UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

24
61

CONSTRUCCION DE CAMINOS DE PENETRACION A BASE DE SUELO CEMENTO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

Victor Manuel García Ramírez

MEXICO, D. F. 1982

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMEN PROFESIONAL
60-1-250

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA

Al Pasante señor VICTOR MANUEL GARCIA RAMIREZ
P R E S E N T E

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Rosendo Ortiz Piñón, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"CONSTRUCCION DE CAMINOS DE PENETRACION A BASE DE SUELO CEMENTO"

I. Introducción

II. Mezclas de suelo - cemento

III. Criterio para el diseño de mezclas

IV. Preccesamiento y procedimiento constructivo

V. Inspección y control de campo

VI. Conclusiones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable 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 los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 7 de septiembre de 1981
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OBLH/etb.

CONTENIDO

CAPITULO I.- INTRODUCCION

CAPITULO II.- MEZCLAS DE SUELO - CEMENTO

CAPITULO III.- CRITERIO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

CAPITULO IV.- PROCESAMIENTO Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

CAPITULO V.- INSPECCION Y CONTROL DE CAMPO

CAPITULO VI.- CONCLUSIONES

CAPITULO I

INTRODUCCION

El objetivo que se persigue al elaborar la presente tésis, es dar a conocer métodos sencillos y prácticos para la construcción de caminos de penetración a base de la mezcla formada con suelo, cemento y agua.

En nuestro país es muy frecuente el defícil acceso a zonas rurales. En primer lugar porque no se han construído caminos hasta esas zonas; y segundo porque los caminos existentes son víctimas de los agentes atmosféricos principalmente la lluvia, y hacen imposible llegar hasta ellas. Es por eso que en el presente trabajo se propone la construcción de caminos de penetración a base de suelo cemento, los cuales proporcionarán dada su resistencia, operaciones mas confiables y seguras.

En el desarrollo de esta tésis, se trata de exponer de una manera ordenada los distintos factores que intervienen para la elaboración de la mezcla, así como los métodos y pruebas que deberan llevarse a cabo para su realización correcta.

I.1.- Breve Reseña Histórica.- El uso de la mezcla suelo cemento, data de principios de este siglo aunque, en realidad la tierra apisonada la cual deriva de aquella, ya se había usado como elemento constructivo muchos siglos atrás.

En nuestro tiempo aún existen construcciones de tierra-

Ton Hibben en birmingham alabama y elbert hubbel en pine ridge reservation, vuelven hacer experiencia en 1936 con tierra apisonada, pero esta vez por cuenta del gobierno de los Estados Unidos.

El ingeniero británico H. E. Brooke Brodley se encargo de preparar la primera mezcla de suelo con cemento, con el objeto de proporcionar estabilidad a los caminos fangosos y hacerlos capaces de proporcionar rendimiento al tráfico que en aquella época consistía en carretas jaladas por caballos.

El proceso paso inadvertido por mucho tiempo en Inglaterra debido al despecho y la aversión de algunos ingenieros en vista del éxito que obtuvo el material, pero ya en Estados Unidos se empezo a despertar la inquietud sobre el proceso de mezclas suelo con cemento y se tiene noticias que en 1917 el doctor J. H. -- Amies de Philadelfia obtiene una patente de un material que llamó soil-amies consistente en una mezcla de suelo ordinario con cemento.

De 1921 a 1924 los departamentos estatales de carreteras en Iowa Dakota del sur, california, Texas y Ohio (E.E.U.U.), realizan experimentos con suelo-cemento construyendo tramos de -- prueba en varios caminos. En 1932 el departamento de carreteras de Carolina del sur inicia trabajos precursores que duran hasta 1934, construyendose 5 tramos de caminos empleando suelo-cemento, los resultados fueron tan halagueños que sirvieron de estímulo pa

apisonada realizadas hace 20 siglos, como son las torres para vigías realizadas por anibal durante la 2a Guerra Púnica asimismo los romanos antes de la era cristiana ya construian con este sistema solo que por falta de comunicación entre los poblados no alcanzó el auge que debiera.

En Francia (Valle del Ródano) y en España (Cataluña) - se hicieron alrededor de 1770 construcciones con este sistema.

También tenemos construcciones de gran envergadura, en América como es el convento de san Francisco en santa Fé Argentina construído en 1657.

En el siglo pasado el sr. S. W. Johnson realizó investigaciones sobre el uso de tierra apisonada coronando su esfuerzo con el tratado de "Economía rural" lo cual servió como base - para una de las aplicaciones mas fantásticas de la tierra apisonada en América como lo fue la iglesia de Santa Cruz en Carolina del sur edificada en 1840.

A principios de este siglo se le empieza a dar impor-- tancia al uso de la tierra apisonada en 1926 T. A. H. Miller publica un boletín llamado "Boletín del agricultor no. 1500" Basandose en una experiencia del doctor Harry Baker Humprey este boletín es uno de los mejores folletos sobre la materia hasta la fecha. El mismo miller realiza una experiencia a principios de 1934 en arlington experiment station.

ra que la portland cement association inicie en 1935 una amplia investigación acerca de las mezclas de suelo-cemento culminando estos estudios con la construcción de un tramo de carretera de- 2. 4 Km de extensión científicamente controlado siendo esta; la carretera estatal no. 41 cercana a Johnsonville (Carolina del - sur).

Comenzando la última guerra, en cameron valley alexandría U.S.A. Tom hibben realizó una serie de experiencias con- suelo-cemento construyendo una serie de casas aunque sin resultados muy satisfactorios debido principalmente a las malas aplicaciones de las características del suelo cemento así como la - inexperiencia de las brigadas de construcción. Las experiencias precursoras tuvieron errores pero a pesar de estas circunstancias mas del 90% de los trabajos originales estan dando buenos- resultados.

Los Alemanes usaron ampliamente la mezcla suelo-cemento en la guerra (1939-1945) para construir pistas de aterrizaje.

En escala menor se usó esta mezcla al este de Europa- y en inspecciones realizadas en 1953, se indicó que el proceso- había tenido gran éxito a pesar de la variedad de condiciones - del suelo y el clima con que se efectúo.

En América Latina especialmente en Argentina el sistema ha tenido bastante aceptación construyendose casas, silos --

elevados, subterraneos, caminos vecinales etc. siendo el instituto del cemento portland Argentino, el constructor de una casa experimental en 1943 con el máximo uso de suelo-cemento.

Asimismo, en Brasil y Bolivia se han hecho aplicaciones. En río de Janeiro en 1948 se construía un gran hospital para tuberculosos con la mayoría de los muros levantados con suelo-cemento. Así como en Bolivia algunas casas en los yacimientos petrolíferos fiscales.

En México todavía no se le ha dada gran importancia al uso de este material pero se tiene conocimiento que en la región de perote, Ver. se han construído tapias, casas etc. con mezclas de material puzolánico con arcillas apisonadas.

I.2.- INFLUENCIA SOCIOECONOMICA:

La construcción de caminos de penetración es un paso muy importante para nuestro desarrollo en virtud de que incrementa notablemente las actividades productivas, culturales, sociales y políticas. Asimismo al crecer la actividad económica se lograrán incrementos en los niveles de ingresos regionales y, como consecuencia lógica el aumento de fuentes de trabajo, construcción de escuelas y mejores niveles de educación.

Los caminos de penetración se pueden complementar con la construcción de aeródromos ya que este último sistema, permite el acceso a poblados que por sus accidentes geográficos (montañas,

lagos, etc) resulta muy difícil llegar a ellos.

Cabe señalar que por la falta de vías terrestres ó caminos de acceso en mal estado no se transporta oportunamente la -- producción que se recoge en lugares apartados, ya se agricola ganadera ó pesquera y por consiguiente se generan pérdidas que afectan la economía de nuestro país.

I. 3.- VEHICULOS COMUNMENTE EMPLEADOS Y ELEMENTOS QUE TRANSPORTAN.

Los medios de transporte que mas se utilizan en los caminos de penetración, van en razón directa de su importancia productiva y pueden ser desde carretas tiradas por mulas hasta los - medios de transporte mas moderno.

Trasladan toda clase de implementos de trabajo como -- son: Maquinaria ligera, víveres, material escolar y en algunos casos se usan para llevar enfermos y medicamentos.

Es de vital importancia que los caminos que se construyan sean operablestodo el año, para esto deberan cumplir con una- adecuada localización un buen trazo y sobre todo que sean resis-- tentes.

Asimismo además de cumplir con las condiciones unicas-- habrá que cumplir con la mas importante: la condición económica.

I. 4.- VENTAJAS QUE OFRECE EL SUELO-CEMENTO.

El suelo cemento como material de construcción de vías, se ha venido utilizando amplia y exitosamente desde hace unos 40-

años a la vez que se ha llevado a cabo una extensa investigación buscando un mejor conocimiento de las propiedades y limitaciones del material y métodos mas racionales y simples de diseño. Esta-vasta experiencia en diseño y construcción con suelo cemento jun_to con la facilidad de usar en mas de un 90% materiales tomados-de la obra o muy cerca de ella, la gran velocidad de que permite cuando se dispone de la mano de obra y de equipo apropiado aún en condiciones climaticas adversas y con mucha frecuencia el menor-costo comparado con otras alternativas de similar calidad hacen-que este tipo de construcción vial sea cada vez mas usado en to-do el mundo.

Como se indicó en el parráfo anterior, una de las ventajas que ofrece este material; es fácil de fabricar ya que se - encuentra casi siempre en el sitio donde se necesita. Además su-vida útil es considerable y su mantenimiento es mínimo. Por lo - consiguiente su costo flúctua en un rango aceptable.

La abundancia con que se encuentra en cualquier zona - lo hacen versátil y práctico para su uso en bases para pavimen-tos de carreteras, calles etc. La fabricación del suelo cemento-es muy sencilla, consiste en una mezcla formada con suelo pulverizado que cumple con ciertas especificaciones y que al mezclar-se con cemento y agua adquieren un alto grado de compactación.

La mezcla de suelo y cemento, consta de las siguientes partes:

Suelo: Es la combinación de arenas gruesas, arenas, ca-

les y arcillas incluye otros materiales como carbón, caliche, en quistes (arcillosos), limos y muchos otros materiales.

Para formar la mezcla se añade cemento portland y agua. Dependiendo de la consistencia que deseemos se agregarán estos dos elementos.

El cemento se usa con objeto de estabilizar al suelo modificando sus características físicas para dar mayor durabilidad y resistencia al pavimento y también para evitar que la tierra se convierta en barro al agregar agua, y tienda a desmoronarse.

El agua es muy importante ya que determina el grado de compactación de la mezcla además, sirve como hidrantante del cemento.

Haciendo referencia a la estabilización de los suelos es importante mencionar que existen ciertos suelos que son estables naturalmente es decir: tal como se encuentran en el campo. Existe otro grupo susceptible de ser estabilizado por medio de compactación, mezclas con otro tipo de suelos, adición de otros productos que lo hacen estables, y por medios eléctricos, térmicos o químicos. Dentro de estos últimos el uso de cemento portland para estabilizar suelos es uno de los medios que mas se ha usado con éxito durante los últimos treinta años.

La estabilización de suelos con cemento consiste esencialmente en mezclar intimamente cemento portland en ciertos porcentajes con suelo finamente pulverizado y humedecido previamente con

suficiente agua para que pueda tener lugar la hidratación del cemento. A continuación la mezcla se compacta a gran densidad y se deja el tiempo necesario para que el cemento se hidrate. Con esto se logra un producto relativamente rígido, en el que se pueden obtener resistencias a la comprensión hasta de 70 Kg/cm^2. El producto goza de otras características tales como resistencia al intemperismo.

A pesar de que un suelo cemento bien diseñado es resistente al intemperismo es aconsejable evitar que el agua le caíga directamente. En pavimentos de poco tráfico es a veces conveniente extender una capa de material bituminoso encima del suelo cemento compactado. Por experiencias anteriores se ha comprobado - que para calles ó carreteras secundarias es suficiente usar una- capa de chapopote ó grava. En cambio para carreteras de intenso- tráfico es necesario usar varias capas de material bituminoso que la protejerá y alargará su vida útil.

CAPITULO II

MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO

II.1.- DEFINICION DE SUELO CEMENTO.

El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento portland y agua que compactado a una humedad óptima y densidad máxima, produce luego de la hidratación del cemento un material duro, durable y de bajo costo.

El material a que nos hemos referido en la definición, anterior es en realidad, un nuevo producto formado por la mezcla íntima de sus componentes: suelo, cemento y agua.

CEMENTO:

Aunque se ha llegado a preparar suelo-cemento con diferentes tipos de cemento (cemento tipo III, cemento aluminoso, -- etc) se obtiene en general, el mismo resultado que empleando cemento portland tipo I, el cemento debe cumplir en este caso, las mismas condiciones que en el caso del empleado para concreto.

AGUA:

El agua debe cumplir con los mismos requisitos exigi-- dos en el caso del concreto en algunos casos se ha empleado agua de mar y su uso parece ser adecuado ya que la retención del agua que produce el cloruro de sodio favorece el adecuado curado del- suelo-cemento. Por supuesto que son indeseables las aguas con contenidos de ácidos, residuos industriales y desechos orgánicos ---

especialmente los provenientes de centrales azucareras o contaminadas con melaza etc.

II. 2.- ESTABILIZACION DE SUELOS.

Como se mencionó anteriormente todos los suelos se pueden estabilizar con cemento y para que el suelo endurezca satisfactoriamente los requisitos de contenidos de cemento varía de un 3% hasta un 25% ó mas respecto del suelo seco y estos se determinan por ensayes de laboratorio.

El intervalo es tan amplio; que resultaría impráctico - tener que hacer tantas pruebas, en virtud de que existen una gran variedad de suelos, pero en base a la experiencia de otros proyectos que se han realizado, se ha comprobado que los suelos de un mismo tipo y extraídos de una misma profundidad, se estabilizan adecuadamente dentro de un intervalo reducido de contenidos de cemento con una variación aproximada del 4 % en peso.

Por lo anteriormente dicho es muy importante efectuar - un análisis al suelo o suelos que formarán parte de la mezcla propiamente dicha.

A continuación se detallan las distintas etapas de análisis:

II. 3.- EXPLORACION.

Es muy importante para reconocer los tipos de suelos y- las extensiones que ocuparán dentro del proyecto; asimismo la ubi

cación de los mismos; mapas de la región, perfiles del camino -- existente o en proyecto. También es muy importante conocer per-- fectamente la región y no afectar terrenos ejidales y además tener localizados los lugares donde se efectuaran las pruebas de - laboratorio.

II. 4.- IDENTIFICACION.

La siguiente etapa se denomina identificación que au-- nada a lo exploración, ayuda a Delimitar las extensiones tanto - horizontales como verticales de las muestras; además el propósito fundamental de esta etapa es describir un suelo de una manera detallista para determinar si vale la pena seguir trabajando en- su análisis.

El depto. de agricultura de los E.U.A. (USDA) ha implan tado un sistema de identificación de suelos que es de gran utili dad y consiste en que los suelos de un mismo clima (lluvia e intervalos de temperatura), de topografía (cimas, laderas valles etc) y de características hidráulicas (N.A.F., velocidad de dre naje etc.) crecerá un mismo tipo de vegetación y por lo consi--- guiente tendrá un mismo tipo de suelo.

Los valores que se han obtenido de este sistema y sus - aplicaciones son de utilidad para la determinación de los contenidos de cemento requeridos por el suelo-cemento.

Este sistema se basa en las siguientes características:

A) Textura

B) Granulometría.

C) Perfil de suelo.

A) TEXTURA.

Es la sensación transmitida al tocar un suelo formado por una mezcla de varios suelos perfectamente definidos por los tamaños de sus partículas.

B) GRANULOMETRIA.

Lo granulometría de los suelos se obtiene en base al tamaño de las partículas de suelo y por medio de mallas. Existen métodos especificados por la "American society for testing and material" (ASTM) cuya norma es "ASTM" D 422 ó por la "American association of state highway officials (AASHO) cuya normaes "AASHO: T 88", ver figuras II. 1 y II. 2.

C) PERFIL DEL SUELO.

En un corte transversal se pueden apreciar 3 zonas ó estratos en donde se distinguen el dolor y la textura. También son conocidas como horizontes (Fig. II. 3).

En la parte superior se encontrará un estrato de 25 a 30 cm espesor, cubierto con una capa vegetal que ha sido modificado por el intemperismo a esta zona se le llama Horizonte A. y tiene mismo color y textura en todo su espesor. En seguida se localiza el siguiente estrato que se encuentra inmediatamente -

abajo del horizonte **A** y tiene un espesor entre 25 y 30 cm. -- (puede variar entre 10 cm y 2.5 m.) está modificado por el in temperismo en menor grado y se le llama Horizonte B ó subsuelo. Tiene casi el mismo color y textura en todo su espesor. Hori-- zonte C.- Localizado abajo del horizonte B tiene casi el mismo- color y textura en todo su espesor que puede ser indefinido. -- También suele llamarse a este suelo "suelo materno o paterno".

Existen otros estratos abajo del horizonte C, solo -- que son de muy poco interés para nuestro estudio.

Mediante todas estas características se llega a la -- "serie de suelos" que agrupa a los suelos que tienen la misma - edad, el mismo clima, la misma vegetación y el mismo suelo ma-- terno. Todos los perfiles de los materiales de una "serie de -- suelos" son similares en todos aspectos, excepto por la varia-- ción de la textura del horizonte **A**.

II. 5.- MUESTREO.

Consiste en obtener muestras representativas de cada- tipo de suelo. El No. de muestras dependerá de la magnitud del- proyecto así como de la experiencia del laboratorista para iden tificar y muestrear los suelos.

Es necesario proceder científicamente para que con el menor número de muestras posibles se obtenga a satisfacción el- tipo de suelo en estudio.

A continuación se detallan los pasos a seguir para - obtener un muestreo reducido, lo mas representativo posible:

I) Recabar toda la información existente (mapas topo graficos, geológicos, agrícolas etc) del área donde se realizará el proyecto.

2) Localizar el trazo del proyecto, apoyandose en -- los mapas confiables y que mayor identificación de los suelos- proporcionen.

3) Efectuar recorrido exploratorio del trazo con sondeos a lo largo del mismo clasificando los materiales encontrados en el lugar.

4) Obtener muestras de cada horizonte del perfil y - enviarlas al laboratorio con la siguiente identificación:

a) Fecha del muestreo.

b) Nombre del muestreador.

c) Localización del proyecto (ciudad municipio, etc).

d) Localización del punto donde se obtuvo la muestra.

e) Nombre del constructor.

f) Clave de la muestra.

g) Número de sacos que la contienen.

h) Serie de suelo ó tipo de suelo.

i) Horizonte, color textura aparente.

j) Contenido de cemento estimado.

k) Distancia de acarreo de material de prestamo.

l) Indicar si se tomó del terreno natural o de la terracería del camino existente.

NOTAS IMPORTANTES DEL MUESTREO.

No es necesario que la muestra final sea inalterada, puesto que en su estudio para el suelo-cemento se tiene que desmenuzar.

Al efectuar el muestreo, se debe considerar que casi no existe ninguna variación del suelo en el plano de los horizontes del suelo. En cambio existe una variación muy notable en el plano transversal de los horizontes del suelo por esto se deberá tomar una muestra por cada horizonte y no será necesario tomar mas de una muestra dentro del área de una misma serie de suelo no es correcto tomar muestras de un mismo horizonte y una misma serie de suelo en diferentes puntos y después mezclarlas en una sola.

En aquellos casos en que la explotación del banco se va a hacer atacando el frente de un perfil con una pala mecánica es conveniente que las muestras correspondientes se tomen en toda la profundidad necesaria, mezclando todos los horizontes de un mismo punto, para obtener las condiciones reales en que se va a extraer el suelo.

Será mas económico emplear como material de préstamo los suelos arenosos y limosos, que un suelo con arcillas muy

plásticas.

Por último los suelos bien graduados hacen un suelo-cemento excelente solo que su uso es poco frecuente ya que en-las cercanias existen materiales de mas bajo costo y los depósitos de material bien graduado se conservan para muchos otros usos.

II. 6.- PREPARACION.

Con el fin de obtener óptimos resultados, la preparación de las muestras de suelo-cemento se maneja individualmente en el laboratorio de acuerdo con la secuencia que a continuación se presenta:

I.- La muestra se seca cuando sea necesario hasta -- que se pueda desmenuzar facílmente con la llana. Este proceso-se puede hacer, secando al aire o por medio de un horno que limite la temperatura de la muestra a 60°C se determina y se anota el peso seco de la muestra total.

2.- La muestra se separa con las mallas de 2", 3/4"- y No. 4 se rompen ó pulverizan los grumos, evitando quebrar -- las partículas sólidas.

3.- El material pulverizado que pasa la malla No. 4, se mezcla bien y se almacena en un recipiente cubierto a lo -- largo de todos los ensayes, (para evitar los cambios posteriores en su humedad).

4.- Por razones de funcionamiento del suelo-cemento- en su construcción, solo se admitiran agregados con un tamaño- máximo de 2", por lo tanto el material retenido en la malla de 2" (si es el caso) se pesa y se anota su peso, pero se descarta este material.

5.- Si existe material retenido en las mallas de 3/4" y No. 4 se pesan y se anotan sus pesos para incluirse en el -- análisis granulométrico de la muestra total del suelo.

6.- El material retenido en la malla de 3/4", se almacena hasta que todos los ensayes de laboratorio se han com-- pletado, pero generalmente se descarta.

7.- El material que pasa la malla de 3/4" y es retenido en la No 4, se incorporará mas tarde en la condición saturado superficialmente seca, para el estudio de mezclas de suelo-cemento, en la misma proporción en que se encuentra en la - muestra original. Todo el material que pasa la malla No. 2" y - es retenida por el No. 4 que por razones prácticas en los ensayes de laboratorio no se admite un tamaño mayor de 3/4", por - lo tanto el material anterior sustituye proporcionalmente al - retenido en la malla de 3/4".

8.- El material que pasa la malla No. 4, se separa - tomandose muestras del material para efectuar el análisis físico del suelo (según ASTM: D 421).

II. 7.- CLASIFICACION.

Esta etapa se confunde algunas ocasiones con la identificación ya que algunos factores son comunes a las dos etapas, solo que mientras la identificación se usa más con fines agrico las la clasificación se usa mas con metas ingenieriles.

Existen dos métodos para la clasificación y enseguida se describen.

A.- Sistema AASHO.

B.- Sistema unificado de clasificación de suelos ---- (SUCS).

Le daremos mas importancia al sistema ASSHO, en vir-- tud de que la PCA se ha basado en esté sistema pra dictar los - contenidos de cemento preeliminares para el estudio de laborato rio del suelo-cemento. Del sistema SUCS solo se hará referencia y se daran equivalencias entre ambas clasificaciones.

