



727
209
Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

*"EL ADOBE Y LA COMPACTACION
CON PRENSA DE SUELOS ARCILLOSOS"*

TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS VELARDE REYES
ROMUALDO AGUIRRE FLORES

CIUDAD UNIVERSITARIA,

MEXICO D. F. 1982



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-466

Señores JOSE LUIS VELARDE REYES y
ROMUALDO AGUIRRE FLORES,
P r e s e n t e s .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Rosendo Ortíz Piñón, para que lo desarrollen como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"EL ADOBE Y LA COMPACTACION CON PRENSA DE SUELOS
ARCILLOSOS"

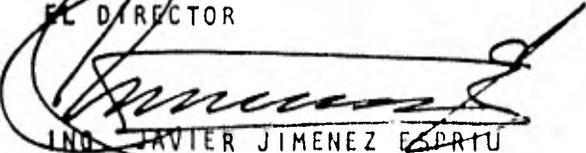
Introducción.

Finalidad del estudio.

- Comportamiento de los suelos arcillosos compactados.
- Elaboración y propiedades del adobe.
- Métodos para el mejoramiento del adobe.
- Conclusiones.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 23 de noviembre de 1982
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPARTACO

I N D I C E

PARTE I.

COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS COMPACTADOS

I.1 Introducción..... 1

I.2 Comportamiento Microscópico..... 2

I.3 Comportamiento Macroscópico..... 3

I.4 Propiedades Mecánicas de los Suelos Arcillosos Compactados. 9

PARTE II.

ELABORACION Y PROPIEDADES DEL ADOBE

II.1 Introducción 24

II.2 Elaboración del Adobe 26

II.3 Propiedades del Adobe 29

II.4 Interpretación y Medición de las Propiedades del Adobe. 30

PARTE III.

MÉTODOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL ADOBE

III.1 Introducción 35

III.2 Métodos Físicos 38

III.3 Métodos Mecánicos (investigación)..... 39

III.4 Métodos Químicos..... 59

INTRODUCCION

El adobe cuenta actualmente con una importancia fundamental, como elemento constructivo de gran importancia para la misma historia. Como lo demuestra el estudio del norteamericano Lewis H. Morgán¹, cuando afirma que:

"El estadio medio de la Barbarie comienza con la domesticación de animales en el Este, mientras en el Oeste, se originó con el cultivo de las hortalizas por medio del riego y con el empleo del adobe y de la piedra para la construcción"

Como el objetivo de este estudio, no es hacer un tratado de la historia del adobe, nos remitiremos a explicar someramente, su evolución.

Es muy importante establecer que, utilizar la tierra en sí, como material de construcción (muros de tierra, bajareque etc.), no es lo mismo que utilizar la tierra como componente del adobe propiamente dicho.

NOTA:

1. LEWIS H. MORGAN: "Ancient Society, or Researches in the lines or human progres from savageky trough barbarism - to Civilization" (La Antigua Sociedad ó Investigación - acerca de las vías del Progreso de la Humanidad, desde el salvajismo hasta la civilización, pasando por la Barbarie).

Considerando esta aclaración, prosigamos con la evolución del adobe.

Así pues el adobe aparece como material de construcción en la Barbarie, después de su nacimiento ha evolucionado de manera realmente lenta.

El adobe en su evolución ha pasado por los adobes estabilizados, ya sea, con métodos físicos; químicos y mecánicos o combinación de ellos. Pero será necio negar que, el costo del adobe comparado con otros materiales de construcción semejantes, no ha influido en su evolución y estudio.

El convertirse estos materiales en valores de cambio o más concretamente en mercancías y con la concentración y centralización de las industrias (con todas sus consecuencias) el estudio del adobe ha pasado a un término secundario. Como lo muestra la Literatura consultadas sobre el tema.

Los resultados que se han obtenido hasta el momento sobre el mejoramiento del adobe propiamente dicho (a excepción del tabique) no son muy alentadores.

La evolución del adobe (mejorado con los métodos enunciados) sentimos esta estancada, porque es honesto decir que no se ha logrado una teoría al respecto. Pero es indudable que debemos considerar como evolución más importante que se ha engendrado del adobe al tabique (adobe cocido)¹.

Por otra parte respecto al adobe, en sí, podemos afirmar que para la elaboración del mismo, se necesitan tres elementos fundamentales: Suelo, agua y fuerza de trabajo.

NOTA: 1. En la ref. 7 se menciona un método de elaboración de adobe recocido práctico.

Los tres elementos mencionados, sin temor a equivocarnos, son los más abundantes en nuestro Planeta, como dice William Prety:

".. El trabajo es el Padre, y el principio activo de la riqueza, y, la tierra, su Madre.."

Debido a que la elaboración del adobe no es compleja (nos referimos al adobe simple, sin la utilización de los métodos enunciados para su mejoramiento), aunado a la gran abundancia de sus elementos constitutivos, el adobe logra de manera muy relativa convertirse en un valor de uso. Debido a ésto, algunos estudiosos del tema afirman que el costo del adobe es barato.

Lo cual queda sin base, si comparamos el trabajo necesario para la elaboración del tabique (que es una materia muy comercial), con el trabajo necesario para la elaboración del adobe (un análisis más profundo sobre este tema, lo dejaremos para mejor ocasión). Considerando los elementos anteriores, el adobe se convierte en un elemento muy utilizado en las construcciones rurales y sub-urbanas, principalmente en los países dependientes (algunos los llaman "sub-desarrollados" y, otros "explotados", realmente no hay un término científico hasta el momento que denomine a estos países), y donde los índices de precipitación pluvial son bajos.

Esta utilización (sin considerar los factores socioeconómicos) se debe a que las ventajas que presenta el adobe con respecto a otros materiales son relativamente superiores a sus propias desventajas. Además sus elementos constitutivos son los más abundantes, como lo mencionamos al principio (la fuerza del trabajo en el campo abunda debido al alto índice de sub-ocupación y desocupación), tiene otras ventajas tales como: la protección que brinda al habitante del calor y del sonido (aislante, térmico y acústico), mencionamos ahora sus desventajas entre las cuales están: la poca resistencia a la acción de la interperie (resistencia a la lluvia, temblores, etc.), y el uso de grandes volu-

menes de tierra que trae como consecuencia del requerimiento de gran cantidad de fuerza de trabajo (lo cual demuestra la gran cantidad de trabajo necesario para su elaboración, y, por consiguiente, que el adobe no tiene un bajo costo, y mucho menos nulo),

FINALIDAD DEL ESTUDIO

El objetivo que pretende este trabajo, es dar los fundamentos o en última instancia algunos elementos que permitan lograr una teoría acertada, acerca de los métodos de mejoramiento de los adobes.

Para lograr la meta fijada, consideramos de gran importancia el comportamiento microscópico y macroscópico de los suelos arcillosos junto con sus propiedades mecánicas por una parte, relacionándose éstas, con las propiedades del adobe, el procedimiento para su elaboración y los métodos para el mejoramiento del mismo.

Así en nuestra primera parte, presentamos una teoría sobre el comportamiento microscópico y macroscópico, así como las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos que consideramos, es la que se apega a los resultados que nosotros obtuvimos en nuestras pruebas de laboratorio. Cabe mencionar que existen varias teorías al respecto, y que, algunas son muy sofisticadas.

En nuestra segunda parte, mencionamos un procedimiento para la elaboración del adobe, junto con una descripción de sus propiedades y unos procedimientos sencillos de cómo medirlas, todo esto, sin hacer a un lado el comportamiento interno y de conjunto del suelo (comportamiento de los suelos arcillosos compactados).

En la tercera y penúltima parte, conociendo las características internas y externas del suelo por una parte, y por la otra, las propiedades del adobe (así como su interpretación) nos quedó incidir en dichas propiedades.

Esta inferencia en las propiedades del adobe, se basa en los métodos para el mejoramiento del mismo.

Para el mejor estudio de estos métodos consideramos de importan

cia hacer una clasificación de los mismos, de la siguiente manera:

Físicos, mecánicos (investigación), químicos y mixtos.

Y, por último nos quedaba interrelacionar las tres primeras partes, para obtener conclusiones o resultados, que nos permitiera lograr los fundamentos y elementos para inferir realísticamente -- en el mejoramiento de los adobes, para todo esto nos servimos de nuestra parte IV, que son las conclusiones, que serán basadas -- desde un punto de vista práctico-teórico, que es la inquietud -- fundamental de nuestro trabajo.

Para cerrar el estudio, consideramos que hay datos auxiliares -- que no podemos excluir para lo cual utilizamos un apéndice.

PARTE I.

COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS COMPACTADOS

INTRODUCCION

Hablaremos en este tema de los trabajos que se han realizado en el campo de la investigación y en laboratorio, con respecto al comportamiento de los suelos arcillosos compactados, para poder visualizar de una forma más correcta las reacciones que éstas presentan en los ensayos.

Debido a la gran complejidad del suelo arcilloso, existe cierta incertidumbre, en cuanto a su comportamiento. La que, ha cuasado que se planteen diferentes teorías con respecto al comportamiento microscópico de las partículas arcillosas, de las cuales nosotros tomamos una, que pensamos es práctica y se acerca más a los resultados que obtuvimos en las pruebas de laboratorio que ejecutamos¹.

El comportamiento macroscópico de los suelos arcillosos también ha sido estudiado en laboratorio, que junto con el estudio y variación de sus propiedades mecánicas, nos presenta un panorama muy amplio del comportamiento de los suelos arcillosos compactados.

NOTA: 1. Referencias 1 y 4.

PARTE I

- I.1 COMPORTAMIENTO MIRCROSCOPICO
- I.2 COMPORTAMIENTO MACROSCOPICO
- I.3 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS SUELOS ARCILLOSOS
 COMPACTADOS.
 - 1.3.1 CURVA PROCTOR
 - 1.3.2 PERMEABILIDAD
 - 1.3.3 RESISTENCIA Y DEFORMACION
 - 1.3.4 EXPANSION Y CONTRACCION
 - 1.3.5 EROSION

I.1 COMPORTAMIENTO MICROSCOPICO

Esta teoría afirma que cada partícula de suelo posee cargas eléctricas en su superficie y por tanto atrae iones (átomos o -- grupo de átomos que poseen cargas eléctricas) a la misma, con el fin de neutralizar su carga eléctrica total. A su vez, estos - - iones atraen moléculas de agua y además el agua es atraída directamente a la superficie de las partículas de suelo. De aquí que dicha partícula tienda a estar rodeada de una capa de agua.

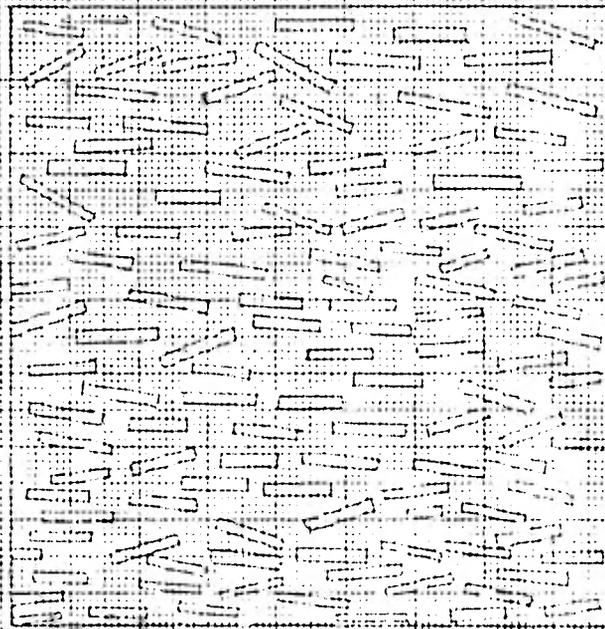
Por lo anterior se dice que el sistema formado por la carga negativa y la capa de iones absorbidos necesarios para neutralizarla, se le llama doble capa eléctrica.

Además de la interacción entre la fase sólida y líquida de un sistema de agua-aire-arcilla, existe una interacción de partícula a partícula, debido a fuerzas de acción a distancia. Esta interacción es la resultante de una fuerza electromagnética de - atracción entre cada par de partículas sólidas y una fuerza de repulsión entre los estratos positivos de las dobles capas eléctricas de cada partícula.

Si consideramos dos partículas arcillosas muy separadas en un medio acuoso y las aproximamos se alcanzará una separación para cual empiezan a ejercer fuerzas de atracción mutuas.

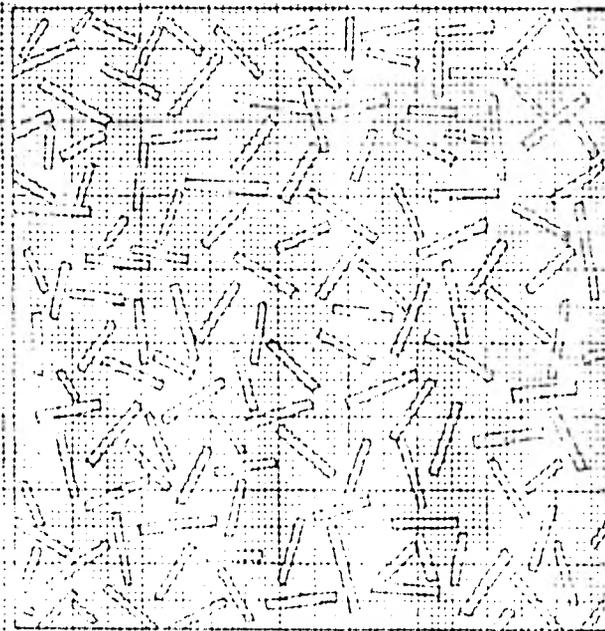
Una sección de un suelo arcilloso mostrará un arreglo relativo de las partículas sólidas que puede variar entre las dos -- tierras, esquematizadas en la Fig. I.1. Los factores que contribuyen principalmente en determinar la estructura de los suelos - dados son dos:

- 1) La magnitud relativa de las fuerzas de atracción y re-- pulsiones entre sus partículas.



a)

FIG. 11



b)

FIG. 11. Estructuras extremas de un suelo arcilloso.
a) alto grado de orientación de partículas;
b) bajo grado de orientación de partículas.

- 2) La magnitud de las deformaciones angulares que el suelo haya sufrido.

Cuanto mayor sean las repulsiones y las deformaciones angulares previas, mayor será el grado de orientación de las partículas.

En un suelo con muy bajo contenido de agua, el desarrollo de la doble capa eléctrica esta limitada por la disponibilidad de agua y la concentración de iones en ella, es por tanto alta.

A esta situación corresponderá una repulsión entre partículas, baja, y altos esfuerzos efectivos producidos por meniscos capilares y como consecuencia una resistencia del suelo a las deformaciones relativamente alta; todo lo cual contribuye a crear una estructura con baja orientación de las partículas.

Al aumentar el contenido de agua, las fuerzas de repulsión van aumentando y las fuerzas capilares disminuyendo, reduciendo la resistencia del suelo a la deformación.

A método y energía de compactación iguales, un suelo compactado con mayor contenido de agua sufrirá mayor deformación angular, las que conjugadas con fuerzas de repulsión más altas darán lugar a una estructura con un grado de orientación mayor.

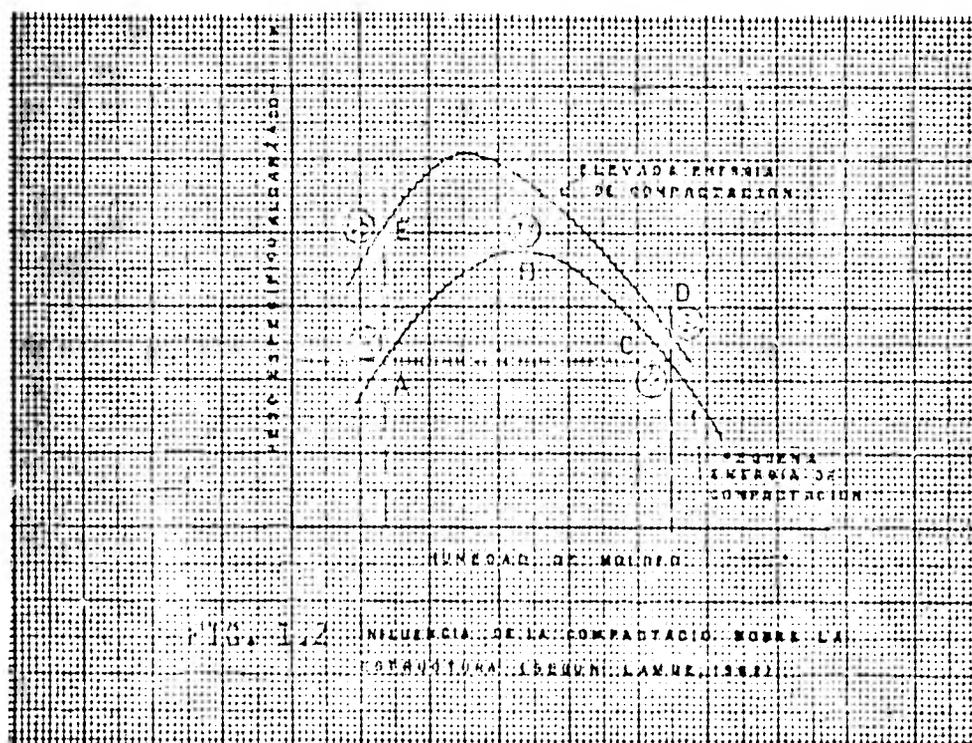
Por tanto, toda la energía aplicada a un suelo durante la compactación se gastará en:

- a) Reducir su volumen
- b) Inducir deformaciones angulares

Por lo que, el grado de orientación adicional de las partículas de un suelo arcilloso, inducido por un incremento en la energía de compactación, es una función creciente del contenido de agua. Por lo antes señalado, si el contenido de agua de com

- compactación es superior al óptimo, toda la energía adicional -- aplicada será empleada en acercar la estructura de las partículas a las condiciones extremas.

La estructura del suelo que se indica en la figura I.2, - procede los principios expuestos anteriormente. Al aumentar la humedad de compactación tienden a ser mayores las repulsiones entre partículas, permitiendo así una reorganización más ordenada de las mismas, con una cierta cantidad de energía. El aumento de la energía de compactación para una humedad dada, tiende a ordenar las partículas con una distribución aproximadamente paralelas¹.



NOTA:

II.2 COMPORTAMIENTO MACROSCOPICO DE LOS SUELOS FINOS.

El comportamiento esfuerzo - deformación de los suelos, es especialmente complicado debido a su naturaleza heterogénea y a la interacción de las diversas fases presentes. Además, el comportamiento exhibido puede depender de diversos factores, entre ellos el tipo de suelo de que se trate, y el intervalo de esfuerzo y deformación a que se vean sometidos y también el aspecto en el cual centre su interés el ingeniero con base en la aplicación particular que realice.

Ya que la mayoría de los suelos se presentan en la naturaleza en condiciones, anisotrópicas^{1*} es dudoso que existan suelos naturales isotrópicos. Es deseable, consecuentemente, conducir investigaciones para determinar la medida de la anisotropía de los suelos en el laboratorio; sin embargo, la anisotropía puede ocurrir como resultado de esfuerzos o deformaciones que el suelo haya sufrido previamente, por lo que la historia del esfuerzo y la deformación de los suelos tiene importancia lo que complica el problema.

Por ejemplo, podemos mencionar los efectos que produce la temperatura en los suelos.

Los efectos más importantes de los cambios la temperatura han sido observados hasta ahora en laboratorio, la influencia de la temperatura en los resultados de algunos estudios es mayor de lo que generalmente se ha pensado.

Los resultados de pruebas triaxiales drenadas, demostrarán que una disminución importante permanente de volumen, que puede ocurrir durante el aumento en la temperatura bajo condiciones drenadas a esfuerzos efectivos constantes seguidos por enfriamiento, puede tener exactamente el mismo efecto que la sobre consolidación, correspondiendo estas condiciones a un incremento de la presión inicial seguida por una descarga.

También se demostró, que, en condiciones similares un cambio de temperatura da lugar a una alteración de la presión de poro (es la presión que ejerce el agua sobre la superficie de las partículas, ya sea en estado estático ó dinámico).

La magnitud de los cambios indican claramente la necesidad de controlar la temperatura en las pruebas de laboratorio y señala casos en el comportamiento del suelo en el campo, que difiere de lo observado en laboratorio.¹

NOTA: 1* Es decir con diferentes características.
1 Referencia 2.

II.3 COMPACTACION DE SUELOS ARCILLOSOS, Y SUS PROPIEDADES MECANICAS.

La compactación de suelos es un procedimiento mecánico -- por medio del cual, se pretende mejorar las propiedades mecánicas del suelo, para que la estructura tenga un buen comportamiento durante su vida útil.

