemento con arcilla no se puede considerar como la reacción de un cementante con un material inerte. La arcilla reacciona y cambia durante el proceso. Así se ha encontrado que la mezcla con cemento altera la estructura interna de los minerales arcillosos.

Según D. F. Noble para suelos arcillosos los procesos químicos se producen en el orden cronológico siguiente:

- a) Hidratación de los compuestos del cemento con producción de Ca(OH)_2 .
- b) Adsorción de calcio en los sitios de intercambio catiónico.
- c) Adsorción de Ca(OH)_2 en las superficies de arcilla.
- d1) Encapsulación de cristales de Ca(OH)_2 por geles de silicatos y aluminatos de calcio.
- d2) Posible encapsulación de los granos de cemento por arcillas y geles.
- d3) Combinación química de Ca(OH)_2 con SiO_2 y Al_2O_3 .

Según A. Herzog y J.K. Mitchell ocurren dos reacciones principales:

1.- La hidrólisis e hidratación del cemento dan una primera reacción, incrementando el pH y liberando calcio.

2.- Debido al alto valor del pH y calcio liberado se puede iniciar el ataque químico de las partículas de arcilla y causar el rompimiento de los silicatos y aluminas amorfas; que se combinarán con el calcio para dar la segunda reacción cementante.

La interacción de los limos y arcillas con la cal tiene notable influencia en el proceso. Dos tipos de reacciones se presentan con la cal y las arcillas:

* Reacciones que ocurren rápidamente; como el intercambio catiónico y la floculación.

Capítulo 1.

* Reacciones lentas como la carbonatación, las reacciones puzolánicas y formación de nuevas partículas.

Al mezclar arcilla con cemento, durante la segunda reacción los paquetes de arcilla fluoculada establecen puntos de contacto con las partículas de cemento más grandes y en estos puntos de contacto se da el segundo tipo de reacción.

Un prerequisite para la formación de material cementante adicional es la disolución de los silicatos y aluminatos. Como los ácidos atacan a estos dos elementos es deseable tener un pH alto. Además de las impurezas y distribución granulométrica que influye en la solubilidad también lo hace la estructura mineralógica; así, los minerales que tiene tres capas de estructura (montmorillonitas) son más solubles que aquellas que tiene dos (caolinitas).

Relación Agua-Cemento.

La relación agua-cemento apropiada difieren en su obtención de la del concreto convencional. El diseño no depende significativamente de esta relación que aquí tiene menor relevancia. La cantidad de agua apropiada depende más de la elaboración y trabajabilidad que se desee obtener en la mezcla, para aprovechar mejor los equipos de construcción disponibles.

Según experimentos con suelos arcillosos de Nigeria, existe una relación óptima de agua/cemento para cualquier mezcla de cemento y suelo donde la resistencia a la compresión simple es máxima. La relación óptima de agua y cemento se incrementa linealmente con el decremento de la relación (C/A) cemento/arcilla.

Compactación de la Mezcla.

La compactación de la mezcla tiene efecto considerable en las propiedades ingenieriles del producto terminado. La compactación aumenta en forma considerable la resistencia a la compresión simple y la durabilidad. También es

Capítulo 1.

benéfica por que disminuye significativamente la permeabilidad y la tendencia al agrietamiento.

El suelo cemento debe considerarse como un producto que cambiará con el tiempo. Al principio, cuando los cambios son muy drásticos, el procedimiento de construcción ejercerá una decisiva influencia. Por tal motivo, el retardo en la compactación puede hacerse ineficiente al tratamiento, ya que destruirá y afectará los vínculos establecidos inicialmente entre la partículas.

En el resultado final influye mucho la diferencia de tiempo que transcurre entre el inicio de la hidratación y cuando se termina el mezclado y la compactación.

Es importante observar que la durabilidad y resistencia de un suelo compactado cerca del punto óptimo de humedad decrecen considerablemente si la compactación se inicia después de un retardo de dos horas, a partir del comienzo de la hidratación del cemento.

Por esta causa las especificaciones usuales sólo permiten un tiempo no mayor de 2 horas para el lapso comprendido entre la adición del agua y la compactación final; aunque a veces se extienda a 6 horas bajo ciertas condiciones muy especiales. La compactación que se ha realizado después de la hidratación se muestra completamente ineficiente.

El contenido de humedad óptimo con el que se alcanza el peso volumétrico seco máximo, en una prueba de compactación, no necesariamente proporciona la durabilidad.

Curado de la Mezcla.

Al igual que los concretos ordinarios, realizar un buen curado de la mezcla es necesario para alcanzar mejores resistencias. Aunque por otra parte, un curado prolongado en exceso aumentará el agrietamiento.

Es frecuente que en los trabajos de pavimentación se haga el curado de las mezclas recubriendo con los materiales asfálticos; aunque también se utilizan otros materiales como el papel impermeable, plásticos, paja húmeda, mallas de algodón húmedas o de otra fibra.

Capítulo 1.

La temperatura durante el curado de las mezclas influye en la resistencia, siendo mayor la que se alcanzará a mas elevada temperatura hasta cierto límite. Por ésta razón mejoran las resistencias en climas cálidos, pero también debe cuidarse el efecto de la alta temperatura durante las reacciones de fraguado.

Trabajabilidad de la Mezcla.

El tendido y compactado de una capa de 20 cm es prácticamente la máxima para la capacidad del equipo ordinario actual y menores de unos 8 cm son inconvenientes.

Las mezclas más húmedas permiten mejor manejabilidad pero producen mayor agrietamiento final, lo que es un inconveniente serio cuando se tienen materiales arcillosos.

Es conveniente revisar el contenido de agua desde el punto de vista constructivo. El exceso de agua hará que la mezcla se pegue en el equipo mecánico y el defecto favorecerá la formación de costras locales o la no hidratación total del cemento.

Criterios de Dosificación de las Mezclas.

El objetivo de la dosificación es seleccionar un contenido de cemento y de agua que pueda proporcionar a la mezcla los requerimientos de durabilidad, resistencia flexibilidad y otros deseables con el menor costo y tiempo de construcción proporcionando las mayores facilidades para construir las obras. Según sea el énfasis o preferencia que se le den a cada una de estas propiedades así será la dosificación propuesta para lograrlas.

Métodos Comunes de Mezclado en Obra.

Existen básicamente tres métodos por medio de los cuales se puede pulverizar, mezclar y colocar el suelo-cemento siendo estos:

- * Mezclado en el lugar.
- * Premezclado.
- * Por medio de plantas mezcladoras viajeras.

En general, por economía y rapidez se acostumbra a usar el método de mezclado en el lugar. El método de premezclado permite un mayor control sobre el producto y puede ser adecuado cuando se tengan préstamos o bancos de material no muy lejanos. El método de plantas mezcladoras viajeras requiere maquinaria bastante especializada y cara; sin embargo, en grandes obras pueden resultar bastante económicas a pesar del alto costo inicial.

Propiedades del Suelo - Cemento.

Resistencia a la Compresión Simple.

Acerca de los valores que se alcanzan normalmente en primer término conviene aclarar que en la literatura se presentan los valores usuales obtenidos por los distintos organismos o investigadores, con una amplia dispersión del promedio general; lo anterior tiene una explicación sencilla y es que los valores promedios de la resistencia a la compresión simple de probetas de suelos tratados con cemento son función principalmente del diseño utilizado y, por lo tanto, serán diferentes, según sea la preferencia del diseñador. Por esta razón, en los resultados de ensayos realizados en muestras saturadas a los 28 días, la Portland Cement Association (PCA) de los E.U.A. reporta valores promedios que varían entre 30 a 65 kg/cm² para el diseño de pavimentos, debido a que de antemano se especifica para obtener valores comparativamente bajos. En cambio, en Inglaterra y Alemania donde en general se diseña para obtener mayores resistencias, los

Capítulo 1.

valores que se obtienen son más altos, casi similares a los de los concretos pobres, alcanzándose resistencias hasta de 150 kg/cm² a los 28 días.

En cuanto a la resistencia a la compresión simple para muros hechos de suelo cemento, la Inter American Housing and Planning Center (O.N.U) especifica que en el Perú se alcancen 14 kg/cm², en especímenes húmedos. En Francia es común solicitar 15 kg/cm².

La resistencia a la compresión simple varía principalmente con:

- contenido y tipo de cemento usado;
- eficiencia lograda en el mezclado del cemento con el suelo;
- características y efectividad de los aditivos usados;
- tipo y cantidad de materia orgánica, sales y materiales deletéreos existentes en el suelo;
- cantidad y calidad del agua usada;
- tiempo transcurrido después de realizados la humectación, mezclado y compactado de los materiales;
- grado de compactación alcanzado;
- duración y forma de hacer el curado;
- prevenciones tomadas para disminuir el agrietamiento; y
- mayor medida el tipo de suelo usado.

En la figura siguiente se muestra la variación de la resistencia a la compresión simple de las mezclas de suelo - cemento con el contenido de cemento, utilizando diferentes suelos como matriz.

En general la resistencia aumenta casi linealmente con el contenido de cemento, pero la pendiente de las gráficas sí varía mucho de suelo a suelo.

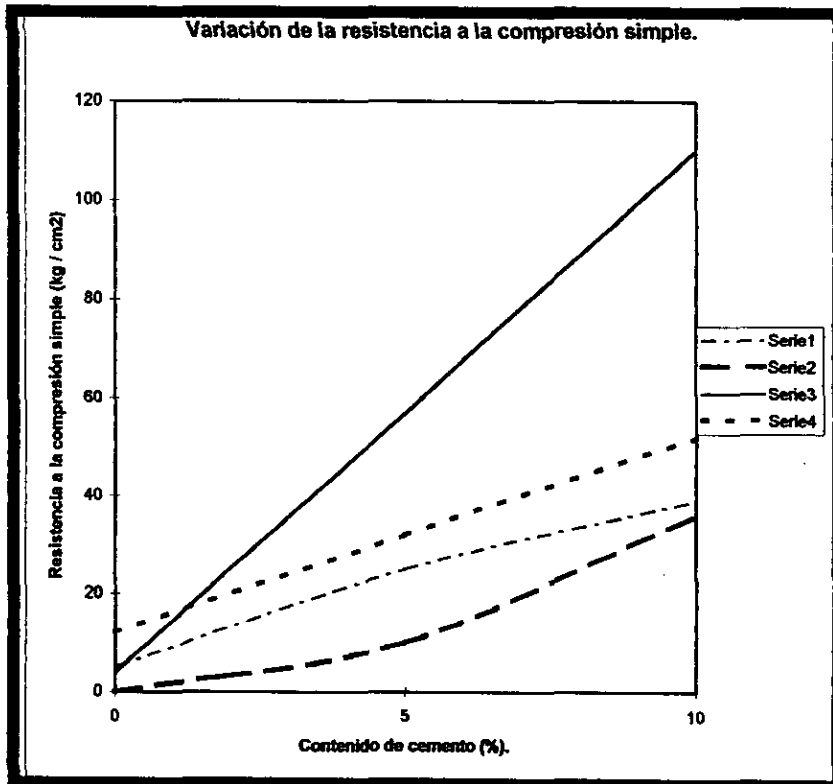
En el gráfico:

Serie 1 = Arcilla-Arenosa.

Serie 2 = Arena uniforme.

Serie 3 = Grava-arenosa.

Serie 4 = Arcilla-limosa.



En lo que respecta a la variación de la resistencia con respecto a sus principales factores se puede comentar lo siguiente:

a) Tiempo:

La resistencia a la compresión simple aumenta con el tiempo.

La resistencia a la compresión simple aumenta considerablemente durante los primeros 90 días de uno a tres tantos más que a los siete días, para después seguir aumentando, pero ya cada vez más lentamente hasta alcanzar un valor límite.

b) Contenido de cemento.

En general, la resistencia a la compresión simple de los especímenes aumenta gradualmente con el incremento del contenido de cemento hasta alcanzar un cierto límite.

Sin embargo, en ciertos suelos arcillosos tiende disminuir significativamente a contenidos de cemento entre el 3 y el 5% para aumentar después paulatinamente hasta un límite. Esto es, en suelos con muchos finos, la resistencia puede no aumentar si no disminuir a contenidos bajos de cemento por el efecto que produce en la estructura el encapsamiento de las arcillas sobre las mayores partículas del cemento.

Las reacciones de la pasta de agua-cemento con el suelo son de naturaleza química. La reacción producida es función de los agentes químicos y el tiempo. Por tanto el suelo tratado con cemento debe considerarse como un material que cambiará sus propiedades y comportamiento con el tiempo, durante un lapso considerable.

La reacción del cemento con los suelos finos proporciona en la mayoría de los casos aumentos rápidos de la resistencia debido a:

- * Rápida fluoculación y acercamiento de las partículas de arcilla entre si.
- * Hidratación del cemento con el establecimiento de vínculos entre las partículas.
- * Cristalización del carbonato de calcio con partículas de cemento distribuidas discretamente.

c) Grado de Pulverización y Eficiencia del el Mezclado.

A mayor grado de pulverización y mejor mezclado se alcanzará mayor resistencia a la compresión simple. Los suelos granulares son relativamente fáciles de mezclar con el cemento, no así los suelos finos. Los suelos con bastante arcilla requieren mucho esfuerzo para que se logre una buena mezcla lo cual es un inconveniente serio que presentan. En este tipo de suelo es raro lograr en obra una eficiencia mayor del 80 % con equipo normal; valores del 60 % son bastante comunes.

d) Contenido y Tipos de Materia Orgánica y Materiales Deletéreos.

Debe revisarse que el tipo y contenido de materia orgánica no afecten significativamente las propiedades deseables que se obtendrán. Al contrario, sin una buena compactación los resultados serán muy pobres. A partir de la adición del agua, donde empiezan los cambios químicos vigorosos es cuando el proceso de construcción ejerce una gran influencia. El retardo en la compactación puede hacer completamente ineficiente el tratamiento; dos horas como máximo es lo que se considera aceptable, ya que el remoldeo posterior y las concentraciones de presiones ejercida destruyen los vínculos formados inicialmente. Una vez endurecido, conforme pasa el tiempo, el proceso de cambio será menor hasta ejercer poca o nula influencia.

e) Efecto del Curado.

El suelo-cemento se comporta en forma similar al de un concreto en cuanto al efecto del curado, que tiene gran importancia. Un buen curado aumenta la resistencia.

f) El Agrietamiento.

La tendencia al agrietamiento en general aumenta con el contenido de cemento a partir de determinados valores, y por tanto se producirá por agrietamiento una disminución de la resistencia de la mezcla. No debe desecharse en las consideraciones de diseño que el agrietamiento puede reducir de diez a cien veces la resistencia de la mezcla, por lo que será necesario considerar éste efecto y prever en lo posible cómo controlar al agrietamiento.

El agrietamiento del suelo-cemento primero decrece con la proporción de cemento hasta un mínimo y después se incrementa, por lo que existe un contenido de cemento que minimiza el agrietamiento

h) Tipo de suelos.

Los suelos-cementos a base de materiales granulares exclusivamente dan un material duro y frágil. Con el aumento de finos se tornan en un material menos duro y más plástico. En la tabla de abajo proporciona órdenes de magnitud de la resistencia a la compresión simple para diferentes tipos de suelo.

Aumento en la resistencia a la compresión simple con el tiempo para varios tipos de suelo.

Tipo de suelo	Resistencia a la compresión (kg/cm ²).	Resistencia a la compresión (kg/cm ²).
	7 días.	28 días.
Gravas y Arenas (A-1, A-2 y A-3).	21-42	28-70
Suelos Limosos (A-6 y A-5)	17-35	21-63
Suelos Arcillosos (A-6 y A-7).	14-28	18-42

h) Temperatura.

La resistencia a la compresión simple aumenta con el incremento de temperatura durante el curado. En climas cálidos la resistencia será mayor que la que se alcanza en climas fríos para igualdad de condiciones.

Resistencia a la Flexión.

Se ha observado que la resistencia a la flexión varía directamente con la resistencia a la compresión simple. La relación entre RF(resistencia a la flexión)/RCS(resistencia a la compresión simple) varía entre 1:5 a 1:10, aunque se reportan algunos valores menores. Este orden de magnitud de la relación nos muestra que es conveniente para su uso en carreteras, ya que la rigidez que puede obtener el suelo-cemento prácticamente asegura que inicialmente se formará el efecto de losa, entre zonas agrietadas profundamente, o sea una buena capacidad de distribuir las cargas a las capas inferiores. Recuérdese que la relación media del concreto normal es de 1:10. El radio de curvatura crítico a la flexión, que se forma de medida de la resistencia a la flexión, varía aproximadamente desde 4000 pulgadas (100m) en suelos plásticos a 7500 (188m) en suelos granulares.

Agrietamiento.

El agrietamiento es uno de los aspectos insatisfactorios del suelo-cemento ya que si se ignora y no se toman las debidas providencias puede reducir la vida útil de los pavimentos y causar diseños deficientes. Sin embargo, un diseño realizado por profesionistas expertos y prácticas correctas de construcción pueden evitar casi todo el efecto nocivo.

El agrietamiento es una característica del suelo-cemento. Se puede observar en casi todas las construcciones de suelo-cemento la formación de grietas por contracción, relativamente poco espaciadas. Estas grietas finas se forman de tal manera que permiten una buena traba o entrelazamiento del material, lo que es suficiente en pavimentos para que se comporte en forma similar a una base de piedra triturada. Algunos autores consideran a las bases de suelo-cemento como una serie de trozos grandes que están juntos, a los que llaman islas.

Las características del agrietamiento de la capa determinará en última instancia si el comportamiento será de tipo flexible o rígido. El agrietamiento definirá de manera decisiva el comportamiento estructural. Si el agrietamiento es pequeño la estructura resultante tenderá a comportarse rígidamente; al contrario, si existe mucho agrietamiento tenderá a hacerlo de manera flexible. El aumento del agrietamiento con el tiempo tomará un pavimento rígido en uno flexible y finalmente lo hará poco útil.

Los valores de la resistencia a la flexión de las capas pueden disminuir mucho con el agrietamiento profundo o completo, del orden de unas diez a cien veces; por lo que para diseño será necesario analizar correctamente los valores obtenidos en los laboratorios con muestras pequeñas no agrietadas, tomado en cuenta la reducción por agrietamiento .

El agrietamiento en las capas estabilizadas con cemento se debe principalmente a:

Capítulo 1.

*Cambios en la presión del agua intersticial dentro de la mezcla endurecida; que se producen por pérdidas y variaciones en contenido de agua libre existente en los poros.

*Cambios en la estructura del suelo tratado (reorientación de las partículas durante el curado).

*Las deformaciones de las capas inferiores del pavimento y del suelo de cimentación.

*Cambios físico-químicos en las características de los componentes.

*Cambios de temperatura .

La temperatura en general ejerce menor influencia, en capas de poco espesor, aunque en algunos casos puede ser significativa.

Las cargas y deformaciones pueden producir un agrietamiento importante conforme pasa el tiempo. También los cambios físico-químicos en los componentes y en la estructura pueden producir agrietamientos importantes en el corto plazo. Aunque, las pérdidas y los cambios del contenido del agua libre son los que generalmente producirán los mayores efectos en el corto y largo plazo.

La humedad se pierde o cambia por:

*Primera evaporación del agua.

*Desecación después del curado.

*Pérdidas de agua libre por reacciones químicas.

* Pérdidas de agua libre por adsorción en las fronteras de las partículas sólidas.

* Pérdidas de agua libre por hidratación interna de las partículas.

Durante los primeros días de la hidratación del cemento se producen agrietamientos importantes que disminuyen paulatinamente en los meses siguientes, durante el secado de la mezcla compactada. En mezclas con suelo arcillosos el cemento se hidrata completamente cerca de los 43 días.

Los principales factores que influyen en el agrietamiento son:

*Características del suelo por tratar.

Capítulo 1.

*Sales, óxidos y diferentes compuestos que están presentes en el suelo, como agregados.

*Características del cemento.