A. SISTEMA AASHO.

Este sistema agrupa a los suelos en base a su capacidad para soportar cargas pero no es necesario determinar esta - propiedad para entrar al sistema de clasificación, basta cono-- cer ciertas propiedades granulométricas. (según ASTM; D 422 6 - AASHO T 88) (Figs. 2.4 y 2.5) y los límites de consistencia del suelo; Límite líquido (ASTM D; 423 6 AASHO T 89), límite plásti co (ASTM D 424 6 AASHO T 90), y el índice de plasticidad (ASTM-

D 424 ó AASHO T 91) (Fig. 2.6) para entrar a la tabla 2. A.

Se procede de izquierda a derecha y de arriba hacia - abajo y en la primera columna donde el suelo cumpla con las especificaciones señaladas en cada columna se leerá en el renglón correspondiente. La clasificación de grupo y subgrupo, de estamanera los suelos se clasifican en forma general en materiales-granulares y en materiales limosos y arcillosos (suelos finos).

En grupos, desde A - 1, A - 2, A - 7, pasando de los-suelos mas gruesos hasta los mas finos y en subgrupos indicados para algunos de los grupos (A - 1 - a, A - 1 - b, ... A - 7 - 6).

Además este sistema combina todos los factores ante-- riores de clasificación, para precisar mejor el comportamiento-del suelo en la subrasante. El producto de esta combinación se-llama "índice de grupo", sus valores varían desde cero para las mejores subrasantes, hasta 20 para las subrasantes mas pobres.- Este índice de grupo se determina con la siguiente ecuación:

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd.$$

DE DONDE:

a = Parte del porcentaje que pasa la malla No. 200 -- es mayor del 35% y no excede al 75% se expresa como un número - entero positivo (1 a 40)

b = Parte del porcentaje que pasa la malla No. 200 -- es mayor del 15% y no excede al 55% se expresa como un número -

entero positivo (1 a 40).

c = Parte del valor del límite líquido (LL) mayor que cuarenta sin exceder a 60 se expresa como un número entero positivo (1 a 20).

d = Parte del valor del índice de plasticidad (IP) mayor que 10 sin exceder a 30, se expresa como un No. entero positivo (1 a 20).

El índice de grupo será el No. entero mas próximo al valor resultante, se anota entre paréntesis en seguida del grupo encontrado en la tabla 2.A.

A continuación se ilustra el empleo de la tabla 2.A y la determinación del índice de grupo.

EJEMPLO. I.

Del análisis de laboratorio de un suelo resultan los siguientes datos:

MALLA	% MAS FINO	
NO. 10	70	LL = 30
NO. 40	44	IP = 13
NO. 20	23	

Determinar el grupo y subgrupo a que pertenece el suelo en la clasificación AASHO y encontrar su índice de grupo.

Según tabla 2.A: A - 2 - 4.

PARA EL INDICE DE GRUPO:

a = 23 - 25 = - 13; a = 0

b = 23 - 15 = 8

c = 30 - 40 = - 10; c = 0

d = 8 - 10 = - 2; d = 0

IG = 0.2 (0) + 0.005 (0) (0) + 0.01 (8) (0) = 0

∴ A - 2-4 (0)

EJEMPLO 2.

Si el suelo tiene las siguientes características.

MALLA	% MAS FINO	
NO. 10	100	LL = 58
NO. 40	93	IP = 15
NO. 200	82	

Determinar el grupo, el subgrupo y el índice de grupo según el criterio AASHO.

Según tabla 2.A A - 7 (Grupo)

Pero:

LL - 30 = 58 - 30 = 28; IP = 15 < 28

∴ A - 7 - 5

Para el índice de grupo:

$a = 82 - 35 = 47 > 40;\quad a = 40$

$b = 82 - 15 = 67 > 40;\quad b = 40$

$c = 58 - 40 = 18$

$d = 15 - 10 = 5$

$IG = 0.2(40)+0.005(40)(18)+0.01(40)(5)=11.8$

$IG = 12$

. . A - 7 - 5 (12)

La evaluación de la subrasante, en términos del índice de grupo es:

SUBRASANTE	INDICE DE GRUPO
EXCELENTE	A - 1 - a (0)
BUENA	0 - 1
REGULAR	2 - 4
POBRE	5 - 9
MUY POBRE	10 - 20

Para un mejor entendimiento de esta clasificación, es necesario hacer un estudio de cada grupo de suelo y sus constantes físicas y tener todos los antecedentes de los suelos similares.

- SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS).

Este sistema fue desarrollado por el Dr. Arturo Casa--

grande, universidad de Harvard, poco después de la 2a guerra - mundial. El "Bureau of reclamation" ayudo a reconocerlo internacionalmente y es el que mayor aplicación tiene en México.

Para el objeto de nuestro estudio no es importante ya que como dijimos antes el sistema AASHO fue el que se dedicó - al estudio de mezclas. (Suelo-Cemento).

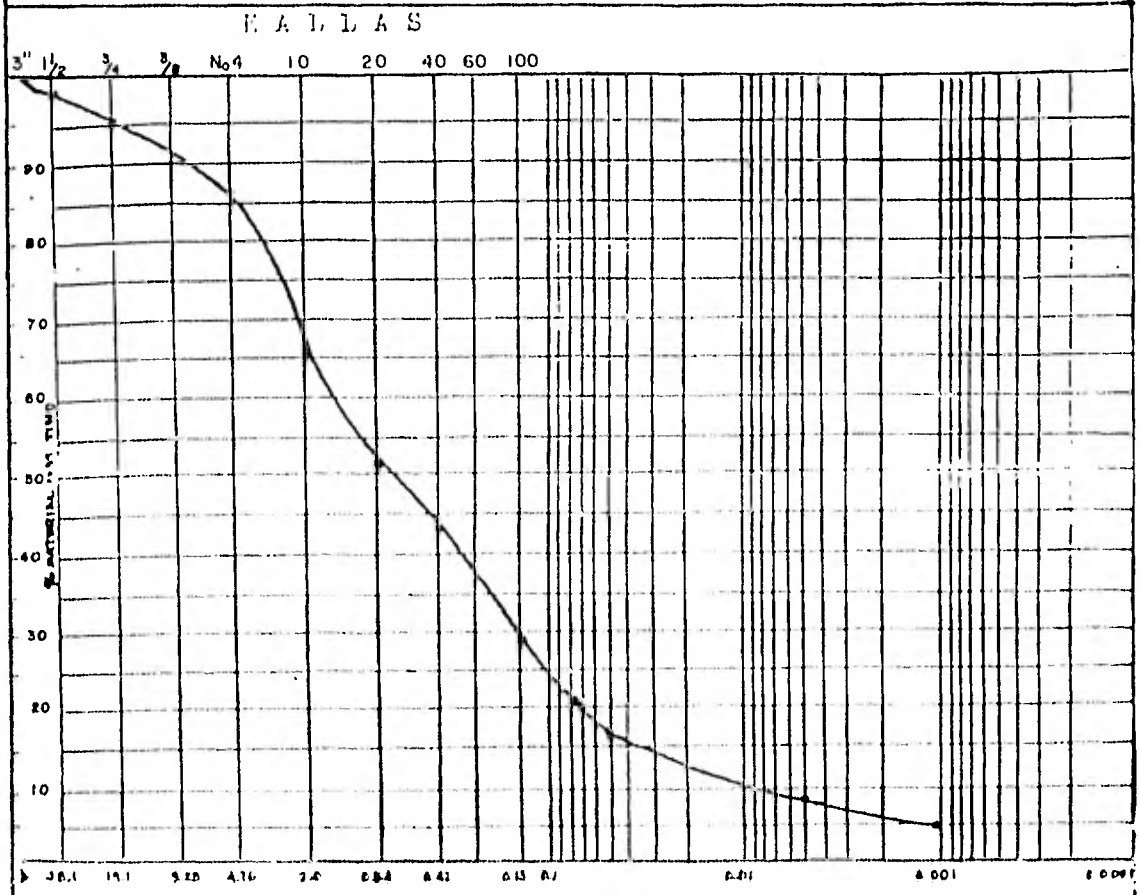
A continuación se dan las equivalencias del sisteama- AASHO al sistema SUCS.

GRUPO AASHO	GRUPOS "SUCS"
A - 1	GW, GP, GM Y SW
A - 2	SC
A - 3	SP Y SM
A - 4	ML
A - 5	CL, OL Y MH
A - 6	CH
A - 7	OH Y PT

GRAFICA GRANULOMETRICA

[illegible] _____

Muestra No. _____ Ensaye No. _____ Solicitud No. _____



% GRAVA 34	% ARENA 49	% LIMO 11	% ARCILLA 6

CRITERIO DE CLASIFICACION DEL DEPTO. DE AGRICULTURA DE E.U.A. (USDA)

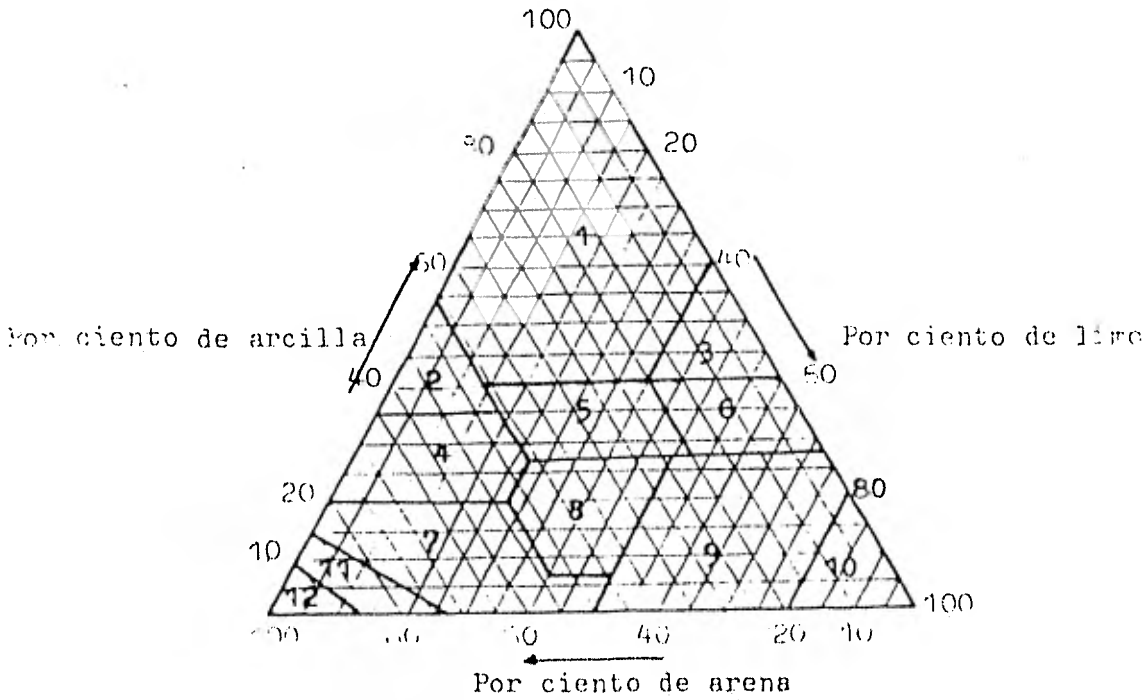
OBSERVACIONES: _____

Suelo café, del horizonte C.

Fecha _____ Laboratorista _____

FIG II 1

GRAFICA DE CLASIFICACION DE SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE E.U.A.



1. Arcilla
2. Arcilla arenosa
3. Arcilla limosa
4. Tierra arcillo-arenoso
5. Arcilla y tierra
6. Tierra arcillo-limosa
7. Tierra arenosa
8. Tierra
9. Limo y tierra
10. Limo
11. Arena terrosa
12. Arena

FIG. II 2

HORIZONTE A

HORIZONTE B

HORIZONTE C

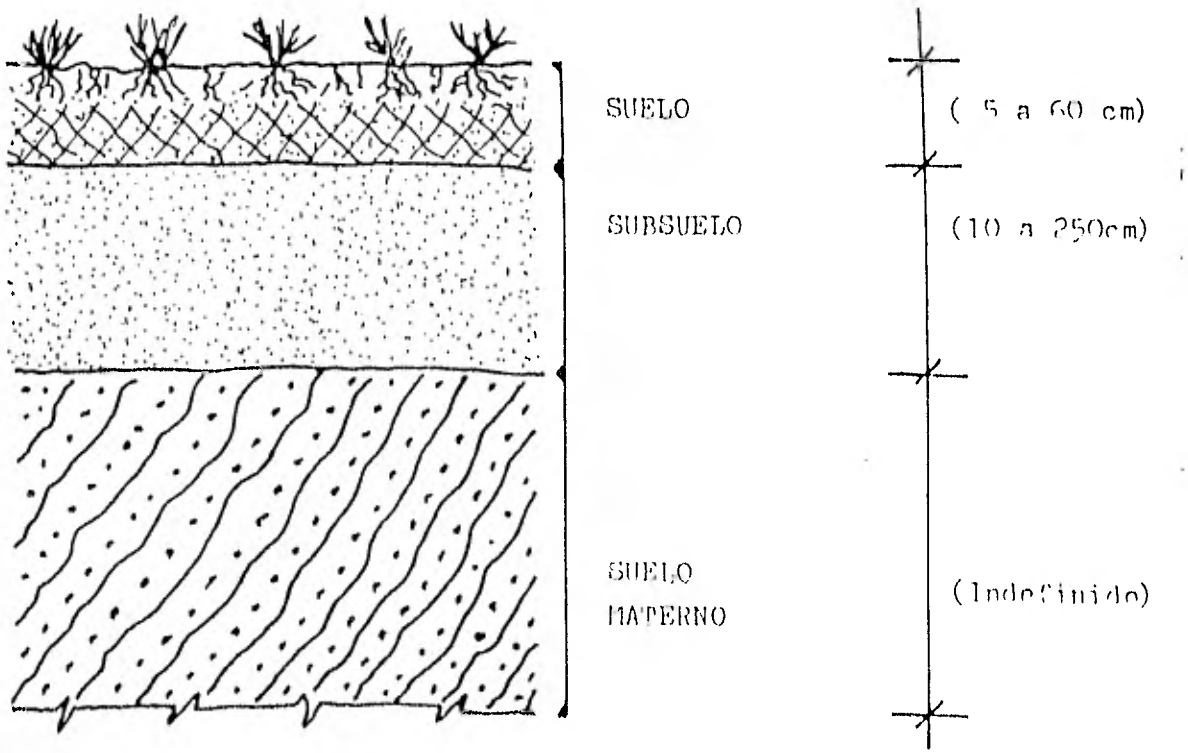


FIG. II.3

FIG. II.4

PREPARACION DE LA MUESTRA DE SUELO .

Proyecto: _____

Muestra No. _____ Ensaye No. _____ Solicitud No. 66

ANALISIS DE LA MUESTRA TOTAL

Peso seco (al aire) de la muestra _____ Kg.

Peso retenido en la malla de 2 " _____ Kg. _____ %

Peso retenido en la malla de 3/4 " _____ Kg. _____ %

Peso retenido en la malla No. 4 _____ Kg. _____ %

Peso retenido entre las mallas de

2 " y la No. 4 _____ Kg. _____ %

ANALISIS DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 4

Peso que pasa la Malla No. 4 _____ Kg. _____ %

	W_t	W_{t+sh}	W_{t+s}	W_a	W_s	W (%)
Humedad higroscópica del material que pasa la malla No. 4						

NOTA: En todas las columnas de las tablas donde no se especifique la unidad, las cantidades están dadas en gramos.

	W_t	W_{t+sh}	W_{sh}	W_s
Corrección por humedad higroscópica del material empleado en el análisis granulométrico preliminar.				

ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR (VIA HUMEDA).

Malla No.	W_t	W_{t+s}	W_c	% Ret.- Individual	% Ret. acumulado	% más fino.
4						
10						
40						
200						
Charola						

Observaciones: _____

Fecha _____ Laboratorista _____

FIG. II.5

GRANULOMETRIA DE FINOS .

Proyecto _____

Muestra No. _____ Ensaye No. _____ Solicitud No. ____

Peso del material que pasa la Malla No. 10 _____ g						
Humedad higroscópica del material que pasa la Malla No. 10	W_t	W_{t+sh}	W_{t+s}	W_w	W_s	%

Peso del material que pasa la malla No. 10 corregida por humedad -- higroscópica _____ g

PESO ESPECIFICO RELATIVO DEL MATERIAL (ASTM - D 854)

Obs.	Tx, °C	K e	W a	W o	W b	Ss, Tx	Ss, 20° C	
1								
2								

GRANULOMETRIA POR EL METODO DEL HIDROMETRO (ASTM - D 422)

t, min	R_o, g/l	T, °F	C_m, g/l	$R_m = R_o + C_m$	C_c, g/l	$R_c = R_m - C_c$	L, cm	K h	D, mm	P, %

GRANULOMETRIA DE MALLAS PARA EL MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 10 Y ES RETENIDO EN LA MALLA No. 200 (ASTM - D 422).

Malla No.	W_t	W_{t+s}	W_s	% Ret. Individual	% Ret. acumulado	% más fino.
10						
20						
40						
200						
Charola						

Observaciones: _____

Fecha: _____ Laboratorista: _____

FIG. II.6

LIMITE DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS.

Proyecto : _____

Muestra No. _____ Ensaye No. _____ Solicitud No. ____

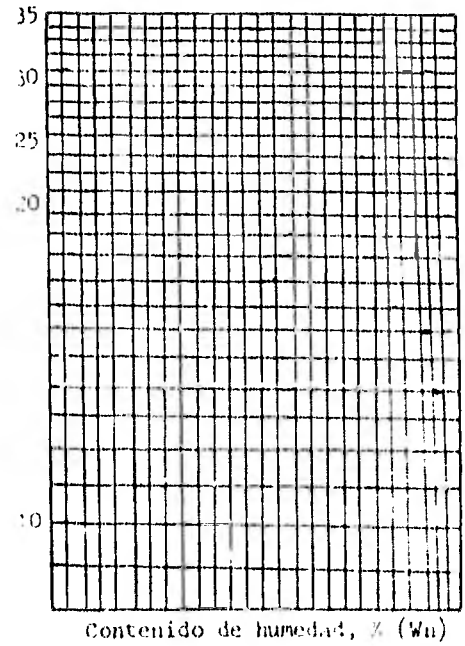
LIMITE LIQUIDO

Obs	W_t	$W_t + sh$	$W_t + s$	W_s	W_w	Wn	W	N

LIM. PLASTICO

Obs	W_t	$W_t + sh$	$W_t + s$	W_s	W_w	W	

GRAFICA PARA DETERMINAR EL "LL"



RESUMEN DE VALORES

LL = _____ %

LP = _____ %

IP = _____ %

GRUPO AASHO : _____

Observaciones: _____

Fecha: _____ Laboratorista: _____

TABLA 2.A CLASIFICACION DE SUELOS POR EL SISTEMA AASHO

Clasificación general	Materiales granulares (35 % o menos pasa la malla No. 200)							Materiales finos (más del 35 % pasa la malla No. 200)			
Clasificación por grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-1		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Granulometría % más fino: malla No. 10	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
" " 40	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-	-
" " 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características del material menor que No. 40: Límite líquido	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Indice de plasticidad	6 máx		NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín*
Indice de grupo	0		0	0		4 máx		8 máx	12 máx	16máx	20 máx
Tipos comunes de los materiales constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena.		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Apreciación general como subrasante	De excelente a bueno							De regular a pobre			

* Si IP LL-30, se trata del subgrupo A-7-5; Si IP LL-30, se trata del subgrupo A-7-6,

CAPITULO III

CRITERIO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

El proceso de diseño de mezclas de suelo-cemento, consiste en una serie de ensayos de laboratorio con miras a determinar:

a) La cantidad de cemento que debe agregarse al suelo para que la mezcla endurezca en una forma adecuada.

b) La cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla.

c) La densidad a la cual se debe compactar.

La principal característica que debe tener una buena mezcla de suelo-cemento, es su capacidad de soportar la exposición a los elementos, o sea su durabilidad; la resistencia mecánica también puede considerarse como un requisito importante; sin embargo, como la mayoría de las mezclas de suelo-cemento que poseen adecuada resistencia a los elementos también poseen adecuada resistencia mecánica, por lo consiguiente este requisito es secundario.

Los métodos de diseño que se van a presentar a continuación; coinciden básicamente con los indicados por la Portland Cement Association de U.S.A., los cuales se basan en amplias investigaciones de laboratorio y en la evaluación de más de 800 millones de m^2 de bases de suelo-cemento construídas en dicho país desde 1935.

III. 1.- NORMA GENERAL PARA DOSIFICACION

Este sistema es aplicable a cualquier tipo de suelos - en tanto que la norma simplificada que se presenta mas adelante- sólo es aplicable a suelos arenosos de determinada granulometría.

Se dan en seguida los pasos que deben seguirse en el - laboratorio los cuales se aclaran posteriormente, con un ejemplo numérico.

III. 1.1.- ENSAYOS PRELIMINARES

Sobre una muestra de suelo-cemento en estudio, deben - realizarse los siguientes ensayos.

a) Análisis granulometrico por tamizado y por sedimentación.

b) Determinación del límite líquido.

c) Determinación del límite plástico.

d) Determinación de la absorción y el peso específico.

Aparente de la Fracción de Cascajo.

En este trabajo denominaremos las fracciones de suelo- de acuerdo con su tamaño en la forma siguiente.

Cascajo grueso:	De	4.8	a	76	mm.
Cascajo fino	: De	2.0	a	4.8	mm.
Arena gruesa	: De	0.42	a	2.0	mm
Arena fina	: De	0.05	a	0.42	mm.
Limo	: De	0.005	a	0.05	mm.
Arcilla	: Menor de			0.005	mm.

III. 1.2.- ENSAYOS CON LA MEZCLA DE SUELO Y CEMENTO

a) Nombre del Ensayo: Determinación de la densidad máxima aparente y la humedad óptima de la mezcla de suelo-cemento por medio del ensayo proctor normal.

(Especificación a asho T 134 - 70)

Este ensayo se debe efectuar con estudio, fijado por -- experiencias con materiales similares o indicado por la tabla 1 - de acuerdo con la clasificación aasho del suelo (el contenido de-cemento en peso se define como la relación entre el peso de cemento agregado y el peso de suelo seco en estudio).

b) Nombre del Ensayo: Ensayo de durabilidad por mojado y secado - ejecutado con tres contenidos de cemento: El mas probable para el suelo en estudio y 2 % por encima y 2 % por debajo de el.

El contenido mas probable será el indicado por la experiencia con suelos análogos o el obtenido de las tablas 2 ó 3, en función de las características físicas del suelo y la densidad -- máxima aparente obtenida del ensayo de compactación.

Por cada contenido de cemento se moldea un cilindro compactado con la energía del ensayo proctor normal y con la humedad óptima ya obtenida en el paso anterior.

Los cilindros en esta forma son sometidos a una repetición del ciclo siguiente: Inmersión en agua, secado al horno y cepillado, con un cepillo de acero para desprender el material que-se haya aflojado.

Al final de los doce ciclos se cálcula la pérdida de -- peso del cilindro.

III. 2.- INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS:

Se adoptará como contenido de cemento recomendado aquel que garantice el cumplimiento de los requisitos de pérdida por peso en el ensayo de durabilidad contenidos en la tabla N° 4.