Para poder tener un buen control de la compactación en -- campo, se hace uso de las pruebas de compactación en laborato-- rio, que nos permiten reproducir o asemejar las condiciones rea-- les del campo. Dentro de las pruebas de compactación en labora-- torio tenemos los tres procedimientos más comunes que son: im-- pacto, por amasado y por carga estática.^{1*}

El ingeniero debe fijar los detalles del proceso de com-- pactación para obtener la combinación óptima de propiedades me-- cánicas deseables para el problema con el mínimo costo. Para ha-- cerse ésta selección necesita conocer las relaciones entre el -- comportamiento del suelo y los detalles de puesta en obra del -- suelo de que se trate. Esta información se deduce de las prue-- bas de laboratorio y de pruebas de campo. La prueba de impacto y también nombrada compactación dinámica, consiste en colocar -- el suelo en un molde y dejar caer un pisón sobre el suelo, un -- determinado número de veces. En la prueba de compactación por -- amasado el suelo se coloca en un molde y se comprime con un pis-- tón varias ocasiones bajo una presión específica. En la prueba de compactación estática el suelo se somete a una presión está-- tica de magnitud dada.

1.3.1. Si un suelo arcilloso se compacta con un tipo y -- energía de compactación dados por diversas humedades, se obtie-- ne una curva como la mostrada en la figura 1.3. Esta curva de -- compactación de prueba proctor standar muestra que, al aumentar la humedad de moldeo de la muestra el peso volumétrico aumenta hasta un máximo, disminuyendo después por lo que se dice que, --

- la humedad óptima es con la que se obtiene el peso volumétrico seco máximo.

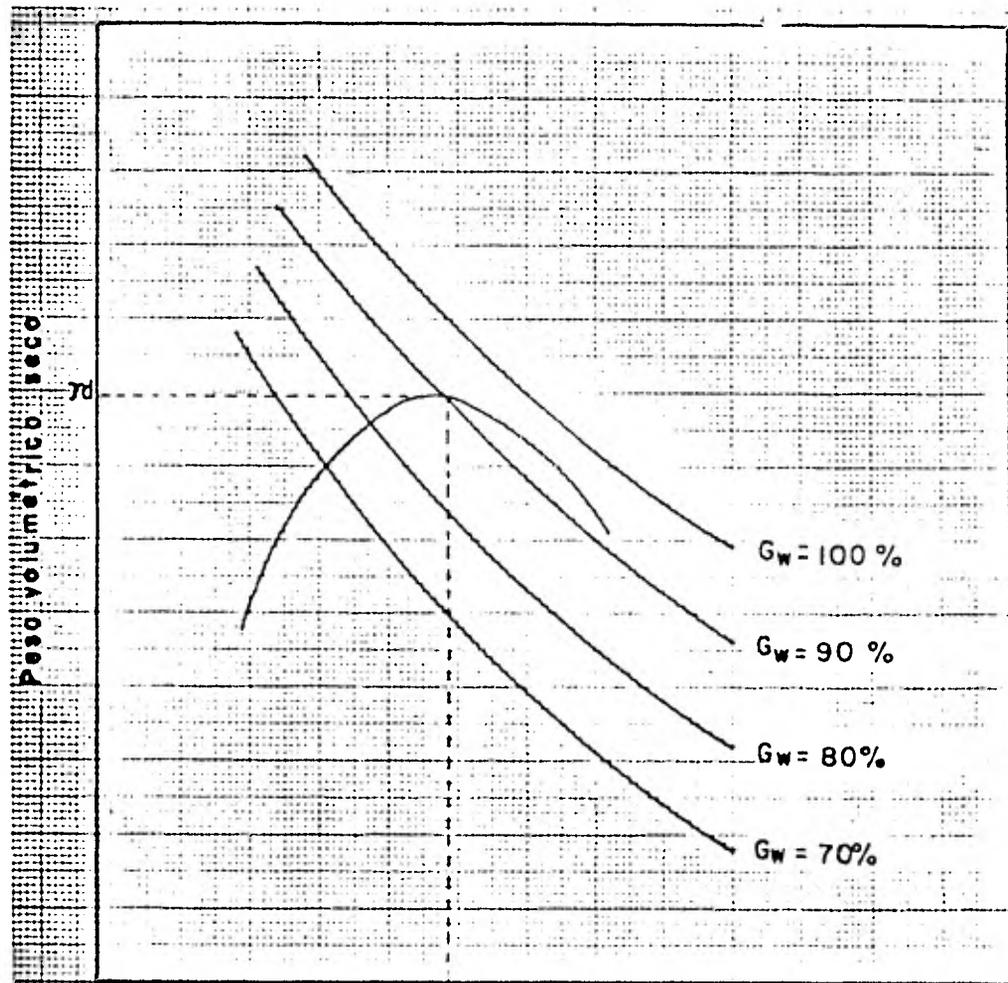


FIG. I. 3 γ_d vs w con curvas, $G_w = 100\%, 90\%, 80\%, 70\%$

Como también puede verse en las figuras I.3 y I.1; el grado de saturación aumenta con la humedad.

En la figura I.4 se muestra un conjunto de curvas de compactación de un mismo suelo con el mismo procedimiento pero diferentes energías de compactación, donde se observa que el incremento del peso volumétrico seco que se logra con cierto aumento en la energía de compactación es tanto mayor cuanto menor sea el contenido de agua del suelo, de modo que, cualquier incremento de energía aplicada a un suelo con contenidos de agua superior al óptimo se gasta en deformar angularmente, pero no en reducir el volumen del suelo. También en las figuras I.3 y I.2 se observa que todo incremento en el peso volumétrico seco logrado por incremento en la energía de compactación da lugar a un aumento bien determinado del grado de saturación, por tanto un suelo compactado con cierto contenido de agua resultará con un grado de saturación tanto más alto cuanto mayor sea la energía empleada en la compactación, excepto para contenidos de agua superiores al óptimo.*

Para obtener en laboratorio las condiciones representativas del campo, es indispensable la distribución uniforme del contenido de agua, la no utilización de la muestra de suelos para prueba más de una vez y producir la trayectoria del contenido de agua, ya que, generalmente se obtienen diferentes pesos volumétricos secos cuando se llega al contenido de agua de compactación secando el suelo y cuando se llega humedeciéndolo.*

I.3.2. PERMEABILIDAD

Como se muestra en la figura I.5 el aumento de la humedad de amasado da lugar a una reducción de la permeabilidad por el lado seco del óptimo y un ligero aumento de permeabilidad por el lado húmedo. El aumento de la energía de compactación reduce la permeabilidad, ya que aumenta el peso volumétrico seco, y por tanto, disminuyen los vacíos disponibles para el flujo de agua, aumentado la orientación de las partículas, por tanto, el factor que más afecta la permeabilidad del suelo compactado es la estructura, que puede dar lugar a variaciones de varios órdenes de magnitud.

Se puede observar en la figura 1.6 que tanto el contenido de agua como el método de compactación han influido en la estructura adquirida por el suelo. Como se ve en la gráfica, el método de compactación estática deja el suelo más permeable que por el método de compactación por amasado, debido a que, en éste método es sólo la aplicación de una fuerza en la superficie del suelo no logrando una buena orientación de la partícula la cual no ocurre en el método por amasado, ya que, como su nombre lo dice el suelo va siendo amasado y esto produce un cambio en la estructura del suelo dándole una mayor orientación a las partículas. También se puede observar las figuras 1.5 y 1.6, que hay un ligero aumento de la permeabilidad, al aumentar el grado de saturación del suelo. De lo anteriormente expuesto se desprende que, la permeabilidad de un suelo arcilloso compactado puede variar en algunas órdenes de magnitud, dependiendo de las condiciones de compactación, especialmente de aquellos que más influyen en la estructura del suelo.

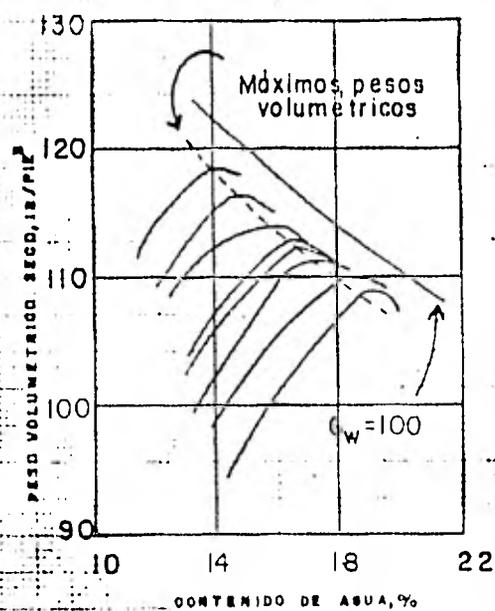


FIG. I.4 Diagrama cualitativo de γ_d vs w para diversas energías de compactación

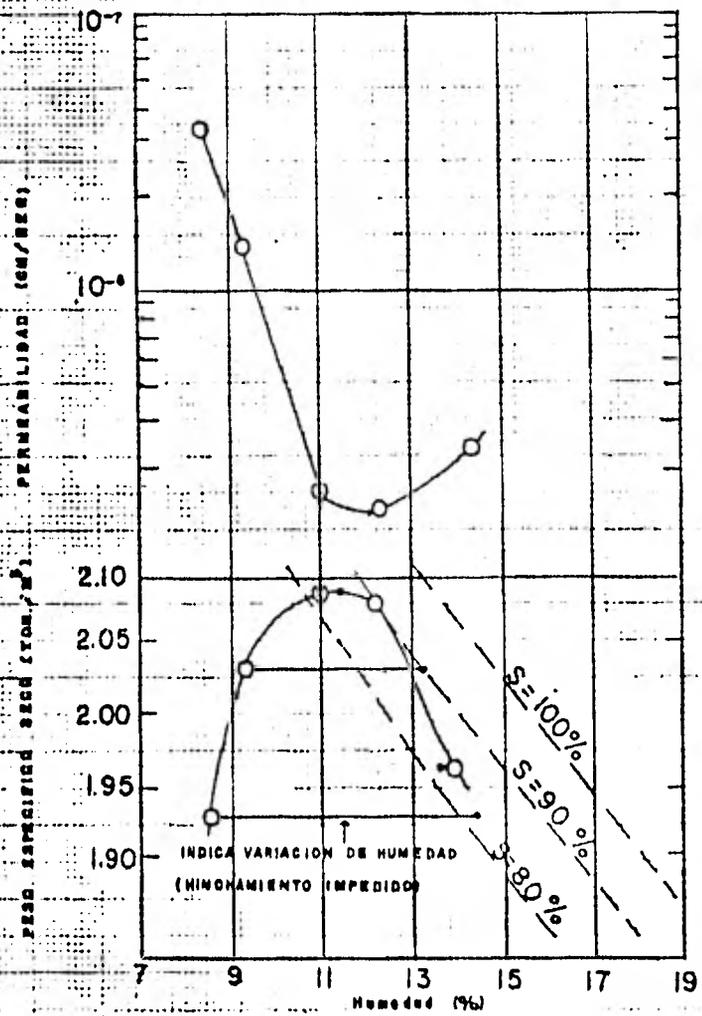


FIG. I.5 PRUEBAS DE COMPACTACION - PERMEABILIDAD

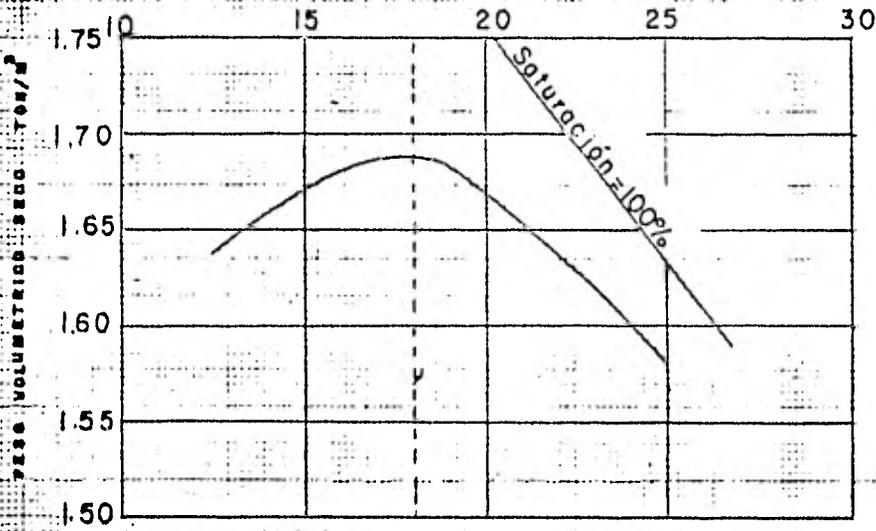
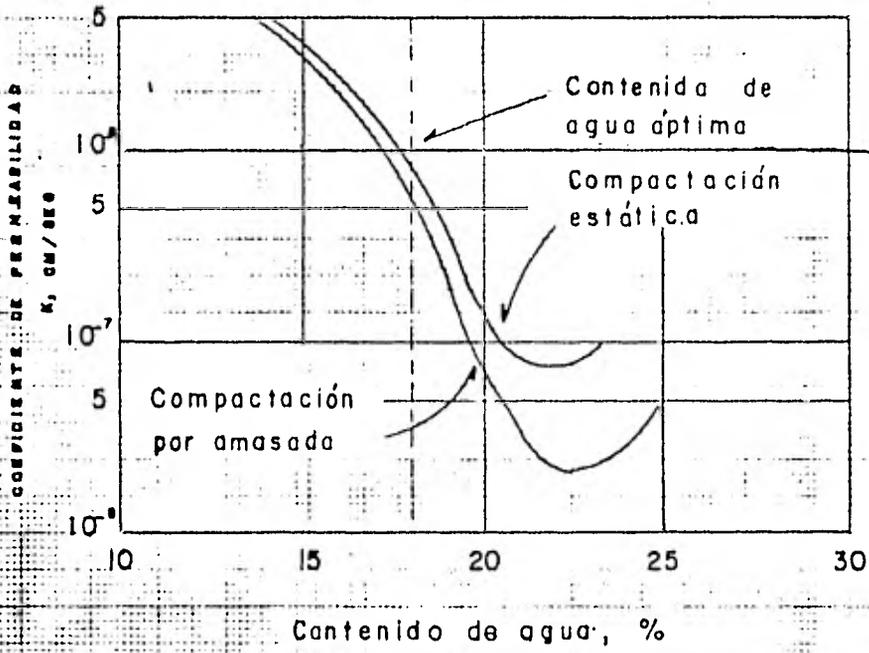
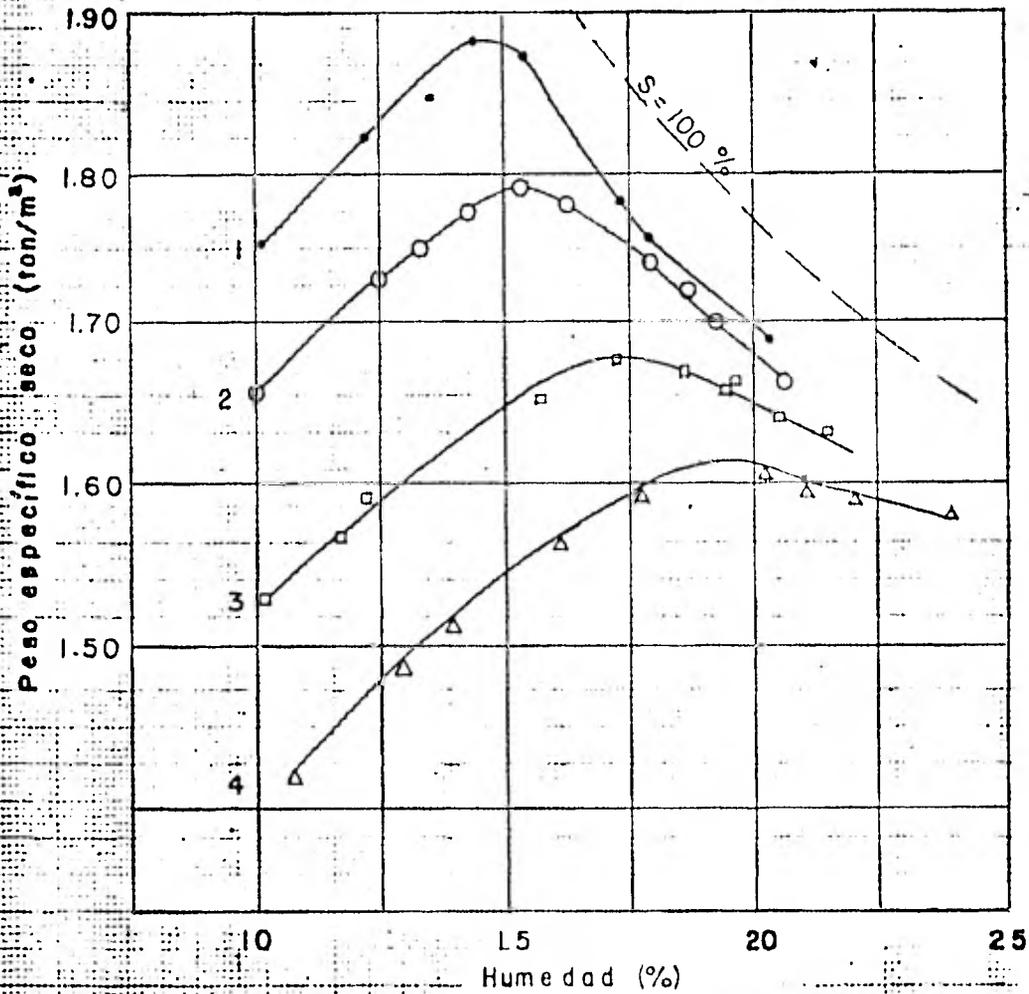


FIG. I.6 Efecto de la estructura de una arcilla limosa en su permeabilidad

I.3.3. RESISTENCIA Y DEFORMACION

En los suelos finos compactados se desarrollan presiones de poro, cuando el suelo está compactado y también suelen desarrollarse, una vez que el suelo ha sido compactado; lo que hace pensar que la presión de poro que se desarrolla en el suelo compactado será mayor cuanto mayor sea la energía de compactación, lo que produce un relativo aumento en la orientación de las partículas y un grado de saturación mayor (figura I.7) dando ésta como resultado, una resistencia menor y mayor deformabilidad -- del suelo, es decir, que, las presiones negativas desarrolladas en el agua son más altas a menor grado de saturación inicial y, hace que correspondientemente, sea también mayor la resistencia del suelo compactado y menor su deformación pero al aumentar -- el contenido de agua la orientación de las partículas va siendo mayor debido a la repulsión de éstas, resultando un aumento en la deformación del suelo y menor resistencia, lo que quiere decir que la estructura de las partículas, grado de saturación y el contenido de agua son los parámetros que gobiernan las propiedades, esfuerzo - deformación - resistencia de los suelos arcillosos compactados.