*Cantidades de cemento usado. Existe un contenido de cemento que minimiza el agrietamiento.

*Características del agua.

*Contenido de agua en la mezcla durante la compactación.

El agrietamiento aumentará si se compacta del lado húmedo de la curva de compactación.

*Grado de compactación. El agrietamiento se reduce substancialmente aumentando la compactación

*Condiciones ambientales. Temperatura, humedad, etc.

*Características de las cargas impuestas.

*Asentamientos en el suelo y terraplén.

*El tiempo de uso.

En lo que respecta al tipo de suelo se puede comentar que en los suelos granulares el agrietamiento es principalmente función del porcentaje de cemento, del curado y eficiencia de la compactación. En suelos cohesivos dependerá además muy importantemente del porcentaje y características de los finos.

Un mayor contenido de arcilla aumentará el agrietamiento. Los suelos con caolinita se agrietan más rápidamente que los de montmorilonita pero en menor proporción.

Las grietas finas por contracción son características en el suelo-cemento; por tanto, la presencia de ellas no debe necesariamente interpretarse como producidas por esfuerzos excesivos. En cambio el ensanchamiento progresivo de estas grietas finas hasta alcanzar unos 3 mm de ancho ya podría considerarse como fatiga excesiva y falla en el pavimento.

Las grietas finas que se producen tienen la anchura aproximada de un cabello. Se distinguen dos tipos:

* Profundas, que atraviesan todo el espesor y que son las menos numerosas.

* Superficiales, con profundidades de 2.5 a 7.5 cm.

Las grietas superficiales de los pavimentos se distribuyen en forma irregular, presentando un aspecto semejante a la piel de cocodrilo. Separaciones de grietas superficiales de 30 a 60 cm son comunes en los suelos con finos y de 4 a 12 cm en los granulares. Cada tipo de suelo produce su propio sistema de grietas. La densidad del agrietamiento profundo varía en amplio rango. Se incrementa principalmente con el aumento del contenido de arcilla, del porcentaje de cemento y del tiempo utilizado en la compactación.

Cuando los suelos arcillosos presentan grietas profundas tiene una forma en planta tipo mapa; entre ellas la separación de 60 a 300 cm es común. En los suelos granulares se presenta un agrietamiento menos profundo y las grietas están espaciadas de 300 a 600 cm.

Contracción transversal.

La magnitud de la contracción esta en función del contenido de cemento. Existen materiales que reducen sus contracciones si se va agregando más cemento a la mezcla durante su fabricación, hasta alcanzar un límite. A partir de este mínimo se tendrán aumentos en la contracción a medida que se va incrementando el contenido de cemento para alcanzar un máximo y finalmente volver a la tendencia de disminución. En algunos suelos solo se presentará un máximo en magnitud de las contracciones para determinado contenido de cemento y después disminución.

En suelos granulares depende principalmente de su granulometría y las características de la pasta de cemento.

En suelos finos la contracción transversal depende principalmente del porcentaje de la fracción arcillosa, es decir, mayor contracción para mayor fracción arcillosa, y también de las características de la arcilla así la montmorilonita es la que produce mayor contracción, pero la aparición de la contracción en el suelo-cemento que contiene caolinita es más rápida que aquella que contiene montmorilonita.

Capítulo 1.

Los aditivos que se han mostrado efectivos para disminuir la contracción son: la cal, el cloruro de sodio y el calcio. Los sulfatos de sodio han sido útiles por sus propiedades expansivas para disminuirla (cementos expansivos).

Se ha determinado que ha medida que aumenta la temperatura durante el mezclado y la compactación tiende a aumentar la contracción final.

Un curado demasiado prolongado aumenta la contracción total en suelos arenosos. En cambio es conveniente en suelos arcillosos. Por otra parte, la contracción es función del contenido de cemento. A mayor contenido mayor contracción durante el curado.

La contracción se puede disminuir mejorando la compactación. La compactación con humedad mayor que la óptima tiende a aumentar las contracciones.

Resistencia al desgaste.

La resistencia al desgaste dependerá principalmente del contenido de cemento, del contenido de finos y de la calidad de la construcción. Se ha observado que:

- * Cuando se usa superficialmente en carreteras se desgasta rápidamente bajo la acción abrasiva del tránsito, por lo que casi siempre se recurre a proteger las capas de suelo-cemento colocando encima de ella una capa de concreto asfáltico.

- * El suelo-cemento es bastante resistente a la acción erosiva de las lluvias.

- * Para su uso en muros y pisos de casas la resistencia al desgaste es buena.

- * Para su uso en obras de protección contra la erosión de las corrientes y los oleajes del mar y embalses se considera que su resistencia es muy buena.

- * Es resistente a la socavación concentrada de corrientes fluviales.

Resistencia a la absorción de agua y a la expansión.

Esta resistencia dependerá de la cantidad de finos y de qué tipo son, así como del contenido de cemento. Aunque en general tendrá suficiente resistencia,

Capítulo 1.

se recomienda evitar que el agua lo penetre, sobre todo aquellos suelos contruidos con apreciables contenidos de finos plásticos.

La permeabilidad dependerá principalmente del tipo de suelo usado. Suelos finos darán capas impermeables. Con suelos predominantemente granulares no debe esperarse alcanzar siempre permeabilidad es lo suficientemente bajas como para sellar estructuras de almacenamiento de agua.

Modificaciones de las propiedades índice del suelo.

La adición agua con cemento en los suelos varia substancialmente las propiedades índice originales. En general disminuye fuertemente la plasticidad de los mismos.

Las reacciones químicas que ocurren en la mezcla de suelos finos afectan las características físicas de las partículas de arcilla y por tanto su comportamiento. Los cambios de las propiedades se suceden en el tiempo ya que existen reacciones químicas lentas.

1.4. Principales Aplicaciones del Suelo-Cemento.

El suelo-cemento se usa en la construcción de:

- Bases de carreteras, calles, aeropuertos y estacionamientos.
- Ampliaciones, acotamientos y taludes de carreteras.
- Muros.
- Construcción de pisos en áreas de almacenamiento.
- Reconstrucción de bases falladas.
- Protección de taludes en presas y almacenamientos.

Capítulo 1.

- Estabilización de taludes.
- Revestimiento de canales.
- Impermeabilización de almacenamientos para aguas.
- Construcción de accesos para puentes.
- Construcción de muros pantalla.
- Construcción de cimentaciones.
- Construcción de gaviones.
- Sub-bases para pavimentos rígidos y flexibles.
- Pisos habitacionales.
- Carpetas para carreteras de poco tráfico.
- Construcción de ataguías para protección de terraplenes en la construcción de presas
 - Construcción de trincheras semiflexibles para la cimentación de presas.
 - Inyección de pantallas para el control del flujo de agua.
 - Construcción de cortinas.
 - Etc.

FALTAN PAGINAS

De la:

39

A la:

40

Capítulo 2.

Las gravas son suelos en los que mas del 50 % (en peso) de su fracción gruesa es retenida en la malla N° 4. Las gravas se identifican con la letra **G** (Gravel).

Se consideran como arenas los suelos en los cuales mas del 50 % de sus partículas gruesas pasa la malla N° 4. Las arenas son identificadas con la letra **S** (Sand).

Las gravas y arenas se dividen en 4 grupos:

1.- Material prácticamente limpio de finos (< 5 %) y bien graduado. Símbolo **W** (Well graded). Para que una grava sea considerada como bien graduada su coeficiente de uniformidad "Cu" debe ser mayor a 4 y su coeficiente de curvatura "Cc" debe estar entre 1 y 3. Para que una arena sea bien graduada su "Cu" debe ser mayor a 6 y su "Cc" debe encontrarse entre 1 y 3.

2.- Material prácticamente limpio de finos (< 5 %) y mal graduado. Símbolo **P** (poor graded).

3.- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo **M** (mohala).

4.- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo **C** (clayd).

De lo anterior resulta la siguiente clasificación para suelos gruesos:

Suelos **GW** y **SW**. Suelos en que mas del 50 % de su fracción gruesa está compuesta por gravas (**G**) o arenas (**S**) bien graduadas y menos del 5 % de material fino.

Suelos **GP** y **SP**. Son aquellos en los que mas del 50 % de sus partículas gruesas están constituidas por gravas (**G**) o arenas (**S**) mal graduadas con porcentajes de finos menores al 5%.

Suelos **GM** y **SM**. En estos suelos el porcentaje de finos es superior al 12 % (en peso). La plasticidad de los finos varía de "nula" a "media", es decir, es requisito que los límites de plasticidad localicen a la fracción que pasa la malla N°

Capítulo 2.

40 abajo de la línea A de la carta de plasticidad, de la cual hablaremos mas adelante, o bien que su índice de plasticidad sea menor que 4.

Suelos GC Y SC. El contenido de finos debe ser superior al 12 % en peso. En este caso los finos deben ser de mediana a alta plasticidad ; es ahora requisito que los limites de plasticidad sitúen a la fracción que pase la malla N° 40 sobre la línea A de la carta de plasticidad, y que el índice plástico sea mayor que 7.

A suelos gruesos con un contenido de finos mayor al 5 % y menor del 12 %, el SUCS los considera como casos frontera por lo que les asigna símbolos dobles. Por ejemplo GP-GC (grava mal graduada con un porcentaje de finos plásticos comprendido entre el 5 y el 12 %.

Se considera que los porcentajes de finos menores al 5 % no producen cambios apreciables en las características de resistencia de la fracción gruesa, ni infieren con su capacidad de drenaje, y por el contrario los contenidos de finos mayores al 12 % si se considera que afectan las características de resistencia y esfuerzo - deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa del suelo.

Suelos Finos:

Los suelos finos se identifican y dividen de la siguiente manera (SUCS) :

Suelo	Símbolo.
1) Limos inorgánicos	M
2) Arcillas inorgánicas	C
3) Arcillas y limos orgánicos	O

Cada uno de los tipos anteriores se subdivide de acuerdo a su limite liquido. Si el suelo tiene un limite liquido menor al 50 % entonces se utiliza la letra **L** para designarlos. Si su limite liquido (LL) es mayor al 50 % se utilizara la letra **H**.

La combinación de características nos da los siguientes grupos:

ML = Limos inorgánicos de baja compresibilidad.

CL = Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.

OL = Limos y arcillas orgánicas de baja compresibilidad.

MH = Limo inorgánico de alta compresibilidad.

CH = Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

OH = Limos y arcillas orgánicas de alta compresibilidad.

Suelos CL Y CH. Son arcillas inorgánicas situadas por encima de la línea A de la carta de plasticidad definidas por:

CL = $LL < 50\%$ e Índice de plasticidad $I_p > 7\%$.

CH = $LL > 50\%$

El grupo ML comprende limos con $LL < 50\%$ ó con $I_p < 4$ y el grupo MH comprende limos inorgánicos y arcillosos con $LL > 50\%$.

Los suelos OL Y OH son suelos que contienen materia orgánica y que tiene las mismas características de limite líquido e índice plástico que los grupos ML y MH.

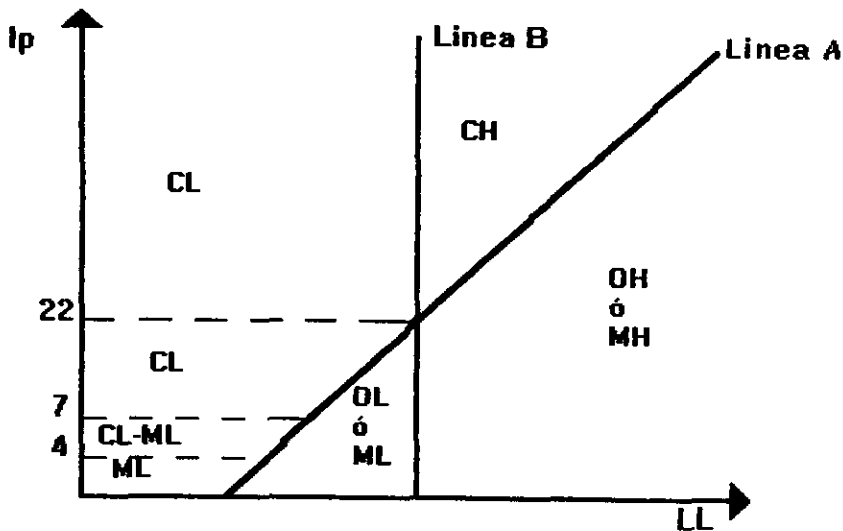
Casos Frontera:

A los suelos finos que caen sobre la línea A de la carta de plasticidad y con $4\% < I_p < 7\%$ se les considera como casos frontera asignándoles el símbolo doble CL-ML.

Si la clasificación del suelo cae muy cerca o sobra las líneas A o B de la carta de plasticidad, se les asignan símbolos dobles, los cuales serán determinados de acuerdo a la zona en donde se encuentren .

Los suelos con alto contenido de material orgánico, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente denominado Pt. El limite líquido de estos suelos suele estar entre 300 % y 500 %, quedando su posición en la Carta de Plasticidad netamente abajo de la línea A; el índice plástico varía entre 100 % y 200 %.

En la siguiente figura se ilustra la carta de Plasticidad, así como las zonas de ésta que corresponden a cada tipo de suelo.



De la clasificación de suelos antes descrita, podemos establecer las características que nos permitirán considerar a un suelo arenoso como tal. El SUCS define a los suelos arenosos como aquellos que cumplen con las siguientes características:

- * Mas del 50 % de sus partículas (en peso) quedan retenidas en la malla N° 200 en la prueba de granulometría.

- * Mas del 50 % de las partículas retenidas en la malla N° 200, pasa a través de la malla N° 4

Como ya se describió dentro de los suelos arenosos podemos encontrar los siguientes tipos: SW, SP, SM y SC.

Para el objeto de este trabajo se utilizará un suelo que cumpla con las características de cualquiera de los suelos mencionados en el párrafo anterior.

2.2 Obtención de las Características de los Suelos Arenosos en el Laboratorio.

Existen pruebas que se le pueden practicar a una muestra representativa de un suelo con el fin de poder determinar sus características y posteriormente darle una clasificación. En el presente trabajo el sistema de clasificación de suelos que se utilizará será el SUCS.

A continuación se describirán las pruebas de laboratorio que serán empleadas para la identificación de un tipo dado de suelo.

Análisis Granulométrico para Suelos Gruesos o Fracción Gruesa:

El análisis granulométrico de una muestra de suelo se realiza siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

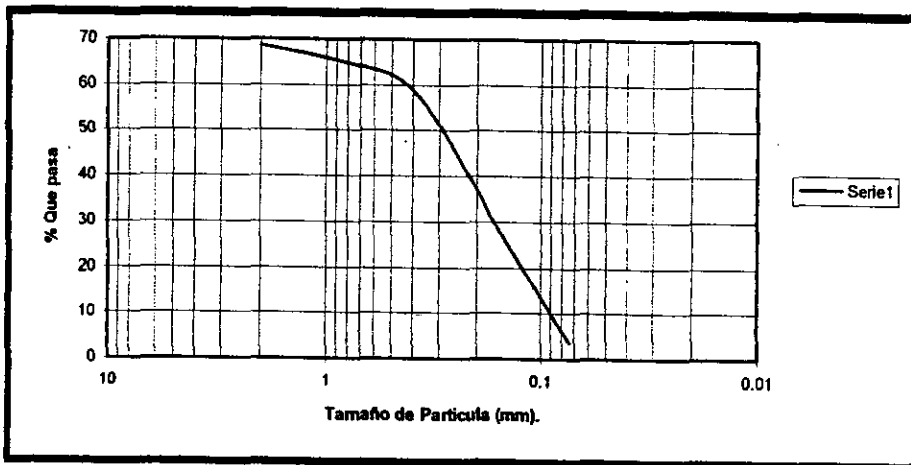
- 1.- Tomar una muestra representativa de la masa de suelo.
- 2.- Si la muestra se encuentra húmeda se debe secar en un horno eléctrico, a una temperatura entre 100 y 110° C por un tiempo de 12 a 18 hrs.
- 3.- Obtener el peso de la muestra seca.
- 4.- Lavar el material empleando la malla N° 200 para que con esto se desprenda el material mas fino que se encuentre adherido a las partículas mas gruesas y además separar el material fino del material grueso.
- 5.- Secar en el horno el material retenido en la malla N° 200.
- 6.- Se colocan las mallas o tamices comenzando con la de mayor abertura y terminando con la de menor. Para el análisis granulométrico no es necesario utilizar todas las mallas existentes; en este caso se utilizarán las mallas de: 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #10, #20, #40, #60, #100 y #200.
- 7.- Se deposita la muestra en el juego de mallas y se procede al agitado por un tiempo no menor a 5min. para permitir que los diferentes tamaños de partículas pasen a través de las mallas.
- 8.- Después se retiran las mallas y se procede a calcular el % de suelo que pasa y el % retenido para cada una de las mallas.

Ejemplo:

Malla	Peso retenido. (Kg)	Peso retenido real. (Kg)	% Retenido	% Que pasa.
3"	0.507	0.150	10	90
2"	0.411	0.11	8	82
1 1/2"				

9.- Con los resultados obtenidos se procede al calculo de la curva granulométrica.

Ejemplo:



10.- A partir de la curva granulométrica se calculan el coeficiente de curvatura y el coeficiente de uniformidad.

$$\text{Coef. de Curvatura} = C_c = D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10}) \text{ (adimensional)}$$

D_{30} = diámetro para un % que pasa del 30%.

D_{10} = diámetro para un % que pasa del 10%.

D_{60} = diámetro para un % que pasa del 60%.

Coef. de Uniformidad = D_{60} / D_{10} (adimensional).

El equipo necesario para realizar la prueba es el siguiente: una báscula con 0.1g de aproximación y una capacidad de aprox. 900gr, un agitador mecánico, tamices o mallas deseadas y horno eléctrico.

Granulometría Para Suelos Finos o Fracción Fina:

El análisis granulométrico de suelos finos de un suelo realmente no nos proporciona mucha información acerca del comportamiento del suelo ya que las propiedades mecánicas e hidráulicas de estos suelos dependen en tal grado de su estructuración e historia geológica, que el conocimiento de su granulometría, resulta totalmente inútil.

El análisis se puede realizar por medio del hidrómetro y se aplica el siguiente procedimiento:

- 1.- Tome una muestra de aprox. 40gr. (en edo. seco).
- 2.- Añádase 0.5 cm³ de solución de silicato de sodio a 40° Baumé a 300 cm³ de agua destilada y mézclase una parte con el suelo, de modo que éste alcance la consistencia de una pata suave. La solución de sodio se utilizará como defloculante por lo que aveces será necesario probar diferentes cantidades de silicato de sodio para obtener el defloculante mas óptimo.
- 3.- Póngase la pasta en un batidor y añádale el resto de la solución. Bata por 15 min.
- 4.- Determínese la corrección por el cambio en la densidad del agua destilada debido a la adición del defloculante. La corrección se calcula añadiendo a 1000 cm³ de agua destilada en una probeta graduada, la cantidad de floculante que vaya a usarse, introduciendo un hidrómetro y haciendo una lectura. La diferencia entre esta lectura y otra previamente hecha en agua destilada, es la corrección.
- 5.- Pásese la suspensión de suelo a una probeta graduada, añadiendo agua destilada para completar exactamente la capacidad de la probeta.

Capítulo 2.

6.- Agítese la probeta por lo menos durante un minuto, invirtiéndola frecuentemente, tapada con la mano.

7.- Inmediatamente colóquese la probeta sobre una mesa fija, échese a andar un cronómetro e introdúzcase el hidrómetro sujetándolo hasta un poco más abajo de su nivel de flotación; después suéltese dejándolo libre. El hidrómetro permanecerá en la suspensión durante 2 minutos, haciéndose lecturas en periodos de ½, 1 y 2 minutos. Tras esto, retírese suavemente el aparato. Según el mismo procedimiento háganse otras lecturas a los 4, 8, 15 y 30 minutos, una, dos y cuatro horas, y después una o dos veces al día, siempre retirando el hidrómetro tras cada lectura. La temperatura en todo el periodo de prueba no debe variar mas allá de 2°C.