En esta forma queda resuelto el problema de diseño de - la mezcla planteado inicialmente, ya que por el sistema indicado- se determina el contenido de cemento la humedad óptima y la densidad aparente máxima.

Si se desea conocer el contenido de cemento por volumen puede emplearse la fórmula siguiente:

$$Cv = \frac{100\ Cp}{100+Cp} \times \frac{D\ sc}{Dc}$$

Donde:

Cv : Contenido de cemento en volúmen/(volúmen de cemento suelto - en relación a volúmen de suelo-cemento compactado).

Cp : Contenido de cemento en peso (peso de comonto en relación a- peso del suelo seco en estufa.)

Dsc: Densidad aparente máxima del suelo-cemento compactado, en -- Kg/m^3.

Dc : Densidad del cemento suelto. Se puede suponer igual a 1,430- Kg/m^3.

Para resolver esta fórmula puede usarse el nomograma - que aparece en la fig. 1.

III. 3.- EXPLICACION DE LA NORMA GENERAL POR MEDIO DE UN EJEMPLO

III. 3.1.- Preparación del Suelo para los Ensayos de Clasifica-- ción.

Para efectuar la totalidad de los ensayos de clasificación del suelo y de dosificación de la mezcal por la norma general, se requiere una muestra de 30 a 40 kg. de suélo. El primer- paso, cuando la muestra llega al laboratorio es sacarla al aire- hasta que sea fácilmente lesmenuzable con herramienta manual --- (llana o rodillo).

A continuación se pasa el material por un cuarteador - hasta obtener una muestra representativa de alrrededor de 5.000g. la cual se pasa con aproximación de un gramo y se tamiza por la- malla N°10 (2mm). Con el retenido se ejecuta los ensayos de gra- nulometría de la fracción gruesa y absorción y con el material - que pasa se adelantan los ensayos de granulación de la sección - fina (hidrometro y tamizado) humedad higroscópica gravedad espe cífica y limites de Atterberg.

En el diagrama N°1 del anexo 2 aparece esquematicamente el proceso a seguir que obedece basicamente a la especificación - aasho T 87-70.

El resto del material se utiliza para los ensayos de - suelo-cemento.

III. 3.2.- Dosificación de la Mezcla de Suelo-Cemento para Sue-- los con Material Retenido en el Tamiz N°4 (4.8 mm) (método B de las especificaciones aasho T 134-70 y --- T 135-70).

Para facilitar la comprensión del método se desarrollará un ejemplo con un suelo de las siguientes características.

Granulometría.

Cascajo grueso : 10 %

Cascajo fino : 2 %

Arena gruesa : 23 %

Arena fina : 33 %

Limo : 6 %

Arcilla : 22 %

% que pasa el tamíz de 0.074 mm : 32 %

Límite líquido : 25

Límite plástico : 19

Indice plástico 5

Características del Cascajo Grueso:

Gravedad específica aparente : 2.630 kg/m^3

Absorción : 1.2 %

Clasificación Aasho : A 2-4 (0)

a) Selección del contenido de cemento para el ensayo de compactación.

Aunque los ensayos de durabilidad se hacen para 3 diferentes contenidos de cemento el ensayo de compactación se hace - por uno sólo ya que se ha demostrado experimentalmente la escasa variación de los resultados obtenidos en la compactación cuando- el cambio de cemento no es muy grande.

La mejor manera de determinar los contenidos de cemento para los ensayos es la comparación con otros suelos ya en- - sayados, con los cuales se tenga cierta práctica. Cuando esto no es posible, la tabla 1 da un buen dato, basado unicamente en la- clasificación Aasho del suelo.

Para el caso en estudio (un suelo A 2-4) de la tabla 1, se obtiene un contenido de cemento de 7 % en peso.

b) Ensayo de compactación:

Este se realiza aplicando la compactación correspon--- diente al proctor normal, teniendo en cuenta que la fracción de- suelo entre 4.8 y 76 mm debe reemplazarse por igual porcentaje- de material entre 4.8 y 19 mm; veamos númericamente la forma de- hacerlo.

Datos para el ensayo:

% cascajo grueso : 10 %

Absorción del cascajo grueso : 1.2 %

Humedad higroscópica : 3.0 %

Contenido de cemento en peso : 7 %

Datos de los aparatos:

Martillo N° 3

Cilindro N° 2

Volúmen del cilindro 985 cm^3

Peso del cilindro 2.150 kg.

Composición de la mezcla:

Peso total del suelo : 5.000 kg. (seco)

Cascajo grueso :

Peso seco ..... 10 x 5.000/100 = 0.500 kg.

Peso humedo ..... 4.500 x (1+0.03) = 4.635 kg.

Peso de cemento ..... 5.000 x 7/100 = 0.350 kg.

O sea que con 506 gr. de cascajo grueso saturado o superficialmente seco 4.635 kg. de suelo menor que el tamiz N° 4, con su humedad higroscópica, y 350 gr. de cemento se obtiene una mezcla para el ensayo, en la cual está garantizado el porcentaje de suelo grueso y el contenido de cemento deseado.

Para el primer ensayo de compactación debe agregarse a la mezcla agua suficiente para hacerla ligeramente plástica (4 a 6 puntos por debajo de la humedad optima),

Se debe incrementar la humedad en 2% aproximadamente para los ensayos sucesivos, repitiendolos hasta que el peso total -

del cilindro empiece a decrecer o la muestra se vuelva esponjosa normalmente son necesarios 5 ó 6 ensayos.

Veamos los calculos correspondientes a un punto:

Punto N° 1:

Peso de la probeta húmeda + cilindro : 3.980 kg.

Peso de la probeta húmeda : 3.980 - 2.150 = 1.830 kg.

Humedad : 9 % (muestra seca en estufa)

Peso de la probeta seca 1.830/(1 + 0.09) = 1.680 kg.

Densidad aparente : 1.680/0.985 = 1.705 kg/m^3

Una vez efectuados los 5 ó 6 ensayos necesarios se colocan los resultados en una gráfica, se traza la curva de compactación y en el se determina la humedad óptima y la densidad máxima aparente.

Supongamos que para este caso se obtuvo:

Densidad aparente máxima ..... 1.880 kg/m^3

Humedad óptima .....13.2 %

c) Selección de los contenidos de cemento para los ensayos de durabilidad.

Como ya se indicó, los ensayos de durabilidad se efectúan con 3 contenidos de cemento determinados con base en experiencia previa,cuando existe; en caso contrario se determina por medio de las tablas 2 y 3 el contenido mas probable y se moldea un cilindro en ese contenido, otro con 2 % más y otro con 2% me-

nos. Se advierte que los datos de las tablas 2 y 3 no se aplican a suelos superficiales, que pueden contener materia orgánica en- cantidades perjudiciales; en tales casos el contenido mas probable es de 2 a 4 puntos mayor que el indicado en las tablas.

Veamos como se usan para el suelo que estamos analizando:

Como se trata de un suelo arenoso, en la tabla 2 con - 10 % de cascajo, 29 % de limo mas arcilla y 1.880 kg/m^3 de densidad aparente máxima, se obtiene un contenido de 7 %. Los ensayos de durabilidad se realizan entonces con 5.7 y 9 % de cemento a - peso.

d) Confección de las probetas para ensayos de durabilidad.

Las probetas para el ensayo de durabilidad se hacen en la misma forma indicada para el ensayo de compactación con la humedad óptima obtenida en dicho ensayo.

Sigamos con el ejemplo:

Datos de ensayo:

Densidad máxima ..... 1.880 kg/m^3

Humedad óptima .....13.2 %

% de suelo grueso .....10 %

Absorción del suelo grueso ..... 1.2 %

Humedad higroscopica del suelo . 3.0 %

Datos de los aparatos:

Martillo No. 3

Cilindro N° 2

Volúmen del cilindro ..... 985 cm^3

Peso del cilindro ..... 2.150 kg.

Composición de la mezcla:

Peso total del suelo ..... 2.500 kg.

Cascajo grueso

Peso seco ..... 2.500 x 10/100 = 250 kg.

Peso humedo ..... 250 x (1 + 0.012) = 253 gr.

Suelo menor que el tamíz N° 4

Peso seco ..... 2.500 - 250 = 2.250 kg.

Peso humedo ..... 2.250 x (1 + 0.03) = 2.317 kg.

Contenido de cemento ..... 7 %

Peso de cemento ..... 2.500 x 7/100 = 175 gr.

Peso total de la mezcla seca ... 2.500 + 175 = 2.675 kg.

Cantidad de agua.

Necesaria ..... 2.675 x 13.2/100 = 353 gr.

Llevada por el cascajo grueso .. 253 - 250 = 3 gr.

Llevada por el resto del suelo . 2.317 - 2.250 = 67 gr.

Teorica por agregar ..... 353 - (3 + 67) = 283 gr.

Pérdida por evaporación ..... (0.5 %) 2,675 x 0.5/100 = 13 gr.

Total por agregar ..... 283 + 13 = 296 gr.

O sea que con 253 g. de cascajo grueso saturado y superficialmente seco 2.317 kg de suelo menor que el tamiz No. 4, - con su humedad higroscópica 175 gr. de cemento y 296 gr de agua-- se obtendrá la mezcla para moldar un cuerpo de prueba con el 7% - de cemento durante el ensayo se pesa el cuerpo de prueba húmeda - junto con el cilindro y se retina una muestra para determinar humedad, con ostos datos se comprueban las condiciones de moldeo, - como sigue.

Cuerpo de Prueba No. 4

Contenido de Cemento en peso: 7%

Peso de la probeta humeda+cilindro: 4,230 Kg.

Peso de la probeta humedad: 4,230 - 2.150 = 2.080 kg.

Humedad 12.8% (muestra seca en estufa) (verificación)

Peso de la probeta seca: 2.080/(1+0.128) = 1.840 Kg.

Densidad aparente: 1.840/0.985 = 1.868 Kg/M^3 (verificación)

El ensayo se acepta siempre que la diferencia entre la densidad obtenida y la aparente máxima sea inferior a 30 kg/m^3 y la diferencia entre la densidad obtenida y la optima sea inferior al 1% el cuerpo de prueba obtenido se conserva 7 días en camara-húmeda, hasta la fecha del ensayo de durabilidad.

e) ENSAYO DE DURABILIDAD POR MOJADO Y SECADO.

Después de 7 días de curado en camara húmeda, los cuerpos de prueba se sumergen en agua 5 horas y luego se colocan - - durante cuarenta y dos horas en estufa a 71°C durante la hora --

siguiente al tiempo de permanencia en estufa, los cuerpos de prueba deben cepillarse en la forma normalizada prescrita por las especificaciones; se vuelven entonces a sumergir en agua repitiendo 12 veces al ciclo inmersión-secado cepillado, al fin del último - cepillado se llevan los cuerpos de prueba a la estufa de 105-110°C hasta peso constante y se determina su peso seco, con los datos-- obtenidos puede calcularse la pérdida de peso como se indica.

DATOS DE LOS CUERPOS DE PRUEBA

Cuerpo de prueba No. 4

Clasificacion del suelo: A2-4

Contenido de CEMENTO.

en peso : 7 %

Humedad de moldeado : 12.8 %

Peso seco inicial calculado : 1.840 kg.

Fecha de moldeado : 11/IV/73

Fecha de calculos:

Cuerpo de prueba No. 4

Peso seco final: 1.605 kg. (pesado)

% de agua retenido en la probeta: 2.5 (de la tabla No. 5)

Peso seco corregido: 1.605/(1+0.025) = 1.565 Kg.

Perdida de Peso: (1.840 - 1.565)/1.840 = 15%

TABLA 5

HUMEDAD RETENIDA EN EL CUERPO DE PRUEBA

CLASIFICACION AASHO	HUMEDAD RETENIDA %
A1, A3	1.5
A2	2.5
A4, A5	3.0
A6, A7	3.5

La tabla 5 permite determinar el % de agua que reacciona con el cemento y permanece, por tanto en la muestra, ya que el resto del agua se vapora durante la secada en estufa a 105-110°C así puede calcularse el peso del cuerpo de prueba seco como se indica en los anteriores cálculos.

f) Selección final del contenido de cemento.

El contenido de cemento se determina comparando las perdidas de peso obtenidas en el ensayo de durabilidad para los 3 cuerpos de prueba con los máximos admisibles que se indican en la tabla 4, así:

Perdida de peso por mojado-secado, obtenidas en los ensayes (Valores Supuestos).

Con 5% de cemento : 25%

Con 7% de cemento : 15%

Con 9% de cemento : 11%

Como el suelo en estudio es A2, la pérdida admisible tomada por la tabla 4 en 14% inter polando graficamente se obtiene que con 8% de cemento se satisface este reguisito y por tanto este es el contenido en peso recomendado, si se quiere dar en volúmen puede usarse el ABACO o la formula ya indicados.

III.4.- NORMA SIMPLIFICADA PARA DOSIFICACION

Siguiendo el procedimiento general de dosificación anteriormente descrito, se requieren alrededor de 45 días para encontrar los proporciones buscadas, en vista de lo poco práctico - que muchas veces resulta un proceso de tanto días; la portland -- cement association de los E.E.U.U. desarrolló un sistema de diseño para suelos arenosos que requiere un total 10 ó 12 días para - obtener la dosificación adecuada.

Para establecer este método simplificado en 1952 se estudiaron en la PCA 2.438 suelos arenosos y se estableció una correlación entre la durabilidad y la resistencia a compresión para determinar entonces el contenido de cemento, hasta moldear -- cuerpos de prueba someterlos a ensayos de compresión después de 7 días de curado y comparar las resistencias obtenidas con los -- minimos recomendados por la PCA.

III.4.1.- APLICABILIDAD DEL METODO SIMPLIFICADO.

El método es aplicable unicamente para suelos con granulometría tal que:

a) El contenido de limo mas arcilla sea inferior al 50%

b) El contenido de arcilla sea inferior al 20%

c) El retenido en el tamiz No. 4 sea menor del 45%

No siempre se obtiene por este método el contenido de - cemento mínimo que puede usarse con un tipo dado de suelo arenoso sin embargo, casi siempre se obtiene un contenido seguro, generalmente muy próximo al obtenido por la norma general con ensayos de durabilidad.

Debido al posible contenido de materia orgánica, el método simplificado no es aplicable a suelos superficiales.

III.4.2.- DESCRIPCION DEL METODO.

En resúmen, el método simplificado consta de:

a) Ensayos preliminares del suelo: granulometría y peso especifico.

b) Ensayos de compactación de suelo cemento siguiendo-- el mismo procedimiento utilizado para el método general ya descrito (especificación AASHO T 134-70). El contenido de cemento para este ensayo se determina por medio de abacos especiales.

c) Con los resultados del ensayo anterior y mediante -- el empleo de ábacos; selección del contenido de cemento para elaborar las probetas para ensayos de compresión.

d) Verificación del contenido apropiado de cemento por medio de ensayos de comprensión.

El Método esta subdividido en dos, que llamaremos méto-

do A y B; aplicable el primero a suelos que conocen de retenido - en el Tamiz de 4.8 mm. y el segundo a suelos que si tienen una -- fracción retenida en dicho tamiz.

III.4.3.- METODO A:

a) Se determina la densidad aparente máxima y la hume-- dad optima de suelo cemento por medio del ensayo proctor normal - (AASHO T 134-70) el contenido de cemento para este ensayo se calcula así:

.De la fig. 2, en función de los porcentajes de limo+arcilla y de cascajo fino + arena gruesa se estima la donsidad aparente máxima de la mezcla.

. De la fig. 3 en función de la densidad aparente máxima obtenida en el paso anterior y el porcentaje de limo+arcilla,- se determina el contenido de cemento para el ensayo de compacta-- ción.

b) Con la densidad aparente máxima obtenida del ensayo- de compactación y el porcentaje de limo+arcilla. Se determina en- la fig. 3 el contenido de cemento para el ensayo de comprensión.

c) Con el contenido de cemento obtenido en el paso (b)- se moldean 3 probetas con la compactación del proctor normal. La- humedad para este ensayo debe ser, la óptima determinada en el ensayo de compactación paso (a).

d) Se determina la resistencia a comprensión de los - - cuerpos de prueba después de 7 días de curado en camara humeda, -

previa inmersión de 4 horas.

e) Se verifica en la fig. 4 en función del porcentaje de limo+arcilla del suelo, la resistencia mínima de comprensión que se debe obtener de la mezcla.

Si el promedio obtenido del ensayo de comprensión es mayor que este mínimo, se adoptará el contenido usado en el ensayo (Aunque la resistencia obtenida sea apreciablemente mayor que el mínimo indicado por el gráfico, no debe disminuirse el contenido de cemento ya que se corre el riesgo de no obtener una durabilidad adecuada . Si la resistencia obtenida es menor que la indicada por la figura, es probable que el contenido de cemento sea muy bajo; en este caso se deben moldear 2 cuerpos de prueba; uno con el contenido de cemento usado en el ensayo de comprensión y otro con un 2% más, los cuales se someteran el ensayo de durabilidad y se evoluarán de acuerdo con lo indicado en la norma general de dosificación.

EJEMPLO DEL METODO A:

Granulometría del suelo:

Cascajo grueso .....

Cascajo fino 3%

Arena gruesa 12%

Arena fina 60%

Limo 7%

ARCILLA 18%

Como tiene menos de 20% de arcilla y menos de 50% de - Limo + arcilla puede ensayarse por la norma simplificada además- como la totalidad pasa el tamis de 4.8 mm se usa el método A.

a) De la fig. 2, con 25% de limo + arcilla y 15% de cas cajo fino + arena gruesa, se estima una densidad máxima aparente de 1.870 Kg/m^3.

En la fig. 3 para esta densidad (1.870 kg/m^3) y 25% de limo+ arcilla, se obtiene un contenido de cemento de 7% en peso, con el cual se realiza el ensayo de compactación. Supongamos que se obtiene una densidad aparente máxima de 1.930 kg/m^3 y una humedad óptima de 11.2%.

b) En la fig. 3 para una densidad máxima aparente de - 1.930 kg/m^3 se obtiene en contenido de cemento de 6%.

c) Se moldean 3 probetas con el 5% de cemento en peso- y una humedad de compactación de 11.2%.

b) Se determina la resistencia a compresión de los 3- cuerpos de prueba a los 7 días de curado, Suponemos que se obtiene un promedio de 24Kg/cm^2.

c) En la fig. 4. con 25% de limo+ arcilla, se encuentra que la resistencia debe ser superior a 21.3 kg/cm^2. por tanto, - el contenido de cemento de 6% en peso es adecuado.

III.4.4. METODO B.

a) Se determina la densidad aparente máxima y la humedad optima de suelo-cemento por medio del ensayo proctor normal-

(AASHO T134-70). El contenido de cemento para este ensayo se calcula así.

De la fig. 5 en función de los porcentajes de limo+arcilla y de cascajo fino y grueso, se estima la densidad aparente máxima de la mezcla.

De la figura 6 en función de los porcentajes de cascajo grueso y de limo+arcilla y de la densidad máxima aparente obtenida en el paso anterior se determina el contenido de cemento para el ensayo de compactación.

b) con la densidad máxima aparente obtenida del ensayo de comparactación y los porcentajes de cascajo grueso y de limo+ arcilla se determina en la fig. 6 el contenido ce cemento para - el ensayo de compresión.

c) Con el contenido de cemento indicado en el paso (b) se moldean 3 cuerpos de prueba con la compactación del proctor normal. La humedad para este ensayo debe ser la optima determinada- en el ensayo de compactación paso (a).

d) Se determina la resistencia a compresión de los - - cuerpos de prueba después de 7 días de curado en camara humeda,- previa inmersión de 4 horas.

e) Se verifica en la fig. 7, con función de los porcentajes de cascajo grueso y de limo+arcilla, la resistencia mínima de compresión que se debe obtener de la mezcla, la evaluación de los resultados es igual que en el caso de suelos sin retenido en en tamis de 4.8 mm. indicado en el inciso (e) del método A.

EJEMPLO DEL METODO B.

Granulometria del suelo

Cascajo grueso 20%

Cascajo fino .....3 %

Arena gruesa 19%;

Arena fina 31%

Limo 12%

Arcilla.....15%

Como el suelo tiene menos del 20% de arcilla y menos - del 45% de cascajo grueso (material retenido en el tamiz No. 4 - se puede utilizar la norma simplificada; además como tiene fracción mayor que el tamiz No. 4 se emplea el método B.

a) En la figura 5, con 27% de limo+arcilla y 23% de -- cascajo fino y grueso, la densidad máxima aparente se estima en- 1.975 Kg/m^3.

En la fig. 6, con 27% de limo+arcilla y 23% de cascajo grueso, y con una densidad de 1.975 kg/m^3 se obtiene un contenido, de cemento de 5% para el ensayo de compactación. Una vez realizado ésto, suponemos que se obtiene una densidad máxima aparente de 2.000 kg/m^3 y una humedad optima de 8.7%.

b) en la fig. 6 con una densidad de 2.000 kg/m^3 se obtiene un contenido de cemento del 5%.

c) Se moldean 3 cuerpos de prueba con 5% de cemento en peso.

d) Se determina la resistencia a compresión de los - - cuerpos de prueba a los 7 días. supongamos que se obtiene un promedio de 19 Kg/cm^2

e) En la fig. 7, con 27% de limo+arcilla y 20% de cascajo grueso, se verifica que la resistencia debe ser superior a --- 20.2 kg/cm^2, y por tanto se deben hacer ensayos adicionales.

Se moldean entonces dos cuerpos de prueba uno con 5 y - otro con 2% de cemento en peso, los cuales se someten al ensayo - de durabilidad por mojado-secado.

Para continuar el ejemplo supongamos que en dicho ll y- 7% respectivamente como se trata de un suelo A2-4, de acuerdo con el criterio expuesto en la norma general de diseño un contenido - de 5% en peso es aceptable aunque con dicho contenido no se haya- obtenido una resistencia a comprensión superior a lo indicado por el método simplificado.

TABLA 1.

CONTENIDO DE CEMENTO PARA EL ENSAYO DE COMPACTACION.

Clasificacion AASHO	Contenido de cemento (%)
A 1 — a	5
A 1 — b	6
A 2	7
A 3	9
A 4	10
A 5	10
A 6	12
A 7	13

TABLA 2

CONTENIDO DE CEMENTO PROBABLE PARA SUELOS ARENOSOS NO ORGANICOS.

Cascaja grueso	Limo más arcilla	Densidad aparente máxima (kg/m^3)					
		1.680 a 1.760	1.760 a 1.840	1.840 a 1.920	1.920 a 2.000	2.000 a 2.080	2.080 ó más
0 – 14	0 – 19	10	9	8	7	6	5
	20 – 39	9	8	7	7	5	5
	40 – 50	11	10	9	8	6	5
15 – 29	0 – 19	10	9	8	6	5	5
	20 – 39	9	8	7	6	6	5
	40 – 50	12	10	9	8	7	6
30 – 45	0 – 19	10	8	7	6	5	5
	20 – 39	11	9	8	7	6	5
	40 – 50	12	11	10	9	8	6

TABLA 3

CONTENIDO DE CEMENTO PROBABLE PARA SUELOS LIMOSOS Y ARCILLOSOS.