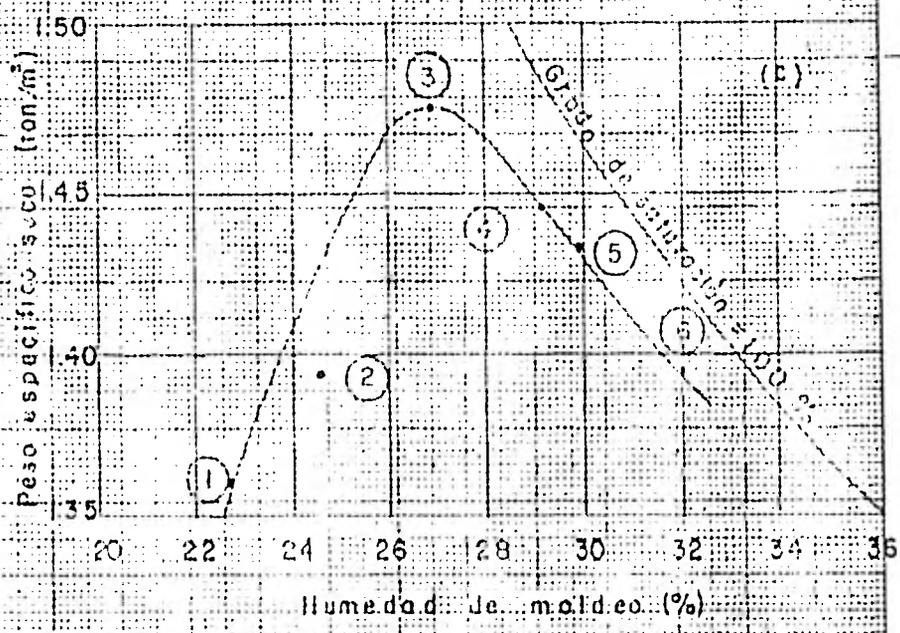
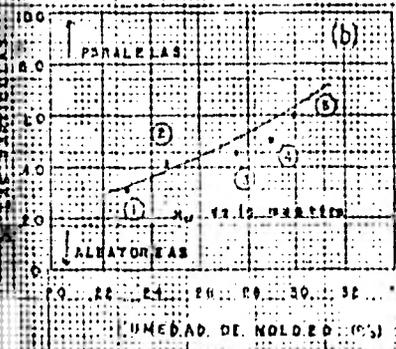
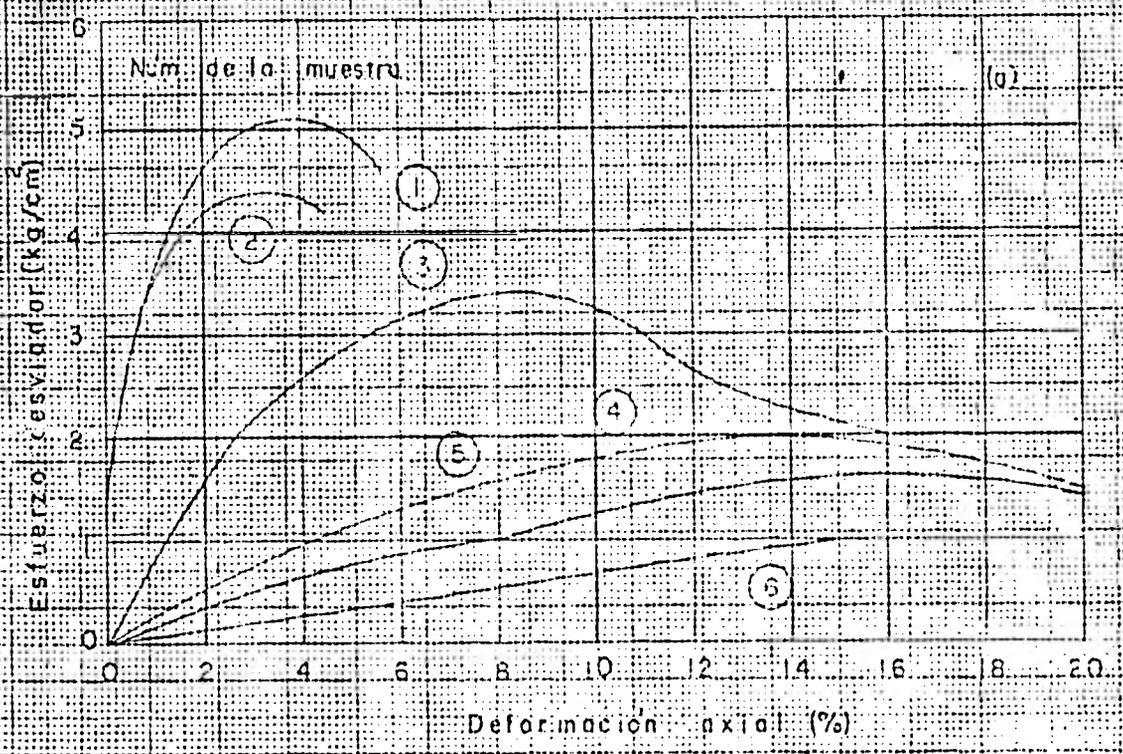
Lo anterior, se puede ver en la figura I.8, donde se -- muestra la influencia tanto del contenido de agua, orientación de las partículas y grado de saturación en la relación esfuerzo - deformación, en una muestra de arcilla compactada. La muestra compactada por el lado seco, tiende hacerse más rígida y resistente que la compactación por el lado húmedo.



	Capas	Golpe por capa	Peso del pistón	Alturo de caída
1	5	55	4.5 Kg	46 cm (AASHO) modificado
2	5	26	4.5 Kg.	46 cm
3	5	12	4.5 Kg	46 cm (AASHO) estándar
4	3	25	2.5 Kg	30 cm

Nota: Se empleó un modelo de 15cm de diámetro

FIG.I.7 Curvas de compactación dinámica para una arcilla limosa (Según Turnbull, 1950)



10.1.3 Influencia de la humedad de moldeo sobre la estructura y la relación esfuerzo-deformación en muestras compactadas de control: (a) Curvas esfuerzo-deformación de muestras compactadas. (b) Grado de orientación de las partículas en función de la humedad. (c) Peso específico en función de la humedad. (Según Saed y Chon, 1959)

I.3.4. EXPANSION Y CONTRACCION

Los cambios volumétricos en suelos arcillosos, ocurren de bido a la deformación a nivel estructural que son:

- a) Variación de la distancia entre partículas con bajo grado de orientación constante.
- b) Lo que ocurre por reducción de la distancia medida de las partículas, sin que cambie su distancia míni ma por aumento del grado de orientación. (*1)

En la figura 1.9 se muestran resultados de secado y humedecido de una arcilla arenosa compactada con la prueba Británica standar de impacto,² con su correspondiente curva de compactación. A partir de diferentes puntos de dicha curva, que representan condiciones particulares de suelo, se seco y se humedeció éste. En la gráfica se observa la evolución del contenido de -- agua y del peso volumétrico seco como consecuencia de tales operaciones. Las máximas contracciones que sufre el suelo ocurren -- cuando éste esta cerca de la saturación, debido a su orientación de partículas y en consecuencia, al secarse se obtendrá mayor pe so volumétrico seco pero, su capacidad de absorber agua decrece por su bajo porcentaje de aire en los vacios.

Como se ve, las contracciones son pequeñas con bajos contenidos de agua, debido a que las partículas del suelo no estan orientadas y los espacios libres que provocan son muy grandes.

Esto quiere decir que, la distancia mínima entre partículas es mucho menor en suelos compactados del lado seco, por tanto, las repulsiones netas resultan mucho mayores ya que también la estructuración del suelo permite mayor capacidad de absorber agua.

NOTA:

- *1. Ref. 1
2. Prueba derivada de la proctor standar

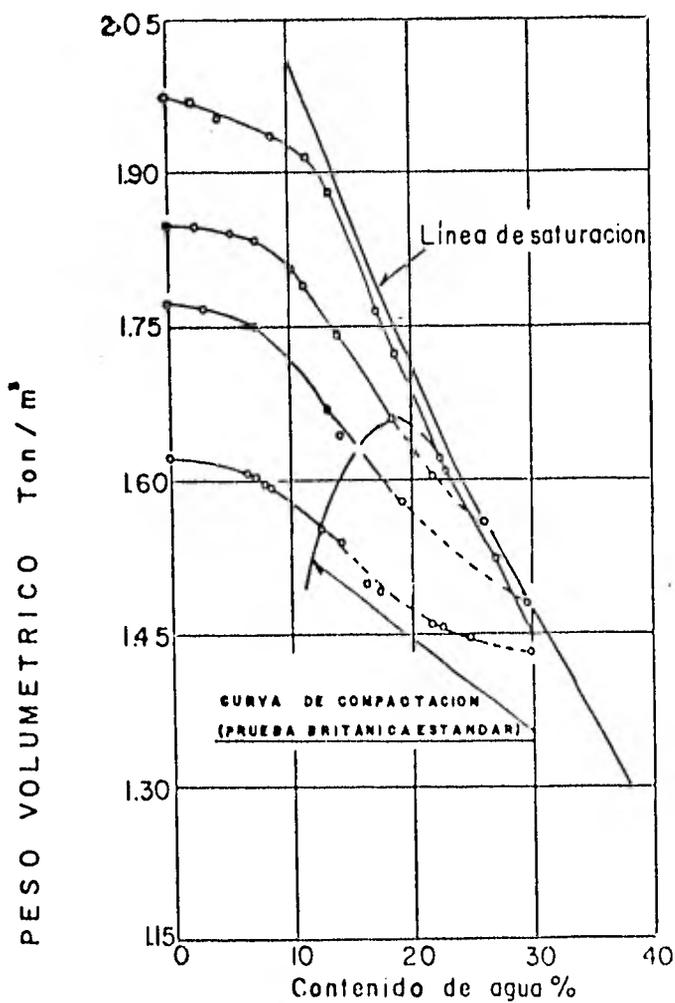


FIG. I.9

Relación entre el peso volumétrico seco y el contenido de agua en una arcilla arenosa cuando se humedece o seca lentamente después de ser compactada

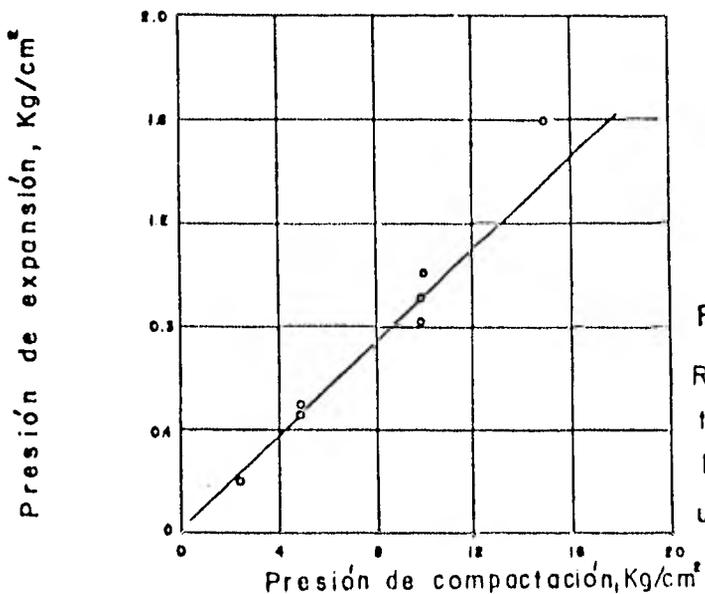


FIG. I.11

Relación entre la presión estática de compactación y la presión de expansión en una arcilla

El potencial de expansión y contracción de un suelo también varia según el método de compactación que se utilice. La fig. I.10 muestra la expansión y contracción de un suelo arcillo-arenoso que se compacto con el método de amasado y con el método compactación estática. Estas mediciones se hicieron en muestras con el mismo peso volumétrico seco, del lado húmedo y lado seco - del contenido de agua óptimo de compactación.

En la fig. I. 11 y I. 12 se ve que el potencial de expansión y en consecuencia el de contracción, también es función de la energía de compactación y que crece y decrese respectivamente con ésta. En la gráfica I.12 se presentan datos de una arcilla - a compactación estática bajo diferentes presiones. En general la expansión es mayor cuando se utiliza el método estático de compactación que cuando se compacta por amasado, y esta diferencia aumenta a mayor energía de compactación que se emplee y a mayor peso volumétrico que se obtenga.

En la fig. I.13 observese la influencia que el método de compactación ejerce sobre las propiedades del adobe, lo cual será corroborado por nuestro estudio en la parte III.

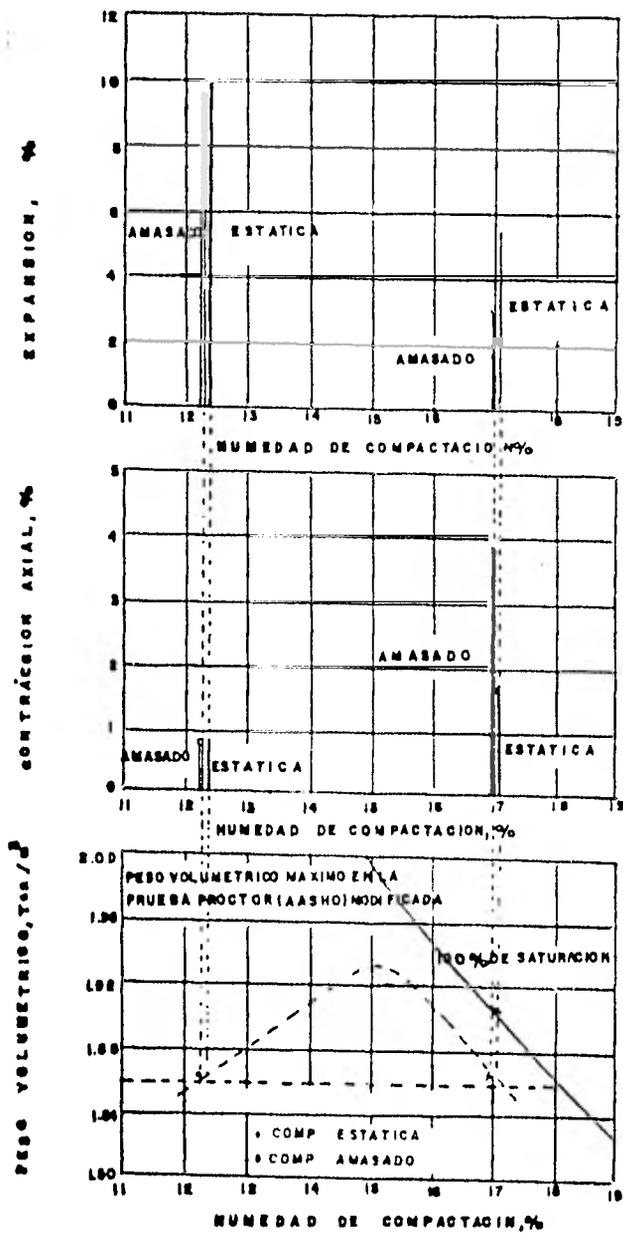


FIG. I . 10

EXPANSION Y CONTRACCION DE UNA ARELLA ARENOSA COMPACTADA ESTATICAMENTE Y POR AMASADO

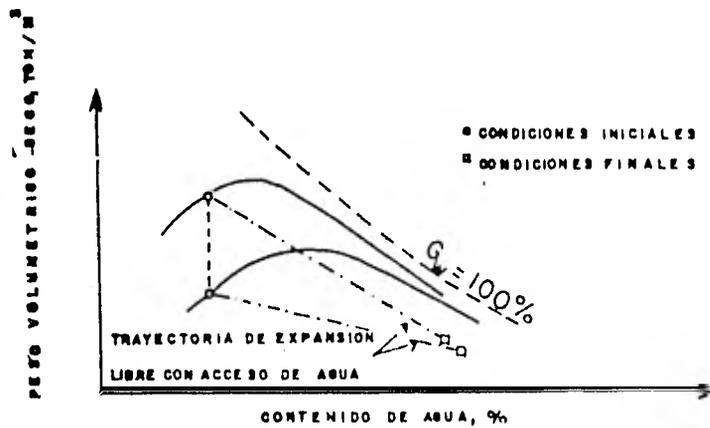


FIG. I. 12 EXPAN SIVIDAD DE UN SUELO ARGILLOSO COMPACTADO A MISMO CONTENIDO DE AGUA BAJO DIVERSAS ENERGIAS DE COMPACTACION

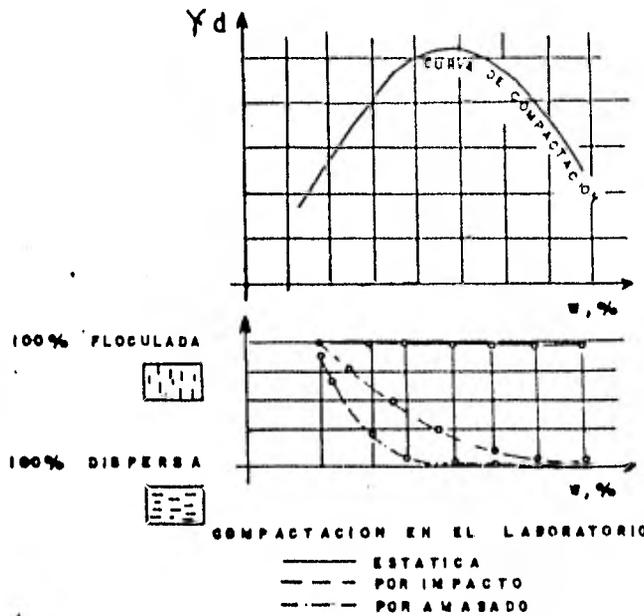


FIG. I. 13 INFLUENCIA DEL TIPO DE COMPACTACION EN LA ESTRUCTURA ADQUIRIDA POR EL SUELO COMPACTADO

I.3.5 EROSION

La erosión del suelo, depende de la trabazón entre partículas, determinadas por las características geométricas de su estructura y de la magnitud de las fuerzas electromagnéticas de partícula a partícula, es decir, un suelo es más susceptible -- a la erosión cuanto mayor sean las fuerzas de repulsión entre partículas.

Como ya se mencionó anteriormente, un suelo que es compactado por el lado seco del óptimo tiende a tener (entre más seco) mayores repulsiones entre partículas, debido a que la distancia mínima entre partículas es mucho menor produciendo una alta permeabilidad en el suelo compactado, lo cual no ocurre en un suelo compactado por el lado húmedo del óptimo ya que el grado de orientación de sus partículas es mayor y en consecuencia se tiene menor permeabilidad, lo que evita el fácil desprendimiento y arrastre de las partículas finas y por tanto, la erosión interna del suelo, lo cual no ocurre con un suelo compactado por el lado seco.

Ahora bien, puede considerarse un intervalo que tome como base de variación al contenido óptimo de agua proctor.²

NOTA: 1. Ref. 1

2. Nosotros en la parte III, proponemos los extremos de este intervalo.

PARTE II

ELABORACION Y PROPIEDADES DEL ADOBEINTRODUCCION.

En el capítulo anterior nos dimos cuenta de la importancia que tiene el comportamiento microscópico y macroscópico de los suelos.

Es indudable que un estudio adecuado sobre este aspecto, influya de manera determinante en el procedimiento de elaboración del adobe, por una parte, y por otra, en la incidencia y mejoramiento de sus propiedades físicas (resistencia al intemperismo, manejabilidad, etc), y, mecánicas (resistencia a la compresión y tensión).

Así pues, en este capítulo nos corresponde mencionar el procedimiento que presumiblemente debe llevarse a efecto para la elaboración del adobe y describir y medir las propiedades del mismo - que consideramos más importantes.

INDICE

- II.1 Elaboración del Adobe
- II.2 Propiedades del Adobe.
 - II.2.1 Resistencia al Intemperismo
 - II.2.2 Manejabilidad
 - II.2.3 Contracción Volumétrica
 - II.2.4 Resistencia a la compresión y Tensión
- II.3 Interpretación y Medición de las Propiedades del Adobe.

II,1 ELABORACION DEL ADOBE

Respecto a la elaboración del adobe, hay una literatura bastante nutrida, la cual en la mayoría de las veces es de carácter empírico, mientras que la parte que corresponde a métodos de elaboración con carácter científico o de investigación, es bastante menor.

En base a los dos puntos anteriores el método que presumiblemente debe seguirse para la elaboración del adobe es el siguiente:

a) Selección del suelo:

Como mencionamos al principio, el suelo es muy complejo, por lo que seleccionar el adecuado para la elaboración del adobe, lo más indicado sería efectuar pruebas en el laboratorio, pero esto no siempre es posible, ni siempre es económico, por lo que se hace necesario y práctico la utilización y proliferación de algunas pruebas simples* o índices, lógicamente derivadas de las pruebas de laboratorio (composición del suelo, por la vista y el tacto, prueba de vasos, obtención práctica del índice de plasticidad, de la granulometría, pruebas de agrietamiento, pruebas de resistencia y de contracción, etc.), que desde luego nos dan las características del suelo muy aproximadas a las obtenidas directamente en el laboratorio.

b) Buscar un sitio plano:

Esto es con el fin de lograr una mejor distribución de agua, también para evitar la pérdida de ella, por pendientes y calor, y para una mejor comodidad, acondicionar un tendajón.

NOTA: * Las referencias que profundizan sobre el tema, son: Ref. 7, 8 10 y 12.

c) Preparación del sitio:

Se riega paja o arena con el fin de evitar que los adobes se peguen al terreno.

d) Homogeneidad de la mezcla suelo - agua:

La mezcla suelo-agua, debe dejarse en reposo (de uno a tres días, dependiendo de las condiciones climáticas), para lograr la mejor distribución del agua en el suelo, lo que trae como consecuencia, obtener adobes con características semejantes y de mejor calidad.

e) Mezcla suelo - agua:

Después de haber sido depositado el suelo seleccionado en el sitio elegido, se le adiciona agua, (varía debido a diferentes factores: características del suelo, clima, etc.), hasta lograr un contenido de agua que se encuentre en un intervalo comprendido en $\pm 8\%$ del porcentaje del contenido de agua óptimo proctor¹.

f) Adición de aditivos o estabilizantes:

En caso de que se vaya a incluir algún aditivo o estabilizante al suelo, éste debe extenderse hasta formar una capa de unos 10 cms. de espesor para así dispersar los aditivos, buscando con ésto una mezcla lo más homogéna posible.

g) Preparación de la mezcla para elaboración de los adobes:

Con ayuda de un azadón y de los pies, se mezcla^{2*} el suelo y el agua (además del aditivo cuando sea utilizado), hasta lograr una masa (lodo) homogéna plástica. Es decir, en el momento que:

NOTA: 1* En base a nuestro estudio, nosotros hacemos esta propuesta.