8.- Finalmente el suelo en solución se debe colocar en un recipiente evaporador para secarlo y obtener el peso del suelo seco.

El equipo necesario para esta prueba es el siguiente: Un hidrómetro graduado para medir pesos específicos, una balanza con 0.1g de aproximación, un batidor mecánico, una probeta de 1,000 cm³, recipientes para evaporar, un termómetro con aproximación de 0.1°C y un desecador.

Como ya se dijo, la granulometría en suelos finos no es muy útil por lo que en este trabajo no se llevará acabo dicho análisis.

Por otro lado, la identificación de la fracción fina de un suelo se hará en función de los límites de consistencia y de la carta de plasticidad.

El material debe tener cierta cantidad de agua para que el suelo tenga cierta plasticidad.

La plasticidad es la propiedad que permite a los suelos finos soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variaciones volumétricas apreciables, sin agrietarse ni desmoronarse. Esta propiedad depende del contenido de agua.

Atterberg estableció los estados y límites de consistencia de acuerdo a diferentes contenidos de humedad.

Los estados de consistencia son:

Capítulo 2.

A) Estado líquido. El suelo cuenta con propiedades y apariencia de suspensión.

B) Estado semilíquido. El suelo se comporta como un fluido viscoso.

C) Estado Plástico. El suelo se comporta plásticamente.

D) Estado semisólido. El suelo tiene apariencia sólida pero, presenta variaciones volumétricas con el secado.

E) Estado sólido. El suelo es un sólido, no varia su volumen con el secado.

Se le llaman límites de consistencia a las fronteras entre los estados de consistencia. El límite líquido es la frontera entre el estado semilíquido y el estado plástico, el límite plástico es la frontera entre el estado plástico y el semisólido y el límite de contracción es la frontera entre el estado semisólido y el sólido.

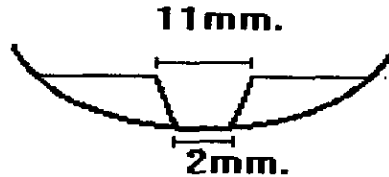
Para el empleo de la carta de plasticidad necesitamos conocer el índice plástico y el límite líquido del suelo por lo que es necesario determinar estas características en el laboratorio.

Determinación del Límite Líquido.

Def.: Límite líquido es el contenido de agua en un suelo que al colocarse en la copa de Casagrande se cierra una abertura trapezoidal, de características establecidas, a los 25 golpes una longitud de 1/2".

Procedimiento:

- 1.- Se toma una muestra representativa de suelo (aprox. de 100 a 150gr).
- 2.- Si el suelo esta seco agregue agua destilada y si esta muy húmedo séquelo un poco.
- 3.- Remoldee el suelo y coloque una porción de esta en la copa de Casagrande, con un espesor máximo de 1cm.
- 4.- Hágase con el ranurador apropiado la ranura trapezoidal.

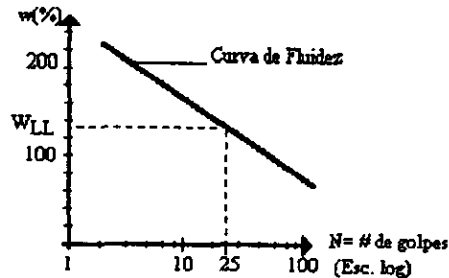


5.- Gírese la manivela a razón de 2 golpes por segundo y cuéntese el número "N" de golpes para que la ranura se cierre 1/2" (1.27cm). La ranura deberá cerrarse por flujo del suelo y no por deslizamiento del mismo respecto a la copa.

6.- Tómese una porción de suelo de la copa y determine su contenido de humedad o contenido de agua.

7.- Repetir los pasos del 3 al 6 cuando menos en 4 ocasiones. Casagrande recomienda registrar valores entre los 6 y los 35 golpes, determinando 6 puntos, tres entre 6 y 15 golpes y tres entre 23 y 32. En realidad normalmente en pruebas de rutina solo es necesario obtener 4 puntos y se recomienda que dos sean menores a 25 golpes y dos sean mayores.

8.- Trazar la curva de fluidez con los datos de número de golpes y contenidos de agua.



La ecuación de la curva de fluidez es la siguiente:

$$W = - F_w \log N + C$$

donde:

W = Contenido de agua, como porcentaje del peso seco.

F_w = Índice de fluidez, pendiente de la curva, igual a la variación del contenido de humedad correspondiente a un ciclo.

N = Número de golpes.

C = Valor de **W** cuando **N** = 1.

Determinación del Límite Plástico.

Def. Se define por la humedad que tiene el suelo cuando al rolarlo con la mano hasta hacer rollitos de 3 mm de espesor éste empieza a desmoronarse y separarse.

El procedimiento de prueba es el siguiente:

- 1.- Mézclense perfectamente alrededor de 15 gr. de suelo húmedo.
- 2.- Rólese el suelo sobre una placa de vidrio o metal liso con la mano, hasta alcanzar un espesor un diámetro de 3 mm (1/8 ").
- 3.- Repítase la etapa 2 hasta que el cilindro presente señales de desmoronamiento y agrietamiento al alcanzar el diámetro de 3 mm.
- 4.- Al llegar al límite señalado en 3, determínese el contenido de agua de una parte del cilindro correspondiente.
- 5.- Repítanse las etapas 2 a 4 dos veces más, para obtener tres valores. El límite plástico del suelo será el promedio de las tres dimensiones.

Capítulo 3. Diseño de Mezclas de Suelo-Cemento.

3.1. Método Detallado Propuesto por la Portland Cement Association.

El procedimiento en general para el diseño y/o dosificación de mezclas de suelo-cemento es el siguiente:

1.- Clasificar el suelo y seleccionar varios contenidos de cementos distintos para la preparación de las mezclas iniciales de acuerdo con la siguiente tabla:

Grupo de suelo según la AASHO (SUCS).	Porcentaje de Cemento requerido % en peso.	Contenido de Cemento Estimado para la Prueba de Compactación % en peso.	Contenido de cemento para Prueba de Humedad-secado % en peso.
A-1-a (GW, GP, SW, SP)	3 - 5	5	3 - 4 - 5 - 7
A-1-b (SW, SP, GM, SM, GP)	5 - 8	6	4 - 6 - 8
A-2 (GM, SM, GC, SC)	5 - 9	7	5 - 7 - 9
A-3 (SP)	7 - 11	9	7 - 9 - 11
A-4 (ML, OL, CL, SM, SC)	7 - 12	10	8 - 10 - 12
A-5 (OH, MH, ML, OL)	8 - 13	10	8 - 10 - 12
A-6	9 - 15	12	10 - 12 - 14
A-7	10 - 16	13	11 - 13 - 15

Capítulo 3.

2.- Preparar especímenes con diversas mezclas para realizar las pruebas de laboratorio. Se preparan dos especímenes de cada mezcla con la humedad óptima obtenida en la prueba de compactación.

3.- Someter uno de los especímenes a la prueba de mojado-secado y al otro a la de congelación- descongelación.

4.- Seleccionar el porcentaje de cemento comparando los resultados obtenidos con los de las pérdidas admisibles.

5.- Posteriormente se sujetan las probetas a pruebas de resistencia a la compresión simple y a las pruebas adicionales que fuesen necesarias según lo determinen las necesidades del proyecto. En general se especifica un mínimo aproximado de 21 kg/cm^2 a la compresión simple, a los siete días.

Según la PCA., de los E.U.A., la dosificación adecuada de cemento es la mínima que cumple con las condiciones siguientes:

1.- La pérdidas de material disgregado durante los doce ciclos, tanto en ensayos de Congelación - Deshielo como en los de Humedad - secado no deben ser mayores de:

a) 14 % para suelos A-1.a, A-1.b, A-3, A-2-4, y A-2-5.

b) 10 % para suelos A-2-6, A-2-7, A-4 y A-5.

c) 7% para suelos A-6 y A-7.

II.- El aumento de volumen en las muestras no debe exceder en más del 2% del volumen inicial.

III.- El máximo contenido de agua no debe ser mayor que el necesario para llenar los huecos del suelo-cemento, una vez terminado de compactar.

3.2. Método corto de la P.C.A.

Este método no siempre indica el mínimo contenido de cemento con que tratar un suelo arenoso. Pero siempre proporciona un contenido de cemento dentro de la seguridad; que estará cercano al obtenido por el método detallado de la PCA.

El método corto es aplicable únicamente para suelos predominantemente arenosos que tenga la granulometría siguiente:

- 1.- El contenido de finos menor al 50 %.
- 2.- El contenido de arcilla inferior al 20 %
- 3.- El retenido en la malla # 4 menor del 45 %
- 4.- No existan cantidades apreciables de substancia orgánica.
- 5.- No se aplica en caliches, margas, cretas, carbones, cenizas, jales de minas y escoria.

El método corto tiene dos variantes:

Variante "A":

a) Con los datos del análisis granulométrico se determina el máximo peso volumétrico promedio inicial ayudándose de la figura 3.2.1.

b) Con los datos del peso volumétrico estimado y del porcentaje de material mas fino que 0.05mm, se acude a la gráfica 3.2.2. (% de material menor que 0.05mm Vs peso específico kg/m³) para obtener el contenido de cemento por peso; con el cual se prepararán los especímenes para el ensaye proctor estándar.

c) A partir de los resultados obtenidos en la prueba Proctor correspondiente se determina el máximo peso volumétrico seco y el contenido de humedad óptimo.

d) Con el máximo peso volumétrico seco obtenido anteriormente se escoge otra vez con ayuda de la gráfica 3.2.2. (% de material menor que 0.05mm Vs peso específico kg/m³) el contenido de cemento requerido para fabricar los especímenes. La PCA indica que las cartas y procedimientos pueden ser modificados de acuerdo con el clima y condiciones locales.

Capítulo 3.

e) Se fabrican tres especímenes para el ensaye de resistencia a la compresión simple, con el peso volumétrico y la humedad óptima determinada en la prueba proctor.

f) De los resultados de las pruebas realizadas se obtiene la resistencia a la compresión simple por medio de los especímenes con los ensayes de las tres muestras, que tienen siete días de curado húmedo y cuatro horas de saturación por inmersión en agua, inmediatamente antes de ser ensayados.

g) Verificación. El valor promedio de las compresiones simples obtenidas deberá ser mayor que el que proporciona la figura 3.2.3. (material menor que 0.05 mm, % en paso Vs. Resistencia a la compresión simple mínima a los 7 días kg/cm²). Si el valor obtenido es menor entonces se deberán realizar la serie de las pruebas completas y si resultado mayor se considerará que el contenido de cemento es adecuado.

h) Para su recomendación de dosificación en la construcción, se convierte el contenido de cemento en peso a contenido de cemento en volumen usando la figura 3.2.4.

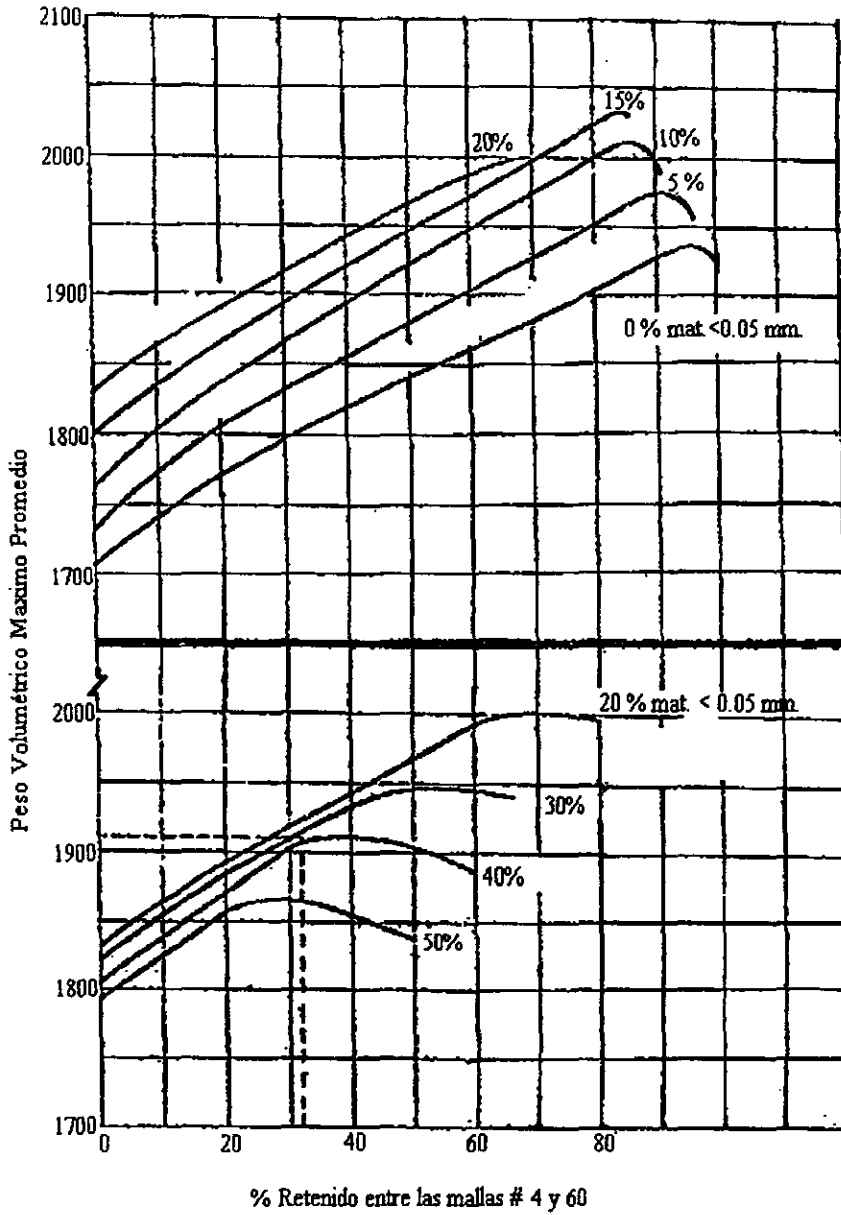


Figura 3.2. 1. Estimación del peso volumétrico máximo promedio.

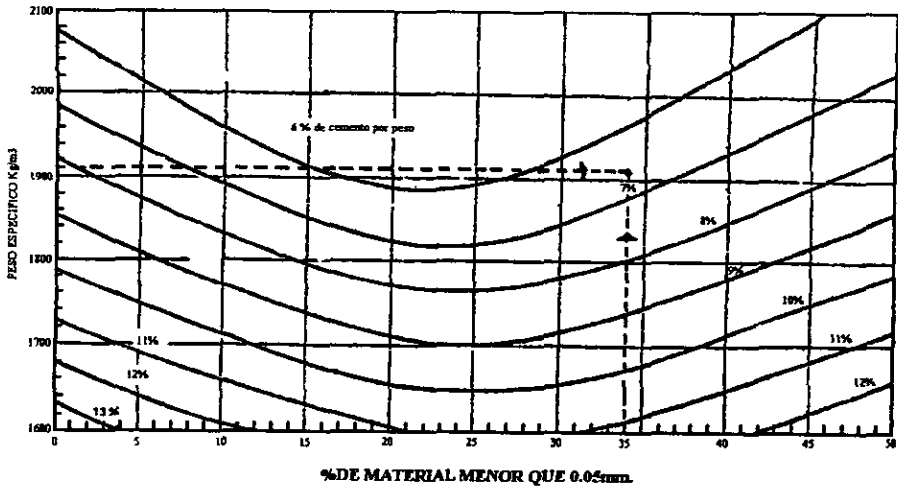


Figura 3.2. 2. Obtención de los contenidos de cemento de suelos que retienen material en la malla # 4.

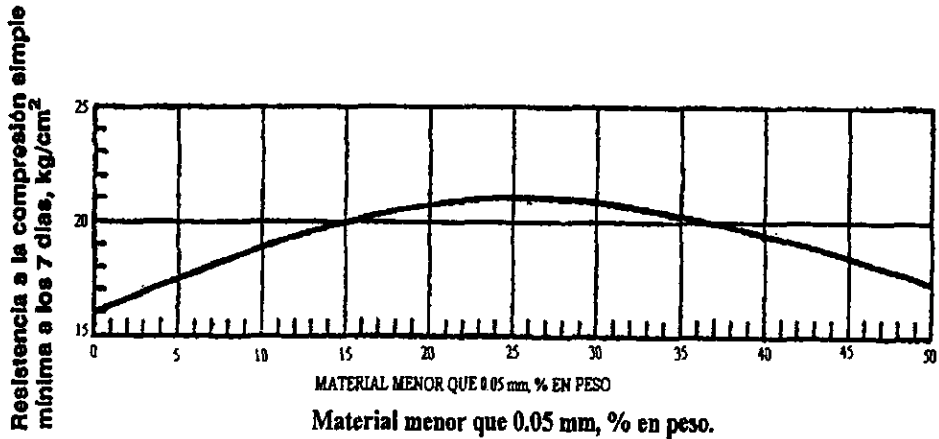


Figura 3.2. 3. Resistencia a la compresión simple a los 7 días.

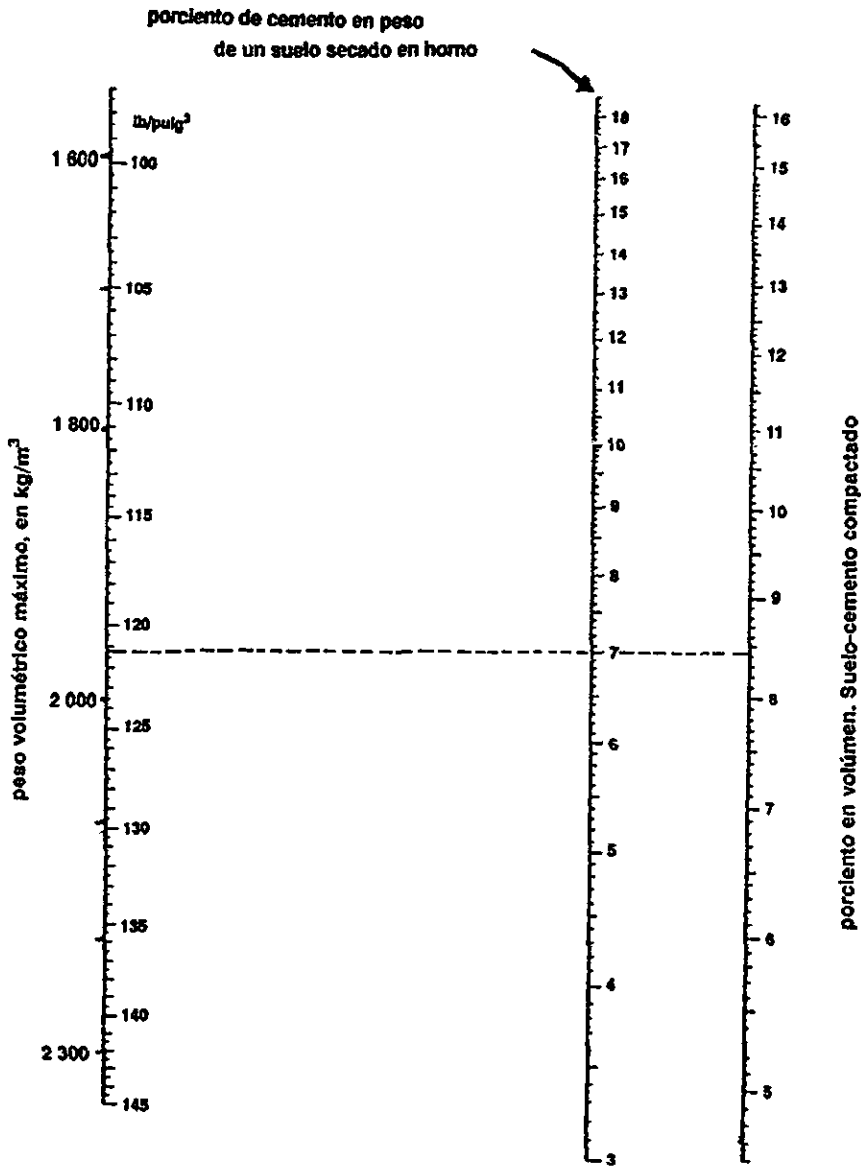


Figura 3.2. 4. Obtención del % de cemento en volumen.