Indice del grupo del suelo	Limo más arcilla	Densidad aparente máxima (kg/m^3)						
		1.440 a 1.520	1.520 a 1.600	1.600 a 1.680	1.680 a 1.760	1.760 a 1.840	1.840 a 1.920	1.920 ó más
0 - 3	0 - 19	12	11	10	8	8	7	7
	20 - 39	12	11	10	9	8	8	7
	40 - 59	13	12	11	9	9	8	8
	60 ó más	–	–	–	–	–	–	–
4 - 7	0 - 19	13	12	11	9	8	7	7
	20 - 39	13	12	11	10	9	8	8
	40 - 59	14	13	12	10	10	9	8
	60 ó más	15	14	12	11	10	9	9
8 - 11	0 - 19	14	13	11	10	9	8	8
	20 - 39	15	14	11	10	9	9	9
	40 - 59	16	14	12	11	10	10	9
	60 ó más	17	15	13	11	10	10	10
12 - 15	0 - 19	15	14	13	12	11	9	9
	20 - 39	16	15	13	12	11	10	10
	40 - 59	17	16	14	12	12	11	10
	60 ó más	18	16	14	13	12	11	11
16 - 20	0 - 19	17	16	14	13	12	11	10
	20 - 39	18	17	15	14	13	11	11
	40 - 59	19	18	15	14	14	12	12
	60 ó más	20	19	16	15	14	13	12

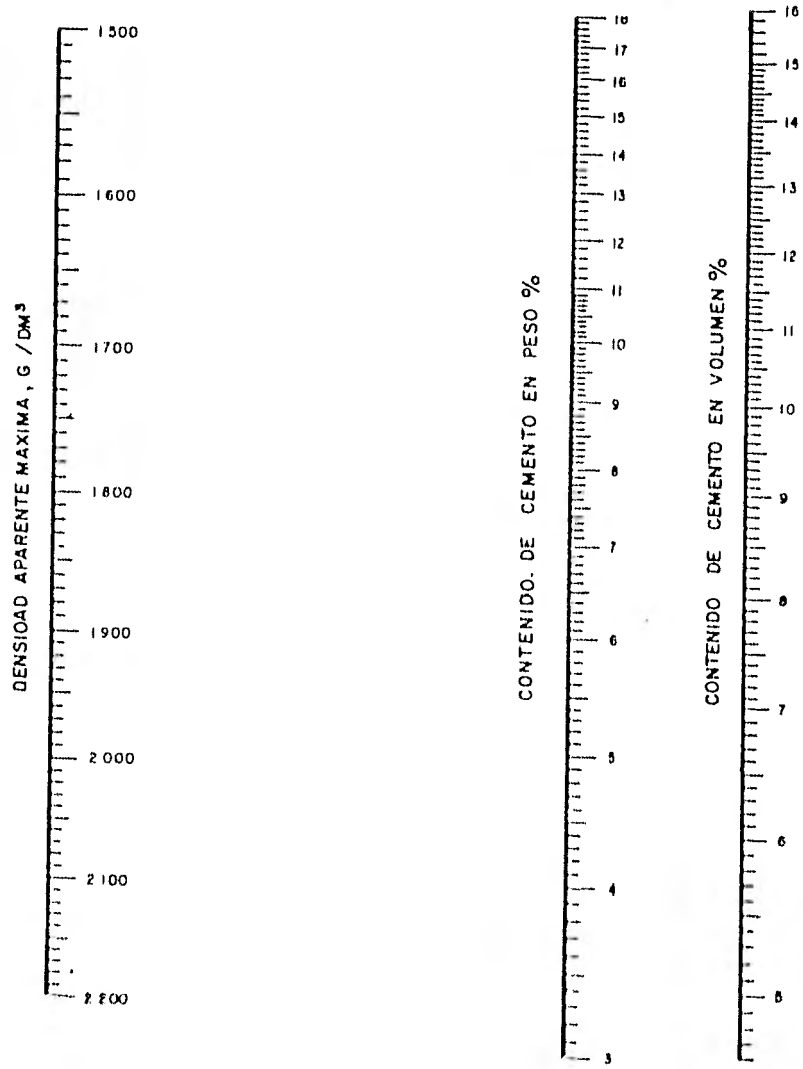


FIGURA 1
NOMOGRAMA PARA TRANSFORMAR CONTENIDO DE CEMENTO EN PESO A CONTENIDO DE CEMENTO EN VOLUMEN.

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO. NORMA SIMPLIFICADA. METODO A
SUELO SIN MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ DE 4.8 MM

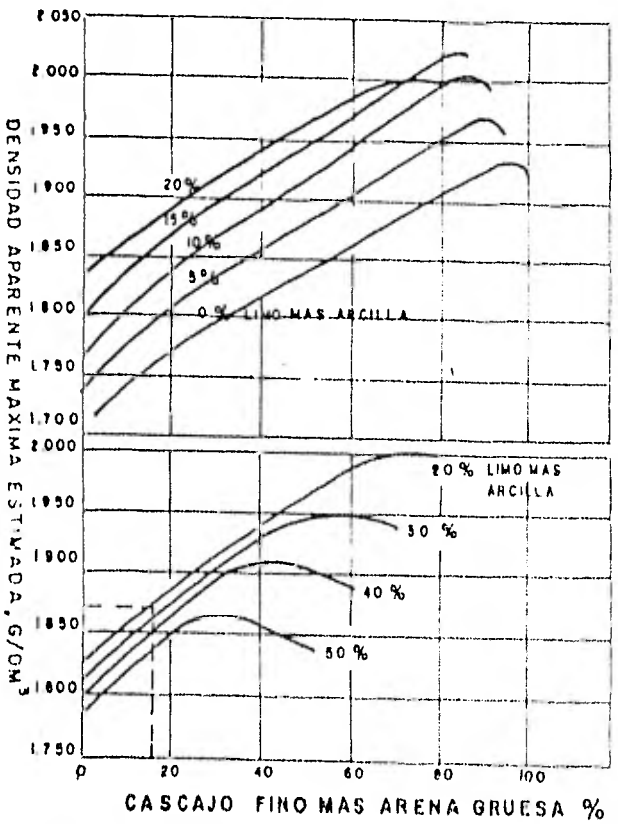


FIGURA 2

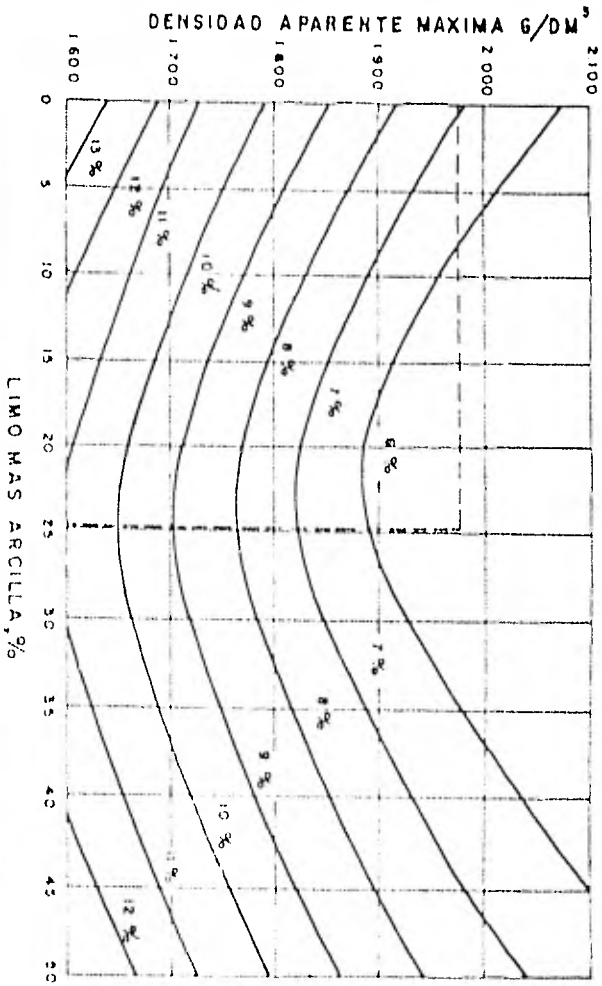


FIGURA 3

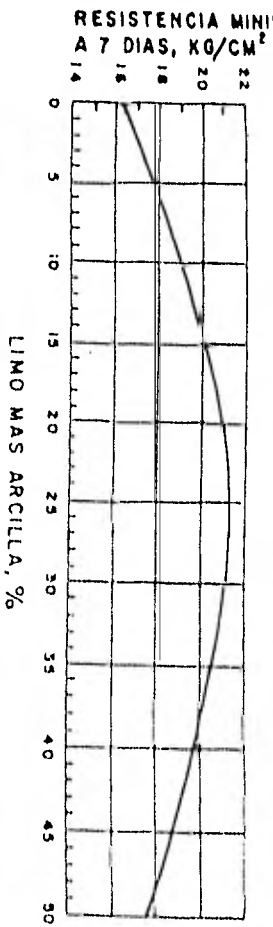


FIGURA 4

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO. NORMA SIMPLIFICADA. METODO B: SUELO CON MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ DE 4,8 MM.

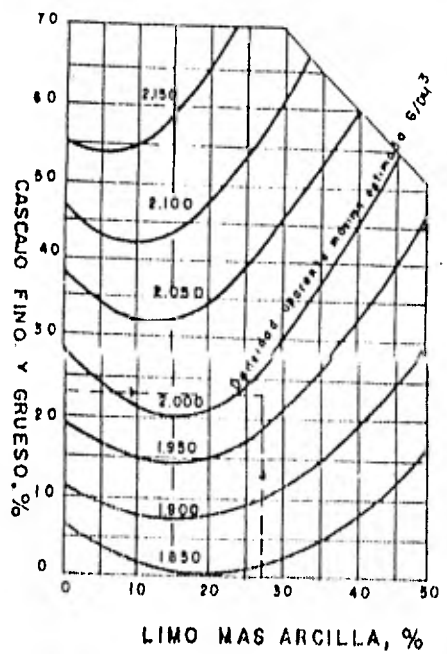


FIGURA 5

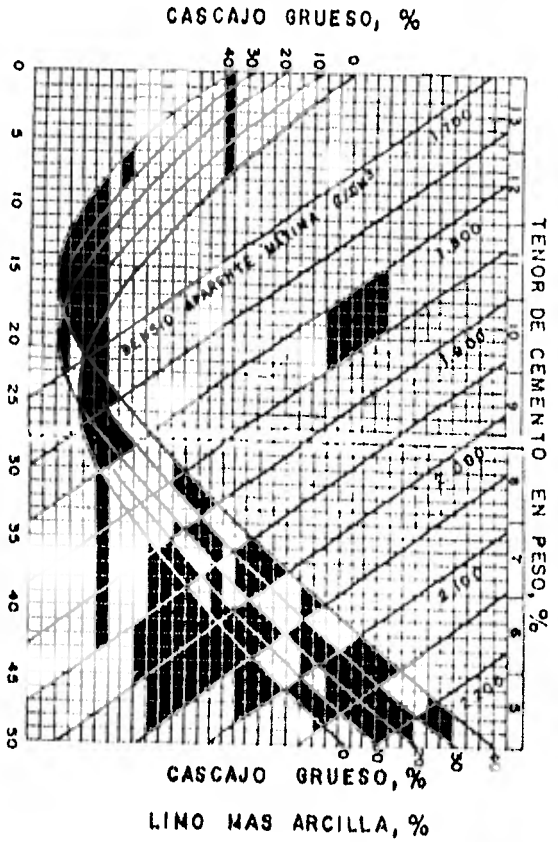
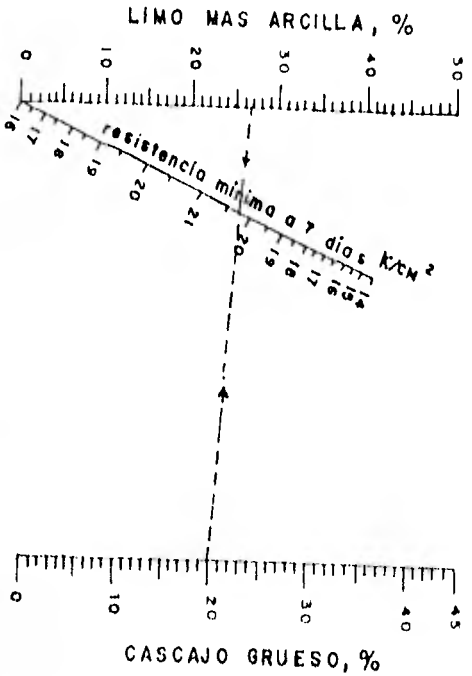


FIGURA 6



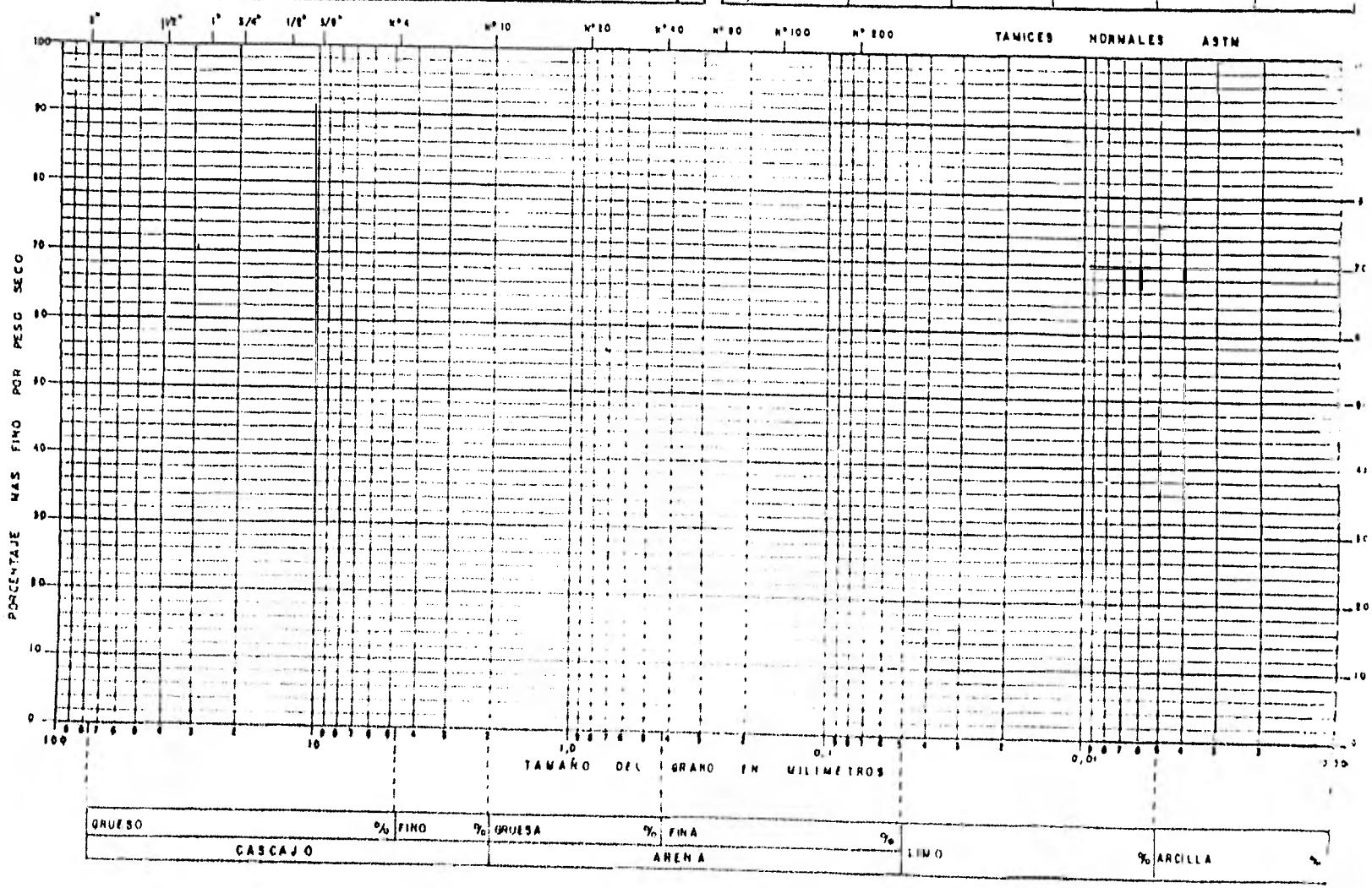
MINIMA RESISTENCIA A COMPRESION DE LOS CUERPOS DE PRUEBA A 7 DIAS

FIGURA 7

DISEÑO DE MEZCLA DE SUELO — CEMENTO. RESUMEN DE RESULTADOS

MUESTRA	LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	GRAVEDAD ESPECIFICA	HUMEDAD HIGROSCOPICA	ABSORCION	SUELO
Nº	%	%	—	%	%	

MEZCLA	CONTENIDO DE CEMENTO	HUMEDAD OPTIMA	PESO UNITARIO SECO MAXIMO	RESISTENCIA A COMPRESION A LOS 7 DIAS	PERDIDA EN ENSAYOS DE SECADO Y MOJADO	PERDIDA EN ENSAYO DE CONGELACION Y DESHIELO
	%	%	Kg / m³	Kg / cm²	%	%



I - ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELO-CEMENTO

FECHA _____

CODIGO MUESTRA [ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ]

DATOS DEL ENSAYO	
SUELO GRUESO	%
ABSORCION	%
HUMEDAD HIGROSCOPICA	%
CONTENIDO DE CEMENTO POR PESO DE SUELO SECO	%

DATOS DE APARATOS							
PROBETA No	1	2	3	4	5	6	7
CILINDRO							
VOLUMEN DEL CILINDRO (CM^3)							
PESO DEL CILINDRO (g)							

COMPOSICION DE LA MEZCLA				
	PESO DEL SUELO (g)			PESO DE CEMENTO (g)
SUELO	GRUESO	FINO	TOTAL	
SECO				
HUMEDO				

PROBETA	PESO DE PROBETA HUMEDA + CILINDRO	PESO DE PROBETA HUMEDA	DETERMINACION DE LA HUMEDAD							PESO UNITARIO	
			CAPSULA	PESO DE MEZCLA HUMEDA + CAPSULA	PESO DE MEZCLA SECA + CAPSULA	PESO DE CAPSULA	PESO DEL AGUA	PESO DE MEZCLA SECA	HUMEDAD	MEZCLA SECA	MEZCLA HUMEDA
No	(g)	(g)	(No)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(kg/m^3)	(kg/m^3)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

PESO UNITARIO SECO (Kg/m^3)

HUMEDAD (%)

RESULTADOS	
PESO UNITARIO SECO MAXIMO	Kg/m^3
HUMEDAD OPTIMA	%

PROPIEDADES INDICE DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	%
LIMITE PLASTICO	%
INDICE PLASTICO	%
CLASIFICACION AASHO	
CLASIFICACION UNIFICADA	

EJECUTO _____ CALCULO _____ REVISO _____

2 - ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

FECHA _____

CODIGO MUESTRA

DATOS DEL ENSAYO	
PESO UNITARIO SECO MAXIMO	Kg/M³
HUMEDAD OPTIMA	%
SUELO GRUESO	%
ABSORCION	%
HUMEDAD HIDROSCOPICA	%
CONTENIDO DE CEMENTO POR PESO DE SUELO SECO	%

DATOS DE APARATOS			
PROBETA Nº	1	2	3
CILINDRO Nº			
VOLUMEN DEL CILINDRO (CM³)			
PESO DEL CILINDRO (g)			

COMPOSICION DE LA MEZCLA (MOLDEADO)

PESO DEL SUELO (g)				
SUELO	GRUESO	FINO	TOTAL	PESO DE CEMENTO (g)
SECO				
HUMEDO				

PESO TOTAL DE LA MEZCLA DE SUELO + CEMENTO. SECA	CANTIDAD DE AGUA					
	NECESARIA	LLEVADA POR EL SUELO GRUESO	LLEVADA POR EL SUELO FINO	TEORICA POR AGREGAR	PERDIDA POR EVAPORACION (0,5 %)	POR AGREGAR
(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
		⊖	⊖	⊙	⊕	⊙

PROBETA	PESO DE LA PROBETA HUMEDA + CILINDRO	PESO DE LA PROBETA HUMEDA	DETERMINACION DE LA HUMEDAD							PESO UNITARIO	
			CAPSULA	PESO DE MEZCLA HUMEDA + CAPSULA	PESO DE MEZCLA SECA + CAPSULA	PESO DE CAPSULA	PESO DEL AGUA	PESO DE MEZCLA SECA	HUMEDAD	MEZCLA SECA	MEZCLA HUMEDA
Nº	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(Kg/M³)	(Kg/M³)
1											
2											
3											

PROBETA	CONTENIDO DE CEMENTO EN PESO	FECHA DE MOLDEADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DIAS	LECTURA FINAL DEL ANILLO DE CARGA	CARGA DE ROTURA	AREA DE LA PROBETA	RESISTENCIA	RESISTENCIA MEDIA
Nº	(%)					(Kg)	(CM²)	(Kg/CM²)	(Kg/CM²)
1									
2									
3									

EJECUTO _____ CALCULO _____ REVISO _____

3-RESUMEN DE ENSAYOS DE SUELO-CEMENTO

FECHA _____

CODIGO MUESTRA

ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE SUELOS

GRANULOMETRIA		%	INDICES FISICOS	
CASCAJO GRUESO	DE 76 MM (3") A 4,8 MM		LIMITE LIQUIDO	%
CASCAJO FINO	DE 4,8 MM A 2,0 MM		LIMITE PLASTICO	%
ARENA GRUESA	DE 2,0 MM A 0,42 MM		INDICE PLASTICO	%
ARENA FINA	DE 0,42 MM A 0,05 MM		HUMEDAD HIGROSCOPICA	%
LIMO	DE 0,05 MM A 0,005 MM		ABSORCION	%
ARCILLA	INFERIOR A 0,005 MM		GRAVEDAD ESPECIFICA	
INFERIOR A 0,075 MM			CLASIFICACION AASHO	
			CLASIFICACION UNIFICADA	

ENSAYOS DE SUELO-CEMENTO

ENSAYO DE COMPACTACION		ENSAYO DE COMPRESION		ENSAYO DE DURABILIDAD POR MOJADO Y SECADO	
CONTENIDO DE CEMENTO POR PESO	%	EDAD DE LAS PROBETAS (DIAS)		CONTENIDO DE CEMENTO POR PESO (%)	PERDIDA DE PESO CORREGIDA (%)
HUMEDAD OPTIMA	%	CONTENIDO DE CEMENTO POR PESO	%		
PESO UNITARIO SECO MAXIMO	(Kg/M^3)	RESISTENCIA PROMEDIO	(Kg/cm^2)		