- de la masa de lodo empieza a brotar agua (desde luego en cantidades mínimas), se puede considerar como el momento adecuado para la elaboración del adobe (las partículas de suelo han logrado prácticamente su mejor acomodamiento).

h) Llenado y extracción de los moldes:

Se procede a llenar los moldes o adoberas (que deben estar limpios y preparados previamente) presionando con las manos y - - - teniendo cuidado de compactar adecuadamente las esquinas, después se nivela la superficie pasándole una regla y se culmina el llenado alizando la cara superior, (5 minutos mínimo) para extraer el molde (lo cual se hace con el cuidado necesario para evitar el desportillo del adobe) dejando listo al adobe para el secado.

i) Secado de los adobes:

Es recomendable evitar los tiempos de lluvias (las aguas) para la elaboración de adobes porque además del ataque directo de la lluvia la humedad que trae ésta consigo le impide a los adobes adquirir una consistencia óptima, por otra parte el secado de los adobes debe ser de manera gradual, por lo que se recomienda ponerlos bajo tendajones u otros elementos que le permitan lograr esta premisa. Pués no debemos olvidar la acción que la temperatura (reactivar las partículas de agua y estas la del suelo) tiene sobre el adobe.

NOTA: 2 El cuestionamiento de cómo combinar los elementos agua-suelo-aditivos, se responde que depende de las características del suelo y de los mismos aditivos, todo relacionándolo con el ejecutor de la mezcla.*

II.2 PROPIEDADES DEL ADOBE

Las propiedades que aquí mencionamos consideramos son las más importantes. Porque pensamos, son las que determinan la calidad del adobe.

II.2.1 RESISTENCIA AL INTEMPERISMO

Esta propiedad puede considerarse como la de mayor importancia para el adobe. Esta propiedad refleja la defensa que posee el adobe contra la acción de la lluvia, el viento, la humedad, el sismo etc.

Esta propiedad varía si se habla del adobe simple o del adobe mejorado (utilizando los métodos para el mejoramiento del mismo).

II.2.2 MANEJABILIDAD

Esta propiedad está íntimamente ligada al peso y tamaño del adobe.

De ahí la importancia de reducir ambos, pero sin afectar las demás propiedades. La importancia de esta propiedad radica en la dificultad (principalmente) o la facilidad que presenta el adobe para desplazarlo o maniobrarlo. Por lo que no podemos desligar ésta propiedad del proceso correcto de elaboración.

II.2.3 CONTRACCION VOLUMETRICA

La contracción y expansión que sufren los adobes puede traer consigo el agrietamiento de los mismos y consecuentemente debilitarlos en sus demás propiedades, por lo cual ésta propiedad se considera de fundamental importancia, puesto que, no debemos olvidar que (1a. parte) la contracción y la expansión dependen del método y contenido de agua. El contenido de agua pa-

- ra lograr las mejores propiedades del adobe puede considerarse en el rango mencionado, en el inciso e (elab. del adobe).

II.2.4 RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión del adobe simple sin ser buena no es muy mala y desde luego varía con el tipo y cantidad de arcilla y agua.

Es muy importante resaltar que el mejoramiento de alguna propiedad trae como consecuencia el deterioro de otra, resolver este problema es de fundamental importancia para el adobe.

Respecto a la resistencia a tensión aunque ésta es mínima también es necesario mejorarla principalmente como defensa al sismo (aunque puede utilizarse otros elementos auxiliares).

II.3 INTERPRETACION Y MEDICION DE LAS PROPIEDADES DEL ADOBE.

La medición de estas propiedades se hace en base al punto anterior.

- RESISTENCIA AL INTENPERISMO

Esta propiedad es una de las más importantes y para valuarla se consideran la resistencia a la lluvia, a la humedad y al sismo. Para conocer o medir la resistencia del adobe (índice) a la acción de la lluvia se proponen dos pruebas:*

- 1) La de goteo, y
- 2) La de regadera.

NOTA: * Referencias 7, 8 y 12.

1) Para esta prueba se deben elaborar "pequeñas placas de dos centímetros de espesor, con el mismo material y en las condiciones que se pretende fabricar el adobe. El proceso de secado de las muestras deberá ser similar al que se vaya a efectuar en los adobes, con el fin de obtener resultados lo más confiables que sea posible.

La prueba consiste en someter estas placas a un goteo constante (una gota de agua cada segundo aproximadamente), desde una altura de 2.5m. y medir el tiempo que transcurre en perforarse. Aquellas que resistan la prueba durante más de 3hrs. tiene una buena resistencia a la erosión, por efecto de la lluvia".¹ (Figura II.1)

2) Esta prueba² "consistió en someter a los especímenes a la acción del agua que salía de una regadera, situada a 15cms. de la superficie de ensaye, a una presión de 1 kg/cm². La duración del ensaye fue de 3 horas y la degradación del material se midió en base a la profundidad de la perforación que el agua dejaba en los adobes, figura II.2

Para conocer la resistencia del adobe a la humedad se considera la "prueba por saturación"^{1*} que "consiste en sumergir especímenes cilíndricos durante 24hrs., aproximadamente, sacarlos, para determinar su resistencia a la compresión en estado saturado. Los especímenes probados, se elaboraron en la misma forma y sometidos a iguales condiciones que los probados a compresión".

Respecto a la resistencia del adobe al sismo no se han hecho estudios profundos, pero podemos deducir que el adobe presenta poca resistencia debido a que su oposición a la tensión también es muy baja.

NOTA: 1. Ref. 7
2. Ref. 12

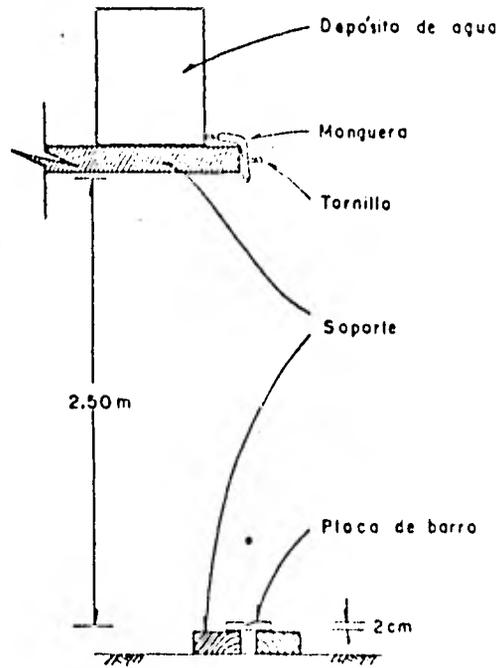


Fig II.1 Esquema del ensayo de resistencia a la perforación por goteo

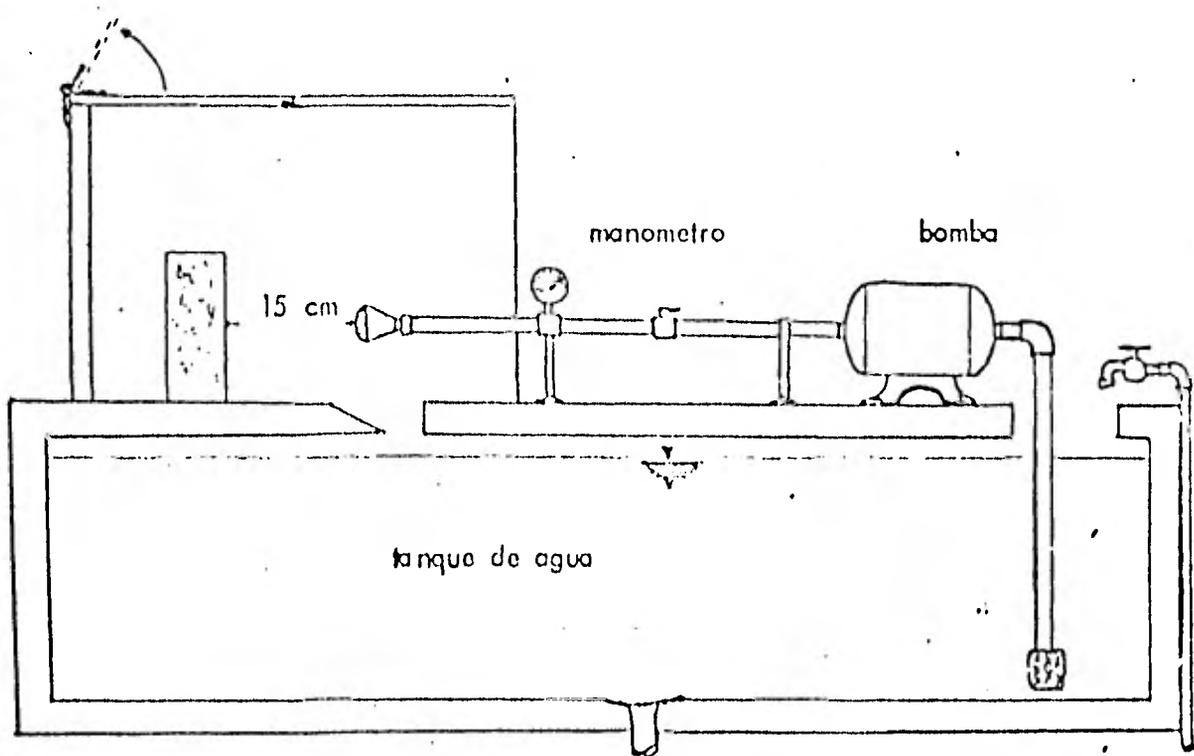


FIG. II.2 Equipo para la prueba de erosión. (regadera)

- MANEJABILIDAD

Esta propiedad es directamente proporcional a todas las demás, es decir, al aumentar la resistencia del adobe al intemperismo, a la contracción volumétrica a la compresión y a la tensión mejora su manejabilidad. Porque tendremos un adobe que no se ---- agrieta, que no se desmorona, que no se fractura fácilmente, -- etc., en síntesis tendremos un adobe de buena calidad.

- CONTRACCION VOLUMETRICA

La contracción volumétrica de los adobes que se van a elaborar se puede obtener fácilmente. No se necesita hacer ésta prueba - con un adobe propiamente dicho, sino basta con una muestra del suelo a estudiar en la forma que sigue:

- a) Se obtiene el volumen de un vaso de vidrio o de fierro, se - saca el peso del agua en gramos que es igual a su volumen en centímetros cuadrados.
- b) Se utiliza medio kilo del suelo lo más seco que se pueda.
- c) Se añade suficiente agua¹ al suelo hasta que presente buena manejabilidad pero sin que a la hora de amarlo brote agua (condición con la cual estaremos cerca del límite líquido).
- d) Se saca una muestra del suelo de aproximadamente 100gramos, y se deja secar totalmente con el fin de obtener el contenido de agua inicial.
- e) El vaso con una película muy ligera de grasa o aceite (para que no se pegue la muestra) y, se llena perfectamente.

NOTA: 1. El contenido de agua que se añada debe estar tan cerca del óptimo por el lado humedo, como la trabajabilidad de la masa de lodo lo permita.

- RESISTENCIA A LA COMPRESION Y TENSION

Para obtener la resistencia a compresión se puede utilizar el -- procedimiento de la figura¹ II.3, y, la resistencia a tensión se puede obtener en función de la resistencia de compresión utilizando la siguiente fórmula²: $F_t = 0.15 F_c$ en kg/cm².

F_t = Resistencia tensión

F_c = Resistencia a compresión

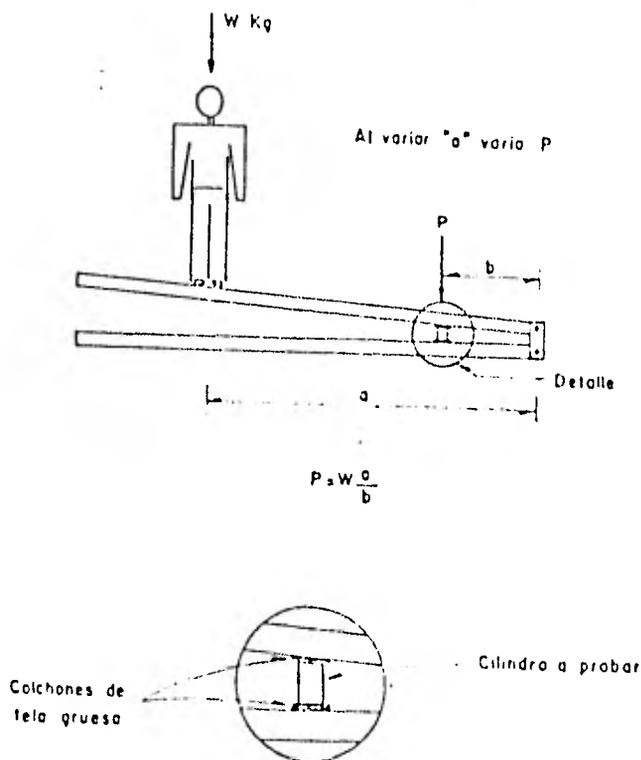


FIG. II.3 Esquema del ensayo de campo para la determinación de resistencia a la compresión (P)

NOTA: 1. Ref. 7, 8
2. Ref. 12

PARTE III

METODOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS ADOBESINTRODUCCION

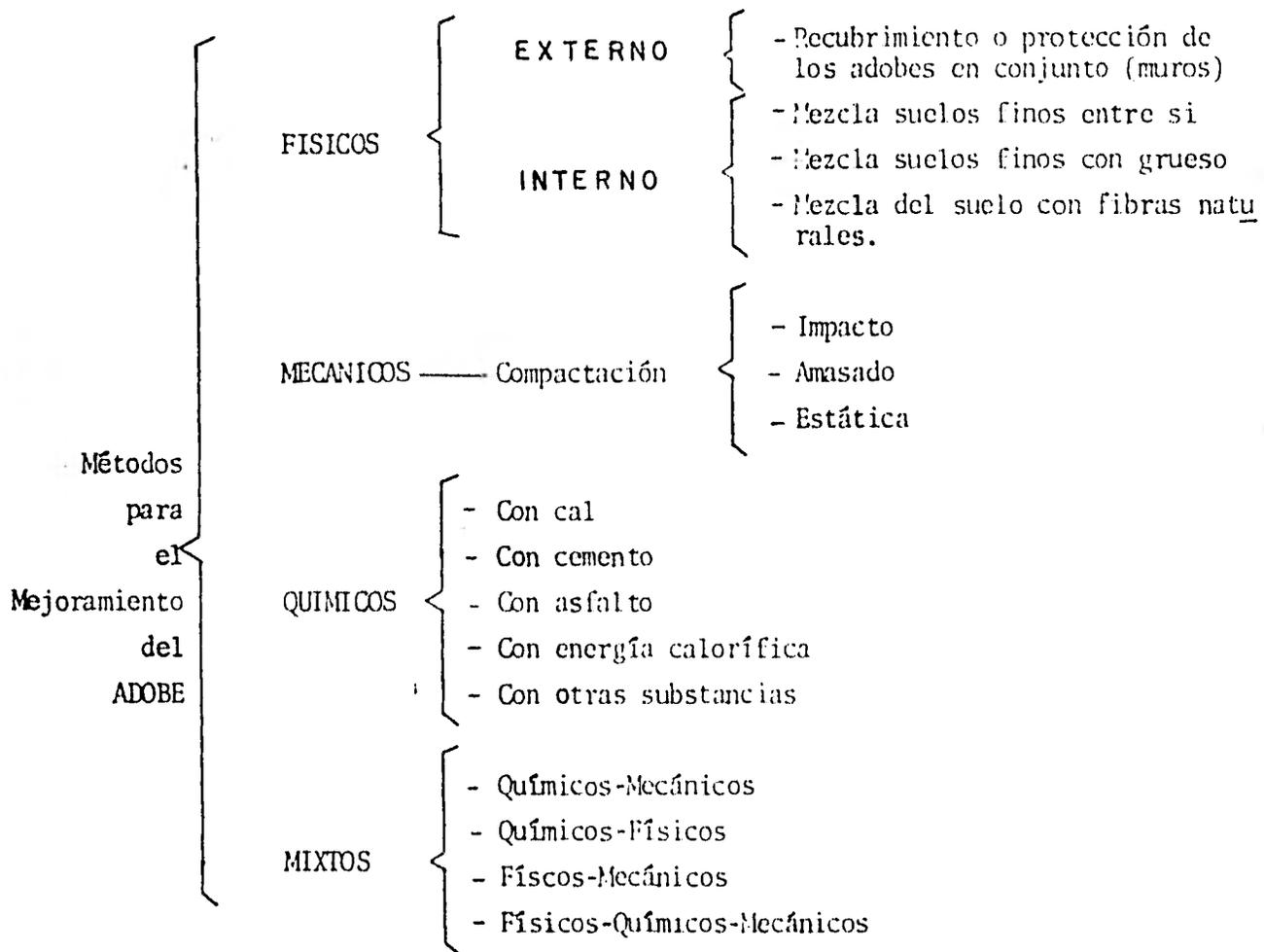
Hemos presentado en los dos temas anteriores por una parte, como ya dijimos las bases teóricas para dar una interpretación -- técnica al comportamiento del suelo compactado. Y, por otra, la elaboración del adobe y sus propiedades de una manera más práctica, como se hace en campo, así como sus propiedades.

Esto nos hace reflexionar sobre la necesidad de mejorar sus propiedades por lo que, el panorama que hemos presentado sobre el adobe nos servirá de base para el planteamiento del mejoramiento.

Este tema ésta basado principalmente en ensayos en laboratorio bastante prácticos sin utilizar métodos y procesos sofisticados.

Mostraremos la gran variedad de métodos para el mejoramiento de las propiedades de los adobes, principalmente la resistencia a la compresión y al intemperismo dado que éste fenómeno afecta - de manera significativa a las viviendas rurales que están construídas de adobe. Dado que existe una variedad de métodos.

Nosotros proponemos la clasificación siguiente:



El estudio que aquí presentamos, se refiere a los métodos Mecánicos, Químicos, y Mixtos, haciendo la aclaración de que, en los métodos mixtos describiremos únicamente el químico-mecánico. Esto no quiere decir que, tanto el método físico como los que faltan de método mixto no tengan alguna importancia, sino que, no se encuentran estudios completos por tanto, tampoco datos que puedan respaldar la información que existe.

PARTE III

METODOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL ADOBE

- III.1 Métodos Físicos
- III.2 Métodos Mecánicos (Investigación)
 - III.2.1 Impacto (P. Proctor)
 - III.2.2 Amasado (P. Vasos)
 - III.2.3 Estática (P. Prensa)
- III.3 Métodos Químicos
 - III.3.1 Estabilización con cal
 - III.3.2 Estabilización con cemento
 - III.3.3 Estabilización con asfalto
 - III.3.4 Estabilización utilizando energía calorífica.
 - III.3.4 Estabilización con otras sustancias.
- III.4 Métodos Mixtos
 - III.4.1 Método químico - mecánico
 - III.4.2 Otras combinaciones

III.1 MÉTODOS FÍSICOS

Los métodos físicos para el mejoramiento del adobe consisten fundamentalmente en:

Físicos Internos

Combinar algunos suelos finos con gravas, logrando en ocasiones mejorar la resistencia al intemperismo, aunque, ésto suceda en casos contados. Y, la combinación de suelos finos entre si, pero de características diferentes.

Combinar el suelo fino con fibras naturales como paja, bagazo de caña, fibra de coco, henequen, zacate, pinaza, etc., o incluso combinación del suelo fino con dos de las fibras mencionadas¹.

Físicos Externos

Este método que lo caracterizamos como un método físico externo, consiste en recubrir los muros de adobe simple o estabilizado (recubrimientos bifuminosos, pinturas o con morteros) y/o proteger la parte superior o inferior de los mismos¹.

NOTA: 1. Para profundizar un poco más sobre el tema remítanse a las referencias 12 y 8.

III.2 METODOS MECANICOS

Dentro de este tema damos a conocer los resultados que obtuvimos en ensayos que realizamos en el laboratorio. Esta investigación tuvo como principal fin, el ir determinando el comportamiento del suelo a medida que se iba incrementando la carga - de compactación y se variaba la humedad hasta obtener su curva proctor de compactación respectiva, y así, determinar su resistencia después de secado totalmente.

La resistencia que presentaba la muestra del suelo compactado fué a diferentes humedades y cargas. También lo que nos -- intereso obtener de estos ensayos fueron los cambios volumétricos que se daban en la muestra debido al secado de ésta, es decir, la contracción. Para este trabajo utilizamos a nuestra manera de ver dos tipos de suelos finos representativos, es decir, dos tipos de suelos finos con diferentes características: uno - arcilloso - arenoso muy plástico proveniente de la colonia La - Era D.F., y el otro areno - limoso proveniente de Cholula, -- Puebla., de los cuales damos sus propiedades índice en el apéndice.

Debido a que se quiso tener un buen control del contenido de agua del suelo, éste se tuvo que meter en el horno ya que -- fué traído directamente del campo, para eliminar totalmente su humedad.