Variante "B".

a) Obtener el peso volumétrico máximo promedio utilizando la gráfica (Porcentaje de material menor que 0.05mm Vs Porcentaje en la malla # 10) figura 3.2.5.

b) Este peso junto con el porcentaje de material menor de 0.05 mm (malla # 270) y el porcentaje de material retenido en la malla # 4 se utilizan para determinar el contenido de cemento en peso para el ensayo Proctor estándar por medio de la figura 3.2.6.

c) Realizar el ensayo proctor estándar correspondiente para obtener el contenido de humedad óptimo y el máximo peso volumétrico seco.

d) Con el máximo peso volumétrico encontrado se determina el contenido de cemento, en peso, ayudándose de la figura 3.2.6.

e) Con el contenido de cemento, así como con el máximo peso volumétrico seco y la humedad óptima obtenidas en el ensayo proctor se fabrican 3 especímenes para hacerles las pruebas de resistencia a la compresión simple.

f) Del resultado de las pruebas se determina la resistencia a la compresión simple promedio de los especímenes, probados después de 7 días de curado húmedo y de tenerlos 4 horas de saturación por inmersión en agua, inmediatamente antes de hacer los ensayos.

g) Por último se determina la resistencia a la compresión mínima permisible para la mezcla de suelo-cemento con ayuda de la figura 3.2.7.

Si la resistencia a la compresión simple obtenida es igual o mayor que la mínima permisible significará que el contenido de cemento requerido es adecuado.

MEZCLAS DE SUELOS QUE CONTIENEN MATERIAL QUE SE RETIENE EN LA MALLA # 4

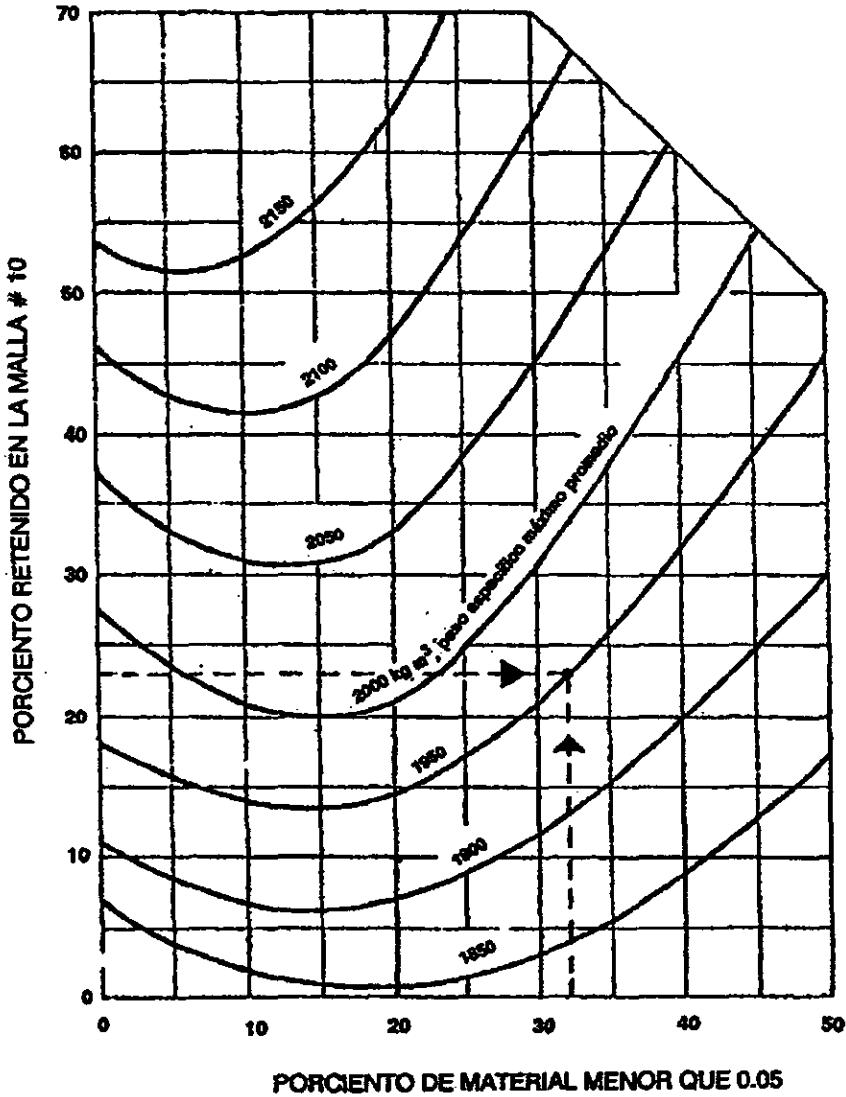


Figura 3.2.5. Obtención de los pesos volumétricos máximos promedios, P.C.A.

Contenido de cemento, % en peso

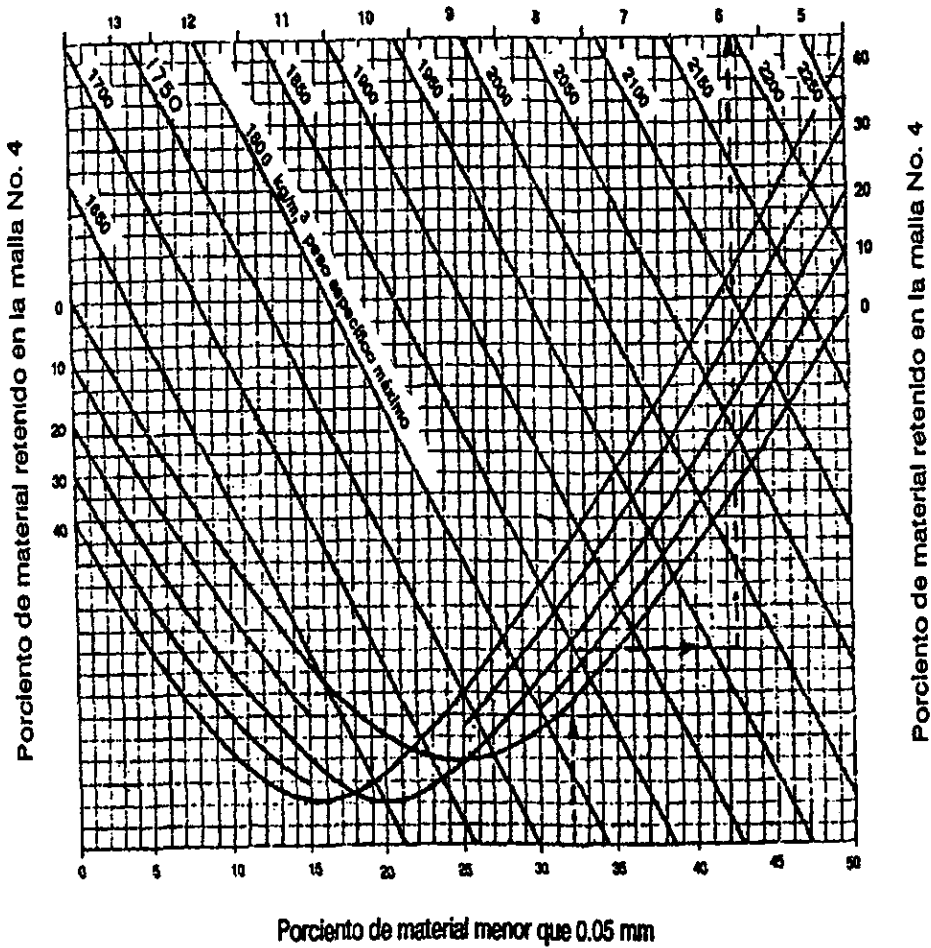


Figura 3.2.6. Obtención de porcentajes de cemento para mezclas suelo-cemento, P.C.A.

MEZCLAS DE SUELOS QUE CONTIENEN
MATERIAL QUE RETIENE LA MALLA # 4

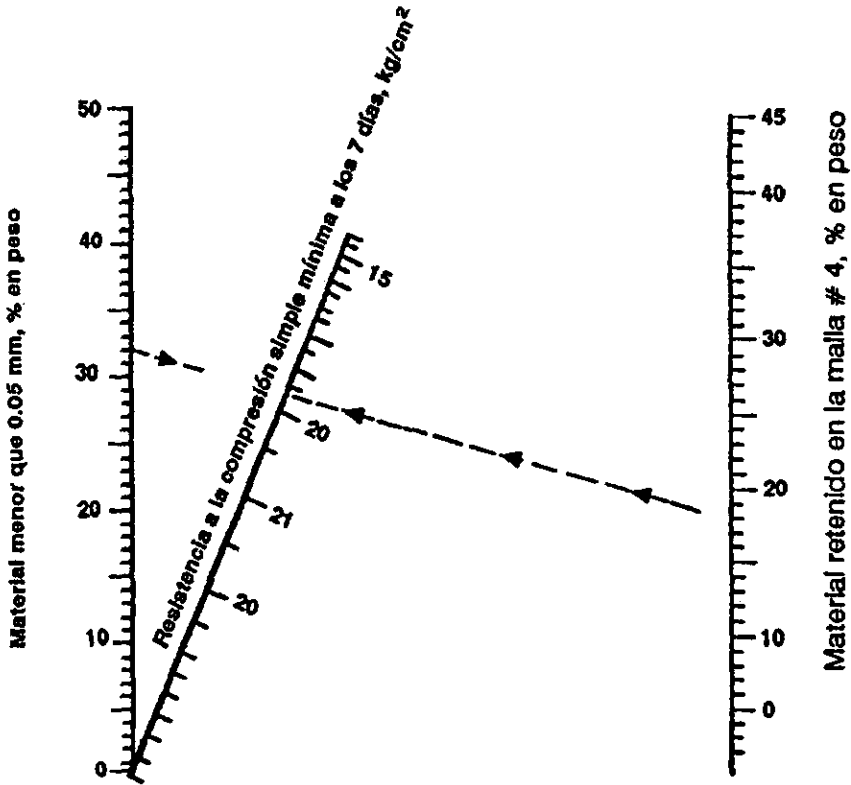


Figura 3.2.7. Obtención de las resistencias a la compresión simple para mezclas, P.C.A.

3.3 Método Rápido de la P.C.A.

Se utiliza en obras de poca importancia y consiste en:

1.- La elaboración de especímenes que se compactan con la humedad óptima Proctor y peso volumétrico máximo. La cantidad de cemento inicial aplicada variará en un amplio rango.

2.- Después de uno o dos días de curado se someten las probetas a piquetes con punzón o picahielo. Si no es posible penetrar en el espécimen más de 0.6cm. y si al golpearlo se escucha un sonido claro y sólido, se considera que el contenido de cemento es adecuado.

FALTA PAGINA

No. 65

Capítulo 4. Pruebas de Laboratorio Especificas para Suelo-Cemento.

4.1 Prueba de Compactación para Suelo - Cemento.

Para esta prueba se seguirá el criterio de la prueba Proctor Estándar y el procedimiento es el siguiente:

- 1.- Cribar y seleccionar el material que pasa la malla # 4.
- 2.- Determinar los pesos y porcentajes de suelo, cemento y agua que se utilizarán.
- 3.- Mezclar el suelo cribado con el cemento.
- 4.- Adicionar el agua a la mezcla de suelo y cemento.
- 5.- Proceder con la Proctor estándar

4.1.1 Prueba Proctor Estándar.

La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión en tres capas, dentro de un molde, por medio de golpes con un pistón que se deja caer libremente.

El molde es un cilindro de 0.94 litros de capacidad aproximada, de 10.2 cm de diámetro y 11.7 cm de altura, provisto de una extensión desmontable de igual diámetro y 5 cm de altura.

El pistón es de 2.5 kg. de peso y consta de un vástago en cuyo extremo inferior hay un cilindro metálico de 5 cm. de diámetro. Los golpes se aplican dejando caer el pistón desde una altura de 30.5 cm.

Dentro del molde, el suelo debe colocarse en tres capas que se compactan dando 25 golpes, repartidos en el área del cilindro, a cada una de ellas.

Con los datos anteriores la energía específica de compactación es de 6 kg./cm³, calculada con la fórmula:

$$E = NnWh / V$$

en donde:

Ee = Energía específica.

N = Número de golpes por capa.

n = Número de capas de suelo.

W = Peso del pistón.

h = Altura de caída libre del pistón.

V = Volumen del suelo compactado.

Los datos que determinan la energía específica en la prueba, fueron establecidos por Proctor como los adecuados para reproducir los pesos específicos secos que podían lograrse económicamente (es decir, con un número moderado de pasadas) con el equipo comercialmente disponible en aquella época.

Procedimiento de prueba.

El equipo necesario para llevar a cabo el ensaye Proctor es el siguiente:

- Molde estándar de compactación cilíndrico, con extensión.
- Pistón estándar.
- Guía metálica para el pistón.
- Regla recta.
- Balanza de laboratorio
- Báscula de plataforma con sensibilidad de unos 50g y de 15 kg. de capacidad.
- Malla No. 4.
- Homo.

El procedimiento de prueba se ajustará a lo siguiente:

- 1.- Seque al aire una muestra de unos 2.5 kg. de peso y retírese de ella todo el material mayor que la malla No 4.

Capítulo 4.

2.- Determine y regístrese la tara del molde Proctor teniendo colocada su placa de base.

3.- Mezcle la muestra con el agua suficiente para obtener una muestra ligeramente humedad, que aun se desmorone cuando se suelte después de ser apretada en la mano.

4.- Divida la muestra en el número requerido de porciones, una por cada capa que vaya a usarse, aproximadamente iguales, que se pondrán en el cilindro, compactando cada capa con el numero de golpes requerido, dados con el correspondiente pistón.

5.- Cuidadosamente quite la extensión del molde y enrásese la parte superior del cilindro con la regla.

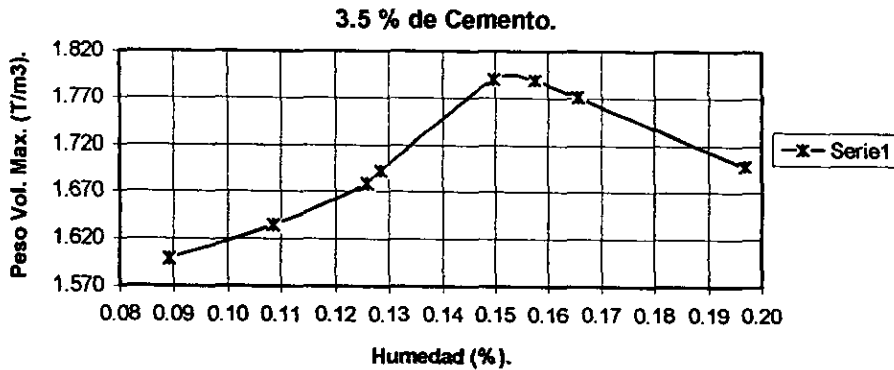
6.- Determine y registre el peso del cilindro, con la placa de base y el suelo compactado.

7.- Retire el suelo del molde y determine el contenido de agua de dos muestras representativas, de unos 100 g, una obtenida de un nivel cercano al superior y otra de una parte próxima al fondo.

8.- Repita el procedimiento anterior con un contenido de agua en el suelo ligeramente mayor y así sucesivamente hasta que se hayan obtenido, por lo menos, dos puntos en la gráfica de compactación que se sitúen arriba de la humedad óptima.

9.- Dibuje los resultados obtenidos en una gráfica que tenga como abscisas, los diferentes contenidos de agua resultantes y como ordenadas los pesos específicos seco y de la masa. Dibuje la curva de saturación completa.

Ejemplo:



4.2 Prueba de Resistencia a la Compresión Simple para un Suelo Granular Tratado con Cemento.

Esta prueba se hace con el propósito de medir la resistencia a la compresión simple y la velocidad de endurecimiento de un suelo granular tratado con cemento, generalmente a los 2, 7 y 28 días después de preparado.

Calcule el esfuerzo de compresión del espécimen dividiendo la carga máxima por el área transversal.

Los especímenes son de 4.0 pulgadas. (101.6mm) de diámetro y 4.584 pulgadas. (116.4mm) de altura.

Procedimiento:

- 1.- Compactar la muestra de suelo-cemento en un molde estándar de compactación, nivelando la superficie.
- 2.- Obtener el contenido de agua óptimo en la prueba de compactación de la mezcla de suelo con cemento, usando el porcentaje de cemento requerido.
- 3.- Extraer la muestra del molde y colocarla en el cuarto de curado.

Capítulo 4.

4.- Al tiempo especificado (2, 7, 14 o 28 días), después del curado, los especímenes deben ser sumergidos en agua por cuatro horas. Luego colocar el espécimen en la máquina de compresión simple y cargar hasta alcanzar la falla.

5.- Los resultados obtenidos se comparan con los mínimos permisibles establecidos con anterioridad para cada método de diseño.

El informe incluirá lo siguiente:

- El número de identificación de espécimen,
- El diámetro y altura, en (mm)
- Área transversal, en milímetros cuadrados (mm^2).
- La carga máxima.
- Edad de espécimen, y
- Los detalles de curado y periodos de acondicionamiento, y contenido de humedad al tiempo de prueba.
- El contenido de humedad de diseño,

El contenido de cemento de diseño,

4.2.1. Curado de Los Especímenes.

Curar los especímenes en los moldes en la sala húmeda por 12 h, o más si se requiere, para permitir la subsiguiente extracción del espécimen de los moldes usando el extractor de muestras. Vuelva a colocar los especímenes al cuarto húmedo para completar el periodo de curado (7 días).

Generalmente los especímenes se probarán en la condición húmeda inmediatamente después de sacarlos del cuarto húmedo.

4.2.2 Cabeceo de especímenes.

Antes de probar, cabecear todos los especímenes de compresión que no son planos dentro de 0.002 pulgadas (0.05 mm) el cabeceado cubrirá esta misma tolerancia y estará a ángulos rectos con el eje del espécimen.

Cubra los especímenes con emplasto yesero. Los casquetes serán tan delgados tan prácticos y se añejarán suficientemente para que ellos no fluyan o se fracturen

cuando el espécimen se prueba (el tiempo sugerido 3 h a 73 ° F/23 °C)). Durante este período mantener los especímenes al contenido constante de humedad.

Precisión.

La precisión sobre este método de prueba no ha sido establecida por un programa de prueba. Sin embargo, con base en los datos de prueba disponibles, lo siguiente puede servir como una guía con respecto a la variabilidad de los resultados de prueba.

Las pruebas se realizaron en un laboratorio único sobre 122 conjuntos de especímenes moldeados por duplicado de 21 materiales diferentes de suelo. La diferencia promedio en la resistencia sobre especímenes de duplicado era 8.1% y la mediana de la diferencia era 6.2%. Estos valores se expresan como el por ciento de la resistencia promedio de los dos especímenes como se indica a continuación:

% La diferencia = $((\text{valor alto} - \text{valor bajo}) / ((\text{valor alto} + \text{valor bajo}) / 2)) * 100$.

4.3 Prueba de Humedecimiento - Secado.

El propósito de esta prueba de laboratorio es el de evaluar la resistencia de la mezcla al intemperismo y su comportamiento cuando ocurran cambios de humedad en el campo (durabilidad).