CONTENIDO DE CEMENTO POR PESO _____ %

SEGUN EL METODO: _____

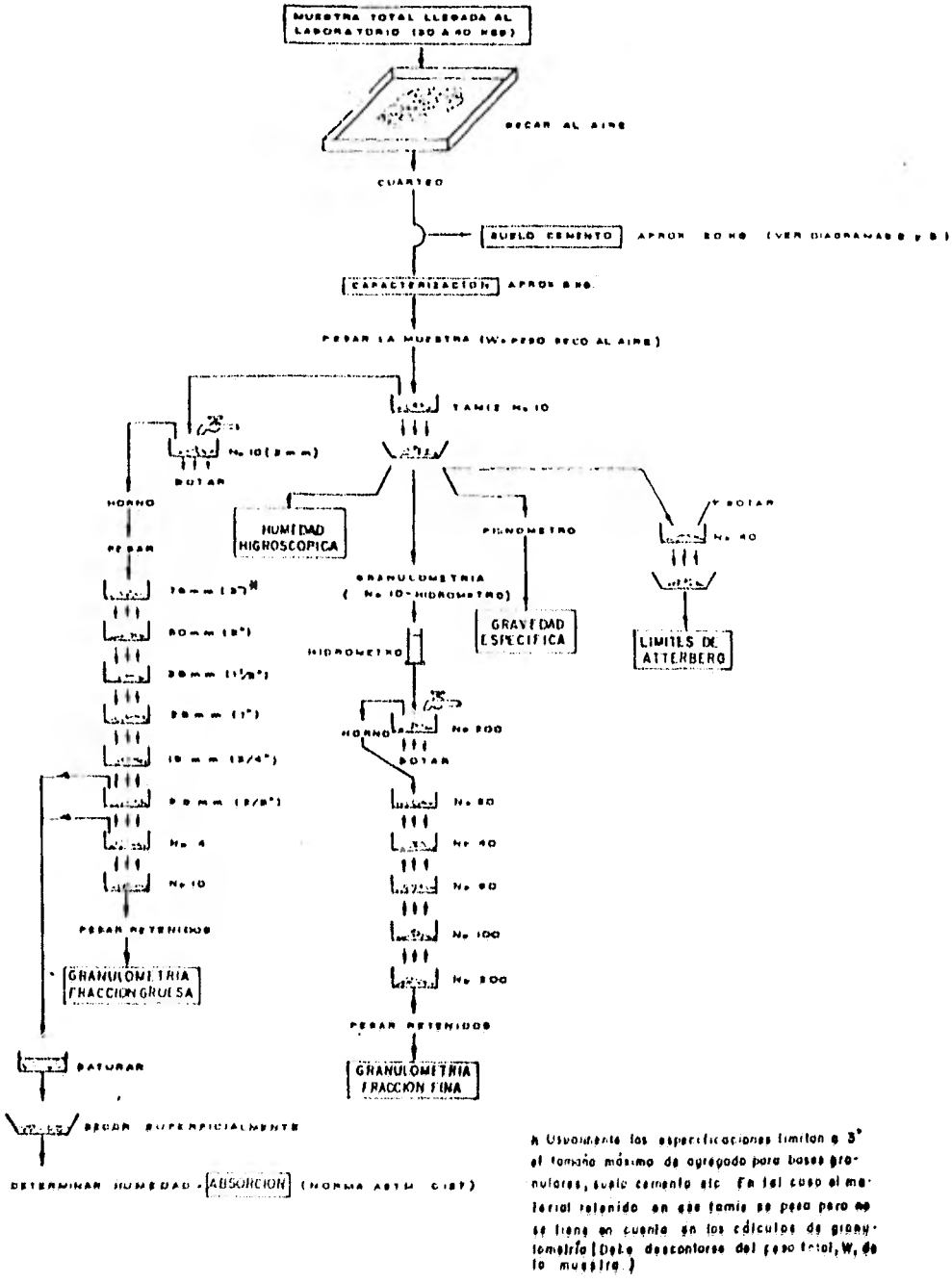
OBSERVACIONES _____

INGENIERO RESPONSABLE _____

DIAGRAMA No I

PREPARACION DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE SUELOS

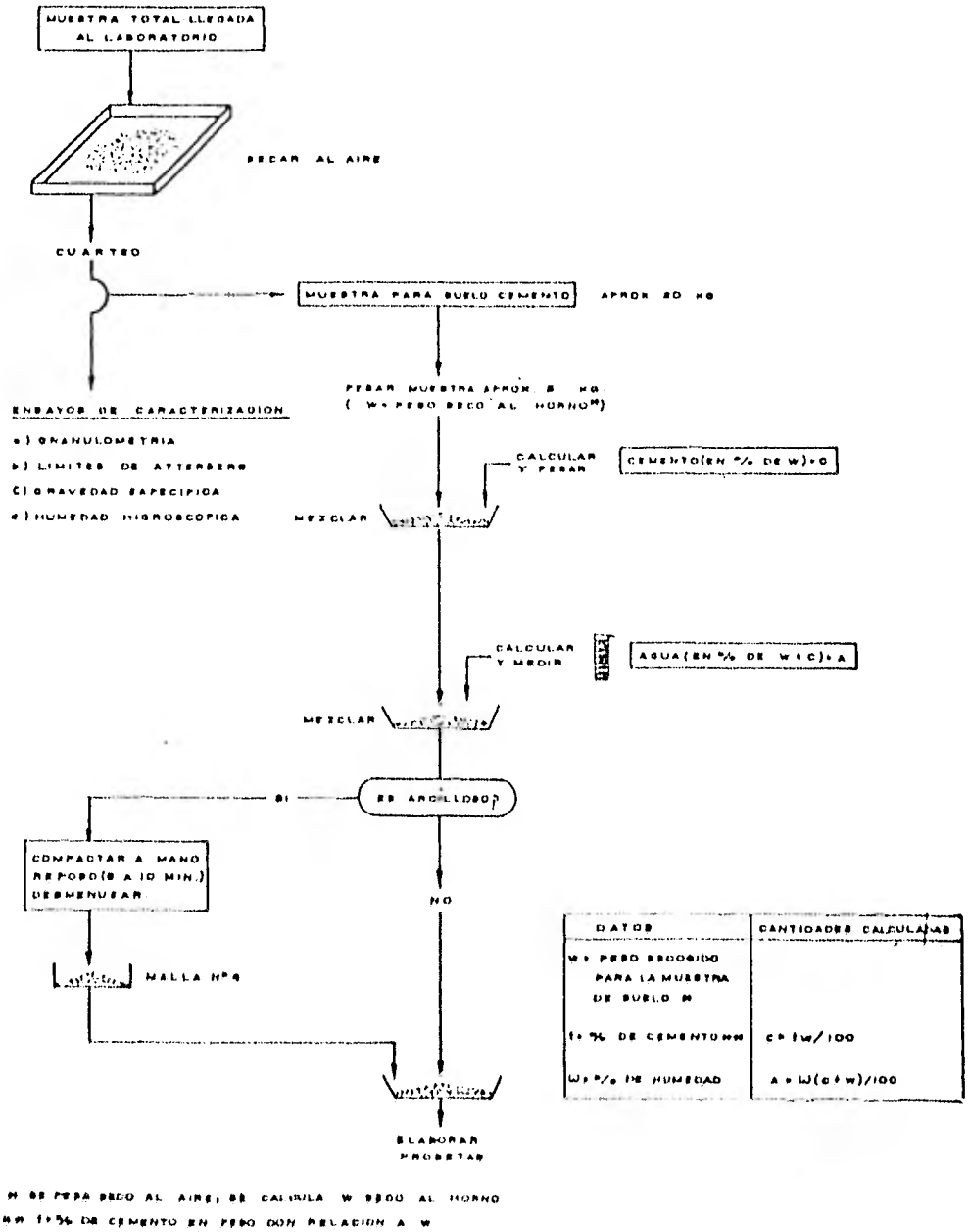
DIAGRAMA DE FLUJO EN EL LABORATORIO



A Usualmente las especificaciones limitan a 3" el tamaño máximo de agregado para bases granulares, suelo cemento etc. En tal caso el material retenido en ese tamiz se pesa pero no se tiene en cuenta en los cálculos de granulometría (Debe descontarse del peso total, W, de la muestra.)

DIAGRAMA No 2

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PREPARACION DE MUESTRAS PARA COMPACTAR PROBETAS DE SUELO-CEMENTO (AASHO-ESPECIFICACIONES T134 Y T135) METODO A- PARA MATERIAL QUE PASA 100% LA MALLA No 4



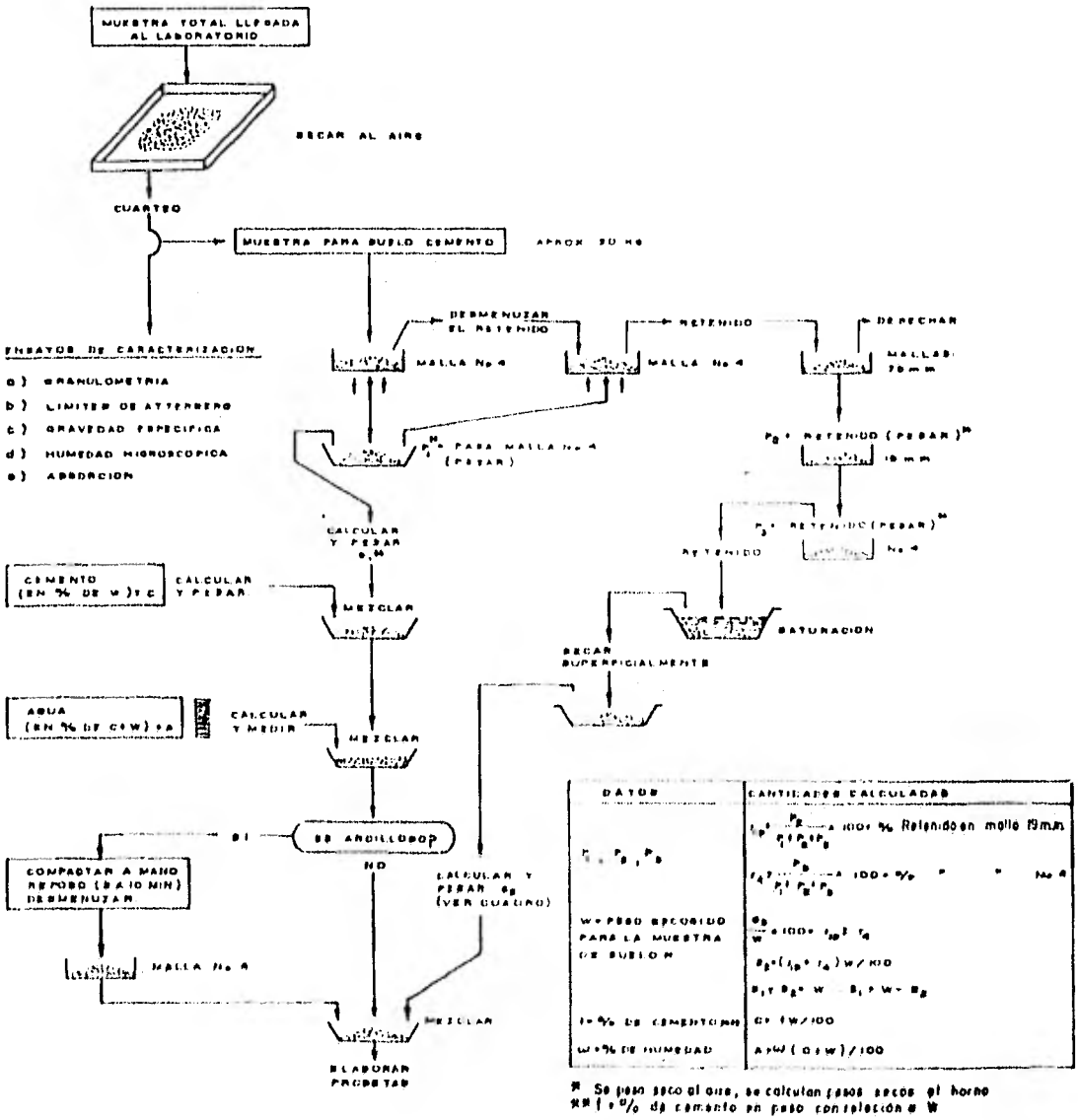
DATOS	CANTIDADES CALCULADAS
W = PESO SECO DE LA MUESTRA DE SUELO M	
f = % DE CEMENTO**	C = f W/100
W = % DE HUMEDAD	A = W(C+W)/100

M SE PESA SECO AL AIRE, SE CALCULA W SECO AL HORNO

** f = % DE CEMENTO EN PESO CON RELACION A W

DIAGRAMA No 3

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PREPARACION DE MUESTRAS
PARA COMPACTAR PROBETAS DE SUELO-CEMENTO
(AASHO-ESPECIFICACIONES T134 Y T135)
METODO B- PARA MATERIAL CON RETENIDO EN LA MALLA No 4



CAPITULO IV

PROCESAMIENTO Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

La construcción del suelo cemento puede hacerse mediante varios métodos, siendo los resultados equivalentes. -- Las diversas operaciones y su secuencia son las mismas y la - diferencia está en el equipo por usarse.

Existe diversidad de equipos que van desde los más- elementales y manuales, pasando por los arados, mezcladoras - de pasadas multiples mezcladoras de una sola pasada, hasta la planta viajera Vögele que permite un acabado total incluyendo la compactacion. También es muy utilizada y compite favorablemente en grandes obras la planta mezcladora de tipo estacionario.

Como se vé, el suelo cemento no presenta dificultades por las diferentes posibilidades de equipos por usar, yaque su diversidad facilita que la construcción pueda hacersehasta con máquinas sencillas, de las usadas normalmente en -- granjas y haciendas, lo cual permite que este material se use con ventajas económicas en la construcción de una buena via - lidad rural.

A continuación se describen los principales proce - dimientos y equipos:

ARADOS, RASTRAS Y MOTONIVELADORAS.- El sistema de -

hacer suelo cemento por medio de arados, rastras de discos,- cultivadoras y motoniveladoras es el mas antiguo que se conoce el número de unidades de equipo necesario para un determinado rendimiento diario depende del tipo de suelo que se - desea estabilizar los suelos cohesivos, de dificil pulveración necesitan mayor número de unidades cultivadoras y rastras para pulverizar completamente el suelo.

El proceso para construir una base o sub-base de - suelo cemento por medio de este equipo puede resumirse en -- las siguientes operaciones:

IV.1.- PREPARACION INICIAL DEL SUELO QUE SE VA A ESTABILIZAR

Cuando se va a estabilizar la subrasante de una -- carretera calle pista etc. la preparación inicial del suelo- consiste en la conformación cuidadosa de la superficie la que debe rematarse con exactitud de acuerdo con los pendientes - peraltes y bombeos establecidos en los planos este trabajo - debe hacerse como si se tratara del acabado final de la ca-- rretera, porque de el depende la forma final de la superfi-- cie.

Primeramente se fijarán las estacas guias para demarcar la zona que se va a trabajar, y orientar a los operadores. Cuando se use material proveniente de prestamos, se - colocará sobre la subrasante la cantidad necesaria para ob -

tener al espesor de suelo cemento exigido en los planos y especificaciones. El volúmen exacto de material, puede determinarse mediante el uso de cajas dosificadoras de camellón.

El volúmen suelto del material que se va a estabilizar se calcula utilizando la densidad que tendrá el suelo-cemento compactado, al porcentaje de cemento y la densidad - seca del suelo suelto.

Por ejemplo: Supongase que se va a construir un -- suelo cemento cuya densidad máxima de laboratorio es 1,850 - kg/m^3, las especificaciones piden una compactación en el -- campo de 100% de la densidad máxima se va a usar un 8% de -- cemento sobre el peso seco del suelo, una medición de la cantidad seca del suelo en estado suelto, dio por resultado -- 1,330 Kg/m^3.

Peso seco del suelo contenido en 1 m^3 - de suelo. Cemento - compacto.....$\frac{1,850}{1,080} = 1,713$ Kg.

Vol. de suelo suelto para hacer 1 m^3 de - suelo-cemento compactado.....$\frac{1,713}{1,330} = 1.29\ m^3$

IV.2.- PULVERIZACION DEL SUELO.

En el caso que se vaya a estabilizar una superficie existente, el próximo paso es su escarificación hasta una profundidad de 3 cm menor que la especificada como espesor. La profundidad total de estabilizacion se alcanza durante el subsecuente proceso de pulverización y mezclado.

Cuando se trate de materiales de préstamo no hay que hacer ninguna escarificación porque el material viene suelto.

En muchos casos de estabilización con cemento, el trabajo de pulverización se reduce casi a nada, debido a que se trata de suelos limosos o arcillosos, la pulverización es una fase crítica del proceso, llegando a consumir una buena parte del costo del trabajo.

Las normas sobre estabilización exigen generalmente que todo el material pase el cedazo de 1' y que un mínimo de 80% pase el cedazo no. 4 excluyendo la parte rocosa del suelo.

Hay suelos que forman terrones muy duros cuando estan secos, en estos casos suele haber un contenido de humedad optimo para ablandar los terrones. Si el material es de este tipo, conviene mojarlo, mezclarlo bien, dejarlo reposar y pulverizarlo al día siguiente. A medida que aumenta el contenido de arcilla en un suelo, la humedad para la pulverización se -

va haciendo mas crítica. Los suelos más pesados cuando tienen un contenido de humedad cerca del límite de encogimiento, se-contraen y son dificiles de desterronar.

Cuando el contenido de humedad se acerca al límite-plástico, el suelo puede cortarse facilmente pero los frag -- mentos vuelven a unirse inmediatamente. Esto se logra adecuadamente por medio de arados de discos, suficientemente grandes para penetrar hasta la profundidad que se va a estabili - zar, se voltea el material para exponer la parte inferior y - pulverizarla por medio de las cultivadoras giratorias. El arado debe trabajar primero del centro de la faja que se esta -- pulverizando hacia los lados, volteando el material hacia el-centro, luego volteará el material hacia los lados, trabajando de los bordes hacia el centro. En esta forma se continúan-las operaciones hasta que todo el suelo haya sido debidamente pulverizado. El cemento puede mezclarse eficientemente con el suelo húmedo. La humedad limite para un eficiente mezclado varía con el tipo de suelo, pero generalmente, está por debajo-de la humedad óptima de compactación. Conviene poner en el suelo pulverizado la mayor cantidad de agua posible el día anterior a la incorporación del cemento. En esta forma se logra - una distribución uniforme del agua dentro de la masa, al mismo tiempo que se disminuye la cantidad de agua que hay que -- agregar después que el cemento ha sido incorporado, obtenién-

dose una aceleración mayor en las labores de mezclado, con la consiguiente reducción en el tiempo necesario para completar- esta operación, lo cual es una consecuencia de la disminución del número de camiones -tanques que tienen que pasar por la - zona donde está el equipo trabajando.

IV.3.- AGREGADO DEL CEMENTO.- El material pulverizado y mojado como se ha indicado, se extiende y se conforma con motoniveladoras de manera que forme una superficie lisa.

Debe tenerse cuidado de no producir ningún desplazamiento de material durante esta operación. La aplicación del- cemento puede hacerse con camiones cargadores a granel equi-- pados con descargadores graduados. En los descargadores se -- puede regular la cantidad de cemento que debe regarse en de-- terminada area, una práctica que se puede adoptar, cuando no- hay descargador graduado, es la de asignarle a cada camion -- una determinada longitud de carretera para que efectue la descarga de su contenido. El cual se conoce exactamente en este- sistema, el camión se mueve a una velocidad lenta, en el sec - tor asignado, dejando tras de sí hilos de cemento, estos hi - los, o pequeños camellones, se distribuyen paralelamente al - eje de la faja en proceso, e igualmente distanciados a todo - el ancho de la vía.

Los camiones se retiran una vez depositado el cemen

to. Por medio de una rastra de clavos, se termina el esparcido de cemento sobre la superficie de modo que forma una capa de espesor uniforme.

El cemento debe acarrearse al área de trabajo en camiones de volteo equipados con lonas, para evitar que el material se vuelve con el viento y para protegerlo de las llu --- vias. La distribución también puede hacerse con espaciadores mecánicos (spreaders), que se acoplan a la parte trasera del camión.

El camión va levantando la caja al mismo tiempo que marcha a velocidad lenta y uniforme para que el distribuidor vaya dejando una capa de cemento uniforme y del espesor re -- querido para obtener el porcentaje especificado.

El cemento también puede manipularse en sacos, es - tos se colocan en hileras transversales a la faja que se está procesando, distanciados convenientemente para producir la -- concentración necesaria. Los sacos se rompen y su contenido - se vacía sobre la superficie a modo de formar hilos transversales a la faja en proceso. Luego por medio de rastras de clavos u otro dispositivo conveniente se riega el cemento para - formar una capa uniforme sobre el suelo.

Cualquiera que sea el método de distribución que se use, el fin perseguido es lograr una capa pareja de cemento,- para que cuando este material se incorpore dentro de la masa-

del suelo, resulte uniformemente distribuido. generalmente el cemento viene especificado en base a un porcentaje sobre el - peso seco del suelo. Este porcentaje puede convertirse para - conveniencia en la construcción, en porcentaje sobre el volúmen final de suelo-cemento compactado.

La fórmula que da el porcentaje en volúmen en fun - ción del peso unitario de suelo-cemento compactado y del porcentaje de cemento en peso es la siguiente:

$$\% \text{ (vol.)} = \frac{100 \times D \times C}{1{,}505\ (100+C)}$$

En donde:

D: Peso unitario del suelo-cemento compactado kg/m^3

C: Porcentaje del cemento sobre el peso seco del -- suelo

$1{,}505\ kg/m^3$: peso unitario del cemento en polvo.

El Grafico 1 es la expresión gráfica de esa fórmula y permite realizar facilmente la conversion de porcentaje en- peso a porcentaje en volúmen.

IV.-4 MEZCLADO DEL SUELO Y EL CEMENTO.

Una vez que se ha distribuído el cemento sobre la - superficie, en la forma indicada en incisos anteriores, se -- procederá a mezclarlo o incorporarlo uniformemente dentro del suelo. Por medio de cultivadoras giratorias se puede lograr -

este propósito.

Un arado de discos de suficiente tamaño para alcanzar la profundidad total del suelo, puede servir para voltear el material de manera que la parte inferior quede en la superficie. El arado trabajará en la primera pasada del centro hacia los bordes, volteando el material hacia el centro. Las -- cultivadoras y rastras continuaran el mezclado sobre el material así volteado.

Una segunda pasada del arado marchando de los lados hacia el centro y volteando el material hacia los lados servirá para llevar el material a su posición original. El proceso se debe continuar hasta que todo el material adquiera un co - lor uniforme. Especial cuidado debe ponerse en el control de- la profundidad para evitar que el arado corte un espesor ma-- yor que el fijado. Esto es sumamente importante porque el cemento a medida que va reaccionando con el suelo (reacción inicial, modificación del suelo), lo hace menos plástico y por - lo tanto mas suave y ligero para su manejo y entonces el arado tiende a enterrarse, usando rastras suficientemente gran - des como para cubrir toda la profundidad del tratamiento, puede prescindirse del arado, ya que la rastra mezclará el ce -- mento en todo el espesor.