Queremos hacer una aclaración en cuanto al secado de la - muestra ya que fue compactada por medio de un horno a una temperatura de 110°C por el lapso de 24hrs, es decir, que el secado o pérdida de agua de la muestra fué de una manera más rápida y en consecuencia también, los cambios volumétricos, que aun que tienen una ligera variación son representativos del secado al medio ambiente.

Las figuras que a continuación mostraremos con los resultados -

obtenidos, con respecto a los volúmenes de sólidos y vacíos en por ciento, con el fin de ir visualizando de una manera más práctica la evolución que va teniendo el suelo compactado en cuanto a sus volúmenes de sólidos, vacíos, de agua y la contracción que sufre el material al secarse.

Realizamos tres tipos de pruebas que son: la prueba de proctor standar, la prueba que le llamamos de vasos (amasado), y la prueba con prensa estática, de los cuales presentamos sus respectivas figuras de compactación.

III.2.1 METODO MECANICO POR IMPACTO (PROCTOR)

En primer lugar presentamos la prueba de compactación proctor, que es el nombre del inventor de este tipo de prueba. Proctor observó que con contenidos de agua crecientes, a partir de valores bajos, se obtenían pesos volumétricos mayores para el material compactado, si se usa la misma energía de compactación.

Pero se dió cuenta que esta tendencia no se mantenía indefinidamente, ya que cuando la humedad pasa por cierto valor disminuyen los pesos volumétricos secos logrados.

Es decir, proctor puso de manifiesto que para un suelo dado y usando determinado procedimiento de compactación existe un contenido de agua llamado óptimo, que produce el máximo peso volumétrico seco que es viable obtener con ese método.

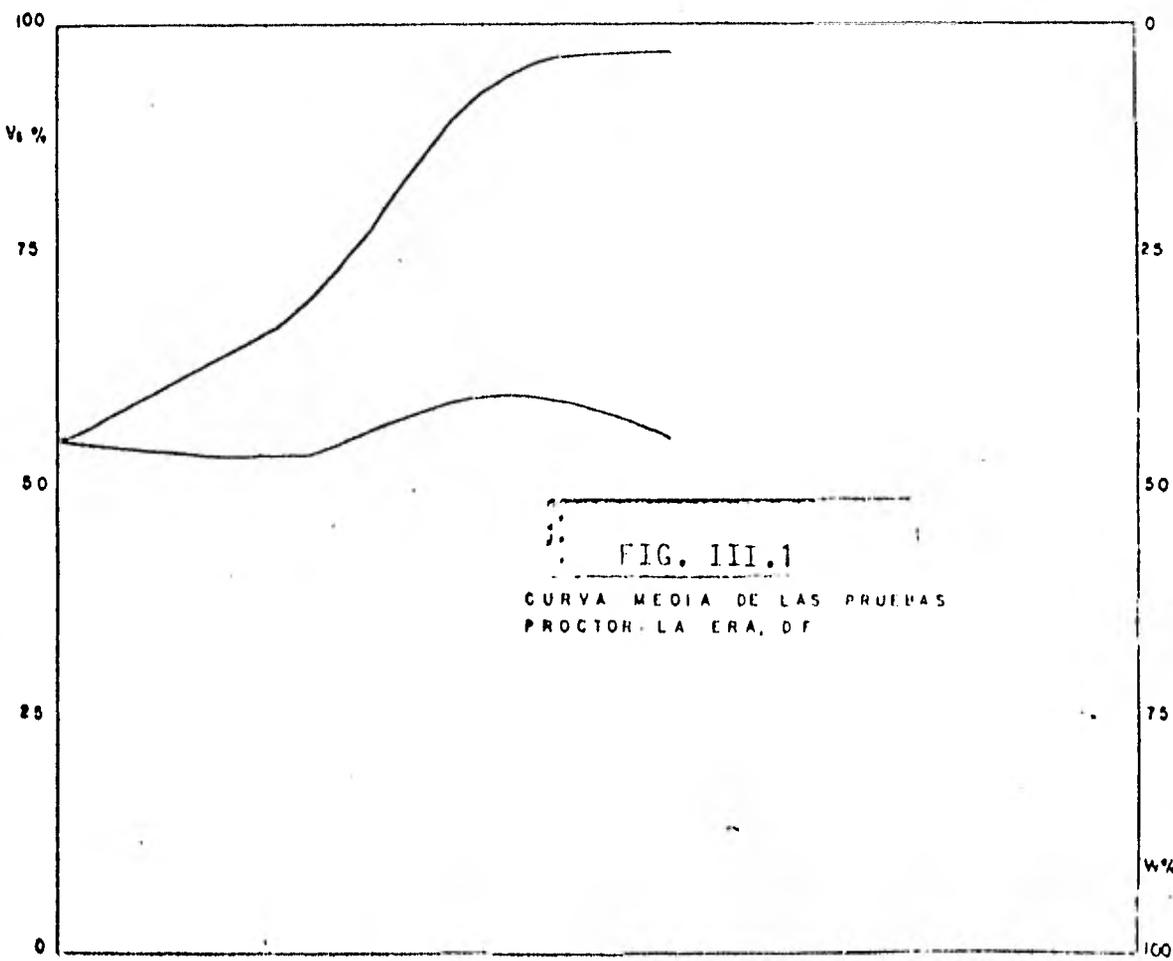
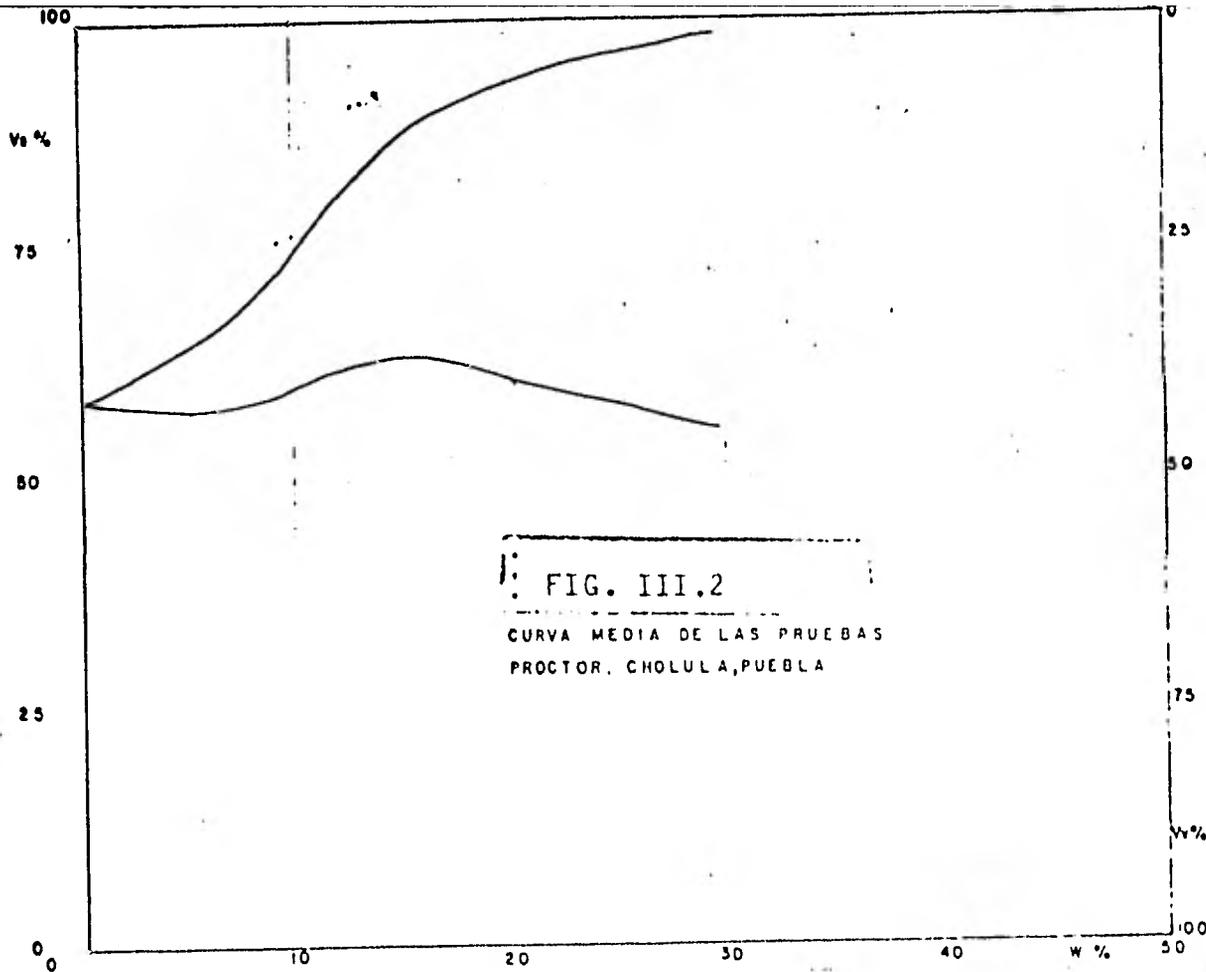
Por lo expuesto consideramos que la prueba proctor nos da un marco de referencia bastante real para hacer la comparación para suelos finos, dado que, es la prueba que nos representa más realmente el comportamiento del suelo compactado en el laboratorio, y es la más reconocida y estandarizada.

En el encabezado de las figuras se menciona el lugar de donde fué extraído el suelo y el tipo de prueba que se realizó. A continuación presentamos la curva media de las pruebas proctor es decir, en las figuras se resume una serie de pruebas que se realizaron con el mismo procedimiento y con el mismo incremento de humedad con el fin de obtener una curva que fuese representativa del comportamiento del suelo. Del suelo de la Era se hicieron tres pruebas de las cuales se obtuvo su respectiva curva de compactación y se obtuvo la curva media de las tres. Del suelo extraído de Cholula se hicieron cinco pruebas obteniéndose su respectiva curva de compactación, considerándose estas curvas medias como representativa de todas las demás.

Como se observa en la figura III.1 y III.2 se presenta claramente la evolución de los volúmenes en porcentaje de aire, de agua y de los sólidos.

En la figura III.1 puede verse que el suelo empieza a compactarse con una relativa buena resistencia al esfuerzo cortante hasta un determinado contenido de agua, debido a que el suelo de la Era es arcilloso - arenoso sus partículas como se vió en un tema anterior son microscópicas y por lo tanto, sus propiedades eléctricas tienen mayor capacidad de absorber agua, por lo que, con bajo contenido de agua de compactación sus partículas se encuentran todavía con nula orientación con lo que resulta mayor resistencia a la compactación y en consecuencia una baja disminución en el volumen de vacíos.

Comparando las figuras III.1 y III.2 se puede observar que el suelo de Cholula con menos contenido de agua se obtiene su máximo peso volumétrico seco es decir que, tiene menor capacidad de absorber agua que el de la Era. Todo esto es debido a la composición granulométrica del suelo ya que, uno (Era) es arcilloso-arenoso y, el otro (Cholula) es areno-limoso por tanto, lo anterior repercute en la notoria diferencia en cuanto a su comportamiento en la compactación.



III.2.2 AMASADO (PRUEBA DE VASOS)

Debido a que nosotros buscamos una prueba sencilla y además representativa, nos ingeniamos simular las pruebas proctor de una manera sumamente práctica, utilizando unos vasos de vidrio.

Pero la prueba que resultó fue realmente diferente a la proctor, acercándose más a la prueba de amasado.

Descripción de prueba:

En una charola se mezcla el suelo en estudio con cantidades de agua controladas.

Se homogeniza lo mejor posible el agua con el suelo (debe hacerse lo mismo en la prueba proctor), logrando lo anterior, se depositan capas de alrededor de 3cms. de espesor en el vaso hasta llenarlo, amasando cada capa. Depositándose en el horno para obtener después las características enunciadas en las tablas correspondientes y plasmadas en las figuras respectivas.

Por lo anterior, nosotros pensamos que la prueba descrita se asemeja más a la enunciada por Harvard que a la de proctor.

A continuación damos algunas características de la prueba hecha por Harvard.

Esta prueba, también "miniatura" Harvard se ha desarrollado para ser utilizada en suelos finos y no se ha intentado, usualmente, aplicarla a suelos que tengan partículas mayores de 2mm. En esta prueba se requieren entre 1 y 1.5 kg. de material para obtener una curva peso específico seco - contenido de agua definida con 6 u 8 puntos.

La preparación del suelo para la prueba es esencialmente

la de cualquier otra prueba de compactación. Se recomienda ahora colocar diversas porciones de suelo en recipientes con - - aproximadamente el contenido deseado de agua para la prueba, - dejándolas así por lo menos una noche. Esto garantiza una buena mezcla del agua y los suelos finos y produce mejoras y más seguros resultados en la prueba. Sin embargo, en suelos que - - absorben rápidamente el agua, con resistencias en estado seco generalmente bajas, es suficiente mezclar el agua inmediatamente antes de la prueba. Esta preparación de la prueba debe también ajustarse, en algunos casos, a las condiciones de la incorporación del agua al suelo en el campo.

En las figuras III.3 y III.4 mostramos los resultados obtenidos con las pruebas de vasos es decir que, en este tipo de prueba quisimos representar la compactación del suelo en campo con pisones en donde no se tiene una altura decaída determinada y en consecuencia una energía de compactación también no -- bien determinada.

La prueba de vasos consistió como se mencionó anteriormente en compactar el suelo en capas de aproximadamente 3 cms. de espesor, con un pisón a escala en un vaso de vidrio con volumen bien determinado.

Del suelo de la Era y Cholula se hicieron 3 pruebas por cada uno de ellos, sacándose una curva media de cada conjunto siendo estas representativas de las mismas.

Como se puede observar en la figura III.3 es notorio que la compactación del suelo no se hizo con una buena energía ya que si comparamos el peso volumétrico seco obtenido con el obtenido en la prueba Proctor Standar nos da menor, debido a que no hubo una altura y un número de golpes determinado (como ocurre en campo) del pisón miniatura que se utilizó.

En la figura puede verse una ligera expansión del suelo

hasta un determinado contenido de agua y en seguida el suelo empieza a compactarse, es decir que, la orientación de las partículas del suelo va siendo muy lenta pero progresiva debido a que el agua no penetra tan fácil en los vacíos del suelo con este tipo de prueba y como las partículas arcillosas no alcanzan a rodearse o atraer suficiente agua a su superficie, no provocan acción de repulsión dado que estas son muy pequeñas y uniformes con la cual dificulta a las moléculas de agua penetrar más fácil en sus vacíos.

También se muestra en la figura la contracción que se vió en la muestra compactada al secarse. Esta contracción nos interesó principalmente cerca del peso volumétrico seco máximo es decir, del lado seco y saturado del óptimo ya que generalmente es al grado de humedad al que se compacta el suelo en campo.

Esta prueba de vaso por la forma en que fué realizada la asemejamos a una prueba de compactación por amasado dado que (como se mencionó) no se tuvo una altura de caída determinada y ésta en sí, fué pequeña por la cual no la consideramos como prueba dinámica. Por lo anteriormente dicho, la contracción que se muestra en las figuras, fué resultado no de una prueba con vasos si no de una prueba en la cual el suelo fué amasado con las manos hasta producir un suelo homogéneo con el agua distribuida uniformemente por un espacio de tiempo de 5 a 10 minutos es decir que, la contracción la consideramos como resultado de una prueba de compactación por amasado.

Como se muestra en la figura III.3 la contracción del suelo va siendo de alguna forma paralela a la curva de compactación aunque se nota ligeramente mayor al principio que cerca del óptimo y esto se puede explicar de la siguiente forma:

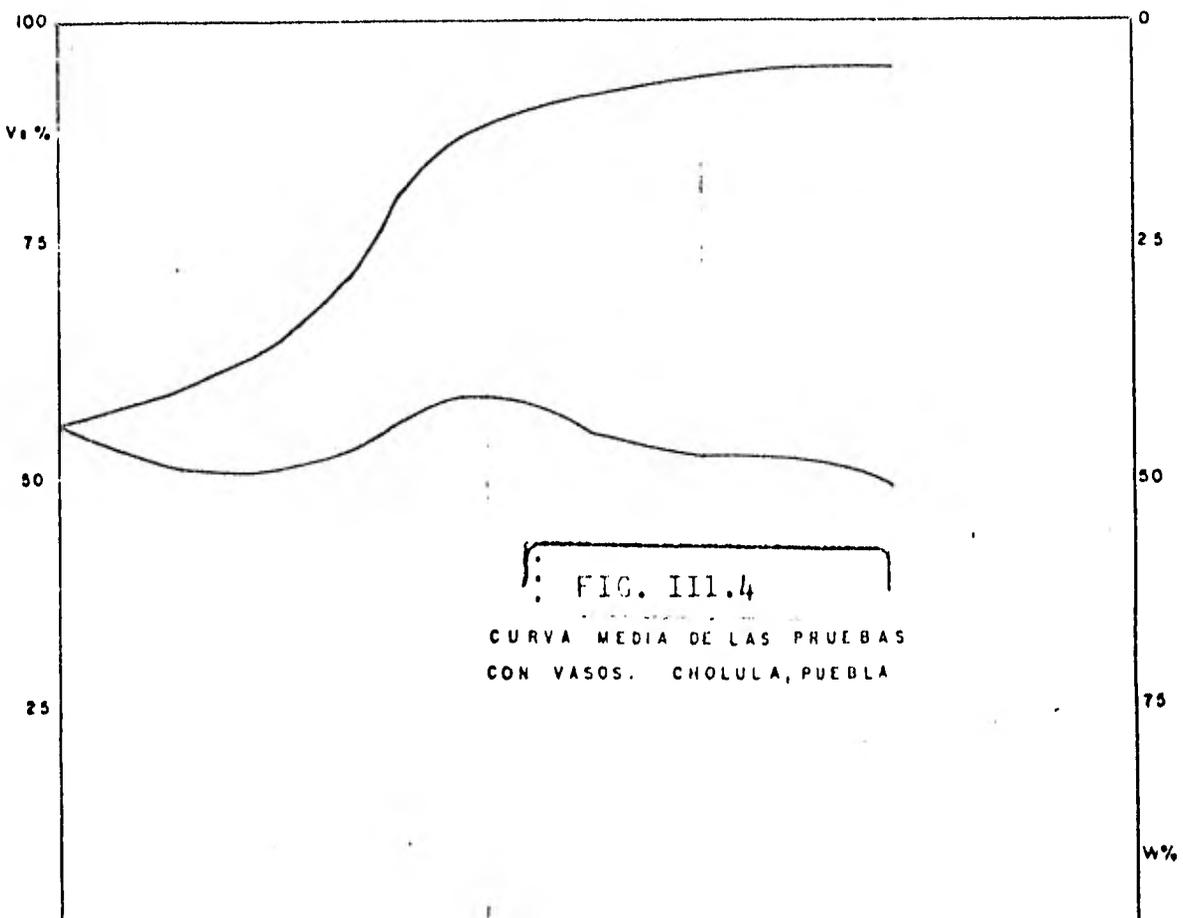
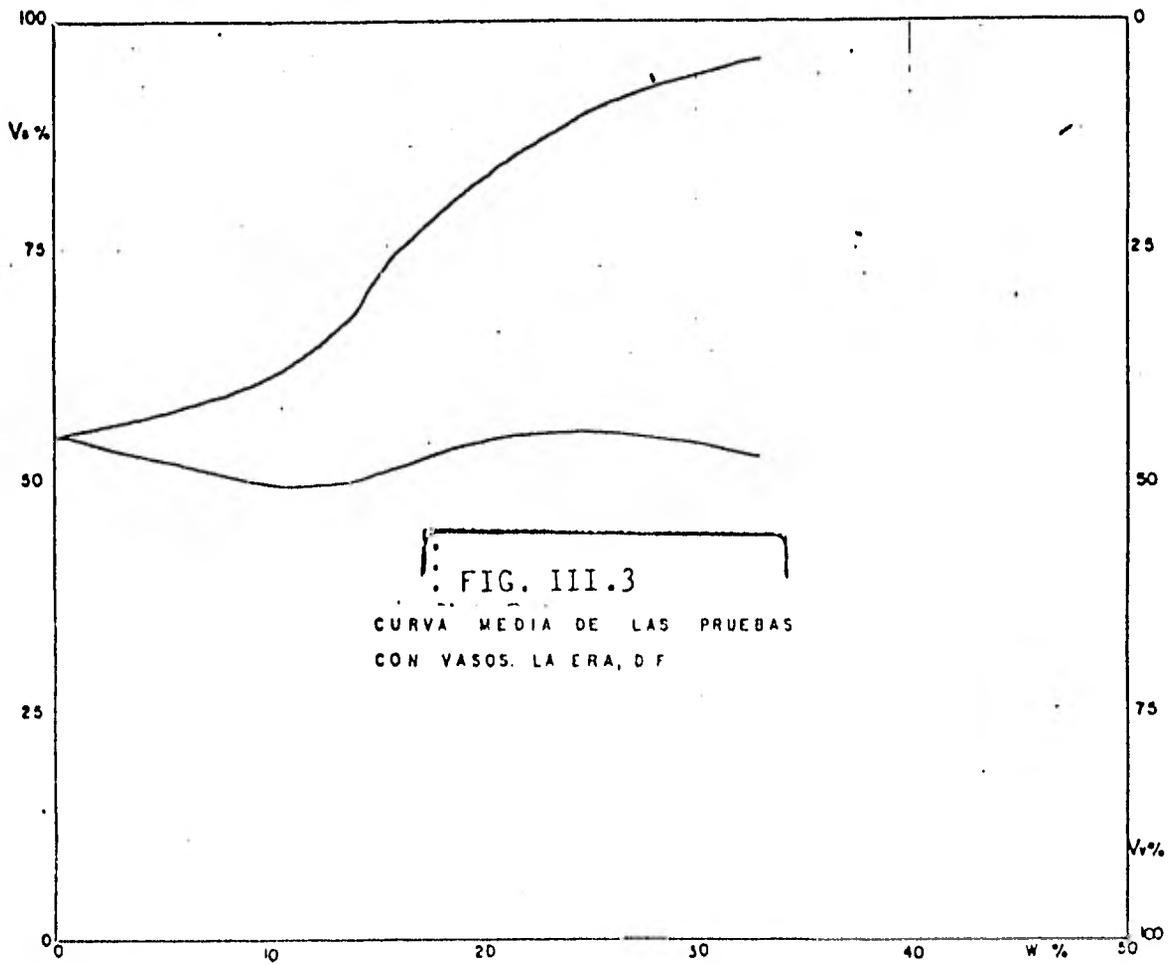
Las partículas como se menciona, experimentan una expansión dando como resultado un alejamiento entre partículas has-

- ta un grado máximo a partir del cual tanto las partículas em piezan a orientarse como el suelo a compactarse a medida que, - aumenta el contenido de agua y además que la energía de compac tación fué pequeña, trayendo como consecuencia lo anterior, -- una mayor contracción en el suelo en estos puntos de bajo con tenido de agua lo que no ocurre cerca del óptimo, dado que la compactación del suelo es mayor debido al grado mayor de orien tación de sus partículas, produciendo una menor contracción.