Procedimiento:

- 1.- Elaboración de los especímenes de acuerdo a los criterios descritos anteriormente y según el método de diseño de mezclas que se pretenda a emplear.
- 2.- Curado previo de 7 días de los especímenes.
- 3.- Saturación de los especímenes por inmersión en agua durante 4 o 5 horas.
- 4.- Colocación de los especímenes durante 24 horas en un horno a una temperatura de 71 grados centígrados.
- 5.- Después del secado, los especímenes se someten a una acción de raspado con un cepillo de alambre, la cual se le aplica una fuerza de aprox. 1.36 kg dando dos pasadas en cada sitio.
- 6.- En cada espécimen se repite el procedimiento del punto 2 al 4 durante 12 ciclos.
- 7.- Se secan los especímenes en un horno a 100 grados centígrados.
- 8.- Se determinan los pesos secos haciendo las correcciones pertinentes, relacionadas con el agua de hidratación.
- 9.- Se determina la pérdida en peso de los especímenes expresándolo como porcentaje del peso inicial y se compara con los porcentajes permitidos mencionados anteriormente.

4.4. Prueba de Congelación - Deshielo.

El propósito de esta prueba es simular condiciones severas de congelamiento para evaluar el comportamiento de los suelos tratados con cemento.

Procedimiento:

1.- Elaboración de los especímenes de acuerdo al método de diseño de mezclas a emplear.

2.- Curado previo de 7 días de lo especímenes.

3.- Colocar lo especímenes durante 24 horas en un refrigerador a una temperatura menor de -23 grados centígrados.

4.- Sacar los especímenes del refrigerador y proceder a su descongelamiento durante 23 horas, en un cuarto húmedo con temperatura de +21 grados centígrados y humedad relativa de 100 %.

5.- Sacar los especímenes del cuarto húmedo. Los especímenes se someten a una acción de raspado con un cepillo de alambre, la cual se le aplica una fuerza de 1.36 kg. Se dan dos pasadas en cada sitio.

6.- En cada espécimen se repite el procedimiento durante 12 ciclos.

7.- Se secan los especímenes en un horno puesto a 100 grados centígrados.

8.- Se determina los pesos secos haciendo las correcciones pertinentes, por agua de hidratación.

9.- Se determina la pérdida en peso de los especímenes y se representa como porcentaje del peso inicial comparando los resultados con los parámetros establecidos en el método de diseño a emplear.

Capítulo 5. Análisis e Interpretación de Resultados.

Dentro de éste capítulo se presentan los resultados de las pruebas realizadas para la aplicación de los métodos de diseño de mezclas de suelo - cemento, así como el orden en el que fueron realizadas y los resultados que arrojaron cada una de ellas.

Intensificación y clasificación del suelo, utilizando el criterio del sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S.

- Análisis Granulométrico.

Para el análisis granulométrico se tomaron cinco muestras representativas del material a emplear y se sometieron a la prueba.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Análisis Granulométrico # 1.

Tamiz	Abertura (mm).	Wtamiz (gr).	Wt + Ws (gr).	Peso retenido (gr).	% Retenido	% Que pasa.
# 4.	4.76	707.2	802.1	94.9	7.13	92.87
# 10.	2.00	571.1	908.3	337.2	25.35	67.52
# 20	0.84	462.9	711.2	248.3	18.87	48.65
# 40.	0.42	339.9	686.4	346.5	26.05	22.60
# 60.	0.25	333.2	456.6	123.4	9.27	13.33
# 100.	0.149	320.7	411.4	90.7	6.80	6.53
# 200	0.074	468.7	519.2	50.5	3.70	2.83
charola		560.1	544.4	38.3	2.88	0.00
			TOTAL:	1329.8	100.00	

El coeficiente de Uniformidad (Cu) es : $1.5 / 0.2 = 7.5$

El coeficiente de Curvatura (Cc) es: $(0.5)^2 / (1.5 \cdot 0.2) = 0.83$

Análisis Granulométrico # 2.

Tamiz	Abertura (mm).	Wtamiz (gr).	Wt + Ws (gr).	Peso retenido (gr).	% Retenido	% Que pasa.
# 4.	4.76	706.8	833.4	126.6	9.21	90.79
# 10.	2.00	571.2	900.7	329.5	23.96	66.84
# 20	0.84	463.0	709.4	246.4	17.92	48.92
# 40.	0.42	340.4	699.2	358.8	26.09	22.83
# 60.	0.25	333.9	473.8	139.9	10.17	12.66
# 100.	0.149	320.7	414.3	93.6	6.81	5.85
# 200	0.074	469.2	517.6	48.4	3.52	2.33
charola		506.1	538.2	32.1	2.33	0.00
			TOTAL:	1375.3	100.00	

$$Cu = 1.5 / 0.21 = 7.14$$

$$Cc = (0.5)^2 / (1.5 * 0.21) = 0.79$$

Análisis Granulométrico # 3.

Tamiz	Abertura (mm).	Wtamiz (gr).	Wt + Ws (gr).	Peso retenido (gr).	% Retenido	% Que pasa.
# 4.	4.76	649.4	721.8	72.4	4.00	96.00
# 10.	2.00	374.0	775	401.0	22.18	73.82
# 20	0.84	462.8	840.6	377.8	20.89	52.93
# 40.	0.42	473.1	1008.7	535.6	29.62	23.30
# 60.	0.25	452.1	664.4	212.3	11.74	11.56
# 100.	0.149	320.5	441.9	121.4	6.71	4.85
# 200	0.074	469.3	527.0	57.7	3.19	1.66
charola		506.0	536.0	30.0	1.66	0.00
			TOTAL :	1808.2	100.00	

$$Cu = 1.1 / 0.22 = 5.0$$

$$Cc = (0.5)^2 / (1.1 * 0.22) = 1.03$$

Análisis Granulométrico # 4.

Tamiz	Abertura (mm).	Wtamiz (gr).	Wt + Ws (gr).	Peso retenido (gr).	% Retenido	% Que pasa.
# 4.	4.76	706.7	854.0	147.3	7.26	92.74
# 10.	2.00	571.0	1012.8	441.8	21.78	70.96
# 20	0.84	462.8	753.5	290.7	14.33	56.63
# 40.	0.42	339.8	801.8	462.0	22.77	33.86
# 60.	0.25	333.0	542.2	209.2	10.31	23.55
# 100.	0.15	320.6	515.8	195.2	9.62	13.93
# 200	0.07	471.9	610.7	138.8	6.84	7.08
charola		506.1	649.8	143.7	7.08	0.00
			TOTAL:	2028.7	100.00	

$$Cu = 1.0 / 0.11 = 9.09$$

$$Cc = (0.35)^2 / (1 * 0.11) = 1.11$$

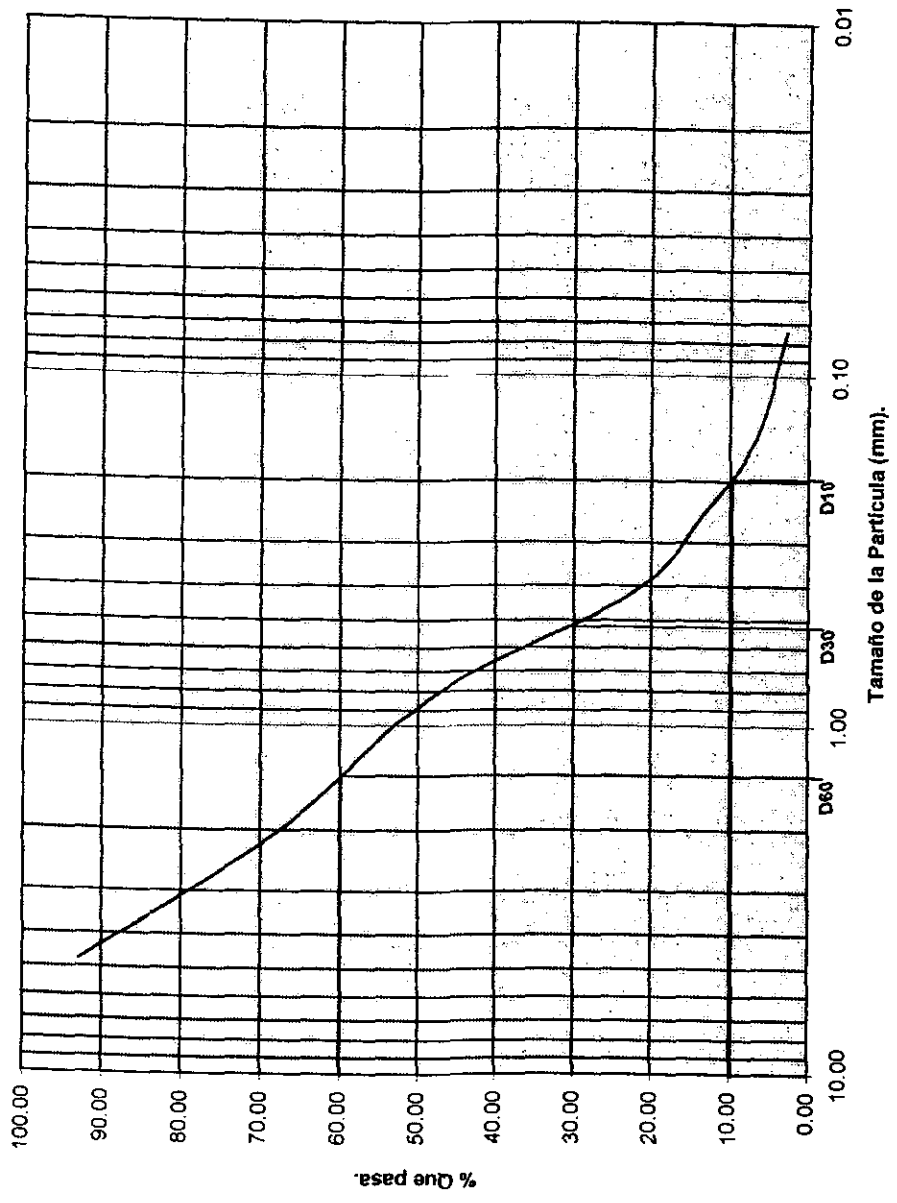
Análisis Granulométrico # 5.

Tamiz	Abertura (mm).	Wtamiz (gr).	Wt + Ws (gr).	Peso retenido (gr).	% Retenido	% Que pasa.
# 4.	4.76	649.2	713.2	64	4.12	95.88
# 10.	2.00	374.0	762.2	388.2	24.99	70.90
# 20	0.84	462.7	837.6	374.9	24.13	46.77
# 40.	0.42	472.7	706.5	233.8	15.05	31.72
# 60.	0.25	452.0	686.5	234.5	15.09	16.62
# 100.	0.15	320.5	468.1	147.6	9.50	7.12
# 200	0.07	469.6	543.7	74.1	4.77	2.36
charola		510.0	546.6	36.6	2.36	0.00
			TOTAL :	1553.7	100.00	

$$Cu = 1.5 / 0.19 = 7.89$$

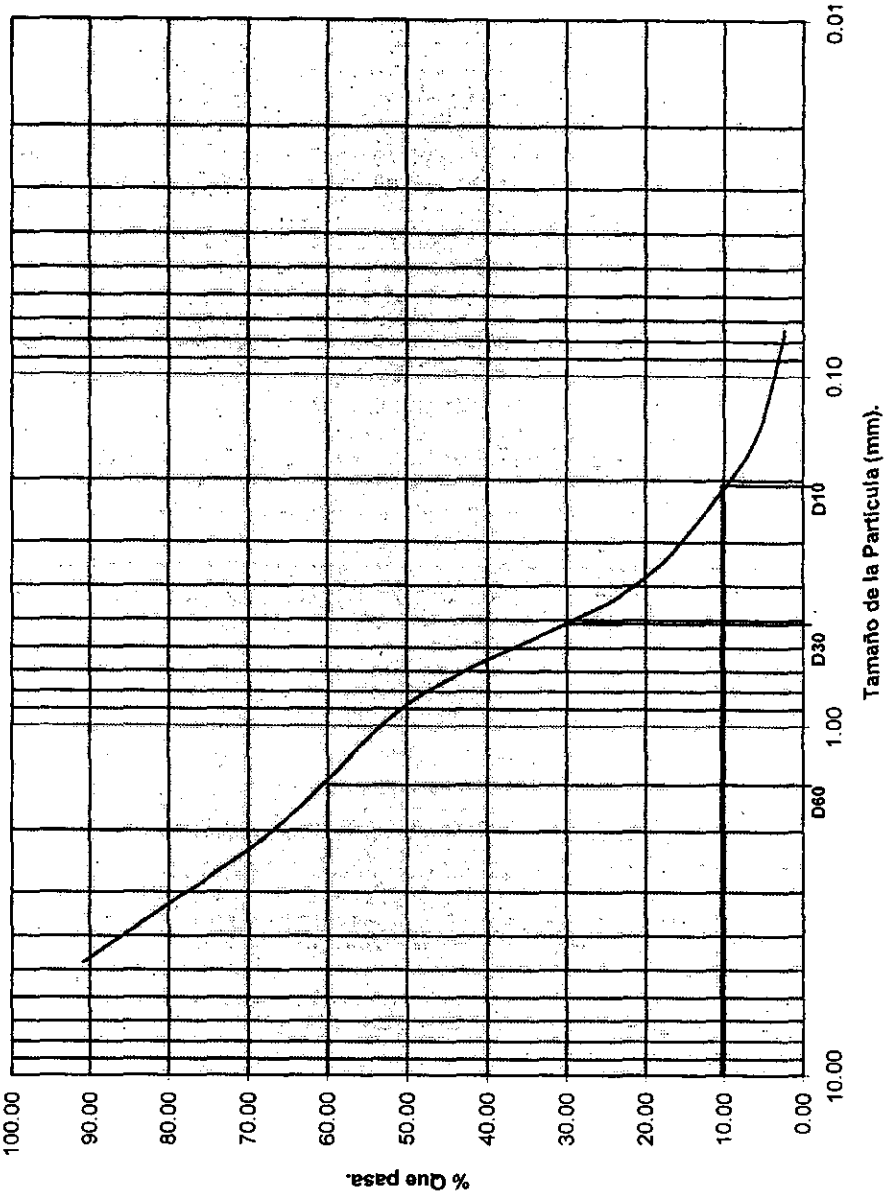
$$Cc = (0.4)^2 / (1.5 * 0.19) = 0.56$$

Análisis Granulométrico 1.

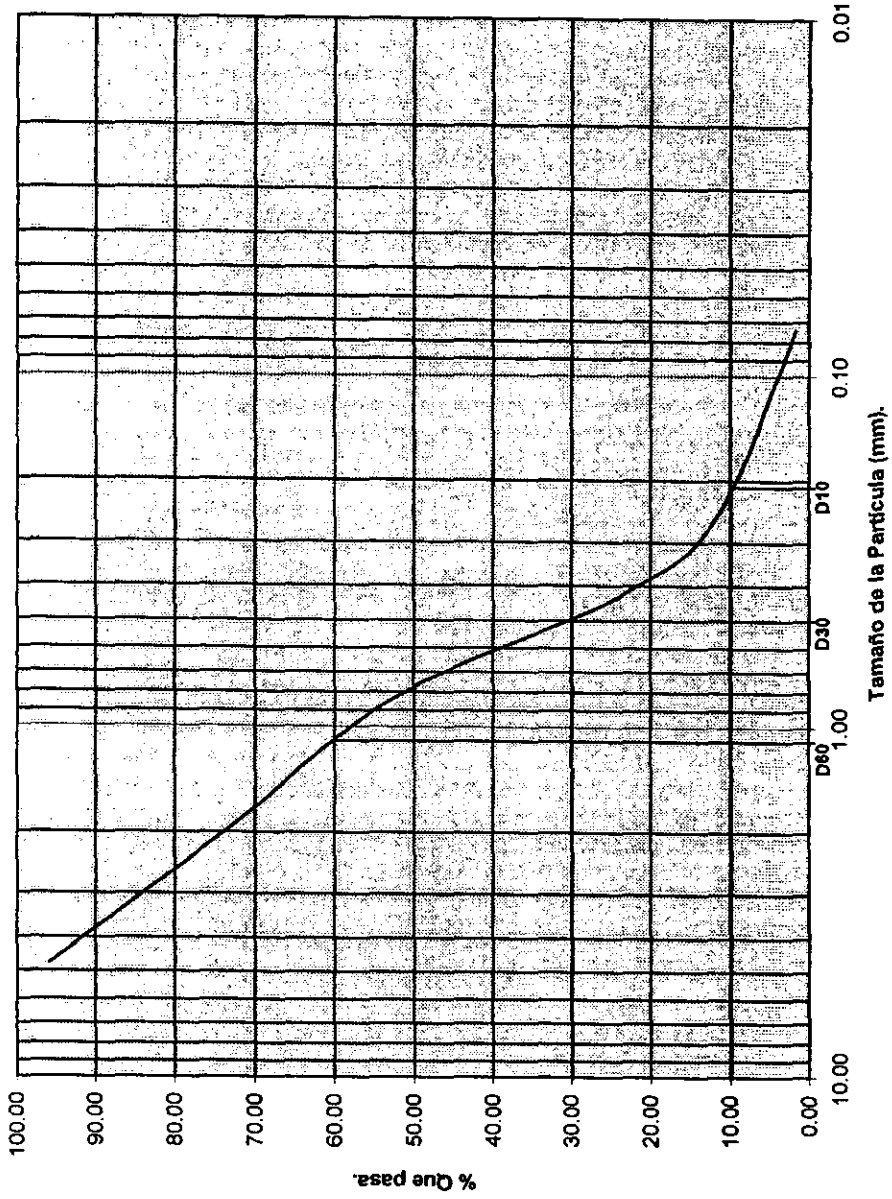


— Curva 2

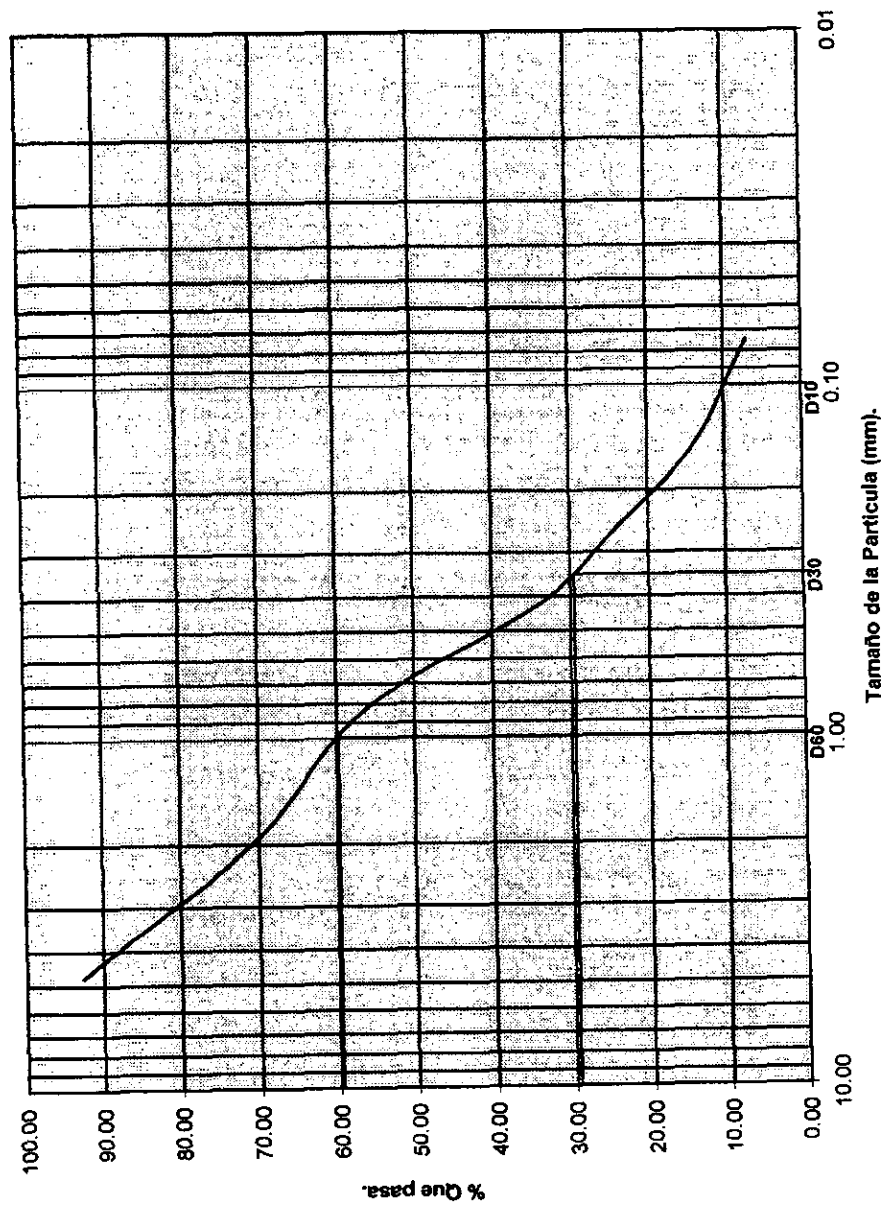
Análisis Granulométrico 2.