IV.- 5 APLICACION DEL AGUA Y CONTINUACION DEL MEZCLADO.

Una vez que se ha incorporado el cemento al suelo, se procederá a aplicar el agua necesaria para llevar la mezcla a la humedad de compactación. En realidad la aplicación del agua y el mezclado son dos operaciones que se solapan -- una sobre la otra, generalmente se empieza a aplicar el agua antes de que el mezclado seco haya terminado. La aplicación- del agua debe hacerse a la mayor velocidad que permitan el - suelo y el equipo, cada aplicación de agua debe ser inmediatamente seguida por las operaciones de mezclado. Se continuará mezclando y aplicando agua hasta que todo el suelo, pre - sente un color uniforme y el contenido del agua sea el óptimo de compactación.

Conviene usar un método eficiente y rapido para - la determinación de la humedad tanto para saber cuanta agua- debe añadirse al comienzo de la aplicación final del agua -- como para saber si la mezcla tiene la cantidad de agua co -- rrecta para la compactación el aparato llamado "Spedy" que - trabaja con carburo de calcio, ha sido usado con éxito en -- venezuela; Bien calibrado y correctamente usado, proporcio-- na una gran ayuda en la determinación de la humedad.

Mediante mediciones periodicas del contenido del - agua se logra que los caporales adquieran la habilidad de -- determinar el contenido óptimo para la compactación, amasan-

do en la mano una porción de la mezcla.

Es preferible que la mezcla esté un poco húmeda a- que este seca, antes de comenzar la compactación deben ha -- cerse zanjas o huecos de prueba en la mezcla suelta para cer cionarse que el mezclado del cemento y del agua se ha logra- do en todo el espesor.

IV.- 6.JUNTAS DE CONSTRUCCION.

Un aspecto muy importante, especialmente cuando se usa este tipo de construcción es el de la elaboración de las juntas entre una sección nueva y una ya procesada.

Existen varios métodos para lograr un buen mezcla- do y un espesor correcto de suelo cemento en las juntas de - construcción.

Algunos de estos procedimientos, como el que usa el cuarton de madera y el papel, son un poco complicados (ver es pecificaciones de la AASHO). Posiblemente se justifiquen cuan do el suelo cemento va a ser cubierto con una delgada capa -- asfáltica.

Uno de los procedimientos que se ha usado en vene - zuela es el siguiente:

Al final del día de trabajo o de una sección de ba- se, se marca con dos estacas colocadas a los lados, el extre- mo de la faja procesada cuando se tiene lista para la compac-

tación, la sección siguiente se corta con una motoniveladora trabajando trasversalmente o a mano si la motoniveladora no-puede trabajar, una cara vertical en linea recta perpendicular a las fajas y a unos 30 cm. mas atras del extremo marcado por las estacas.

Se descubre la subrasante en una longitud de un -- metro de centro de la línea cortada y botando el material movido. La subrasante debe conformarse bien de acuerdo con las líneas y pendientes de los planos; teniendo cuidado de no romper el borde superior de la linea cortada se trae con palas-de manos, mezlca lista, y se construye una rampa adyacente - al corte, esto para evitar que los cauchos de la motonivela-dora rompan la línea cortada.

Con motonieveladoras se arrima suficiente material procesado para llenar la zanja de un metro de ancho.

Debe tenerse especial cuidado de compactar bien el material adyacente a la junta y no pisar el procesado el día anterior. Naturalmente algún equipo pasará sobre el extremo-de la sección terminada. Pero debe procurarse que sea el mínimo y siempre más liviano que el equipo que se uso en la -- compactación, generalmente cuando se construye una sección - adyacente a otra construida el día anterior, no hay necesi - dad de colocar ninguna capa de arena o tierra, para protejer la superficie contra el daño de las ruedas de la motonivela-

dora.

IV.- 7 COMPACTACION Y PERFILADO SEGUN LOS PLANOS.

La compactación se realiza con el equipo que mas -- convenga a la textura del suelo que se está estabilizando los rodillos pata de cabra son mas eficientes en suelos finos. -- Las aplanadoras de cauchos son mejores cuando se trata de suelos granulares, cuando los rodillos pata de cabra hayan compactado las dos terceras partes del espesor total y quede -- aproximadamente el tercio superior flojo, es conveniente hacer una conformación aproximada con motoniveladoras. Los rodillos deben trabajar junto con la motoniveladora para compactar aquellas partes donde el espesor flojo sea muy grande en- esta forma se reduce a un mínimo la conformación final. Los rodillos continuarán trabajando después de la conformación inicial de que se ha hablado hasta que quede un espesor flojo de- 3 cm. se retiran entonces los rodillos y se procede a la conformacion final.

Algunas veces hay que regar algo de agua durante esta operación para compensar las pérdidas por evaporación la - compactación y alisado de la capa superficial se hace con rodillos de caucho.

IV.- 8 ESCARIFICACION SUPERFICIAL.

Los rodillos pata de cabra; los de neumáticos y las

ruedas de los motoniveladoras dejan siempre en la superficie los que se llaman planos de compactación.

Esto no es otra cosa que una laminación de la porción superior del suelo-cemento que se manifiesta en forma de "conchas" superficiales de uno o dos centímetros de espesor- separadas del resto del material.

Resulta muy dificil que estas láminas se adhieran- bien al resto del espesor; para corregir el defecto y evitar que la superficie se desconche, es necesario romper las láminas y escarificar superficialmente el área de laminación en- la parte firme, luego se recompacta el material superficial, teniendo cuidado de aplicar ligeramente agua.

Lo que se logra con este proceso es trabar el material superficial dentro del acanalado producido en la parte - inferior y evitar que se desplace hacia los lados al paso de los rodillos y forme los planos de compactación.

La escarificación superficial puede hacerse con una rastra de clavos que puede ser construida en la obra, lo im-- portante es que los clavos en no. suficiente (5 cm de separación aproximadamente), penetren un poquito más abajo que los- planos de compactacón. Esto se logra con un peso apropiado -- de la rastra, o con un sistema que impida que los clavos va - yan más allá de esa distancia.

Cuando el peso de la rastra es el regulador de la -

profundidad de escarificación este debe estar relacionado con el tipo de suelo-cemento que se esta procesando.

Las bases de suelo-cemento construidas con materiales-granulares deben terminarse de modo que en la superficie no - queden piedras sobresalientes, alisando la superficie antes - de la compactación final con rastras de cepillos segregando - el material con motoniveladoras o con cualquier otro método que bote la piebra grande y deposite en la superficie una capa -- uniforme de material fino.

Este es un proceso similar al que se realiza cuando -- se termina un engranzonado con material grueso.

Para evitar que queden las marcas de los clavos de la- rastra, se puede usar una cadena pesada que sea tirada por -- aquella o algún sistema barredor-soplador. Este último es muy recomendable en el suelo-cemento con piedras y polvo, de este modo se elimina el polvo que en el caso de revestimiento de - suelo-cemento con carpetas bituminosas delgadas, pueda hacer- que la carpeta no se adhiera a la base de suelo cemento.

IV.-9 ALISADO FINAL.

Después del rastreo superficial se procede a la com- -- pactación y alisado final (la superficie se conforma de acuer

do con las líneas y pendientes de los planos). se acostumbra usar rodillos de neumáticos primero y lisos de hierro al final.

El suelo cemento extendido y compactado debe mantenerse humedo durante 7 días. El mejor método para conservarla humedad es la aplicación de una película bitominosa.

Los mejores asfaltos para este fin son los de curado rápido, la aplicación asfáltica debe hacerse después de una aplicación de agua, para evitar, la penetración del asfalto y cuando la superficie este humeda sin tener agua libre.

Antes de la aplicación del agua se barrerá y soplará la superficie a fin de eliminar cualquier material suelto.

Las especificaciones generalmente piden que la superficie construida se mantenga libre de tránsito durante 7 días de cura, esta es una condición ideal que debe procurarse, pero que no quiere decir que el suelo-cemento no puede usarse en aquellos casos en que la superficie no puede mantenerse libre de tránsito.

Vehículos de peso inferior al equipo usado en la compactación, pueden transitar inmediatamente después de la terminación del suelo-cemento.

En el caso que se requiera por transito, es reco -

mendable un riesgo de arena fina sobre la capa de suelo asfáltico.

Debe controlarse la velocidad del tránsito para evitar que vehículos veloces dañen la superficie fresca.

Existe la creencia de que para construir suelo-cemento se necesita gozar de tiempo seco. Esto no es cierto ya que ha habido experiencias en que se ha construido este material en las condiciones mas adversas del clima.

Con un poco de método y sistematización puede trabajarse durante tiempo lluvioso, en este caso se acortan las secciones de trabajo a manera de acelerar el proceso correspondiente a cada sección y disminuir el riesgo de que un chubasco violento haga perder algún cemento extendido.

IV.-10 EQUIPO UTILIZADO.

ESTABILIZADORAS DE MULTIPLES PASADAS.- El método descrito en incisos anteriores es el más antiguo que se conoce podría llamarse rudimentario pero de este procedimiento y de los equipos empleados se han derivado las mejores máquinas usadas actualmente en la estabilización de suelos y además aclara como puede construirse suelo-cemento con equipos elementales.

Una de las máquinas de bastante uso en trabajos de estabilización es la del tipo llamada "De Multiples Pasadas"

esta estabilizadora consiste esencialmente de un rotor provisto de dientes, que gira y penetra dentro del suelo pulverizándolo y mezclandolo intimamente con el aditivo.

El rotor esta ubicado dentro de una caja y todo el conjunto va acoplado en la parte de atras de un tractor de ruedas neumáticas que es la fuente de poder para el movimiento giratorio del rotor y para su desplazamiento sobre la superficie.

Estas estabilizadoras se llaman de multiples pasadas porque realizan el mezclado en varias aplicaciones; algunas dentro del tambor de mezclado.

Las más sencillas realizan solo el mezclado y el agua se aplica con camiones regadores.

El orden de los pasos cuando se trabaja con este tipo de máquina es el siguiente:

1) Se escarifica el espesor total del suelo que se va estabilizar se moja hasta llevarlo a la humedad óptima de compactación y se conforma en una superficie regular de acuerdo con los planos.

2) Se divide la superficie que se va a estabilizar en fajas convenientes para trabajarlos. Este ancho depende naturalmente del ancho de la estabilizadora y del número de máquinas de que se disponga.

3) Se esparce el cemento sobre la faja que se va a-

tratar usando un metodo apropiado que produzca una distribu - ción uniforme de este material sobre la superficie y a la velocidad necesaria para obtener la concentración deseada.

4) Las estabilizadoras de múltiples pasadas reali - zan la primera pasada trabajando en tren, siempre una detrás de otra de manera de cubrir en una sola pasada todo el ancho de la faja en proceso. El paso de una estabilizadora debe solapar, o ser solapado por el paso de otra, para evitar que -- queden tiras sin mezclar.

Las estabilizadoras deben mezclar el espesor com -- pleto que se desee estabilizar.

5) Las estabilizadoras realizaran subsiguientes pasadas hasta que el mezclado sea completo y uniforme.

6) Mientras se está trabajando en una faja con las estabilizadoras, en las fajas adyacentes se esta esparciendo cemento y adelante se está preparando el material conformán-- dolo, escarificandolo, mojandolo y conformandolo, de nuevo en una superficie regular.

7) El proceso de compactación rastrillado, acabado final y curado es el mismo citado anteriormente.

ALGUNAS DE LAS VENTAJAS QUE OFRECEN LAS ESTABILIZADORAS DE MULTIPLES PASADAS SON:

1) Poco costo relativo del equipo

2) Simplicidad del manejo de las máquinas

3) Alto Rendimiento relativo

4) Obtención de una eficiente pulverización

5) Obtención de una distribución uniforme del cemento

ALGUNAS DE LAS DESVENTAJAS SON:

1) Necesidad de un estricto control en la profundidad del corte

2) Aplicación del agua no muy precisa.

3) Pérdida de agua por evaporación

4) Necesidad de trabajar en tren muy bien acoplado

ESTABILIZADORAS DE UNA PASADA.

Esta clase de máquina también llamada de tipo plano, en oposición a la de camellón representa la concepción mas acertada y el desarrollo mas completo en maquinarias de estabilización de suelos, la máquina consiste esencialmente de una caja en donde estan alojados una serie de rotores que realizan el trabajo de estabilizacion estos son; de adelante hacia atras: un rotor con cuchillas cortadoras de alta velocidad; un rotor de paletas, de bajo velocidad, que gira en sentido contrario al cortador y uno o 2 rotores mezcladores de amasado.

El rotor cortador o de cuchillas al girar a gran -

velocidad corta y pulveriza el suelo hasta la profundidad -- deseada. El material es tirado violentamente hacia atras sobre el rodillo de paletas anchas. Este rodillo girando a una velocidad mas lenta y en sentido contrario al cortador, produce un movimiento de agitación hacia adelante y hacia atras en el material pulverizado al mismo tiempo las paletas emparejan el fondo del corte de manera que quede una superficie- plana; el material estirado por el rodillo de paletas en --- forma de una delgada lámina que pasa a través de las regaderas de agua. En esta forma el líquido se incorpora al suelo- desde el principio. El material que entonces en el rodillo - o rodillos amasadores los cuales hacen el mezclado final del suelo humedo.

El flujo de material hacia atras es regulado por - la compuerta trasera, de manera que la maquina va dejando -- tras sí una capa uniforme de material humedo listo para la - compactación.

La estabilizadora de una sola pasada realiza al -- mismo tiempo escarificación, pulverización, mezclado seco, - humedecimiento, mezclado humedo y esparcido.

El proceso de trabajo con esta máquina, es el si - guiente:

1) La superficie qe se va a estabilizar se conforma exactamente a las líneas y pendientes de los planos, cuando

se va a procesar material de préstamo, se le coloca sobre -- la subrasante compactada y conformada de acuerdo con los planos.

El suelo se deposita por medio de camiones con dosificadores adaptados o bien las camionadas debidamente es-- parcidas son" acamellonadas" y la sección transversal del -- camellon emparejada mediante un escantillon.

El material así depositado se extiende y conforma- en una superficie de acuerdo con las lineas de los planos .

2) Se divide la zona en fajas convenientes de --- acuerdo con el ancho que abarca la estabilizadora.

3) Se aplica el cemento sobre la faja que se va a- procesar usando alguno de los métodos mencionados cuando se- trato de arados y rastras.

4) Se pasa la máquina por sobre las fajas con el - cemento esparcido encima.

5) Se procede a la compactación inmediatamente después del paso de la estabilizadora.

6) El rastrillado de la superficie y el remate final se haran tal y como se explicó en el método de rastras y arados.

Una variante de este tipo de mezcladora es la planta viajera vögele que mediante una sola pasada rotura, pul-- veriza, mezcla, nivela, esparce y compacta la mezcla de sue-

lo-cemento dejando completamente lista la base en condiciones de recibir el curado.

La máquina lleva en su parte final un sistema de -- apisonadoras neumáticas con las que hace la compactación.

Ventajas del sistema:

1) precisión en la profundidad del corte
2) Perfecta pulverización
3) Perfecto y exacto mezclado
4) Aplicación del agua en la medida correcta
5) Economía en la cantidad de agua debido a la casi eliminación de la evaporación.
6) Corto tiempo en el procesado del material ya que este puede compactarse inmediatamente después -- de ser humedecido.
7) Menor peligro de perdida de cemento debido a la- lluvia (cuando se trabaja con mas tiempo) pues - el esparcido de este material se puede ir hacien do justamente decante de la estabilizadora y so- lo en la fja que se va a procesar.
8) Utiliza reducido personal
9) Gran rendimiento

Desventajas:

1) Maquinaria costosa
2) Requiere operador competente y especializado.

MEZCLADORAS DE CAMELLON.- El tipo de planta mezcla-- dora viajera que se usa para hacer mazclas asfálticas en frio-- sobre la carretera, es usada para hacer suelo-cemento.

En este sistema, el material que puede ser suelo nativo o material de préstamo se aplica en uno o varios camellones a lo largo de la faja que se va a procesar.

Los camellones son conformados exactamente a una determinada área transversal, por medio de un escantillón arrastrado por una motoniveladora o un tractor agrícola. El área -- transversal de los camellones depende de la capacidad de la máquina que se va a usar y su separación transversal del espesor- del suelo-cemento que se va a construir.

Como las máquinas mezcladoras viajeras no realizan - una buena pulverización del suelo, es imprescindible realizar - esta operación con equipo adecuado previamente al uso de la mezcladora especialmente cuando se trabaja con suelos plásticos.-- Este equipo puede ser "pulvimezcladoras" rastras o cualquier -- otro equipo adecuado.

Una vez que el material ha sido pulverizado, se apila en camellones, como se ha explicado anteriormente el cemento se aplica el camellon mediante camiones cargadores a granel- equipados con descargadores adecuados.

El camellón se parte longitudinalmente en dos para--

dejar una zanja en el medio, donde el camion deposita el cemento.

La mezcladora viajera toma el camellón lo mezcla - y le aplica la cantidad correcta del agua, el agua la toma - la máquina de un tanque o de camiones cisterna que remolca - mientras va trabajando en la misma forma que se procede cuando se trabaja con asfalto.

Mediante la sincronización de la velocidad de la - máquina y del gasto de la bomba de agua, este tipo de máquinas deja tras, sí el camellón de suelo cemento que debe ser- esparcido con motoniveladoras, compactado, etc. El resto del proceso es como se ha explicado en incisos anteriores.

VENTAJAS DEL SISTEMA:

1) Control exacto del espesor
2) Aplicación correcta del agua y buen mezclado
3) Equipo convencional bastante conocido
4) Buen rendimiento
5) Reducido peligro de pérdida de cemento por lluvias.

DESVENTAJAS:

1) Necesidad de equipo pulverizador
2) Necesidad de usar motoniveladoras para aplicar- el material en camellones y para esparcirlo des

pues de ser procesado.

3) Equipo relativamente costoso.

MEZCLADO EN PLANTA:

Algunas veces se fabrica suelo-cemento en una planta central estacionaria. En este sistema el suelo debidamente pulverizado, en caso de que haya necesidad de ello, es transportado y vaciado dentro de la planta. La dosificación de los componentes; suelo, cemento y agua, se hace por peso o por volúmen.

El mezclado se realiza dentro de un molino de amasado, la mezcla con su humedad óptima ya lista para el extendido y la compactacion se transporta al sitio mediante camiones de volteo. El extendido del material puede hacerse vaciando los camiones a distancias adecuadas para producir el espesor compactado del diseño y extendiendo las camionadas con motoniveladoras o por medio de una esparcidora del tipo de las usadas para extender mezclas bituminosas en caliente (Finisher). El segundo método tiene la ventaja que deja la superficie lista para ser compactada, requiriendo muy poco trabajo para el acabado final.

Las labores de compactación acabado final y curado son las mismas a las explicadas en parrafos anteriores.

VENTAJAS DEL SISTEMA:

1) Mezclado correcto y completo
2) Dosificación exacta de los componentes
3) Centralización de las operaciones de mezclado
4) No hay peligro de perdida de cemento por mal - tiempo
5) Economía en la aplicación de agua ya que practicamente no hay pérdida por evaporación
6) La compactación es casi inmediata despues del- humedicimiento del cemento
7) Buen rendimiento

DESVENTAJAS:

1) Equipo costoso
2) Necesidad de pulverización previa cuando se -- procesan suelos plásticos
3) Aumento de los acarreos cuando existen varios- préstamos de material aceptable a lo largo de- la vía que se está estabilizando

Existen plantas de tipo estacionario que pueden - ser transportadas con suma facilidad . En este tipo de má - quina la desventaja no. 3 se reduce notablemente.

IV.- 11 CALCULO DE LA DISTRIBUCION DEL CEMENTO.

Las especificaciones y planos indican en cada caso, la cantidad del cemento por usar, la que se especifica en por centaje por volúmen referido al de la mezcla compactada. Se - establecen así diferentes valores, tales como 5% de cemento - por metro cúbico de mezcla compactada. Cuando el contenido -- de cemento se especifica por peso con respecto al del suelo - seco (secado en estufa), puede reducirse a volúmen con respec to al del suelo-cemento compactado si se conoce la densidad - (véase gráfico No. 1)

Para convertir el contenido de cemento especifica - do en porcentaje, a la cantidad de cemento a distribuir por - metro cuadrado, o por metro lineal se usan los gráficos nume- ros 2 y 3 y la tabla no. 1

Ejemplo No. 1 Cemento a distribuir a granel.

Supongamos que se trata de una mezcla de suelo-ce - mento con 8% de cemento por metro cúbico de mezcla compacta - da al espesor de la capa, será de 15 cm. y se dispone de un - camion capaz de llevar 3,200 kg. de cemento a granel.

Se quiere conocer la longitud en que debe distri -- buirse la carga de cemento, para obtener el contenido de ce-- mento del 8% en volúmen, en un ancho de 2.40 m.

Procedimiento:

1) Entrando en el gráfico 2, por el lado izquierdo con el contenido de cemento especificado (6%) interceptamos la recta correspondiente al espesor 15 cm.

2) Desde este punto seguiremos verticalmente hasta interceptar la recta representativa del ancho de distribución escogido, en este caso 2.40m.

3) Desde esta intersección seguimos horizontalmente hasta el extremo derecho del gráfico donde leeremos la cantidad de cemento por distribuir por metro lineal en este caso 43.2 kg/m.l.

4) Dividiendo la carga total del camión por la cantidad de kg. por usar por metro lineal, hallamos la longitud en que debe distribuirse la carga de cemento a granel, y que para este caso es de 78.7 metros lineales.

Ejemplo No. 2 DISTRIBUCION DEL CEMENTO EN SACOS.

Se trata de estabilizar una base de 6 m de ancho con 10% de cemento en volúmen por m^3 de una base compactada de 15 cm. de espesor.

Se debe averiguar la distribución de los sacos sobre el terreno de modo que las distancias transversales y longitudinales entre ellos sean lo mas iguales posibles.

PRIMER TANTEO:

1) En la tabla 1, leemos la cantidad necesaria de -

cemento que debe distribuirse por m^2, para un espesor de 15 cm y un contenido de cemento del 1.0% por volúmen: 22.5 Kg/m^2 o -- también 0.530 sacos por m^2

2) Si adoptamos cinco filas longitudinales de sacos- a lo largo de la calzada, el ancho de cada fila será de 6/5 -- = 1.20 m.

3) Entramos en el gráfico no. 4 con el dato 0.53 --- saco por m^2 e interceptamos verticalmente la curva de 1.20 m - Desde este punto y horizontalmente interceptamos el eje de las ordenadas en donde hallamos la separación longitudinal entre - sacos y que sería en este caso de 1.58 m.

4) Hemos partido de la premisa de lograr la menor -- diferencia posible entre las distancias transversal y longitudinal lo que no hemos logrado (1.20 m y 1.50 m respectivamente)

Para conseguirlo haremos un segundo tanteo:

1) Adoptamos dividir la base de 6 m en 4 franjas -- transversales que nos vendrían de 1.5 m de ancho cada franja.