La contracción que sufre el suelo en este tipo de prueba es pequeña si la comparamos con otro tipo ya que en ésta, la - reorganización u orientación de las partículas además de que - se da, aumentando el contenido de agua, también se logra, con la energía de compactación que no se aplica sólo una vez como ocurre con la prueba estática sino que son varias veces, induciendo ese remoldeo una mayor orientación en las partículas -- produciendo una disminución en la distancia entre ellas, lo -- que trae como consecuencia que el suelo al perder humedad en - el secado y debido a su estructuración experimente menor con tracción.

En la figura III.4 se muestra el comportamiento del sue lo compactado en Cholula (arenoso-limoso), que tiene diferente comportamiento al suelo de la Era (arcilloso-arenoso) atribuido en esencia a su estructura granulométrica es decir, que tie ne menor capacidad de absorber agua ya que las dimensiones de sus partículas son mucho mayores comparando con las de la arc illa, lo que hace que se formen grandes vacíos en su composi ción dando mayor facilidad a las moléculas de agua a pen etrar y esto se puede comprobar en la gráfica dado que con menos conte nido de agua (que el de la Era) el suelo se satura.

Con este tipo de prueba se a obtenido, tanto con el sue lo de la Era como con éste suelo, un comportamiento semejante de expansión a un determinado contenido de agua, seguida inme diatamente de la reducción de volumen de la muestra por compac tación.



- tación, dándonos un peso volumétrico seco mayor que con el suelo arcilloso - arenoso, debido (como anteriormente se menciona) a su estructura granulométrica, dándole al suelo mayor capacidad de compactación.

La contracción que va sufriendo la muestra de suelo compactado como se muestra en la figura, es mayor antes del óptimo y disminuye considerablemente en éste punto, dado principalmente a que el suelo como mencionamos anteriormente, esta compuesto en un mayor porcentaje de arena fina lo cual, no sufre ningún cambio volumétrico ya sea de expansión o contracción lo que no ocurre con el limo que sí sufre contracciones pequeñas con respecto a la de la arcilla dado que sus partículas son también pequeñas pero más grandes que aquélla, y de forma irregular por lo que no cuentan con las mismas propiedades que la arcilla por lo cual al ir aumentando el contenido de agua de compactación hasta llegar al óptimo la contracción es pequeña por tanto podemos decir que, la contracción que sufrió el suelo es atribuido exclusivamente a las partículas limosas.

III.2.3 El último tipo de prueba de compactación que realizamos fué la estática, a la que le llamamos prueba con prensa y que consistió, en dar una carga determinada a una muestra de suelo con diferentes contenidos de agua e ir aumentando esta carga de compactación. Se aplicaron tres valores de carga que nos dan una presión de 5 kg/cm², 7.5 kg/cm² y 10 kg/cm², es decir que, se aplicaron estas presiones a las muestras de los diferentes suelos y se obtuvieron como en las anteriores pruebas, sus respectivas figuras 23 y 27.

En las figuras se esta mostrando el comportamiento del suelo compactado tanto en la evolución de su curva de compactación y la contracción volumétrica que sufre el suelo en puntos cerca del óptimo como de su resistencia a la compresión simple después de haberse secado la muestra en el horno, con la cual tenemos un panorama amplio del comportamiento del suelo compac-

- tado.

En las figuras II.5, III.6 y III.7, se muestra el comportamiento del suelo de la Era (aricilloso-arenoso) al aplicarle es fuerzos de compactación de 5 kg/cm², 7.5 kg/cm² y 10 kg/cm², -- respectivamente.

En las figuras III.5 y III.6, como se puede observar se - vuelve a repetir el mismo comportamiento del suelo que son los otros dos tipos de pruebas anteriormente mencionadas, es decir que, se da una expansión hasta cierto contenido de agua, atribuyendolo principalmente a que el suelo como es extraído directamente del banco sus partículas conservan sus distancia mínima entre ellas y al ir teniendo contacto con el agua y no siendo relativamente representativo el esfuerzo de compactación, empiezan a existir repulsiones entre ésta, pero en el momento en que tanto contenido de agua como el esfuerzo de compactación son relpresentativos, las partículas también en ese momento como conselcuencia, empiezan a orientarse, con lo cual el suelo tiende a - compactarse. En la figura III.7, como puede verse la expansión del suelo es nula es decir que, al ir aumentando el esfuerzo de compactación y siendo éste bastante representativo las partílculas del suelo van quedando sin espacio para poder tener esa - - reacción y además de que se les ha causado una cierta orientalción al aplicarseles el esfuerzo.

En las figuras mostradas, se ve claramente que existe un intervalo en el contenido de agua en el cual, el suelo, experilmenta sus máximas compresibilidades hasta un punto después del lóptimo de donde el suelo empieza a ser deformable a causa de -- que las partículas de éste, llegan a su máxima orientación.

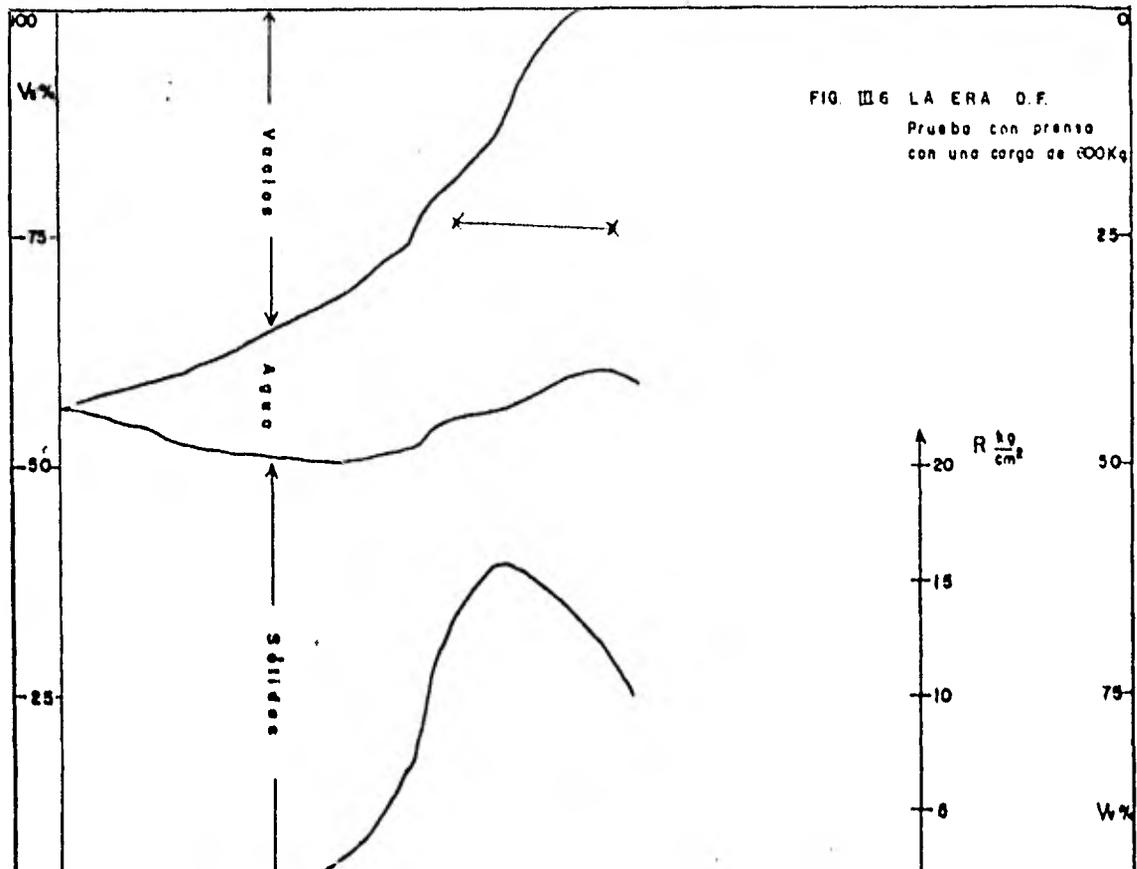
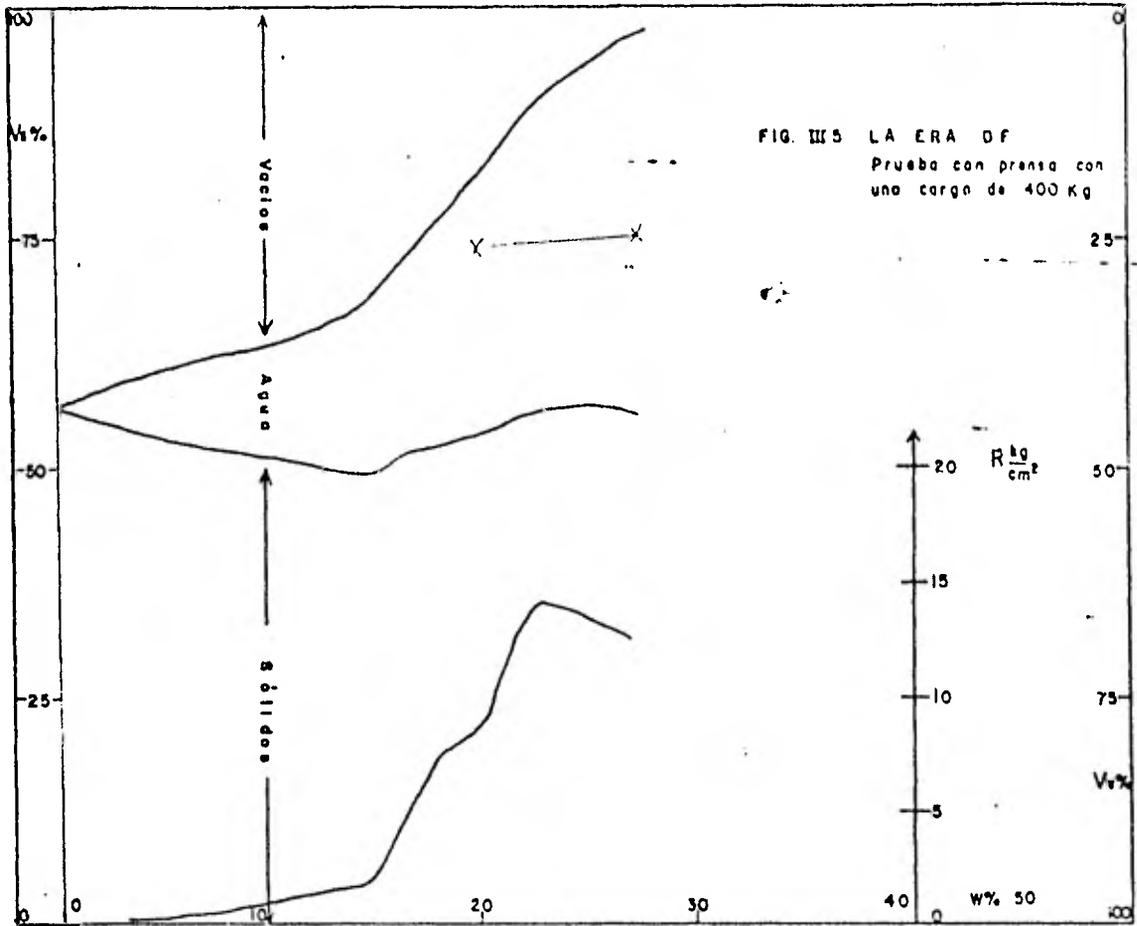
Por los resultados obtenidos y expuestos en el párrafo -- anterior y que se muestran en las figuras, podemos decir que, - el punto donde comienza el intervalo de máximas compresibilidaldes es precisamente en donde se da (del lado seco del lóptimo) -

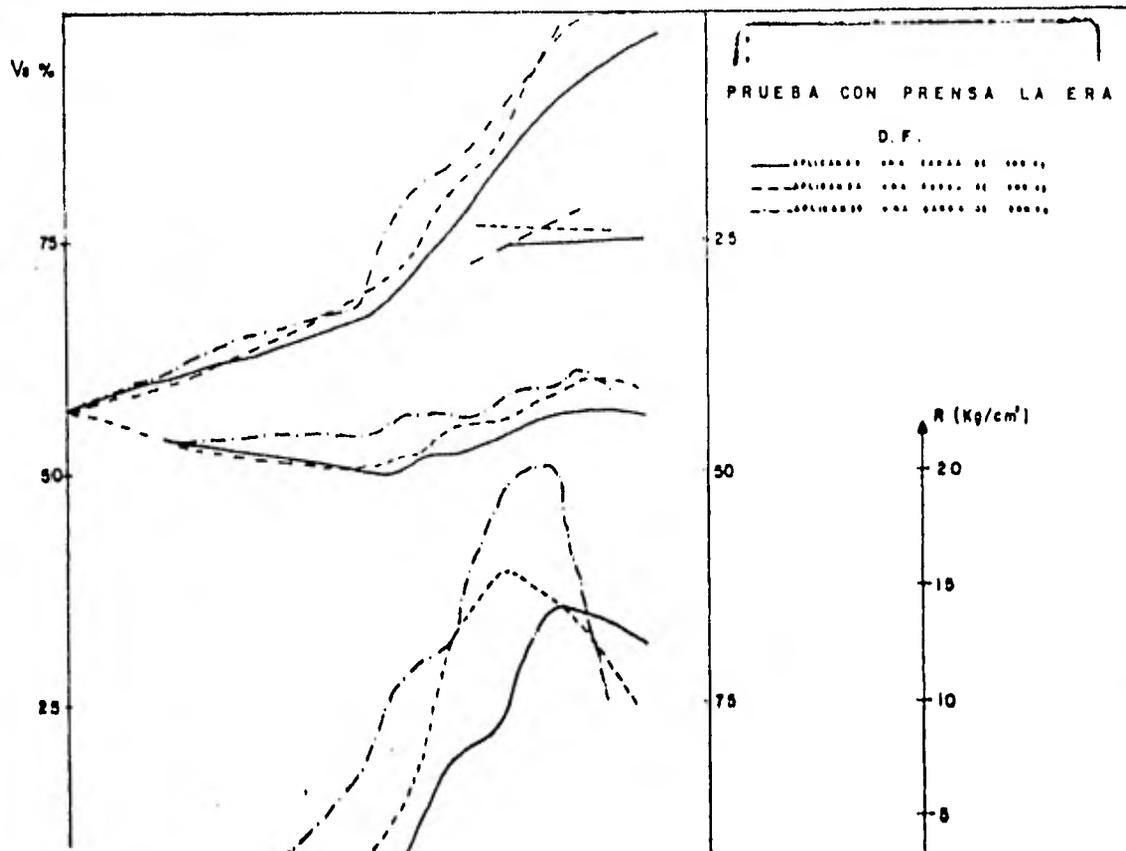
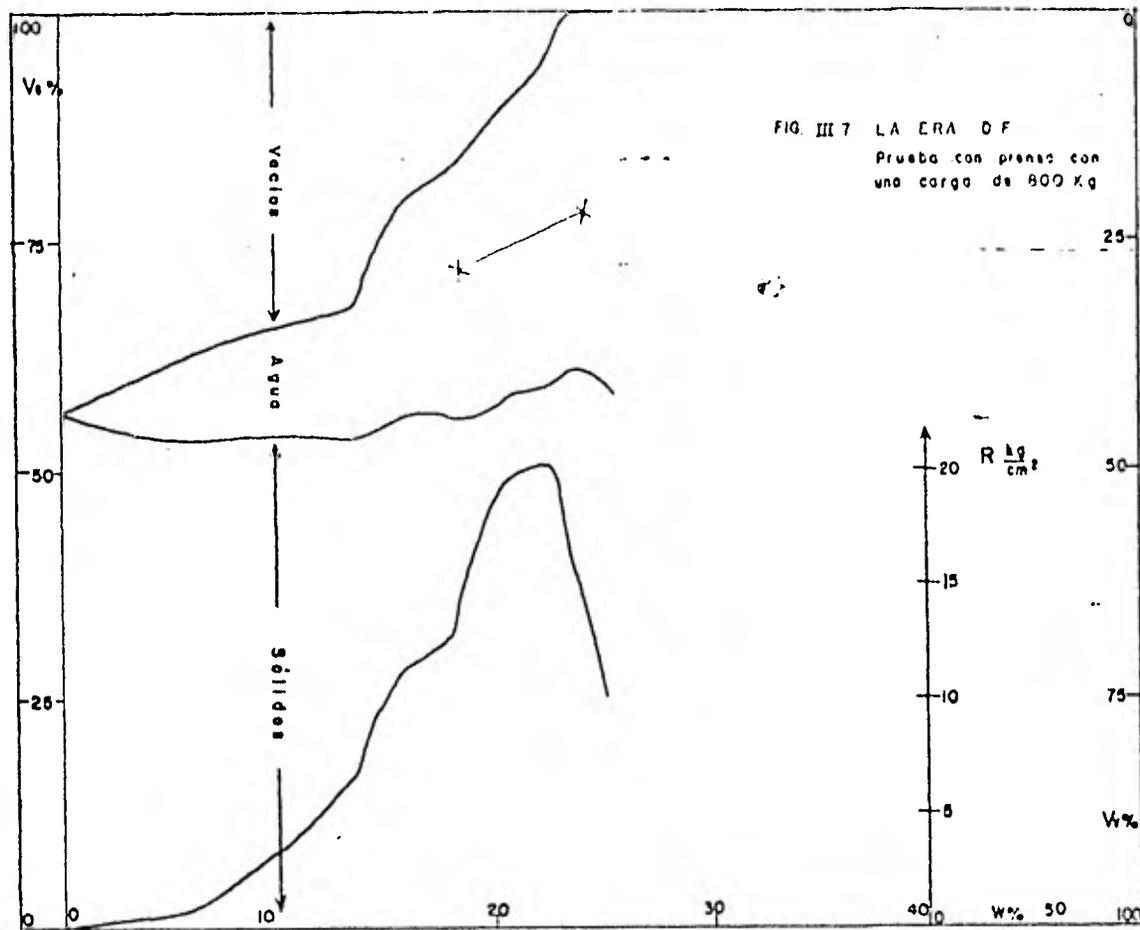
la máxima expansión del suelo es decir que, es ahí donde empieza a compactarse el suelo debido principalmente a que es el punto donde realmente comienza la orientación de las partículas y al ir aumentando el contenido de agua de compactación la rápida y progresiva disminución del volumen de vacíos hasta un punto máximo en donde el suelo al aplicarle el esfuerzo de compactación lo único que hace es deformarse y no compactarse, en si diríamos también que, con estos porcentajes de humedad, tipo de prueba y valores de energía el suelo se lleva al cien por ciento de saturación.