Análisis Granulométrico 3.

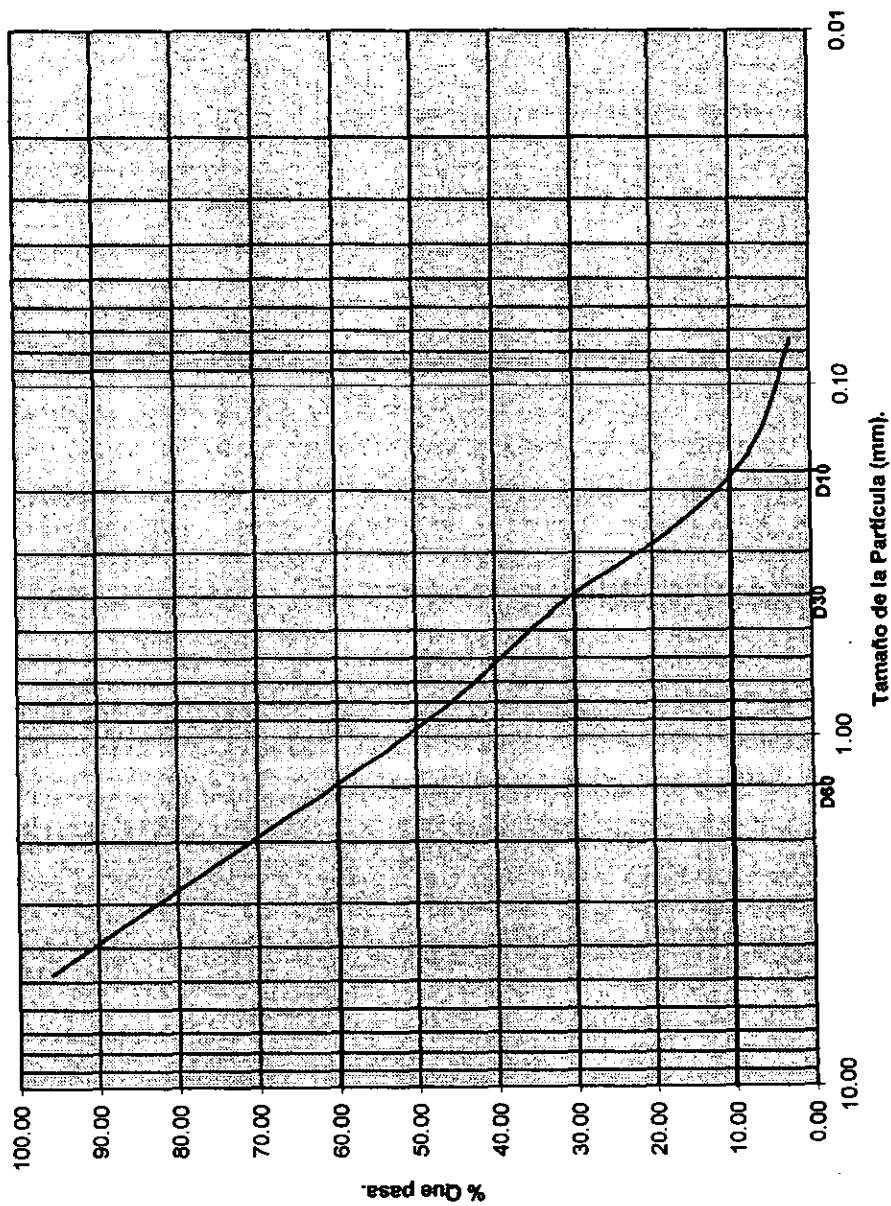


Análisis Granulométrico 4.

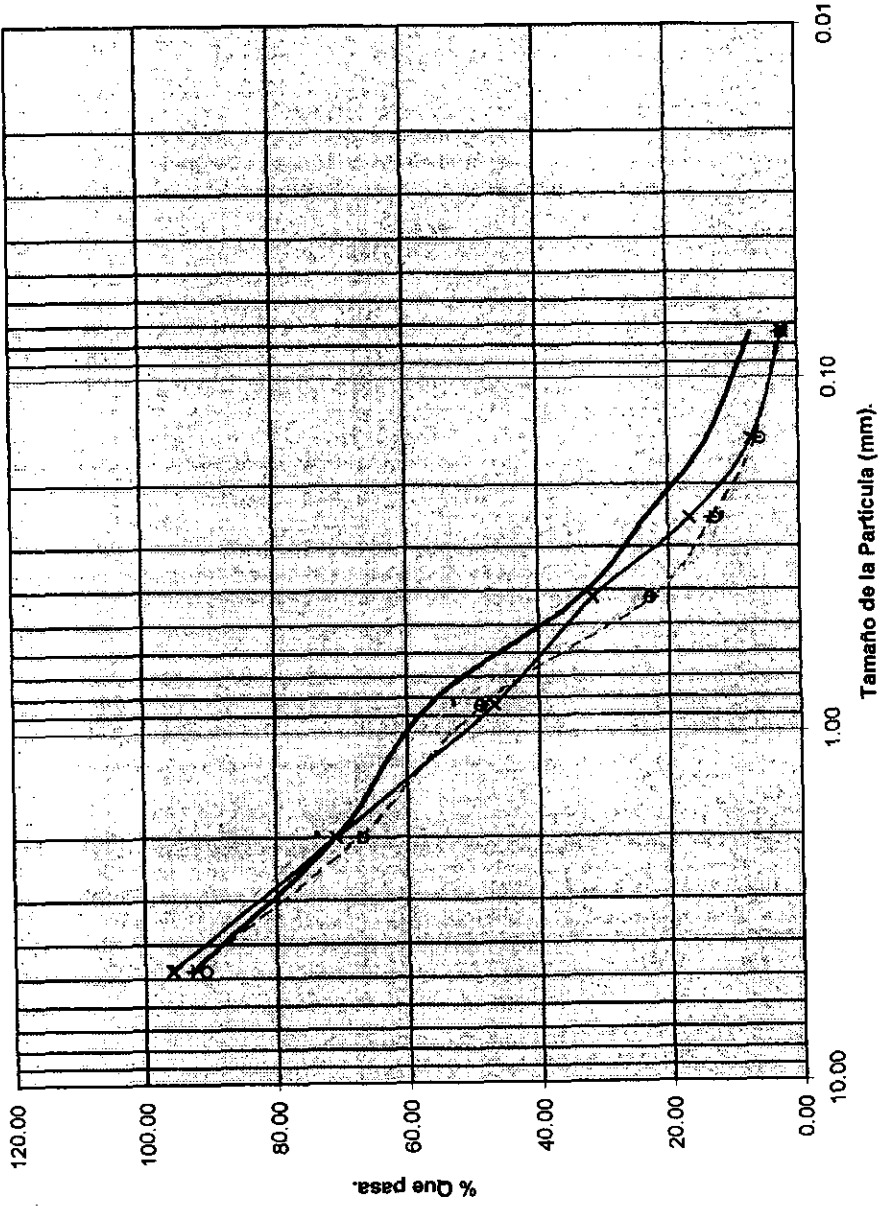


— Curva 4

Análisis Granulométrico 5.



Gráfica Comparativa.



W_t = Peso de la malla o tamiz.

W_s = Peso del Suelo.

Como se puede observar en los resultados de los análisis granulométricos y de acuerdo a los criterios del SUCS, el suelo en cuestión es una **ARENA MAL GRADUADA (SP)**.

En cuanto a la parte fina del suelo, no fue necesario identificar de que tipo era, ya que el porcentaje fue muy bajo.

Posterior mente se realizó la determinación de la composición granulométrica sobre el material fino para determinar el porcentaje de finos que pasaba la malla No. 270. Este porcentaje resultó de entre el 0.9 y el 1.6 %.

Una vez realizada la clasificación del suelo se procedió a la aplicación de los métodos de diseño de mezclas siguiendo los procedimientos de las diferentes pruebas descritas en los capítulos 3 y 4 del presente trabajo.

Los resultados obtenidos de las diferentes pruebas que se realizaron para cada contenido de cemento se presentan a continuación en las siguientes páginas. Siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 3 para el método "Detallado" los porcentajes iniciales de cemento para éste método se encuentran entre el 3 y el 8 %. En este caso se tomaron como porcentajes iniciales el 3.5%, 4% y el 6.5%

Para el método "Corto Variante A", consultando la figura 3.2.1 del capítulo 3 el porcentaje de cemento inicial es el 8.3 %. Después de obtener el peso volumétrico máximo mediante el ensaye proctor, se acude a la figura 3.2.2 y se determina nuevamente el porcentaje de cemento, que en este caso fue del 11.5 %.

En cuanto al método "Corto Variante B" primero se obtiene el peso volumétrico máximo con ayuda de la figura 3.2.5 (capítulo 3) el cual en este caso resulto ser del 7%. Con el % de cemento obtenido, se realizó la prueba proctor

Capítulo 5.

correspondiente para obtener un nuevo peso volumétrico máximo. Con ayuda de la misma gráfica y el peso volumétrico máximo obtenido de la prueba proctor se determinó el 12.2 % de cemento como porcentaje inicial.

Después de obtener los diferentes contenidos de cemento para cada método de diseño se procede a fabricar los especímenes de prueba de acuerdo a lo señalado en el capítulo 3 para cada método. Una vez curados, los especímenes fueron sometidos a las pruebas necesarias según el método de diseño aplicado (ver capítulos 3 y 4), los resultados de estas pruebas se presentan a continuación:

**TABLA DE ABREVIATURAS EMPLEADAS EN LA PRUEBA
PROCTOR.**

Abreviación	Significado
Wsw + Ww	Peso de Suelo Húmedo + Peso del Recipiente
Ws + Ww	Peso del suelo seco + Peso del recipiente
Ww	Peso del Recipiente
Wsw	Peso del Suelo Húmedo
Ws	Peso del Suelo Seco
Ww	Peso del Agua
W	Porcentaje de Humedad de la Muestra
Wprom.	Porcentaje de Humedad Promedio
Wsw	Peso del Suelo Húmedo (total)
Ws	Peso del Suelo Seco (total)
Vol. Cilindro	Volumen Interior del Cilindro Proctor
Peso Vol. Max. Seco	Peso Volumétrico Máximo Seco

Tipo de prueba : **PROCTOR STANDARD** PROY.: Tesis.

Molde No. : VOL. 9.43 E-04 m³ Peso: 4492.70 gr. FECHA : Febrero de 1998

Peso Martillo : 2.5 kg. Altura de caída : 0.305 m. BANCO :

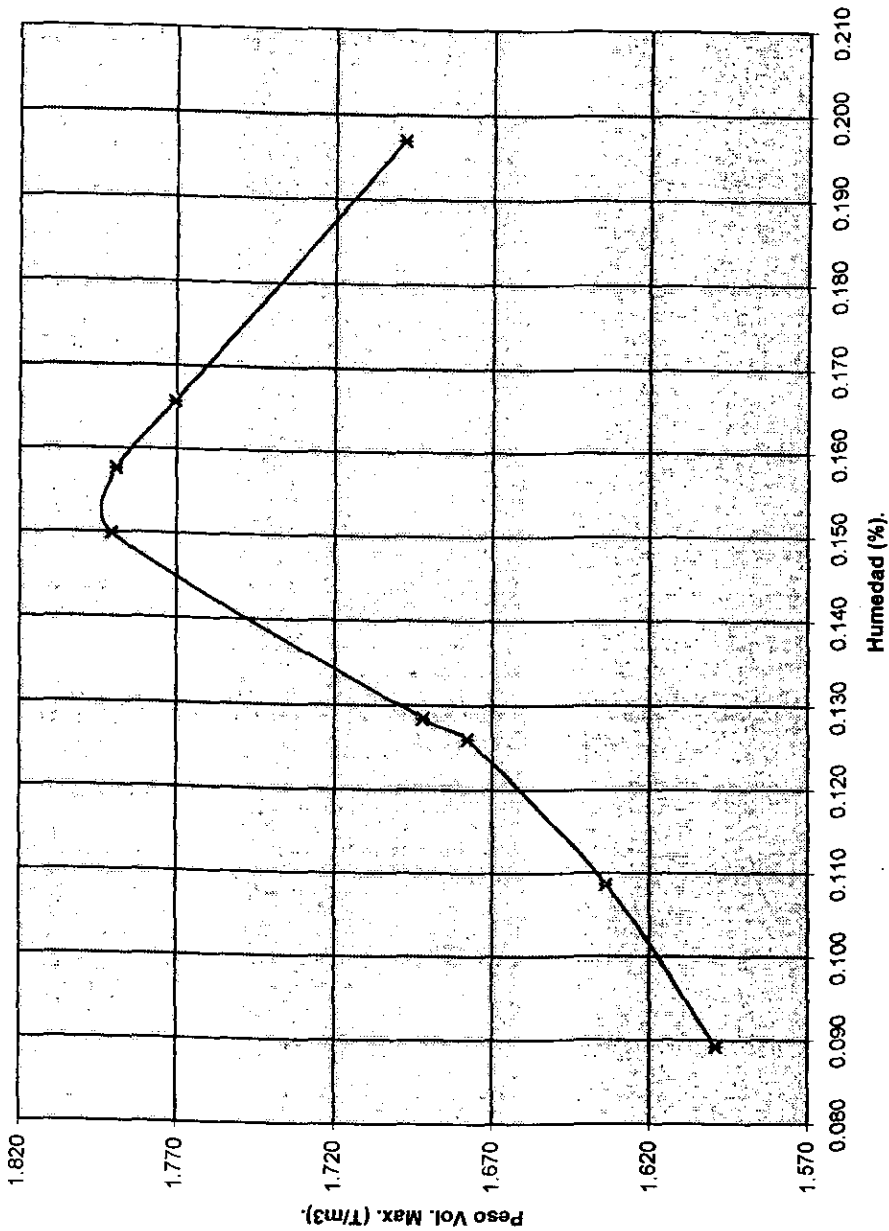
No. de capas : 3 No. de golpes por capa : 25 POZO :



Proctor con 3.5% de cemento

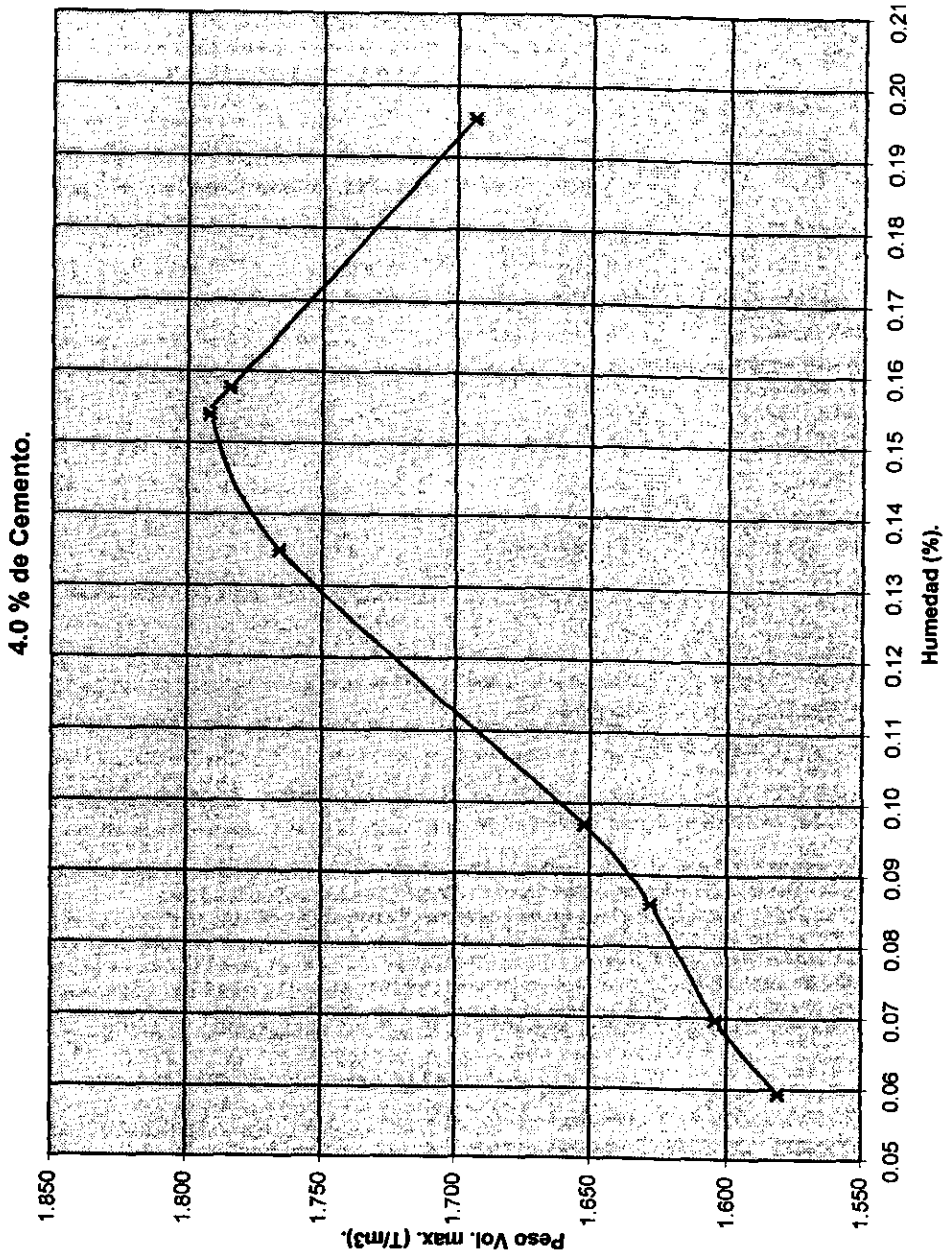
Num.	Muestra	Wsw+Wv (gr.)	Ws+Wv (gr.)	Wv (gr.)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Ww (gr.)	W (%)	Wprom (%)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Vol. cilindro (cm ³)	Vol. (m ³)	Peso max. seco. (T/m ³)
1	5	148.80	143.70	87.4	61.4	56.30	5.1	0.091	0.0892	1641.90	1507.39	942.684	0.00094	1.599
	6	196.20	188.30	98.4	97.8	89.90	7.9	0.088						
2	7	116.50	111.00	60.0	56.5	51.00	5.5	0.108	0.1086	1707.33	1540.02	942.684	0.00094	1.634
	8	163.20	155.90	89.2	74.0	66.70	7.3	0.109						
3	11	152.50	145.90	98.0	54.5	47.90	6.6	0.138	0.1260	1781.13	1581.77	942.684	0.00094	1.678
	12	197.70	178.50	98.0	89.7	80.50	9.2	0.114						
4	5	150.80	144.30	98.3	52.5	46.00	6.5	0.141	0.1285	1799.92	1595.00	942.684	0.00094	1.692
	6	168.70	160.20	86.7	82.0	73.50	8.5	0.116						
5	6	159.10	151.20	98.4	60.7	52.80	7.9	0.150	0.1499	1941.00	1688.03	942.684	0.00094	1.791
	8	145.90	138.50	89.2	56.7	49.30	7.4	0.150						
6	A	138.00	131.70	91.5	46.5	40.20	6.3	0.157	0.1576	1952.25	1686.46	942.684	0.00094	1.789
	B	180.70	169.40	98.1	82.6	71.30	11.3	0.158						
7	9	144.10	136.30	89.4	54.7	46.90	7.8	0.166	0.1656	1945.60	1669.14	942.684	0.00094	1.771
	10	143.10	136.70	97.9	45.2	38.80	6.4	0.165						
8	C	107.20	98.30	52.6	54.6	45.70	8.9	0.195	0.1969	1916.10	1600.86	942.684	0.00094	1.698
	D	124.70	111.50	45.2	79.5	66.30	13.2	0.199						

3.5 % de Cemento.