2) Entramos horizontalmente en el gráfico numero 3 - con el dato conocido de 0.53 sacos por metro cuadrado e interceptamos la curva de 1.50 m, y horizontalmente a partir del -- punto anterior, hallamos en las ordenadas la distancia longi-- tudinal entre sacos, que debe ser para este caso de 1.25 m.

3) Cada saco ocupa el centro de un rectángulo hipo-- tético de 1.5 x 1.25 m y sobre esta área deberá de extenderse-

lo más uniformemente su contenido.

4) La distribución en el terreno se organizará según el gráfico no. 5

CONTROL DE CEMENTO DISTRIBUIDO:

Para asegurar que toda la mezcla tiene el porcenta - je de cemento especificado debe controlarse su distribución.

Cuando se hace a granel su distribución puede contro larse de la siguiente forma:

1.- Colocando una lona que puede ser de un metro cua drado delante del distribuidor de cemento una vez hecha la dis tribución se cuenta la lona con cuidado y se pesa el cemento - distribuido en ella.

2.- Medir el área o también la longitud de la calza- da sobre la que el camion distribuye una cantidad conocida de- cemento.

En el ejemplo 1 se ha supuesto que 3,400 kg de ce -- mento deben cubrir un area de 78.70 x 2.40 m o sea 188.88 m^2 - si el camion al distribuir solamente se desplaza 73.50 m quie- re decir que está regando $\frac{3,400}{73.5 \times 2.40} = 19.27$ kg/m^2

Este valor es mayor que el de 18 kg/m^2 que se exigía en el ejemplo no. 1 y en consecuencia el distribuidor de cemen to debe ajustarse para que riegue menos cemento por m^2.

Cuando el cemento a granel se distribuya mecanicamen

te sobre un camellón de suelo, la cantidad regada se comprueba colocando una demarcación exacta, de un metro lineal sobre la corona del camellón y luego de extendido el cemento se recoge la cantidad regada entre las 2 marcas y se pesa.

El procedimiento da directamente la cantidad de cemento distribuido por metro lineal.

Para ajustar los distribuidores de cemento deben -- hacerse varias pruebas de este tipo y de este modo obtener -- la cantidad de cemento correcta por distribuir.

Es necesario verificar constantemente las operaciones de distribución del cemento.

TABLA No. 1

CANTIDAD DE CEMENTO A DISTRIBUIR POR M².

% de cemento en volumen	ESPESOR COMPACTADO EN CM.									
	10		12		15		18		20	
	Kgs.	Sacos	Kgs.	Sacos	Kgs.	Sacos	Kgs.	Sacos	Kgs.	Sacos
4	6.	0.141	7.2	0.168	9.	0.212	10.8	0.254	12.	0.282
5	7.5	0.176	9.	0.212	11.3	0.266	13.5	0.317	15.	0.353
6	9.	0.211	10.8	0.254	13.5	0.317	16.2	0.381	18.	0.423
7	10.5	0.247	12.6	0.296	15.8	0.371	18.9	0.444	21.	0.494
8	12.	0.282	14.4	0.338	18.	0.423	21.6	0.508	24.	0.565
9	13.5	0.317	16.2	0.381	20.3	0.477	24.3	0.572	27.	0.635
10	15.	0.353	18.	0.423	22.5	0.530	27.	0.635	30.	0.705
11	16.5	0.388	19.8	0.465	24.8	0.583	29.7	0.698	33.	0.776
12	18.	0.423	21.6	0.508	27.	0.635	32.4	0.762	36.	0.846
13	19.5	0.458	23.4	0.550	29.3	0.690	35.1	0.826	39.	0.918
14	21.	0.494	25.2	0.592	31.5	0.740	37.8	0.890	42.	0.986
15	22.5	0.530	27.	0.635	33.8	0.795	40.5	0.953	45.	1.06
16	24.	0.565	28.8	0.677	36.	0.846	43.2	1.01	48.	1.160

TABLA No. 2

Contenido de humedad de muestras de 750 gramos referido al peso seco.

Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad
749,0	0,1	729,0	2,9	709,0	5,8	689,0	8,9	669,0	12,1	649,0	15,6	629,0	19,2	609,0	23,2
748,0	0,3	728,0	3,0	708,0	5,9	688,0	9,0	668,0	12,3	648,0	15,7	628,0	19,4	608,0	23,4
747,0	0,4	727,0	3,2	707,0	6,1	687,0	9,2	667,0	12,4	647,0	15,9	627,0	19,6	607,0	23,6
746,0	0,5	726,0	3,3	706,0	6,2	686,0	9,3	666,0	12,6	646,0	16,1	626,0	19,8	606,0	23,8
745,0	0,7	725,0	3,4	705,0	6,4	685,0	9,5	665,0	12,8	645,0	16,3	625,0	20,0	605,0	24,0
744,0	0,8	724,0	3,6	704,0	6,5	684,0	9,6	664,0	13,0	644,0	16,5	624,0	20,2	604,0	24,2
743,0	0,9	723,0	3,7	703,0	6,7	683,0	9,8	663,0	13,1	643,0	16,6	623,0	20,4	603,0	24,4
742,0	1,1	722,0	3,9	702,0	6,8	682,0	10,0	662,0	13,3	642,0	16,8	622,0	20,6	602,0	24,6
741,0	1,2	721,0	4,0	701,0	7,0	681,0	10,1	661,0	13,5	641,0	17,0	621,0	20,8	601,0	24,8
740,0	1,4	720,0	4,2	700,0	7,1	680,0	10,3	660,0	13,6	640,0	17,2	620,0	21,0	600,0	25,0
739,0	1,5	719,0	4,3	699,0	7,3	679,0	10,5	659,0	13,8	639,0	17,4	619,0	21,2	599,0	25,2
738,0	1,6	718,0	4,5	698,0	7,5	678,0	10,6	658,0	14,0	638,0	17,6	618,0	21,4	598,0	25,4
737,0	1,8	717,0	4,6	697,0	7,6	677,0	10,8	657,0	14,2	637,0	17,7	617,0	21,6	597,0	25,6
736,0	1,9	716,0	4,7	696,0	7,8	676,0	10,9	656,0	14,3	636,0	17,9	616,0	21,8	596,0	25,8
735,0	2,0	715,0	4,9	695,0	7,9	675,0	11,1	655,0	14,5	635,0	18,1	615,0	22,0	595,0	26,0
734,0	2,2	714,0	5,0	691,0	8,1	671,0	11,3	654,0	14,7	634,0	18,3	614,0	22,1	594,0	26,3
733,0	2,3	713,0	5,2	693,0	8,2	673,0	11,4	653,0	14,9	633,0	18,5	613,0	22,3	593,0	26,5
732,0	2,5	712,0	5,3	692,0	8,4	672,0	11,6	652,0	15,0	632,0	18,7	612,0	22,5	592,0	26,7
731,0	2,6	711,0	5,5	691,0	8,5	671,0	11,8	651,0	15,2	631,0	18,9	611,0	22,7	591,0	26,9
730,0	2,7	710,0	5,6	690,0	8,7	670,0	11,9	650,0	15,4	630,0	19,0	610,0	23,0	590,0	27,1

TABLA No. 3

Contenido de humedad de muestras de 400 gramos referido al peso seco.

Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad	Peso seco gramos	o/o de humedad
399,5	0,1	389,5	2,7	379,5	5,4	369,5	8,3	359,5	11,3	349,5	14,4	339,5	17,8	329,5	21,4
399,0	0,3	389,0	2,8	379,0	5,5	369,0	8,4	359,0	11,4	349,0	14,6	339,0	18,0	329,0	21,6
398,5	0,4	388,5	3,0	378,5	5,7	368,5	8,5	358,5	11,6	348,5	14,8	338,5	18,2	328,5	21,8
398,0	0,5	388,0	3,1	378,0	5,8	368,0	8,7	358,0	11,7	348,0	14,9	338,0	18,3	328,0	22,0
397,5	0,6	387,5	3,2	377,5	6,0	367,5	8,8	357,5	11,9	347,5	15,1	337,5	18,5	327,5	22,1
397,0	0,8	387,0	3,4	377,0	6,1	367,0	9,0	357,0	12,0	347,0	15,3	337,0	18,7	327,0	22,3
396,5	0,9	386,5	3,5	376,5	6,2	366,5	9,1	356,5	12,2	346,5	15,4	336,5	18,9	326,5	22,5
396,0	1,0	386,0	3,6	376,0	6,4	366,0	9,3	356,0	12,4	346,0	15,6	336,0	19,0	326,0	22,7
395,5	1,1	385,5	3,8	375,5	6,5	365,5	9,4	355,5	12,5	345,5	15,8	335,5	19,2	325,5	22,9
395,0	1,3	385,0	3,9	375,0	6,7	365,0	9,6	355,0	12,7	345,0	15,9	335,0	19,4	325,0	23,1
394,5	1,4	384,5	4,0	374,5	6,8	364,5	9,7	354,5	12,8	344,5	16,1	334,5	19,6	324,5	23,3
394,0	1,5	384,0	4,2	374,0	7,0	364,0	9,9	354,0	13,0	344,0	16,3	334,0	19,8	324,0	23,5
393,5	1,7	383,5	4,3	373,5	7,1	363,5	10,0	353,5	13,2	343,5	16,4	333,5	19,9	323,5	23,6
393,0	1,8	383,0	4,4	373,0	7,2	363,0	10,2	353,0	13,3	343,0	16,6	333,0	20,1	323,0	23,8
392,5	1,9	382,5	4,6	372,5	7,4	362,5	10,3	352,5	13,5	342,5	16,8	332,5	20,3	322,5	24,0
392,0	2,0	382,0	4,7	372,0	7,5	362,0	10,5	352,0	13,6	342,0	17,0	332,0	20,5	322,0	24,2
391,5	2,2	381,5	4,8	371,5	7,7	361,5	10,7	351,5	13,8	341,5	17,1	331,5	20,7	321,5	24,4
391,0	2,3	381,0	5,0	371,0	7,8	361,0	10,8	351,0	14,0	341,0	17,3	331,0	20,8	321,0	24,6
390,5	2,4	380,5	5,1	370,5	8,0	360,5	11,0	350,5	14,1	340,5	17,5	330,5	21,0	320,5	24,8
390,0	2,6	380,0	5,3	370,0	8,1	360,0	11,1	350,0	14,3	340,0	17,6	330,0	21,2	320,0	25,0

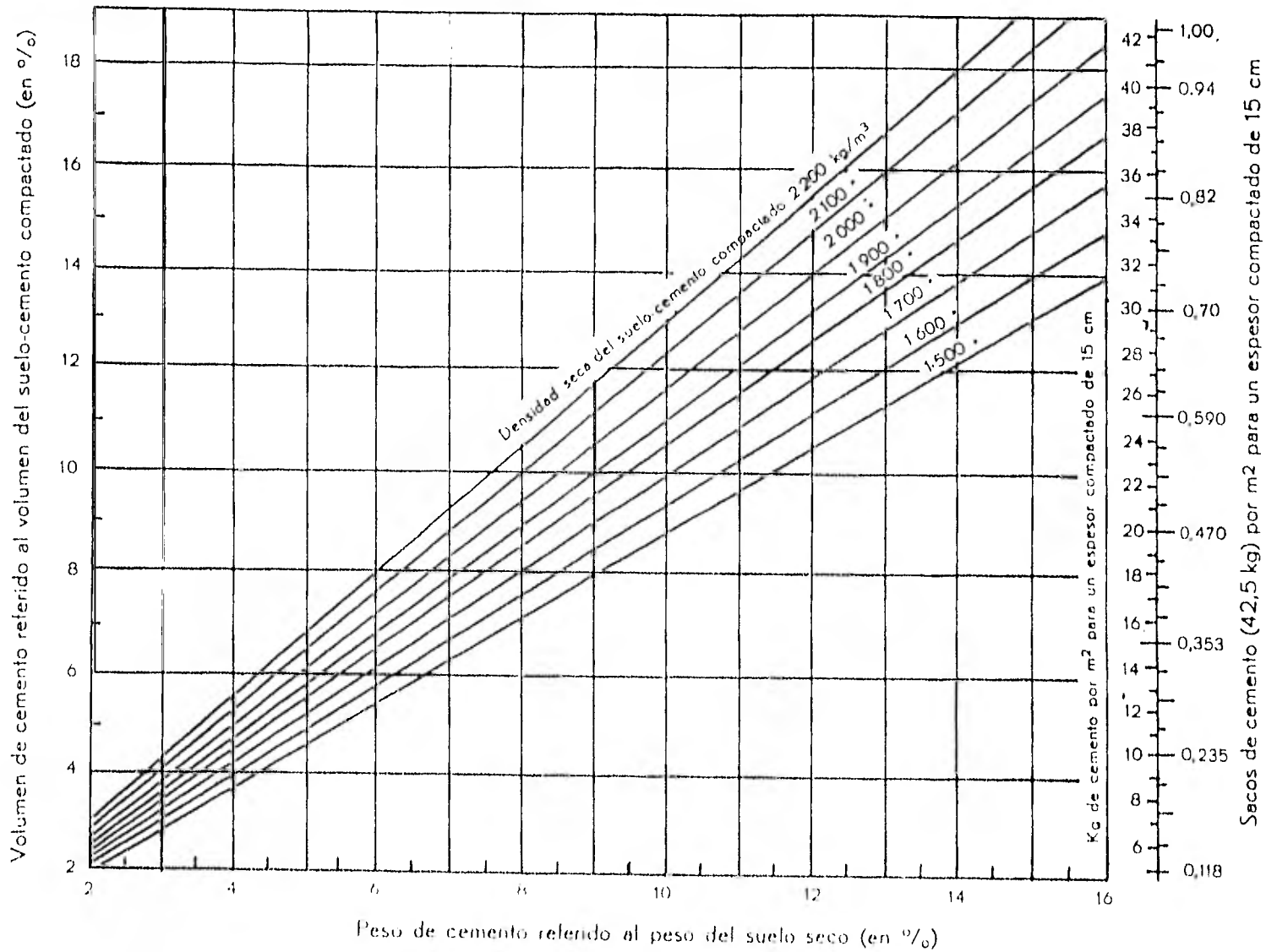


Fig. 1 Gráfico para la conversión del factor cemento.

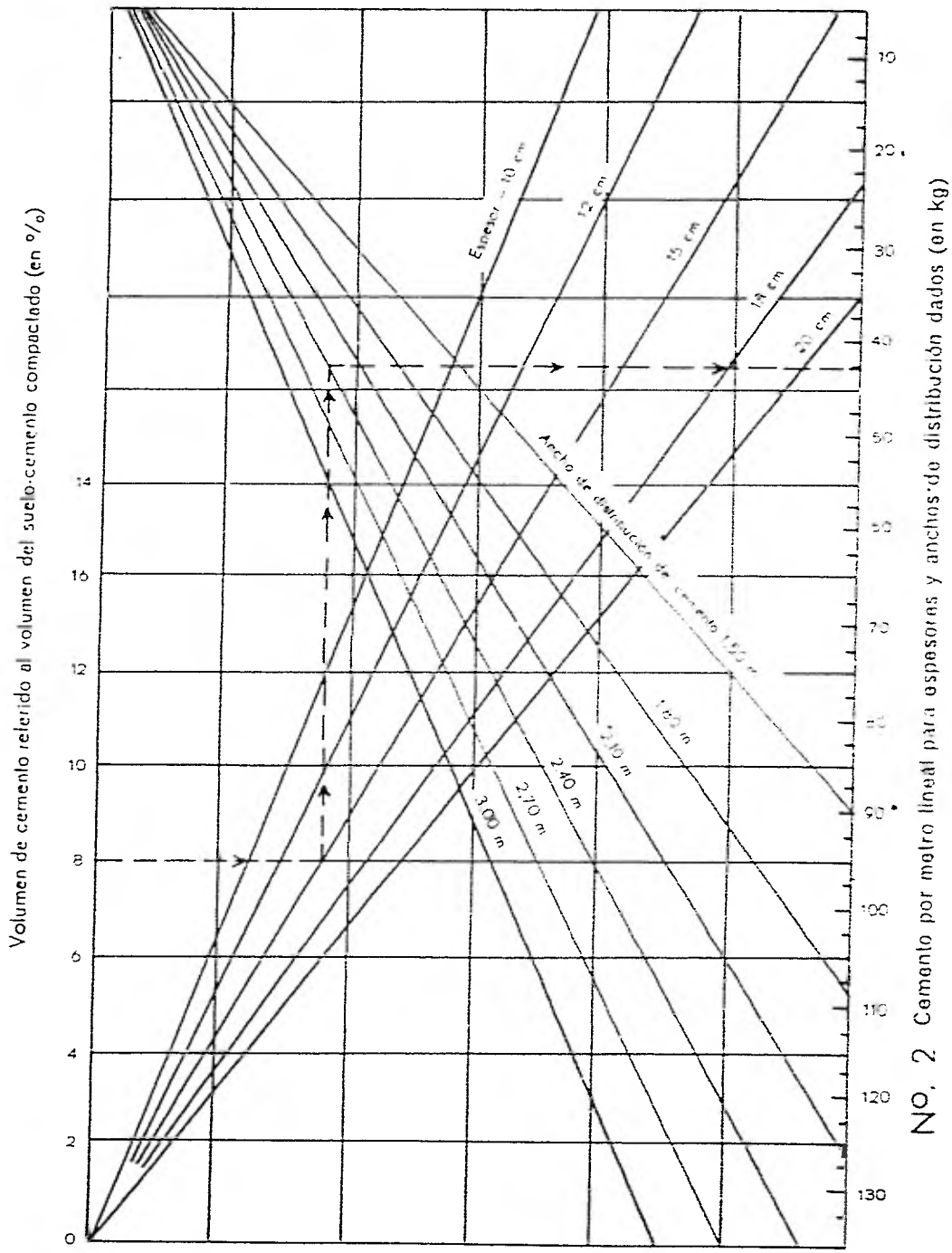
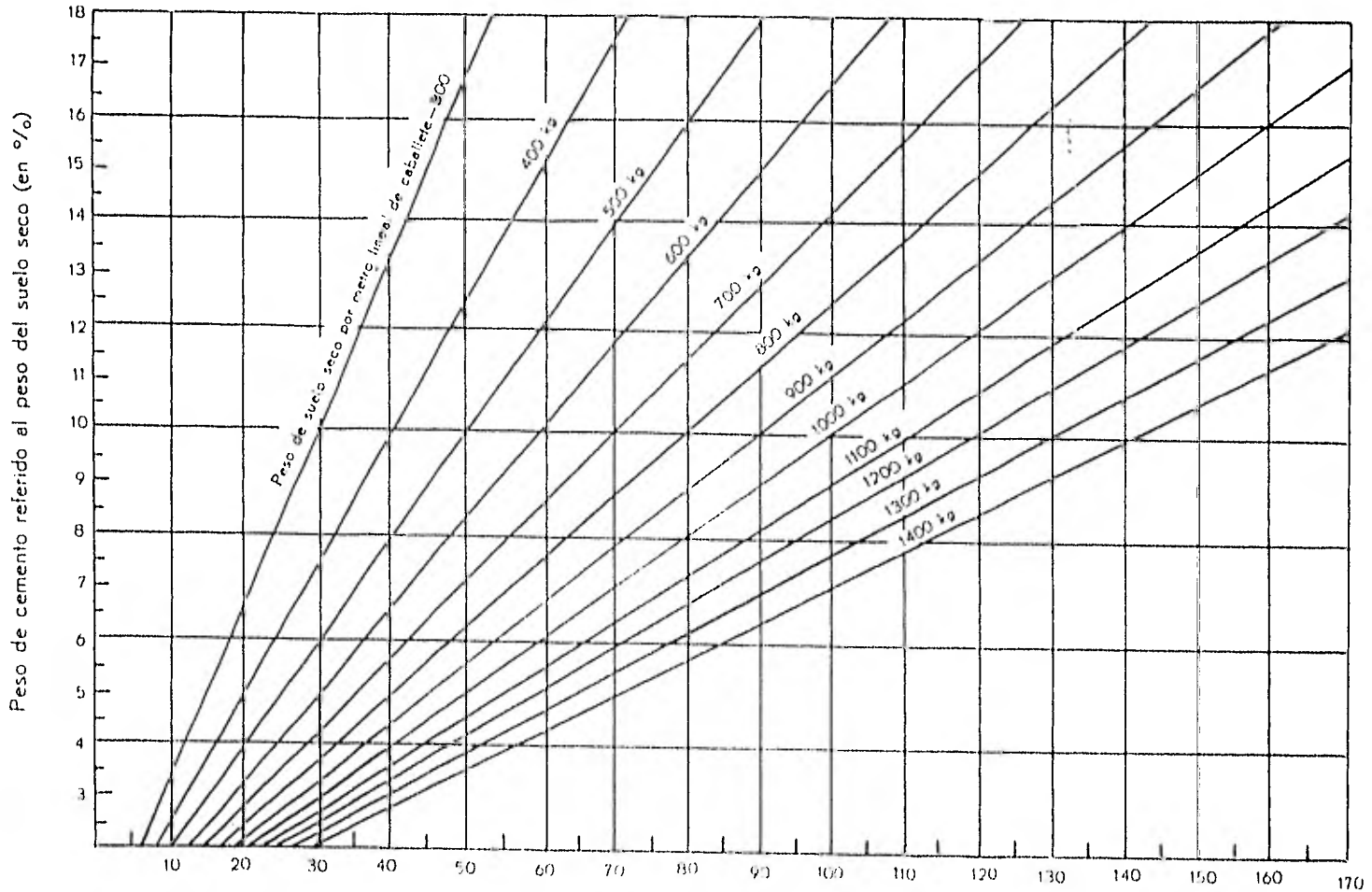
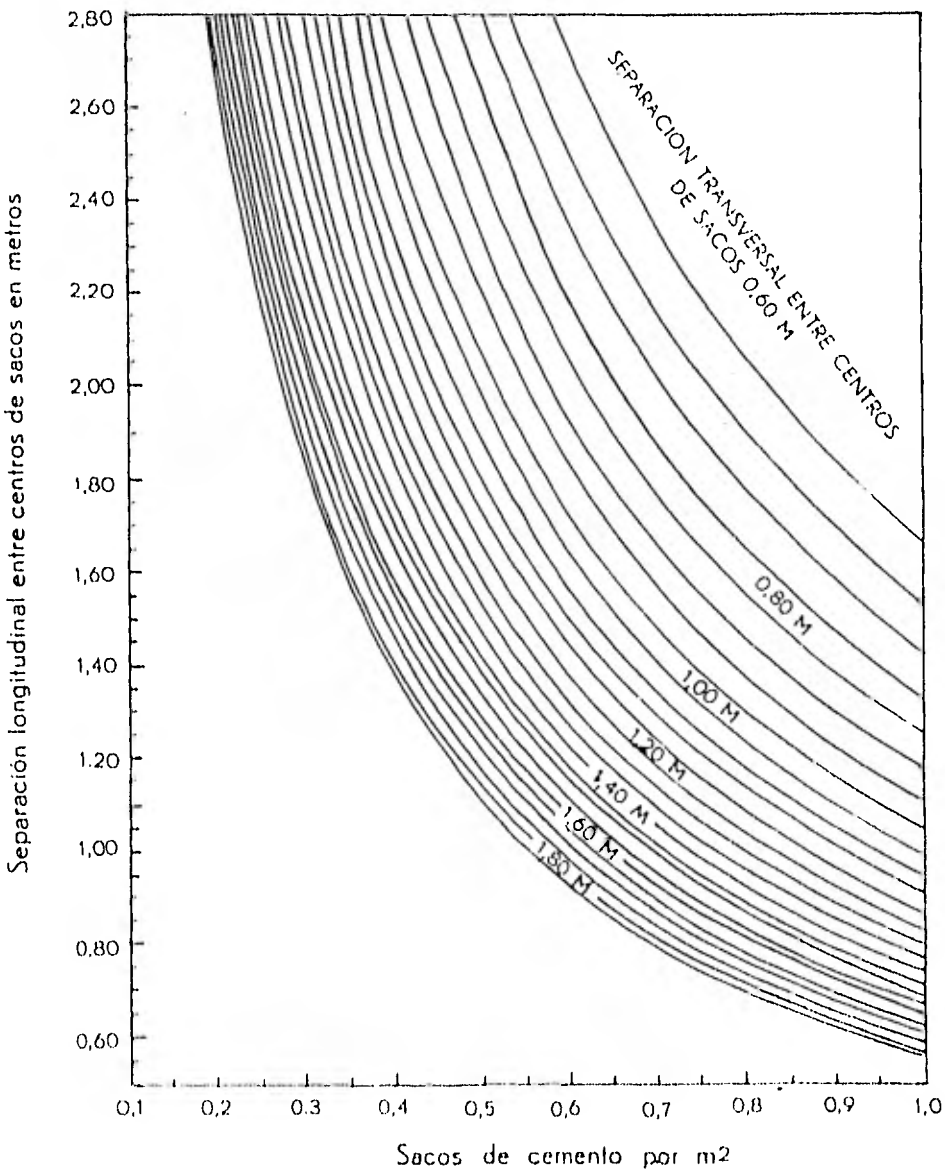


Fig. 2 Cemento necesario en kg/m para varios anchos de distribución y espesores y para los porcentajes en volumen especificados.