Como se mencionó al principio de este tema al secado de las muestras compactadas fué por medio de horno a una temperatura de 110° c, por un espacio de tiempo de 24hrs. es decir que, la pérdida de agua de la muestra fué rápida y en consecuencia su contracción.

La contracción que sufre este tipo de suelo (arcilloso-arenoso) es bastante representativo en este tipo de prueba ya que, la reducción de volumen de la muestra esta en un rango de 20% a 22% con cualquiera de los valores del esfuerzo de compactación, lo que quiere decir que, existe una recompactación del suelo que es considerable si pensamos en una estructura de tierra de grandes dimensiones.

Como se puede observar en las figuras III.5, III.6 y III.7, la contracción se hace constante a medida que se aumenta la energía de compactación ya que la línea de contracción va siendo paralela a la curva de compactación conservándose una misma distancia entre estas. En la figura III.5, se nota que de lado seco (izquierdo) del óptimo hay relativamente mayor contracción dado que, las partículas de suelo en ese rango conservan mayor distancia entre ellas, pero a medida que aumenta el contenido de agua de compactación hasta el óptimo esa distancia se reduce dado que, también se va teniendo mayor grado de orientación entre ellas por lo cual, en el óptimo la con-





- tracción es menor.

En la figura III.6 como se ve, se da un comportamiento similar al anterior pero con el aumento en el esfuerzo de compactación la contracción en el óptimo es menor es decir, que al ir aumentando el esfuerzo de compactación se va reduciendo las contracciones. Si observamos la figura III.7 un paralelismo entre la línea de contracción y la curva de compactación debido a que, el esfuerzo de compactación por el aumento en su magnitud, lo cual ocurre a partir de donde empieza realmente la orientación de las partículas.

Las contracciones tan considerables que sufre este tipo de suelo con compactación estática (como se muestra en las figuras) nos hace pensar que existe un proceso de orientación de las partículas durante la pérdida de agua del suelo en el secado, ya que, este tipo de prueba no produce una orientación considerable en las partículas sino una reducción del volumen de vacíos y un acercamiento de las partículas entre si, sin cambio de su estructura.

Este tipo de suelo después del óptimo (lado saturado) en un cierto punto, presenta su máxima contracción debido al grado húmedo y no debido a la magnitud del esfuerzo de compactación, el paralelismo de las partículas está dado en su totalidad, es decir en ese punto de máxima contracción del suelo también se presenta la máxima orientación de las partículas y en consecuencia a partir de ese punto, las contracciones son de la misma magnitud con lo cual se reafirma lo expresado en la figura I.4.

Como se mencionó al comienzo de este capítulo las resistencias a la compresión simple que se obtuvieron de las muestras compactadas fueron después de haberse secado, dándonos los resultados que se muestran en las figuras, donde podemos observar que a medida que aumente el contenido de agua de com

- presión se va teniendo un notable y progresivo aumento en la resistencia atribuyéndolo principalmente, si lo vemos desde el punto de vista que, el suelo compactado del lado seco - del óptimo tiene la estructura de sus partículas no con una orientación total y además de que el suelo compactado al secar se se contrae, produciendo una considerable disminución en la distancia entre partículas, dándonos los dos factores anteriores, los resultados mostrados en las figuras.

Si comparamos las 3 diferentes figuras podemos darnos cuenta de que a medida que aumenta el esfuerzo de compactación y el contenido de agua, la resistencia que se obtiene va siendo mayor, teniendo un punto en el cual esta comienza y -- que más o menos coincide con el punto donde (como mencionamos anteriormente) empieza realmente a la orientación de las partículas, un aumento brusco hasta llegar a un máximo de resistencia que en cierta forma está un poco antes del peso volumétrico máximo obteniendo en la compactación, pero después de pasar la máxima resistencia y a medida que aumente el esfuerzo de compactación ésta disminuye en una forma más rápida es decir, que, al aumentar el contenido de agua y el esfuerzo de compactación a partir de un poco antes del óptimo hacia la derecha (zona de saturación) las partículas empiezan a experimentar su máxima orientación con lo cual el suelo se vuelve deformable y en consecuencia la resistencia disminuye considerablemente.

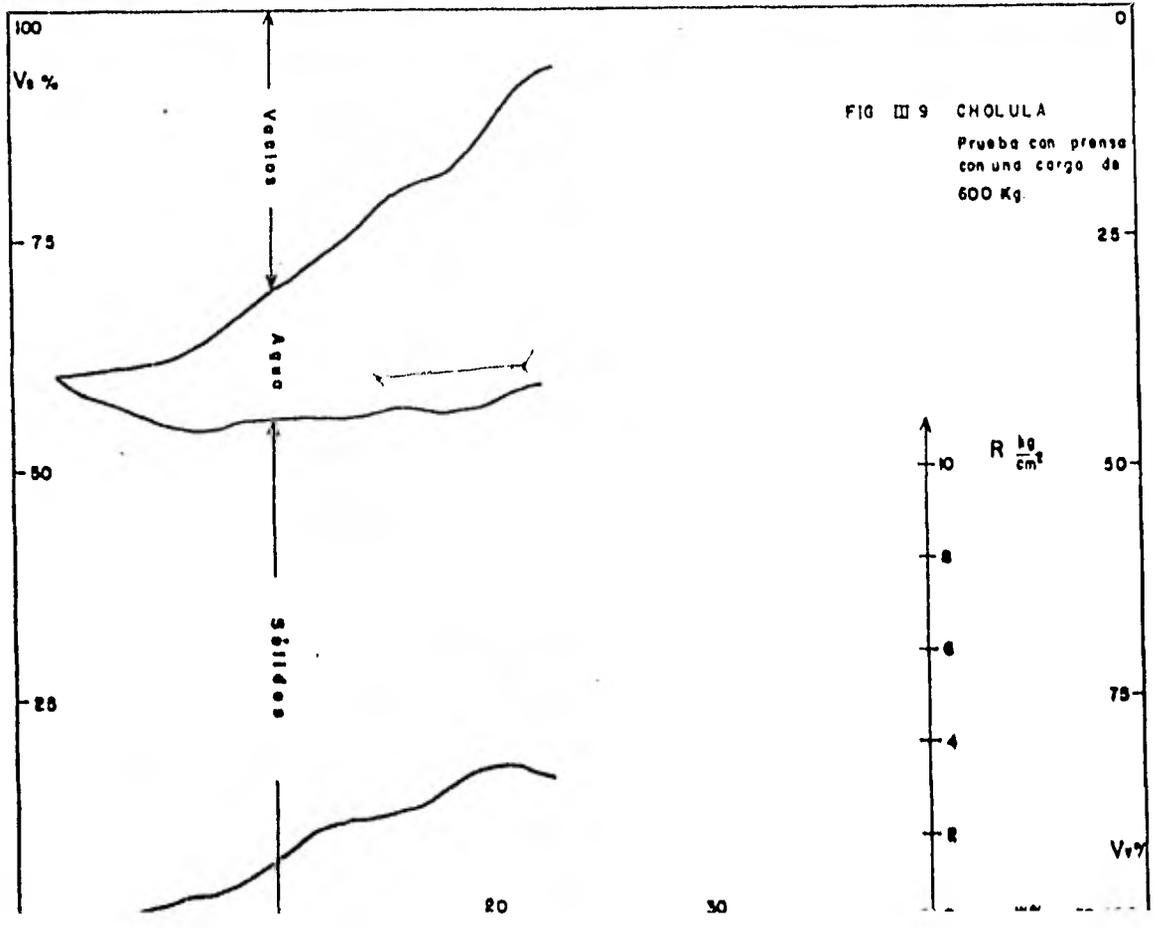
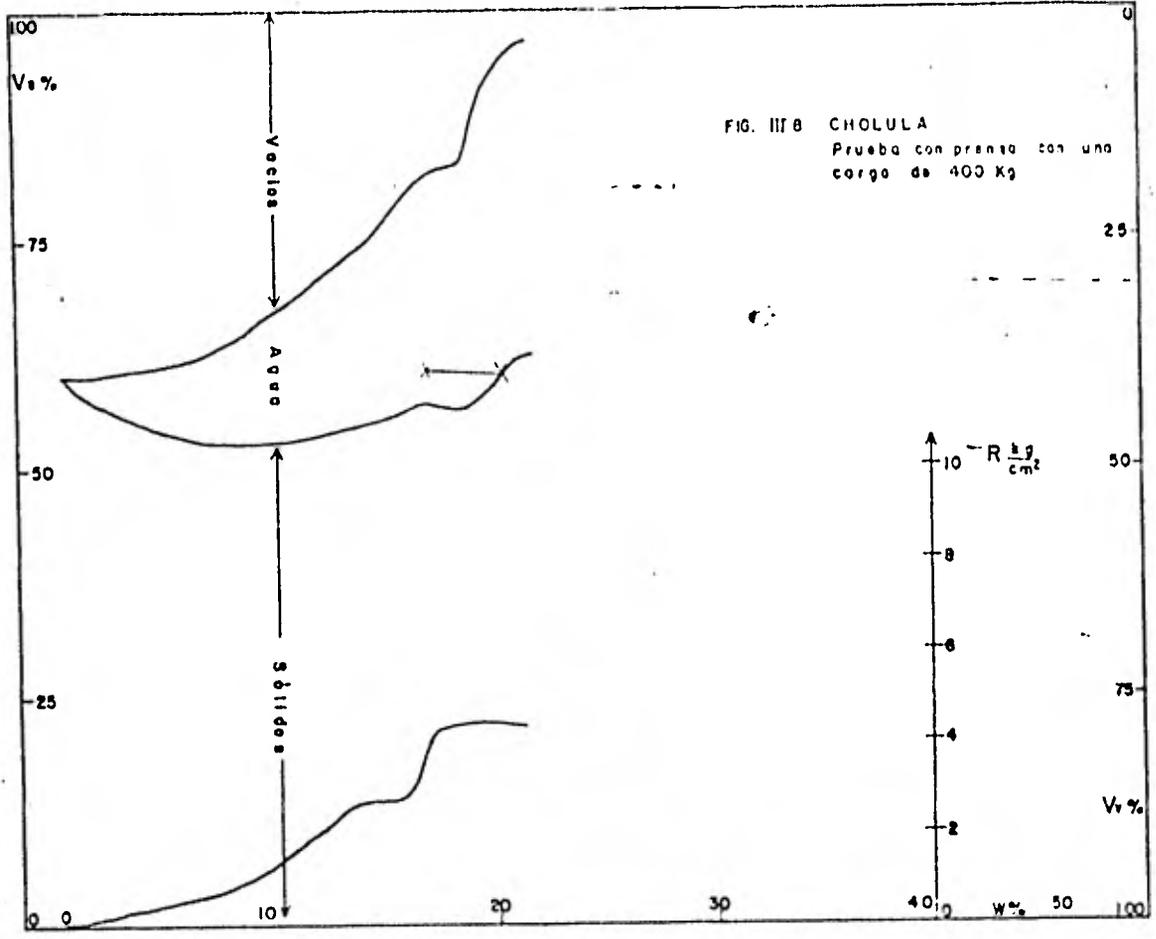
Con la tierra extraída de Cholula, Puebla (areno-limo--so) también se realizaron pruebas de compactación estática o con prensa, con los mismos valores de esfuerzo de compactación dándonos como resultados las observadas en las figuras III.8, III.9 y III.10, donde se observa una ligera expansión antes de llegar al óptimo y no como en el anterior suelo (extraída de la Era) que fue al comenzar la compactación pero al ir aumentando el esfuerzo aplicado, el aumento de volumen desaparece.

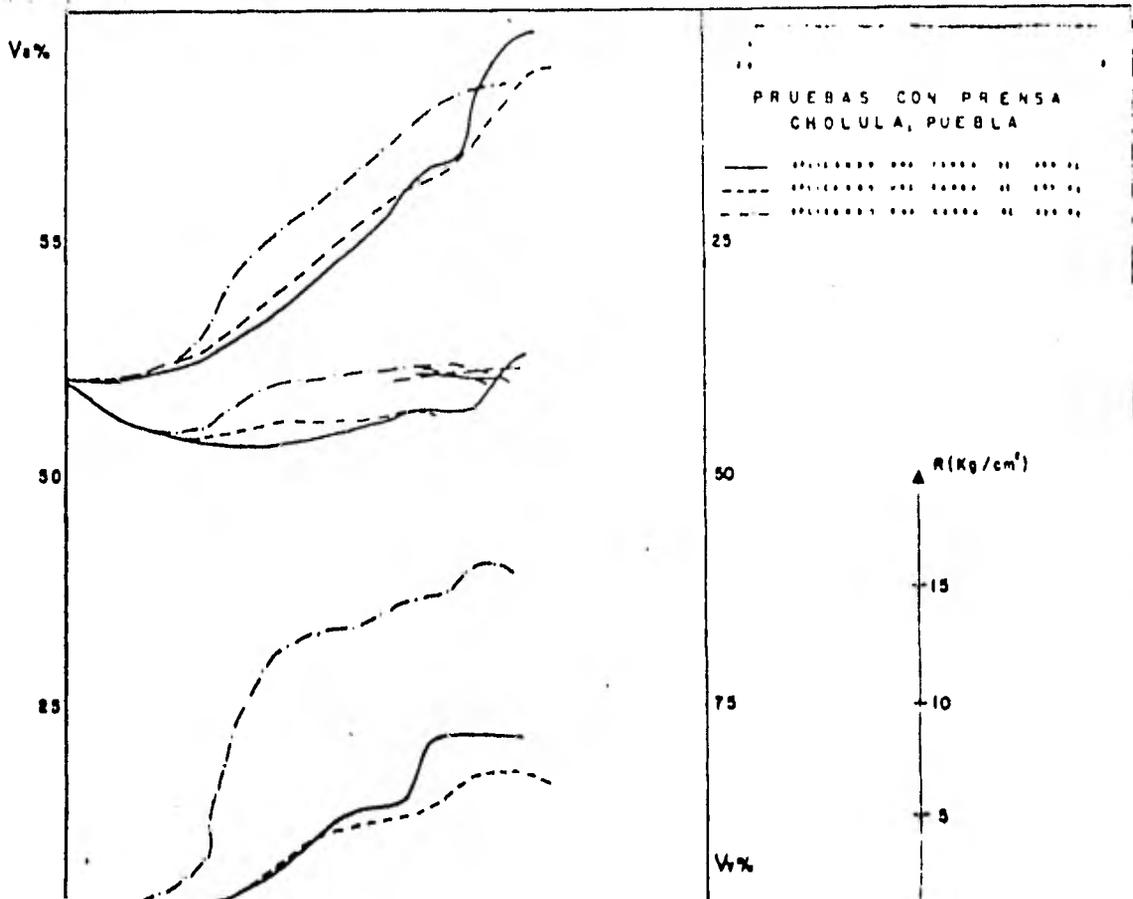
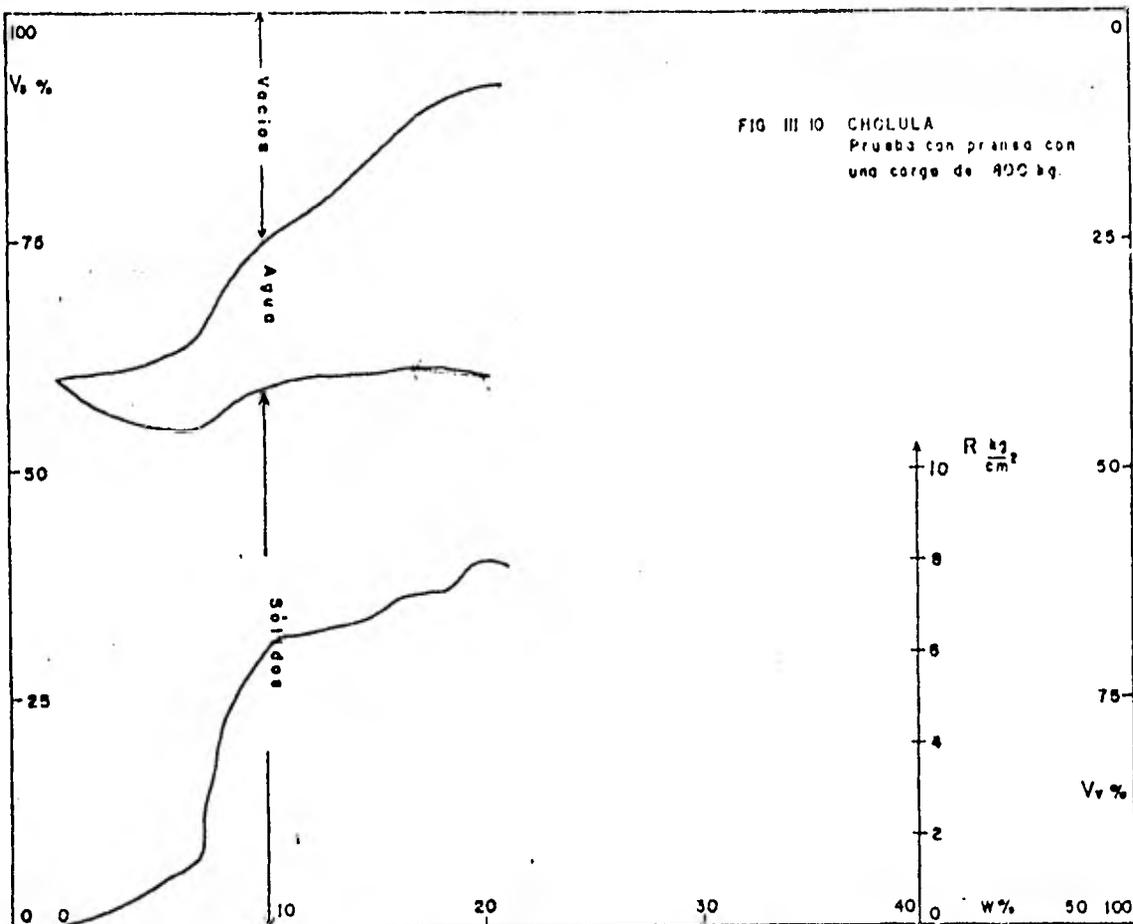
En las figuras se puede ver que la disminución del volumen de vacíos es uniforme, al ir aumentando el contenido de agua de compactación, con lo que se manifiesta que existe un buen acomodamiento de las partículas limosas en los vacíos -- que dejan las partículas arenosas, dando como resultado un -- buen grado de compactación.

En las figuras también podemos observar que la resistencia a la compresión simple que muestra este tipo de suelo con compactación estática, es baja, si la comparamos con los resultados obtenidos con el suelo de la Era, debido a que no existe una buena interacción entre partículas areno-limosas.

Al ir aumentando el contenido de agua de compactación -- (como en el suelo analizado anteriormente) aumenta la resistencia a la compresión simple hasta un máximo, que como antes de éste, pero después del máximo al ir aumentando tanto el -- contenido de agua como el esfuerzo de compactación, la disminución de la resistencia es considerablemente rápida debido a una pérdida rápida y total de la interacción entre las partículas, también se puede observar que se da un comportamiento bastante extraño e irregular ya que el valor de la resistencia máxima en la figura III.8 es mayor que en la figura III.9 siendo en esta última el esfuerzo de compactación mayor lo -- cual se deja para un estudio posterior.

Una de las ventajas importantes que se tiene con este tipo de suelo (areno-limoso) y tipo de prueba de compactación es que, existe una reducción de las contracciones al 0%, como podemos observar en las figuras III.8, III.9 y III.10, es decir que, al aumentar el esfuerzo de compactación la contracción del suelo se reduce a 0%, debido principalmente a que el suelo está -- constituido en su mayoría por arena fina, esto quiere decir que a contracción mínima que sufrió el suelo (como se mencionó anteriormente) es atribuido exclusivamente al limo, ya que si se va disminuyendo las partículas finas (ya sea arcilla o limos) del suelo, éste ira sufriendo mínimas contracciones hasta llegar a cero sin necesidad de utilizar cualquiera de los métodos de compactación.





III.3 MÉTODOS QUÍMICOS

La estabilización del adobe con métodos químicos es la combinación del suelo principalmente finos con cualquier material ya sea cal, cemento, asfalto, energía calorífica, etc. buscando mejorar sus propiedades.

Es importante hacer, (si se va utilizar cualquier material para estabilizar) unos ensayos previos con el fin de emplear la cantidad requerida dado que si no se hacen el costo por adobe estabilizado se elevaría considerablemente.

Una de las ventajas con las que cuentan tanto el cemento como la cal es de que son bastante comerciales, pero, por otra parte su costo cada vez está siendo más elevado trayendo como consecuencia que sea más difícil de adquirir por la gente del campo. Los aditivos asfálticos tienen desventajas considerables ya que no se encuentran en cualquier parte por lo que el adobe estabilizado será incosteable.