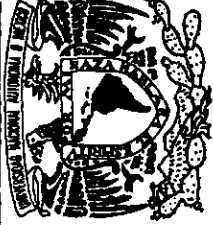


---x--- Serie1

Tipo de prueba : <u>PROCTOR STANDAR</u> Mofda No. : <u>VOL. 9.43 E-04 m³</u> Peso: <u>4492.70</u> gr. Fecha: <u>Febrero de 1988</u> PROY.: <u>Tesis.</u> BANCO: POZO: No. de capas : <u>3</u> No. de golpes por capa : <u>25</u> Altura de caída : <u>0.306</u> m.													
PROCTOR CON 4.0 % DE CEMENTO													
Num. Muestra	W _w +W _s (gr)	W _s +W _w (gr)	W _w (gr)	W _w (gr)	W _s (gr)	W _w (gr)	W (%)	Wprom (%)	W _w (gr)	W _s (gr)	Vol cilindro cm ³	Vol. en m ³	Peso Volumetrico maximo seco. Ton/m ³
1	103.20	100.80	59.4	43.8	41.40	2.4	0.058	0.0594	1578.70	1490.21	942.684	0.00094	1.581
15	110.20	107.30	59.6	50.6	47.70	2.9	0.061						
2	105.80	102.80	59.7	46.1	43.10	3.0	0.070	0.0697	1617.46	1512.08	942.684	0.00094	1.604
20	112.20	108.30	52.4	59.8	55.90	3.9	0.070						
3	164.00	158.70	90.0	74.0	68.70	5.3	0.077	0.0859	1666.52	1534.70	942.684	0.00094	1.628
4	176.90	169.30	99.0	87.9	80.30	7.6	0.095						
4	153.50	147.60	87.0	66.5	60.60	5.9	0.097	0.0969	1708.50	1557.57	942.684	0.00094	1.652
2	162.90	157.20	98.1	64.8	59.10	5.7	0.096						
5	154.90	147.30	90.4	64.5	56.90	7.6	0.134	0.1349	1889.30	1664.74	942.684	0.00094	1.766
B	171.70	162.90	98.3	73.4	64.60	8.8	0.136						
6	105.50	99.40	59.8	45.7	39.60	6.1	0.154	0.1539	1949.10	1689.08	942.684	0.00094	1.792
20	96.00	90.20	52.5	43.5	37.70	5.8	0.154						
7	88.90	83.90	52.8	36.1	31.10	5.0	0.161	0.1577	1947.40	1682.19	942.684	0.00094	1.784
G1	83.50	78.40	45.4	38.1	33.00	5.1	0.155						
8	162.20	151.80	98.0	64.2	53.80	10.4	0.193	0.1954	1908.40	1596.49	942.684	0.00094	1.694
5	134.00	126.30	87.3	46.7	39.00	7.7	0.197						



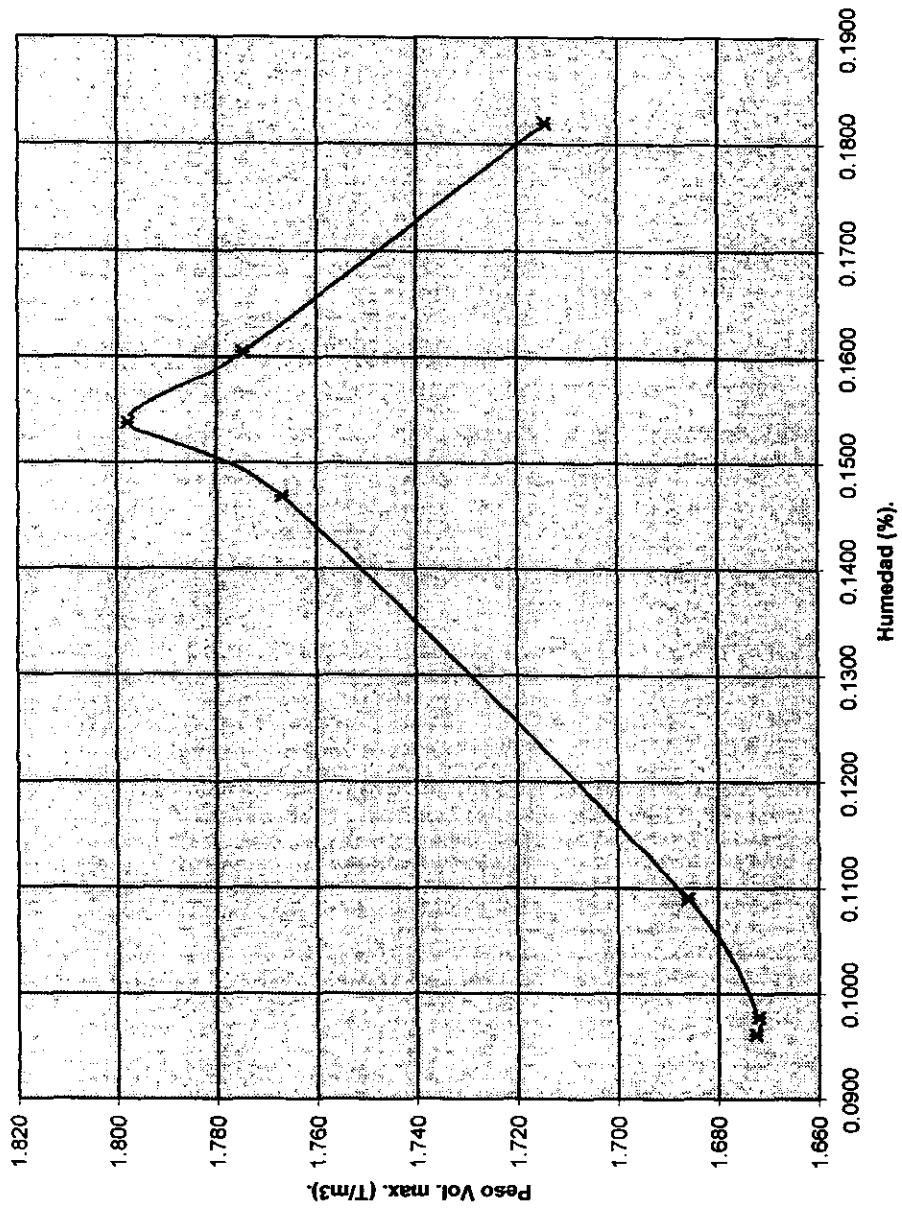
Tipo de prueba: PROCIOR STANDAR PROY.: Tesis.
 Molde No.: VOL 943 E-04m3 Fecha: Febrero de 1998
 Peso Martillo: 2.5 kg. Altura de caída: 0.305 m. BANCO:
 No. de capas: 3 No. de golpes por capa: 25 POZO:




Proctor con 6.5% de cemento

Num.	Muestra	Wsw+Ww (gr.)	Wsw+Wv (gr.)	Wv (gr.)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Ww (gr.)	W (%)	Wprom (%)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Vol. cilindro (cm3)	Vol. (m3)	Peso max. seco. (T/m3)
1	A	151.20	145.80	90.2	61.0	55.60	5.4	0.097	0.0961	1728.40	1576.81	942.684	0.00094	1.673
	B	154.40	149.50	98.0	56.4	51.50	4.9	0.095						
2	K1	90.60	87.20	52.7	37.9	34.50	3.4	0.099	0.0978	1730.30	1576.20	942.684	0.00094	1.672
	J1	96.60	82.10	45.7	50.9	46.40	4.5	0.097						
3	C	179.10	171.00	97.8	81.3	73.20	8.1	0.111	0.1090	1762.61	1589.39	942.684	0.00094	1.686
	D	158.20	149.60	88.1	68.1	61.50	6.6	0.107						
4	N1	76.50	72.50	45.3	31.2	27.20	4.0	0.147	0.1468	1910.40	1665.78	942.684	0.00094	1.767
	O1	107.50	101.40	59.8	47.7	41.60	6.1	0.147						
5	G	134.80	128.60	88.4	46.4	40.20	6.2	0.154	0.1537	1955.30	1694.80	942.684	0.00094	1.798
	H	154.70	145.80	87.7	67.0	58.10	8.9	0.153						
6	M1	96.60	90.60	52.7	43.9	37.90	6.0	0.158	0.1605	1941.46	1673.00	942.684	0.00094	1.775
	L1	88.06	83.10	52.6	35.5	30.50	5.0	0.163						
7	N1	89.06	83.10	48.3	40.8	34.80	6.0	0.171	0.1820	1910.25	1616.17	942.684	0.00094	1.714
	N1	80.70	75.03	45.6	35.1	29.43	5.7	0.193						

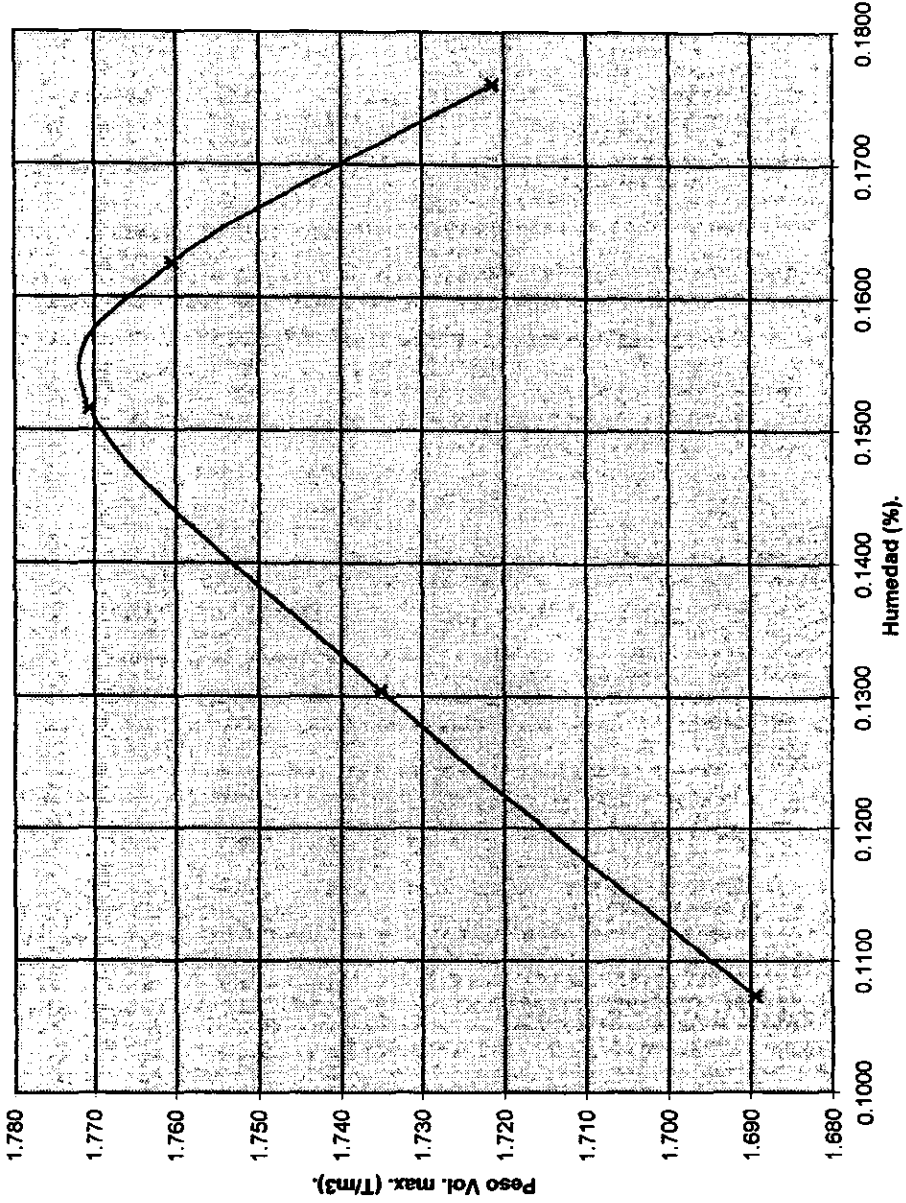
6.5 % de Cemento.



Series1

													
Tipo de prueba: PROCTOR STANDARD PROY.: Tesis.													
Molido No. : <u> </u> VOL. <u>9.43 E-04m3</u> Peso: <u>4492.70</u> gr. FECHA: <u>Febrero de 1998</u>													
Peso Martillo : <u>2.5</u> kg. Altura de caída: <u>0.305</u> m. BANCO													
No. de capas : <u>3</u> No. de golpes por capa : <u>25</u> POZO:													
Proctor con 7.0% de cemento													
Num. Muestra	Wsw+Ww (gr.)	Ws+Ww (gr.)	Wv (gr.)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Ww (gr.)	W (%)	Wprom (%)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Vol. cilindro (cm3)	Vol. (m3)	Peso Vol. max. seco. (T/m3)
1	171.90	164.50	97.8	74.1	66.70	7.4	0.111	0.1073	1758.20	1592.56	942.684	0.00094	1.689
2	175.80	168.50	98.1	77.7	70.40	7.3	0.104						
2	146.60	139.50	88.0	58.6	51.50	7.1	0.138	0.1304	1836.50	1635.65	942.684	0.00094	1.735
6	153.40	147.30	97.7	55.7	49.60	6.1	0.123						
3	172.60	161.50	89.7	82.9	71.80	11.1	0.155	0.1516	1904.70	1669.21	942.684	0.00094	1.771
8	192.60	180.30	97.5	95.1	82.80	12.3	0.149						
4	189.80	175.00	86.6	103.2	88.40	14.8	0.167	0.1626	1921.30	1659.51	942.684	0.00094	1.760
10	177.10	165.10	89.0	88.1	76.10	12.0	0.158						
5	206.60	190.00	97.8	108.8	92.20	16.6	0.180	0.1761	1904.60	1622.81	942.684	0.00094	1.721
ii	207.20	190.20	91.4	115.8	98.80	17.0	0.172						

7 % de Cemento.



-x- Serie1

Tipo de prueba: **PROCIOR STANDARD** **PROY.: Tesis.**

Molde No.: VOL. 9.43 E-04m3 **FECHA:** Febrero de 1998

Peso Martillo: 2.5 kg. **Altura de caída:** 0.305 m. **BANCO:**

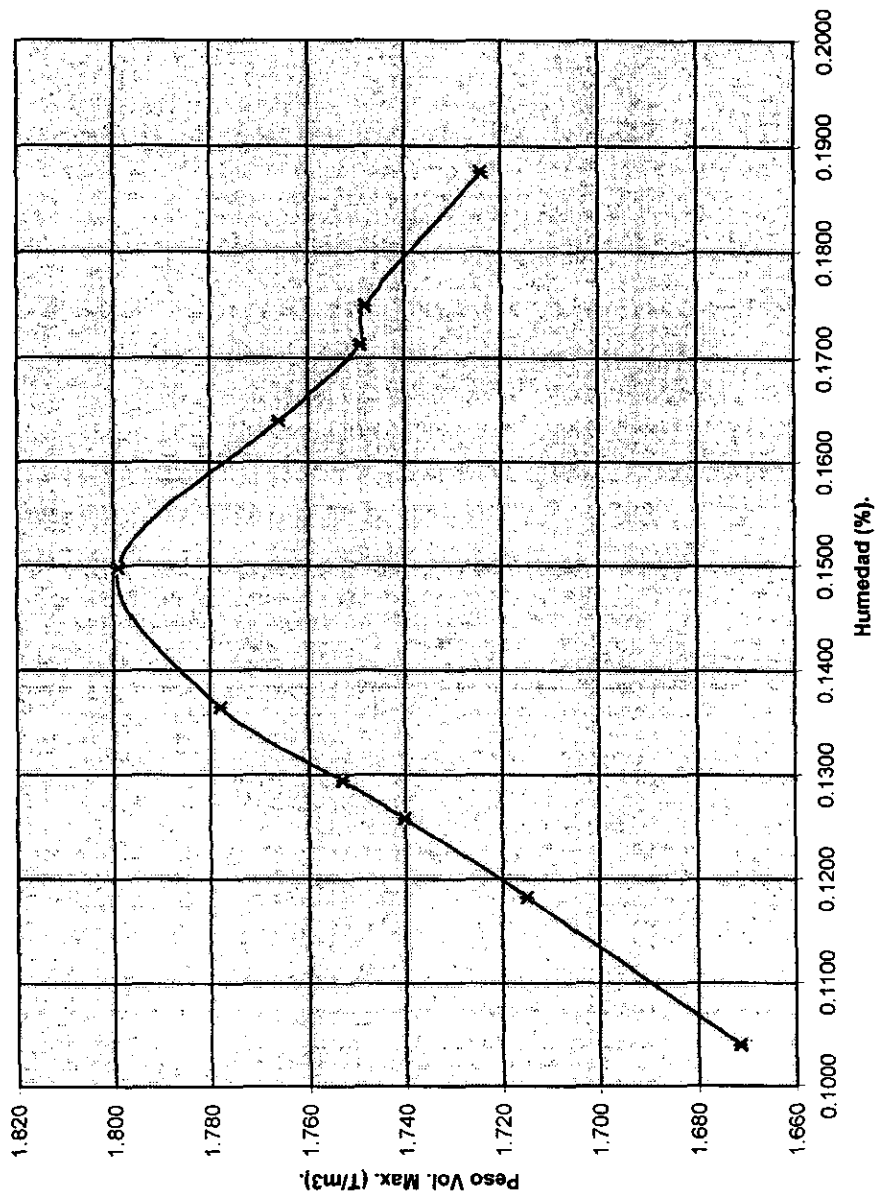
No. de capas: 3 **No. de golpes por capa:** 25 **POZO:**



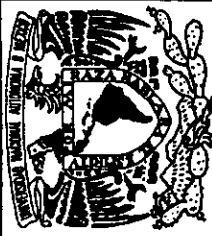
Proctor con 8.3% de cemento

Núm. Muestra.	Wsw+Wv (gr.)	Ws+Wv (gr.)	Wv (gr.)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Ww (gr.)	W (%)	Wprom (%)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Vol. cilindro (cm3)	Vol. (m3)	Peso Vol.
													max. seco. (T/m3)
1	159.30	153.30	98.0	61.3	55.30	6.0	0.108	0.1040	1739.50	1575.65	942.684	0.00094	1.671
2	152.50	146.70	88.4	64.1	58.30	5.8	0.099						
2	110.23	103.40	45.3	64.9	58.10	6.8	0.118	0.1183	1807.93	1616.72	942.684	0.00094	1.715
14	96.90	92.20	52.7	44.2	39.50	4.7	0.119						
3	155.70	149.30	98.0	57.7	51.30	6.4	0.125	0.1258	1846.88	1640.49	942.684	0.00094	1.740
6	162.58	154.60	91.7	70.9	62.90	8.0	0.127						
4	228.65	217.70	135.8	92.8	81.80	11.0	0.134	0.1295	1866.63	1652.67	942.684	0.00094	1.753
II	228.58	218.40	137.0	91.6	81.40	10.2	0.125						
5	193.80	187.00	136.9	56.9	50.10	6.8	0.136	0.1365	1904.80	1676.07	942.684	0.00094	1.778
8	222.80	212.40	136.6	86.2	75.80	10.4	0.137						
6	218.80	208.00	136.6	82.2	71.40	10.8	0.151	0.1497	1949.90	1695.94	942.684	0.00094	1.799
IV	241.00	227.60	137.2	103.8	90.40	13.4	0.148						
7	93.00	86.10	45.4	47.6	40.70	6.9	0.170	0.1639	1937.80	1664.91	942.684	0.00094	1.766
12	108.20	101.60	59.9	48.3	41.70	6.6	0.158						
8	223.40	210.30	135.6	87.8	74.70	13.1	0.175	0.1712	1931.30	1648.97	942.684	0.00094	1.749
VI	232.50	218.70	136.1	96.4	82.60	13.8	0.167						
9	210.4	199.6	136.7	73.7	62.9	10.8	0.1717	0.17492	1936.4	1648.11	942.6839	0.0009427	1.748
IV	236.4	221.4	137.2	99.2	84.2	15.0	0.1781						
10	227.5	215.3	137.3	90.2	78	12.2	0.1564	0.18758	1930.2	1625.32	942.6839	0.0009427	1.724
		206.3	197.2	155.6	50.7	41.6	9.1	0.2188					

8.3 % de Cemento.