NO. 3 Cemento necesario por metro lineal de camellón para porcentajes en peso especificados



No. 4 Separación transversal y longitudinal entre centros de sacos de cemento portland para contenidos de cemento especificados.

CAPITULO V

INSPECCION Y CONTROL DE CAMPO.

En el presente capítulo, se tratará de dar una información detallada de los pasos a seguir para la inspección y control de campo.

V.I.- INSPECCION DEL CAMINO.

Antes de iniciar el proceso constructivo, el area queva a ser pavimentada, deberá ser conformada y nivelada, para poder cumplir con los trazos preliminares, niveles, espesores y secciones transversales típicas que aparecen en los planos.

Durante la nivelación, todas las rocas deben ser removidas y todas las áreas de poca resistencia corregidas.

Cabe señalar como un aspecto de suma importancia, queuna compactación adecuada de la base no puede ser obtenida, si la subrasante no soporta tanto el equipo de compactación como el de acabado. La mayoría de las areas deficientes en persistenciapueden ser detectadas fácilmente observando su estabilidad asi como el trabajo que desarrolla la motoconformadora en el area.

V.2.- ENSAYOS DE CONTROL Y SUPERVISION DEL LUGAR.

Como cualquier otro trabajo, la construcción de suelocemento debe controlarse y supervisarse concienzudamente, para

asegurar que se está obrando correctamente y con la mayor efi-- ciencia. Un ingeniero experimentado en trabajos de suelo-cemento puede usar la experiencia para reemplazar algunos de los ensayes normales de control, pero hasta que se obtenga dicha experiencia, todos los ensayes de control son esenciales.

La construcción con suelo-cemento es muy variada, y - depende mucho del lugar y tipo de suelo en una misma obra se -- pueden encontrar varios tipos de suelo. Lo anterior quiere de-- cir que raramente dos obras seran iguales.

Los mas importantes ensayes de control son los siguientes:

V. 3.- PROFUNDIDAD DE PULVERIZACION Y MEZCLADO (PARA METODOS DE MEZCLADO EN EL LUGAR).

Durante la pulverización y durante el mezclado, la -- profundidad del suelo suelto, debe ser medida a intervalos frecuentes sobre el área de que se trate, para verificar que es suficiente para proporcionar el espesor requerido de pavimento -- compactado. Este espesor puede determinarse solo por medio de - ensayes en el lugar, pero variará entre 25 y 50% mas que el espesor del pavimento compactado, dependiendo del tipo de suelo, - este control se puede llevar a cabo muy simplemente introduciendo una regla graduada sobre la mezcla pulverizada o suelta hasta que se alcance el nivel del suelo sin tocar, o haciendo pe--

queños agujeros midiendo la profundidad hasta el suelo sin pulverizar.

V. 4.- DISTRIBUCION DEL CEMENTO.

Si se usa el procedimiento de mezclado en planta, la cantidad de cemento que se agrega al suelo debe ser controlada durante las operaciones de mezclado, de un modo semejante a como se controlan las proporciones de una mezcla de concreto si se usa el método de mezclado en el lugar, la cantidad de cemento se controla verificando el esparcimiento entre los sacos de cemento y después supervisando de cerca la distribución del cemento de cada saco.

Si el cemento se distribuye por medio de máquinas la cantidad de cemento o la velocidad con que se distribuye se puede verificar colocando pequeñas charolas, para obtener muestras desde la máquina distribuidora.

Estas muestras deben obtenerse a espaciamientos uniformes y usando charolas siempre del mismo tamaño correlacionando el cemento contenido en la charola con la cantidad de suelo con la que debería haberse mezclado.

V. 5.- EFICIENCIA DE MEZCLADO Y PULVERIZACION.

Después de mezclado el suelo, debe estar lo suficientemente suelto para que por lo menos un 80% pase la malla 4. La eficiencia del mezclado se juzga, generalmente, como se ha di--

cho antes.

Se obtienen periodicamente muestras de suelo-cemento-mezclado donde se comprueban las proporciones de suelo-cemento, de humedad y también comparando unas muestras con otras, para - verificar la uniformidad con que está haciendo la operación.

V. 6.- CONTENIDO DE HUMEDAD.

Es de suma importancia que el contenido de humedad de la mezcla de suelo-cemento sea correcta antes que se empiese la compactación. Si la mezcla esta muy seca, o muy húmeda el suelo cemento no podrá compactarse al nivel deseado y por lo tanto no tendrá las propiedades finales deseadas.

Una indicación del contenido de humedad óptimo para - compactación; se obtiene de pruebas preliminares de laboratorio, una guía general del contenido de humedad se puede obtener intentando moldear una muestra con la mano; si el suelo cemento está humedecido suficientemente para ser moldeado en una bola sin -- que se deshaga y sin que muestre una humedad excesiva, el contenido de humedad es aproximadamente correcto para producir una - compactación satisfactoria. Pero de ser posible no debe tenerse mucha confianza en este método, y deben hacerse pruebas mas precisas.

Se debe supervisar cuidadosamente la adición del agua mezclada en el suelo-cemento, para asegurar que el contenido de

humedad es uniforme y que no existen áreas muy humedas o muy secas.

V. 7.- COMPACTACION.

Segun el tipo de rodillo que se use se necesitan varios pasos para producir la compactación requerida. El proceso de compactación puede verificarse en el lugar, obteniendo muestras de una cierta área y pesandolas.

Un método usual en la gran bretaña es el de reemplazar por arena un pedazo de mezcla compactada. Aquí conviene hacer hincapié en el hecho de que la compactación no debe retrasarse respecto al mezclado, ya que se reduce entonces la densidad máxima. En un limo arcilloso un retraso de una hora puede reducir la densidad seca de la mezcla en un 5%.

V. 8.- ESPESOR DE PAVIMENTOS.

Además de controlar la profundidad a la cual se procesa el suelo, se debe controlar el espesor del pavimento compactado.

Una tolerancia realista es especificar $\pm$ 2 cm sobre el espesor original, con esta especificación no hay gran dificultad en el método de mezclado en planta, pero con el método de mezclado en el lugar los operadores deben cuidarse y mantenerse dentro de la tolerancia.

La profundidad se verifica haciendo pequeños agujeros en lugares seleccionados inmediatamente después determinada la compactación, midiendo por medio de una regla. El suelocemento excavado se reemplaza nuevamente y se compacta por medio de pisones de mano.

V. 9.- PRUEBAS DE RESISTENCIA.

Se deben hacer continuamente cilindros de la mezcla de campo para ser curados y ensayados en compresion a los 7 -- días.

Los cilindros deben compactarse a la densidad que se está obteniendo en el lugar.

Los resultados de las pruebas de resistencia se deben usar como una medida de la uniformidad de la operación.

Investigaciones británicas han mostrado que la resistencia a la compresión de los cilindros de campo, no debe ser menor que el 70% que la resistencia indicada de los cilindros iniciales de laboratorio hechos con la misma densidad.

V. IO.- REGULARIDAD DE LA SUPERFICIE.

En caminos, es importante obtener una superficie de un perfil uniforme, o se tendrá que regularizar por medio de una capa final que puede aumentar Bastante el costo del trabajo. En la práctica se ha encontrado que no es difícil lograr-

superficies bastante regulares con menos de un cm. de diferencia en tres metros.

La regularidad deseada, medida del modo anterior, debe especificarse. Es difícil sin embargo usando los métodos de mezclado en el lugar, mantener niveles correctos y la experiencia, ha mostrado que un nivel realista de tolerancia es $\pm$ 2 cm.

V. II.- ECONOMIA EN SUELO CEMENTO.

Las economías en suelo-cemento especialmente para bases y sub-bases resultan del hecho de que el 90% de los materiales se pueden encontrar en el lugar de la obra.

En general es conveniente para lograr una buena economía, que la obra sea lo suficientemente, grande para que el precio de la maquinaria no tenga mucha importancia.

El proceso de construir bases y sub-bases de suelo-cemento puede hacerse muy mecanizado lo que representa una ventaja en la localidad de la obra final y también en costo.

Para bases y sub-bases de pavimentos el suelo-cemento puede competir ventajosamente con pavimentos de asfalto sobre otros tipos de bases. La resistencia y durabilidad del pavimento es comparable a la de otros tipos.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

Para concluir este trabajo y con el objeto de resumir las ventajas económicas que presenta el suelo-cemento y de las cuales ya se ha hablado ampliamente en capitulos anteriores; se presentará a continuación una idea aproximada de los costos de los pavimentos de suelo-cemento y con factores que influyen en ellos.

A continuación se desarrolla un caso hipotético donde los rendimientos estan basados en la experiencia de la P.C.A. y en los costos y salarios que para el D.F. Presenta la Camará Nacional de la Industria de la construcción. Se hace una comparación de costos de este pavimento con un pavimento flexible, sometidos a las mismas cargas y apayados sobre una misma subrasante.

Los costos de un pavimento de suelo-cemento depende de los siguientes factores:

1.- El tipo de suelo y sus acarreos.

2.- La capacidad de soporte de la subrasante.

3.- El tipo y los volúmenes del tránsito.

4.- La vida de diseño.

5.- Los precios unitarios y salarios de la localidad.

6.- El equipo de construcción disponible.

VI. I.- ANALISIS DEL COSTO UNITARIO DIRECTO DE UN PAVIMENTO DE - SUELO CEMENTO HIPOTETICO.

El sistema de construcción que se analizará, es el de la máquina mezcladora simple, por ser el sistema, que ofrece mayores posibilidades de adaptación en la Rep. Mex. con este sistema en E.U.A. se ha obtenido un rendimiento mínimo diario, de -- 3500 m^2 de pavimento.

A) DATOS DEL PROYECTO.

I.- Contenido de cemento = 7% por peso.

2.- Peso compactado específico seco del suelo-cemento- = 1950 Kg/m^3.

3.- Contenido de humedad óptimo = 11%

4.- Espesor del suelo-cemento = 18 cm.

5.- Espesor de la carpeta asfáltica = 5 m

6.- Ancho de la corona = 7.0 m.

B) COSTO DE LOS MATERIALES.

1.- Cemento : $\frac{1950}{1.07}$ X 0.07 = 128 Kg/m^3

128X1X1X0.18 = 23 kg/m^2

23 X 3.50 = \$ 80.50/m^2

2. AGUA: 1950 X 0.11 = 215/m^3

215 X ¼ X 1 X 0.18 X 1.2 = 46.5/m^2

3.- SUELO: $\frac{1950}{1.07}$ = 1822 = 1822 Kg/m^3

1822 X 1 X 1 X 0.18 X 1,3 = 427 Kg/m^2

4.- Asfalto (para el curado 1) 1/m^2

1 X 0.30 = $0.30/$m^2$

5.- Arena (para el poreo):

1500 X 0.005 = 7.5 Kg/m^2

COSTO UNITARIO TOTAL DE MATERIALES $7.20/$m^2$

C.- Costo del equipo:

1.- Para la preparación

1 Motoconformadora (2 hr/día

2 X 142.18 = $284.36/día

1 Pulvi-Mixer (1 1/2 hr/día

1.5 X 238.50 = $357.75

1 Camión aspersor de agua.

4000 L.(2 hr/día)

2.0 X 30.09 = $ 60.18

$702.29

2.- Para la aplicación del cemento.

1 Transportador de cemento

(6 hr/día)

Trabajando

6 X 44.20 = 265.20

(sin Trabajo)

2 X 36.50 = 73.00: 338.20/día

4 Camiones de volteo

(6 hr/día)

(Trabajando)

4 X 6 X 30.09 = 722.16

(sin trabajo)

1 X 2 X 29.45 = 58.90: 781.06

1 Transportador de cemento

(6 hr/día)

(Trabajando)

6 X 33.30 = 199.80

(sin trabajo)

2 X 28.00 = 56.00: 255.80

1 Báscula portatil para

camión (6 hr/día)

Trabajando

6 X 10.45 = 62.70

(sin trabajo)

2 X 8.95 = 17.90: 80.60

TOTAL $1455.66

3.- Para la aplicación del agua y para el mezclado:

1 Mezcladora (pulvi-mixer)

(6 1/2 hr/día)

Trabajando

6.5 X 238.50 = 1.550.25

(sin trabajo)

1.5 X 197.00 = 295.50: 1,845.75/día

1 Bomba de agua 3"

(6 hr/día)

(Trabajando)

6 X 14.90 = 89.40

Sin trabajo

2 X 7.75 = 15.50: 104.90

2 camiones de 6000 l de agua.

(6 hr/día)

Trabajando

2 X 6 X 30.09 = 361.08

(Sin trabajo)

2 X 2 X 29.45 = 117.80: 478.88

1 Camión de 400 L de agua

(6 hr/día)

6 X 30.09: 180.54

TOTAL 2,610.07

4.- Para la compactación inicial

1 rodillo pata de cabra

(6 hr/día)

(Trabajando)

6 X 97.00 = 582.00

(sin trabajo)

2 X 75.10 = 150.20: 732.20/día

5.- Para los acabados

1 rastrillo

(2 hr/día)

(trabajando)

2 X 7.40 = 14.80

sin trabajo

6 X 4.45 = 26.70: 41.50/día

1 cepillo (2 hr/día)

trabajando

2 X 7.40 = 14.80

(sin trabajo)

6 X 4.45 = 26.70: 41.50/día

1 comportador de neumáticos *

(3 hr/día)

3 X 65.21 : 195.63

1 motoconformadora

(6 hr/día)

6 X 142.18 : 853.08

TOTAL 1,243.61

6.- Para el curado

1 petrolizadora (8 hr/día)

8 X 91.64 : $733.12/día

3 Camiones de volteo.

(2 hr/día)

3 X 2 X 30.09 : 180.54

TOTAL $913.66/día

7.- Equipo adicional

2 camiones (10 hr/día)

2 X 10 X 28.50 : $ 570.00/día

TOTAL $ 570.00/día

TOTAL DE GASTO DIARIO POR EQUIPO

$$\text{COSTO TOTAL UNITARIO} \quad \frac{8,227.49}{3,500.00\ m^2/día} = \$2.35\ m^2$$

*A este equipo se le consideran horas sin trabajo por que los sobrantes son empleadas en la construcción de la carpeta asfáltica.

D.- COSTO DE LA MANO DE OBRA:

1.- Supervisión

1 Superintendente		$ 600.00 día
1 Sobrestante		400.00 día
1 Tomador de tiempo		240.00 día
1 Mecanico		320.00 día
	TOTAL	$1,560.00 día

2.- Para la preparación

1 Operador de motoconforosedura

$$\frac{104.00}{4} = \$ 26.00 \text{ día}$$

1 Operador de la pulvi-mixer:

$$\frac{1.5 \times 104}{8} = \$19.50/\text{día}$$

1 Chofer de pipa:

78 / 4	TOTAL =	19.50
		$ 65.00/día

3.- Para la aplicación del cemento.

1 Operador del transportador de cemento	$104.00/día
1 Peón auxiliar	49.50
1 Operador del espesor del cemento	91.00
2 peones auxiliares	
2 X 49.50	99.00
4 Choferes (camiones de volteo)	
(Trabajando)	
$\frac{4 \times 6 \times 78}{8}$ = 234.00	
(sin trabajo)	
$\frac{1 \times 2 \times 78.00}{8}$ =	19.50
TOTAL	253.50
1 Peón en la báscula	49.50: $646.50/día

4.- Para la aplicación del agua y para el mezclado.

1 Operador de la pulvi-mixer:

$\frac{6.5 \times 104}{8}$ = 84.50/día

1 Peón auxiliar 49.50

3 Choferes (pipa)

$\frac{(3 \times 8 - 2)(78)}{8}$ = 214.50

TOTAL 348.50 $348.50/día

5.- Para la compactación inicial

1 Operador de la compactadora 84.50

TOTAL 84.50 $84.50/día

6.- Para los grabados.

1 Operador del rastrillo y del cepillo $78.00/día

1 Operador (compactadora de neumáticas) *

$\frac{3 \times 84.50}{8}$ = 31.69

1 Operador de la aplanadora de * :

$\frac{3 \times 84.50}{8}$ = 31.69

1 Operador de la motoconformadora.

$\frac{6 \times 104}{8}$ 78.00

TOTAL $219.38 $219.38/día

7.- Para el curado.

1 Operador de la petrolizadora 78.00/día

3 Choferes (camiones de volteo)

$\frac{3 \times 2 \times 78}{8}$ = $\frac{58.50}{136.50}$ TOTAL: $136.50/día

8.- Para el equipo adicional.

3 Choferes (camionetas jornada)

2 X 78 = 156.00 $156.00/día

(Extra)

$2 \times 2 \times \frac{78}{8} = 39.00$ $\frac{39.00}{195.00}$ $195.00/día

TOTAL DE GASTO DIARIO POR MANO DE OBRA = $3,255.38/día

GASTO UNITARIO TOTAL $\frac{3,255.38}{3,500.00\ m^2/día}$ $0.93/m^2$

*El resto del tiempo de este personal se considera en la construcción de la carpeta asfáltica.

E.- COSTO DE LA CARPETA ASFALTICA.

El costo que da la CNIC para la carpeta asfáltica de-5.0 cm de espesor es de; ---------- $9.49/m^2$

F.- COSTO DEL ESTUDIO DEL SUELO

Suponiendo que el costo del análisis completo de cada

suelo es de $ 1500 y que en cada 500 m de carretera se encuen-- tra un diferente tipo de suelo:

$$\frac{1500}{7 \times 500} = 0.43 \qquad \$\ 0.43/m^2$$

Costo total por metro cuadrado de pavimento.

$$\$\ \underline{20.40\ m^2}$$

Este precio unitario resultante por si solo no dice - mucho, pero si se compara con el de un pavimento flexible a igual dad de circunstancias, se podra tener una idea mas precisa de - el.

Costo unitario directo de un pavimento flexible, some tido a condiciones de diseño iguales al anterior.

A.- DATOS.

Del diseño, en base a lo anterior se obtienen los siguientes espesores.

1.- Sub-Base = 25.0 cm

2.- Base = 12.0 cm (incluyendo capa de material triturado).

3.- Carpeta Asfáltica = 5.0 cm

B.- COSTO DE LA SUB-BASE * (25.0 cm)

Con 2 capas una de 10 cm y la otra de 15 cm $ 9.52/m^2

C.- COSTO DE LA BASE * (12.0 cm) $ 6.06/m^2

D.- COSTO DE LA CARPETA ASFALTICA * (5.0 cm) $ 9.49/m^2

E.- COSTO DE LOS CONCEPTOS ADICIONALES **

1.- Equipo para preparación	$ 284.35 /día.
2.- Equipo adicional	570.00
3.- Mano de obra para la supervisión	1560.00
4.- Mano de obra para el equipo adicional	195.00
5.- Mano de obra para la preparación	26.00
T O T A L .	$ 2,635.36

Rendimiento diario 2,100 m^2

Costo por m^2 $\frac{2,635.36}{2,100}$ = $ 1,26/m^2

F.- COSTO DEL ESTUDIO DEL SUELO = $ 0.15/m^2

G.- COSTO DEL RIEGO ASFALTICO = $ 0.55/m^2

COSTO UNITARIO, TOTAL POR m^2 DE PAVIMENTO = $ 27.03/m^2

*Estos costos unitarios, los recomienda la CNIC.

**Tomados de los costos analizados anteriormente para el suelo-cemento.

En este caso específico, se observa que el costo directo del pavimento flexible es 26.5% mayor que el del pavimento de suelo-cemento.

BIBLIOGRAFIA.

1.- "Suelo-cemento". ING. Rodolfo C. Avitia G. 1971-1972.

2.- Notas técnicas No. 2 ICPC.

3.- Métodos para la construcción de suelo-cemento en carreteras AVPC.

4.- Portland cement association essential of soil-cement, construction, inspection field, control PCA SC 110-8 -- 1958-11 p.

5.- Portland cement association. soil-cement, inspector 'S-manual PCA Senie SC 16 1963 51 p.

6.- WOODS K B.
Highway enginnering Handbook Mcglaw-Hill
Book company, 1960.

7.- AASHO-ASTM.
Especificaciones sobre suelo-cemento revista IMCYC
V.L No. 1 Enero 1963 p.p 43-60

8.- CATTON M.D.
EARLY soil-cemento research PCA Development
Depto. Bull D 42 1960 p.p. 1-77

9.- Cement-stabilized bases and sub-bases
Concrete V. 5 No. 6 June 1971 p.p. 181, 182.

10.- Sprin gen SCHMID R.

Indicaciones prácticas para larealización de estabilización de suelo con cemento empleando mezcladoras de pasadas multiples. Instituto Eduardo Torruja, Monografía No. 231 1963 41 p.