-x- Serie1

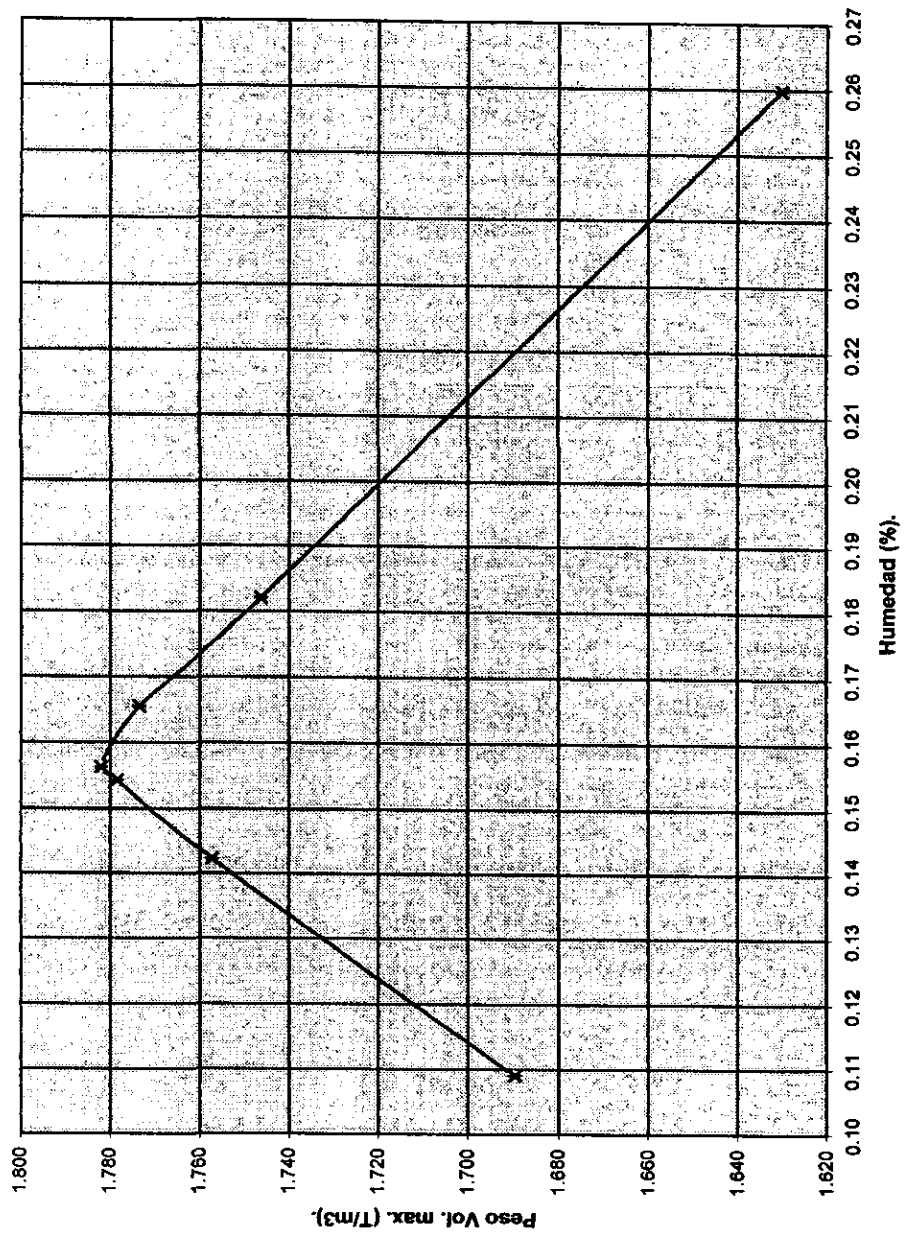


Tipo de prueba : **PROCTOR STANDARD** PROY.: Tesis.
 Malle No.: VOL. 9.43 E-04m3 Peso: 4492.70 gr. FECHA: Febrero de 1998
 Peso Martillo : 2.5 kg. Altura de caída : 0.305 m. BANCO:
 No. de capas : 3 No. de golpes por capa : 25 POZO:

Proctor con 11.5% de cemento

Num. Muestra	Wsw+Ww (gr.)	Ws+Ww (gr.)	Ww (gr.)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Ww (gr.)	W (%)	Wprom (%)	Wsw (gr.)	Ws (gr.)	Vol. cilindro (cm3)	Vol. (m3)	Peso max. seco.(T/m3)
1	189.40	180.40	98.2	91.2	82.20	9.0	0.109	0.1090	1766.50	1592.81	942.684	0.00094	1.690
2	172.00	164.80	98.5	73.5	66.30	7.2	0.109						
III	194.00	180.90	89.3	104.7	91.60	13.1	0.143	0.1422	1892.20	1656.56	942.684	0.00094	1.757
IV	182.50	170.80	88.1	94.4	82.70	11.7	0.141						
3	148.80	140.70	89.0	59.8	51.70	8.1	0.157	0.1542	1935.20	1676.60	942.684	0.00094	1.779
4	158.80	150.80	98.1	60.7	52.70	8.0	0.152						
5	138.50	131.60	86.3	50.2	43.30	6.9	0.159	0.1563	1942.40	1679.89	942.684	0.00094	1.782
6	177.80	167.20	98.0	79.8	69.20	10.6	0.153						
5	194.90	179.80	90.0	104.9	89.80	15.1	0.168	0.1654	1948.50	1671.90	942.684	0.00094	1.774
8	196.50	182.70	97.9	98.6	84.80	13.8	0.163						
6	173.00	159.40	87.0	86.0	72.40	13.6	0.188	0.1821	1945.90	1646.19	942.684	0.00094	1.746
10	195.40	179.50	89.3	106.1	90.20	15.9	0.176						
7	210.90	192.50	98.1	112.8	94.40	18.4	0.195	0.2598	1935.90	1536.68	942.684	0.00094	1.630
II	193.80	168.80	91.8	102.0	77.00	25.0	0.325						

11.5 % de Cemento.



-x- Serie1



Tipo de prueba : **PROCTOR STANDARD** PROY.: Tesis.

Molde No. : VOL. 9.43 E-04m3 Peso: 4492.70 gr. FECHA : Febrero de 1988

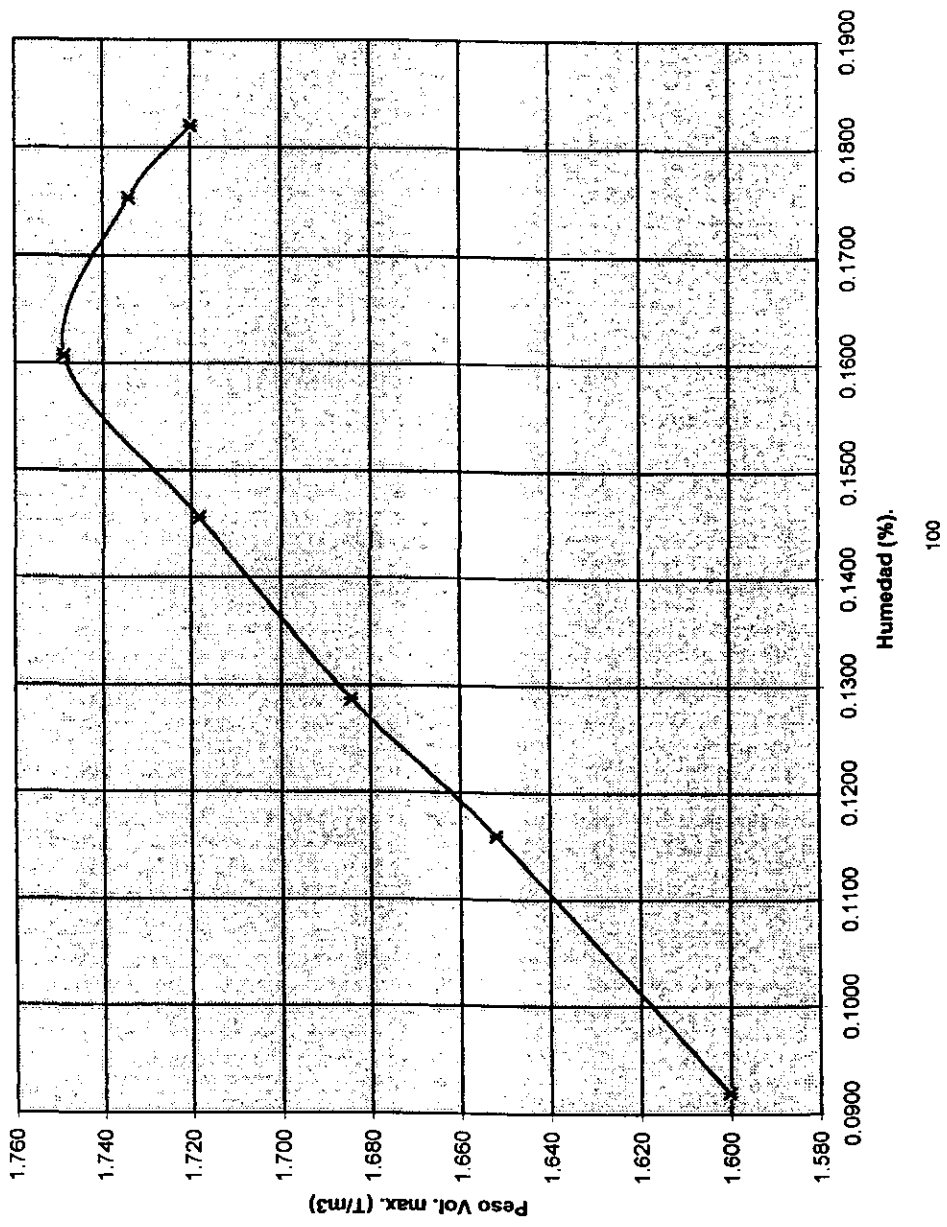
Peso Martillo : 2.5 kg. Altura de caída : 0.305 m. BANCO :

No. de capas : 3 No. de golpes por capa : 25 POZO :

Proctor con 12.2% de cemento

Num. Muestra	Wsw+Ww (gr.)	Ws+Ww (gr.)	Ww (gr.)	Wsw (gr.)	Ww (gr.)	Ws (gr.)	Ww (gr.)	W (%)	Wprom (%)	Wsw (gr.)	Vol. cilindro (cm3)	Vol. (m3)	Peso Vol. max. seco. (T/m3)
1	159.60	153.80	91.2	68.4	62.60	5.8	0.093	0.0920	1647.30	1508.56	942.684	0.00094	1.600
2	193.80	185.00	88.6	105.2	96.40	8.8	0.091	0.1159	1737.98	1557.42	942.684	0.00094	1.652
3	175.10	166.00	87.2	87.9	78.80	9.1	0.115	0.1287	1792.10	1587.78	942.684	0.00094	1.684
4	182.90	173.10	88.9	94.0	84.20	9.8	0.116						
5	185.70	175.70	97.8	87.9	77.90	10.0	0.128	0.1456	1855.60	1619.79	942.684	0.00094	1.718
6	186.40	176.30	98.0	88.4	78.30	10.1	0.129						
7	200.50	186.50	89.7	110.8	96.80	14.0	0.145	0.1608	1913.80	1648.66	942.684	0.00094	1.749
8	213.90	199.10	98.1	115.8	101.00	14.8	0.147						
9	186.90	172.80	87.5	99.4	85.30	14.1	0.155	0.1753	1916.30	1630.47	942.684	0.00094	1.734
I	243.70	224.00	98.0	145.7	126.00	19.7	0.156						
II	230.10	210.00	97.7	132.4	112.30	20.1	0.179						
III	231.60	212.00	97.8	133.8	114.20	19.6	0.172						
IV	240.50	219.10	97.9	142.6	121.20	21.40	0.1766	0.1820	1979.83	1619.50	942.684	0.00094	1.72
V	231.70	210.60	98.0	133.7	112.60	21.10	0.1874						

12.2 % de Cemento.



—x— Serie1

Pruebas de Resistencia a la Compresión Simple.

Especimen	Edad (Días).	% de Cemento	% de Humedad	Humedad corregida (%).	Área (cm ²)	Carga (Kg).	Resistencia mínima (Kg/cm ²)	Resistencia Real (kg/cm ²).
1	7	3.5	15.3	18.8	80.675	2360	21	29.25
2	7	3.5	15.3	18.8	80.675	2100	21	26.03
3	7	3.5	15.3	18.8	80.675	2150	21	26.65
4	7	4.0	15.5	19.0	80.675	2600	21	32.23
5	7	4.0	15.5	19.0	80.675	2650	21	32.85
6	7	4.0	15.5	19.0	80.675	2620	21	32.48
7	7	6.5	15.4	18.9	80.675	3300	21	40.90
8	7	6.5	15.4	18.9	80.675	3320	21	41.15
9	7	6.5	15.4	18.9	80.675	3290	21	40.78
10	7	7.0	15.5	19.0	80.675	3520	21	43.63
11	7	7.0	15.5	19.0	80.675	3500	21	43.38
12	7	7.0	15.5	19.0	80.675	3510	21	43.51
13	7	8.3	15.0	18.5	80.675	4780	21	59.25
14	7	8.3	15.0	18.5	80.675	4800	21	59.50
15	7	8.3	15.0	18.5	80.675	4810	21	59.62
16	7	11.5	15.6	19.1	80.675	5190	21	64.33
17	7	11.5	15.6	19.1	80.675	5210	21	64.58
18	7	11.5	15.6	19.1	80.675	5240	21	64.95
19	7	12.2	16.1	19.6	80.675	5300	21	65.70
20	7	12.2	16.1	19.6	80.675	5050	21	62.60
21	7	12.2	16.1	19.6	80.675	5280	21	65.45

Prueba de Humedad - Secado.

A esta prueba, solo fueron sometidos los especímenes que contenían el 3, el 4.5 y el 6.5% de cemento:

Prueba de Humedecimiento - Secado.					
Porcentaje de Cemento en Peso	*Peso Seco Inicial (gr).	**Peso Seco Final (gr).	Perdida en Peso (gr).	Porcentaje de Perdidas	Porcentaje Max. Permitido.
3.0	1778.0	1512.5	265.5	14.93	14
4.0	1782.1	1664.1	118.0	6.62	14
6.5	1794.5	1761.3	33.2	1.85	14

* Antes de 12 ciclos.

** Después de 12 ciclos.

Como se puede observar los especímenes con el 4 y el 6% cumplen con el porcentaje de máximo de pérdidas (ver cap. 4).

En lo que se refiere a la prueba de congelamiento - deshielo, esta no se realizó por considerarse poco practica tomando en cuenta el tipo de clima que impera en la mayor parte de nuestro país.

Capítulo 5.

Después de revisar los resultados de las pruebas se hicieron las siguientes observaciones:

Método Detallado:

1.- Para los porcentajes de cemento del 4 y el 6.5 % se cumple con el máximo de pérdidas de material después de las pruebas de humedad - secado.

2.- El aumento de volumen de los especímenes es menor al 2 % para los especímenes que contiene el 3% de cemento, pero mayor al 2 % para especímenes los especímenes con el 4 y el 6.5 %.

3.- El máximo contenido de agua no fue mayor al necesario para llenar los huecos del suelo - cemento ya que se utilizó la humedad óptima obtenida de la prueba proctor.

Método Corto:

Variante "A".

1.- En el caso de los especímenes elaborados por este método, todos tuvieron una resistencia muy superior a la mínima dada por la figura 2.2.3 (capítulo 3, por lo tanto se considera que el contenido de cemento es el adecuado.

Variante "B".

1.- Tomando como base que el promedio de material retenido por la malla No. 4 fue del 6 % aproximadamente. La resistencia a la compresión simple mínima, obtenida de la figura 3.2.7 fue de aproximadamente el 13 %, es decir, que si observamos la tabla de resistencias a compresión simple nos podemos dar cuenta de que las resistencias obtenidos por los especímenes son mayores que la mínima y con esto podemos considerar que le contenido de cemento obtenido es adecuado.

FALTA PAGINA

No. 104

CONCLUSIONES.

Como se pudo comprobar en el presente trabajo, el método más efectivo para el diseño y dosificación de mezclas de Suelo - Cemento es el llamado "Método Detallado".

El método Detallado propuesto por la Portland Cement Association, demostró ser el que más beneficios tiene, ya que en él se estiman valores de porcentaje de cemento de manera más exacta que empleando los otros métodos, lo que permite, por razones obvias, abatir el costo de las mezclas, además se evalúa el comportamiento de las mezclas sometiénolas a pruebas de laboratorio como serian la de humedecimiento - secado y la de congelamiento deshielo. Sin embargo, la aplicación del método Detallado, requiere del empleo de más tiempo para encontrar la dosificación más adecuada.

En lo que se refiere al método Corto, este solo presenta la mínima ventaja (tomando en cuenta sus dos variantes A Y B), de requerir menos tiempo para encontrar la mezcla adecuada de suelo - cemento, esto se debe a que el método se auxilia de tablas y gráficas de valores predeterminados para el cálculo de los porcentajes de cemento además de que aplicando este método no se realizan pruebas de durabilidad como en el caso anterior.

Por otro lado, si tomamos en cuenta, como ya se mencionó, que el método corto se apoya en valores de gráficas obtenidas de pruebas hechas a suelos que aunque pueden tener características similares a las del suelo tratado con cemento, estas nunca serán iguales por lo que los contenidos de cemento obtenidos por el método pueden no ser los ideales. Lo anterior se confirma en este trabajo ya que al aplicar el método corto se obtuvieron contenidos de cemento de aproximadamente el doble con respecto de los obtenidos por el método Detallado, este aumento en la cantidad de cemento se reflejaría principalmente en el costo de las mezclas, es decir, el método corto también nos da mezclas que cumplen en el aspecto técnico por lo tanto se puede decir que el

método corto si es confiable y se recomienda su uso si no se cuenta con el tiempo suficiente para aplicar el método detallado.

Por último se llego a la conclusión de que el método rápido es muy poco aplicable ya que las condiciones que marca para aceptar una mezcla como adecuada son muy ambiguos y no permiten de ninguna manera asegurar la calidad de la mezcla, por lo anterior es preferible evitar lo mas que se pueda el uso de éste método.

Bibliografía.

- M en I. Eduardo de la Fuente Lavalle. Suelo - Cemento usos, propiedades y aplicaciones. IMCYC. México, 1992.
- Steven h. Kosmatka y William C. Panarese. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. 1ª edición. IMCYC. México, 1992.
- Luis Sagües. Estabilización de Suelos con Cemento. Suelo-Cemento. 3ª.edición Editores Técnicos Asociados, 1974.
- Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. tomo I 13ª reimpresión. Limusa. México, 1995.
- Marsal Raul J. Mecánica de Suelos. Instructivo para ensaye de suelos. México, 1975.
- Terzaghi Karl. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. 2ª edición. El ateneo S.A. España, 1973.
- Rico Rodríguez. Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres vol II. 4ª reimpresión. Limusa S.A. México, 1984.