La estabilización con energía calorífica es la que ha mejorado considerablemente, las propiedades del adobe (tabique) por lo que éste es uno de los materiales más empleados en el campo de la construcción.

III.3.1 ESTABILIZACION CON CAL

. Resistencia a la compresión.

Dependiendo de la cantidad de cal que se le adicione y el curado, junto con las características de los suelos, la resistencia a la compresión varía. Puede afirmarse que el suelo limoso es benigno a este estabilizante (mayor al 10% en peso).

En términos generales la cal no ayuda a mejorar la resistencia a la compresión en los adobes.

. Contracción volumétrica

En este factor, los resultados son variables pero en general la contracción no se reduce.

. Resistencia al goteo

Adicionándose al adobe un 10% en peso, sí se obtuvo una resistencia que se puede considerar buena.

III.3.2 ESTABILIZACION CON CEMENTO

. Resistencia a la compresión

Para que este estabilizante proporcione buenos resultados en este aspecto es necesario agregarle porcentajes mayores al 10%, y además incluyendo el curado, de lo contrario los resultados son más bajos que los obtenidos sin emplear éste aditivo.

. Contracción volumétrica

En porcentajes mayores al 8% la contracción es muy pequeña y en piezas curadas se logra evitar.

. Resistencia al goteo

En este aspecto el cemento si es positivo, ya que hasta con el 2% del peso aumentó la resistencia, pero el cemento presenta problemas de secado (endurece rapidamente) de medio ambiente (el adecuado para que su fragado sea el óptimo), los efectos que puede producir la contracción de barro o lodo (ya que la contracción se puede lograr antes o después del fragado del cemento.

III.3.3 ESTABILIZACION CON ASFALTO

. Resistencia a la Compresión

Aunque de una manera no muy considerable la resistencia aumenta, adicionando porcentajes mayores al 10% del peso del adobe.

. Contracción volumétrica

Este aditivo logra que la contracción sea uniforme lo cual permite disminuir, inclusive a veces resolver el problema del agrietamiento que presentan algunas arcillas.

. Resistencia al goteo

El asfalto también proporcionó una resistencia considerable al goteo, (algunas muestras lograron resistir hasta 3 horas esta prueba).

III.3.4 ESTABILIZACION DEL ADOBE POR MEDIO DE ENERGIA CALORIFICA

No abundaremos en detalles sobre este estabilizante puesto que, conocemos de sobra las ventajas que nos proporciona.

Sin embargo debido a que consideramos de gran importancia considerar la eficiencia y calidad del adobe estabilizado con energía calorífica (tabique) proporcionamos las siguientes orientaciones prácticas tomadas de la referencia número 7 respecto al cócido del adobe (tabique):

- a) El acomodamiento del adobe deberá ser enhuacalado de tal forma que la energía calorífica se distribuya lo mejor posible, tratando que las llamaradas peguen en la mayoría de los adobes.

- b) Deberá estar lo más seco posible antes de ser horneado para que el tiempo de cocimiento sea lo más corto posible; por ende la cantidad de leña que se utilice será menor.
- c) Es recomendable que el horno quede algo enterrado y se levanten muros laterales con adobes y lodos del mismo material (entre más ancho mejor). Lo anterior es con el fin de evitar corrientes de aire y que se aproveche mejor la energía calórica. Con el mismo fin en la parte superior se pondrán dos tapas de adobe acostado, dejando unos orificios en las esquinas para que el vapor de agua escape, que posteriormente serán tapados.
- d) Al atizar el horno debe procurarse mantener las llamaradas vivas, para ello se recomienda, que los leños queden algo alzados del pino lo cual facilitará que ardan mejor (leña seca). Cuando el horno haya dejado de arrojar humo blanco (debido a la humedad que aún contenía el adobe), deberá atizarse lo mejor posible (durante 3 horas más o menos según sea la conductividad de cada arcilla) con la cual de acuerdo con su colocación el tabique alcanzará su máxima temperatura y ésta se uniformizará en cada pieza. Esto se observó por medio de las lecturas tomadas en los termopares; las cuales prácticamente se estabilizan durante las últimas horas del proceso.

III.4 MÉTODOS MIXTOS

Como ha sido demostrado en una investigación inmediata anterior a ésta, desarrollada en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, los métodos químicos de mejoramiento no le produce al adobe ventajas de considerable importancia*, que justifiquen su utilización. Es decir combinar el suelo arcilloso con estabilizantes como cal, cemento y asfalto -lógicamente los tres proporcionan resultados diferentes- no nos produce resultados que justifiquen su uso con carácter autoconstructivo.

Por otra parte como aquí mismo lo demostramos, comprimir el barro para producir el adobe, es decir utilizar la prensa en la fabricación del mismo (simple sin otros estabilizantes) tampoco nos arroja resultados que nos hagan inclinarnos a su utilización.

Desde luego debe quedar perfectamente claro que los métodos estudiados tienen ciertas ventajas y desventajas con respecto al adobe simple u original. E inclusive en algunos casos las ventajas que proporcionan los procedimientos mencionados pueden superar las desventajas.

Por lo cual nosotros consideramos de fundamental importancia la combinación de los suelos mencionados.

Es decir al suelo arcilloso adicionándole un estabilizante (cemento, asfalto, cal, etc.) y comprimir la mezcla obtenida con la prensa.

Se han hecho estudios (México, Francia, etc.) al respecto que proporcionan resultados satisfactorios.

NOTA: * Consultar la tesis: "Autofabricación de mampuestos con materiales terrosos"

III.4.1 MÉTODOS QUÍMICO - MECÁNICO

Queremos mencionar tres estudios: uno hecho en Francia y dos en México debido a que los consideramos de gran importancia. La metodología que seguiremos con estos estudios es describirlos primero y después comparar y discutir los tres.

1) En el primer estudio¹.

- a) Para la fabricación del adobe con estabilizantes se utilizó una prensa llamada "yuya".

Las características del adobe mejorado y de la prensa utilizada son las siguientes:

I) Características de la prensa utilizada.

- a) Se utiliza una prensa (bautizada como Yuya), con un peso de aproximadamente 350kg.
- b) Con la yuya se logra una presión de 30kg/cm² aproximadamente.

II) La cantidad de cemento que se le quiera agregar, depende luego de las características del suelo que se disponga variando en forma general entre 5 y 10% en peso del material seco.

III) Características del bloque obtenido (adobe mejorado)

Largo	35.0 cms.
Ancho	17.5 cms.
Espesor	10.0 cms.
Peso por pieza	9 a 10 kgs.
Resistencia a compresión	50 a 90 kg/cm ²
Absorción de agua	10 a 20%
Peso volumétrico seco	1600 a 1900 kg/cm ²

¹ Nota: 1. De la obra 10.

Peso por m² de muro 285 a 332 kg.

- b) La segunda investigación¹ que consideramos tiene facetas muy importantes y debido a que todavía no se publica, tomaremos algunas partes textualmente.

Estabilización de suelos empleados en sistemas de tierra apisonada y bloques compactos a presión.

Se han hecho muchos esfuerzo para lograr mejorar las propiedades de los adobes. Se han ensayado las emulsiones asfálticas como estabilizantes, pero éstas presentan problemas para su empleo, debido a que para poder homogenizarlas adecuadamente -- con el suelo se requiere que éste tenga un grado de humedad relativamente alto, por lo que la mezcla requiere de un secado -- posterior para poder someterla al apisonado o a la compactación proporcionada por una máquina para la fabricación de bloques. El lapso que se requiere dejar pasar entre el mezclado y la fabricación de las piezas nulifican en parte el efecto estabilizante de la emulsión asfáltica.

En cuanto al cemento y la cal como materiales estabilizantes, estos presentan características adecuadas para emplearlos en los sistemas de tierra apisonada y de bloques compactados a presión. Estos estabilizantes son más efectivos en los suelos -- con un alto contenido de arena debido a que la superficie de los granos disminuye por unidad de volumen a medida que aumenta el tamaño de las partículas.

Para lograr la estabilización a menudo se requiere de mayor cantidad de cal que de cemento. También se ha logrado resultados satisfactorios empleando como estabilizantes una combinación de cemento y cal, por lo general en proporción de 1/3 de cemento por 2/3 de cal.

El suelo, el cemento y el agua pueden mezclarse en una sola operación cuando se dispone de una revolvedora de paletas.

En caso contrario, el proceso de preparación de la mezcla debe ser igual al empleado cuando no se tiene estabilizantes -- sin embargo, si la tierra es estabilizada con cal o con cemento la mezcla debe de emplearse en un lapso no mayor a una hora después de haberse incorporado el estabilizante.

Es importante llevar un buen control en el mezclado, vigilando tanto la cantidad de materiales que intervienen en la mezcla, como la homogeneización de la misma.

Para combinar cantidades constantes en cada revoltura se puede emplear cajones medidores. Para la tierra se puede emplear cajones relativamente grandes y sin fondo los cuales se colocan en el lugar donde se realizará la mezcla llenándolo posteriormente. El cemento o la cal se pueden medir en cajones más pequeños con fondo para vaciarlos posteriormente sobre la tierra ya apilada. La homogeneización de estos materiales se realizará en seco agregándose el agua requerida hasta que la envoltura alcance un color uniforme

. Tercer Estudio

- . Este estudio hecho en Francia¹ considera además de la prensa, los estabilizantes cal viva (3% a 10%) y el cemento (3% a 10%).

Las características de la prensa utilizada y de los bloques obtenidos son las siguientes:

- . Prensa: Teck-Block
Logra una presión de 100 a 200 (da N/cm²)
- . Estabilizantes
Cemento de 3 a 10% (proporción)
Cal de 3 a 10% (proporción)
- . Características
Largo 29cms
Ancho 21cms
Espesor 12.5cms
- . Resistencia: Prensa - cemento (3 a 10%)
de 10 a 60 (figura III.13)
- . Resistencia: Prensa - cal (3 a 10%)
de 6 a 20 (figura III.14)

Las figuras III.11 y III.12 logradas en esta investigación se basan en la utilización de siete tierras diferentes las cuales muestran los resultados siguientes:

En la figura III.13 se observa con claridad que a medida que aumenta el porcentaje de cemento aumente la resistencia.

Respecto al contenido de cal, no se puede afirmar que la resistencia aumente al aumentar el porcentaje de cal, puesto que los resultados son muy contradictorios figura III.14

Aunque se puede aceptar con cierto tiento, que al 5% de --
NOTA: 1. Referencia 12.

contenido de cal se obtiene la mejor resistencia.

Respecto a las figuras III.11 y III.12 ocurre algo semejante, los bloques estabilizados con prensa - cemento resistieron - más sumergidos que los estabilizados con cal - prensa.

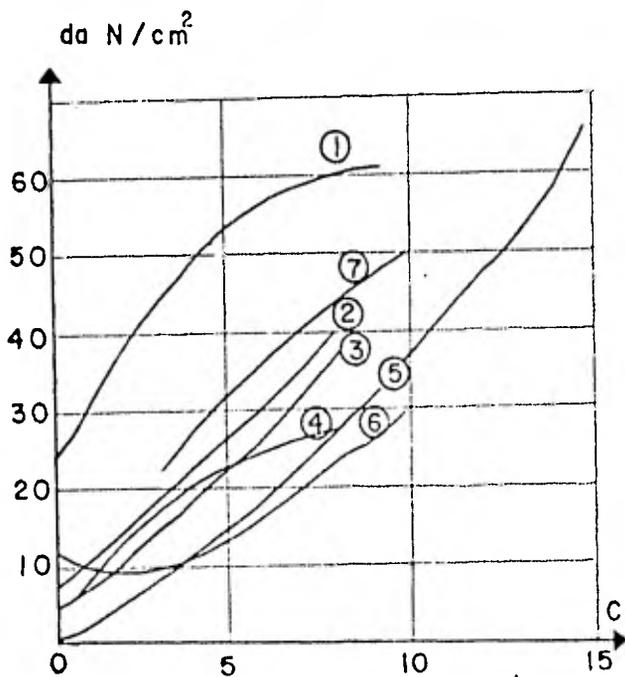


FIG. III. 13 Resistencia a la compresión de bloques secos en función del contenido de cemento.

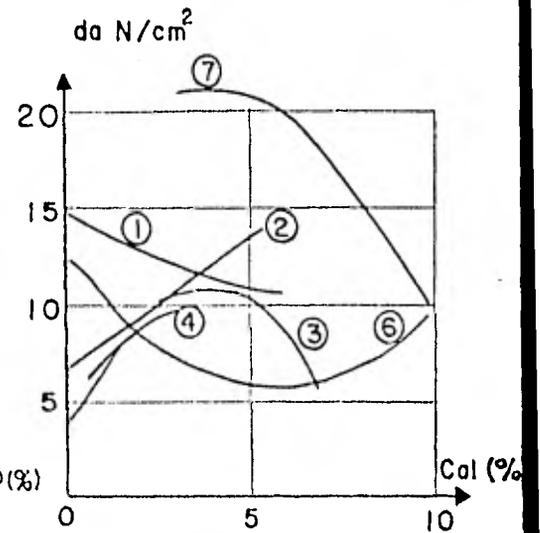


FIG. III. 14 Resistencia a la compresión en bloques secos en función del contenido de col.

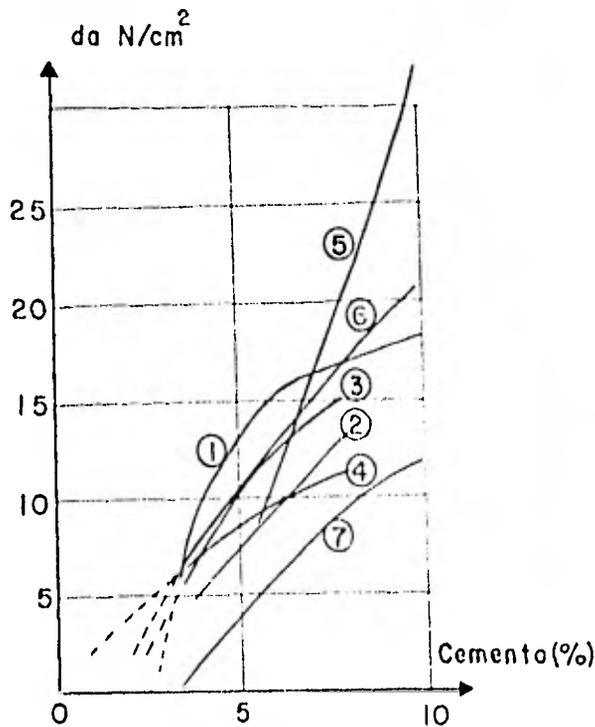


FIG. III. 11 Resistencia a la compresión en bloques sumergidos durante 7 días en función del contenido de cemento

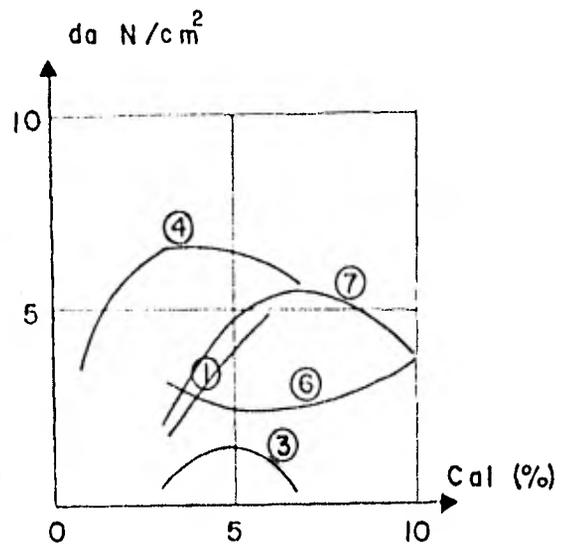


FIG. III. 12 Resistencia a la compresión en bloques sumergidos durante 7 días en función del contenido de cal

III.4.2 OTRAS COMBINACIONES

El que hayamos incluido los métodos químico-físicos, físico-mecánicos y físico-químicos-mecánicos en un sólo punto, no se debe a que no tengan la misma importancia (en cuanto a estudio) que los demás métodos mencionados.

Concentrarlos en éste punto se debió a la falta de datos - para poder presentar un panorama más general al respecto¹.

PARTE IV

C O N C L U S I O N E S

IV.1	Conclusión Parte	I
IV.2	Conclusión Parte	II
IV.3	Conclusión Parte	III
IV.3	Conclusiones Generales	

IV.1 CONCLUSIONES PARTE I.

a) Contenido de agua óptimo, energía de compactación.

El contenido de agua óptimo de un suelo varía de acuerdo a la energía de compactación y lógicamente ésta varía de acuerdo al método de compactación utilizado. Esto nos demuestra la importancia de la prueba proctor como una prueba estandar de comparación.

b) Mejorar el método y aumentar la energía de compactación trae como consecuencia una reducción de la permeabilidad del suelo por el lado seco del óptimo e influye de manera determinante en la resistencia y esfuerzos de deformación del suelo arcilloso.

c) Temperatura.

La influencia de la temperatura sobre el suelo puede ser en ocasiones determinante, pero a pesar de esto parece que no se le ha dado la importancia que merece.

Respecto a la contracción y expansión.

Tanto una como la otra dependen del grado de orientación de la partículas, en términos generales a menor (además de considerar el método de compactación) contenido de agua menor contracción, y mayor expansión, y, a mayor contenido de agua (mayor orientación de las partículas) mayor contracción y menor expansión.

Respecto a la erosión de un suelo arcilloso compactado, esta es mayor con bajos contenidos de agua (a menor contenido de agua la erosión es mayor), pero a medida que nos acercamos al contenido de agua óptimo e inclusive un poco después (por el lado húmedo) la erosión disminuye.

Por lo tanto, para mejorar la resistencia a la erosión el contenido de agua debe estar en un intervalo aproximado de $\pm 8\%$ respecto al óptimo tendiendo a él.

IV. CONCLUSIONES PARTE II

El procedimiento¹ para la elaboración del adobe no es estático el recomendado puede considerarse como aceptable, pero debe tenerse extremo cuidado ("control de calidad") en cada punto mencionado.

Para poder lograr el mejor procedimiento para la elaboración del adobe, deben de conocerse y cuantificarse las propiedades del mismo, tomando en cuenta la teoría microscópica sin incluir el punto de vista práctico.

El logro de índices² en base a estudios de laboratorio para la correcta medición e interpretación de los adobes es un avance sensible, para la elaboración de los mismos.

NOTA: 1. Este procedimiento evolucionará como evolucione el estudio sobre el adobe.

2. Pruebas simples y prácticas basadas en estudios realizados, para conocer las características esenciales del suelo.

IV.3 CONCLUSIONES PARTE III

Debemos mencionar honestamente que estas conclusiones que daron trucas debido a que no poseemos datos suficientes de algunos métodos (principalmente físicos y mixtos) por lo que nos remitimos a lo disponible.

Métodos Físicos

La combinación de suelos finos entre sí y de éstos con suelos gruesos puede mejorar relativamente la resistencia al in temperismo, pero en casos contados.

La combinación de suelos finos con fibras naturales presenta en general mejoras con respecto al adobe simple en la resistencia al intemperismo, aunque haya ocasiones que disminuye su resistencia a la compresión.

Por otro lado, si la parte superior e inferior de muros de adobe se protege de la humedad la vida útil del mismo se extiende pero si todavía se recubre, la longevidad del adobe será aún mayor.

De los tres submétodos mencionados la combinación de suelos con fibras naturales y la protección de los mismo son los más recomendables.

Métodos Mecánicos

De la prueba dinámica (proctor) comprobamos una observación existente, todos los suelos están en condiciones ó con características heterogeneas.

Los suelos con alto contenido de arena tienen menor capacidad de absorción de agua debido a su estructura granulométrica.

- ca, por lo que las contracciones y expansiones son menores.

Observamos que el peso volumétrico seco máximo del suelo areno-limoso fué mayor que el arcilloso-arenoso con sus respectivos contenidos de agua óptimos. Lo mismo ocurrió en la prueba por amasado y en la prueba estática lo cual no nos permite afirmar que un suelo areno-limoso sea mejor que un suelo arcilloso-arenoso para la elaboración del adobe puesto que por ejemplo el suelo arcilloso-arenoso presentó mejor resistencia a la compresión en la prueba estática.

En las figuras (III.1 a III.10) y en las tablas III.1 y III.2, observamos que los contenidos de agua óptimo (donde se logra el peso volumétrico seco máximo) son diferentes y en consecuencia los volúmenes de sólidos máximos también. Lo que nos demuestra que los métodos de compactación (esta demostración va a confirmar una de nuestras hipótesis) determinan la calidad del adobe, por otra parte el método de compactación estático nos demuestra también que la energía de compactación es otra de las variables determinantes, todo esto con carácter general.

Otro factor del cual a continuación hablamos y que también lo consideramos determinante para el mejoramiento del adobe es el contenido de agua.

Cabe hacer la aclaración, de que, en la prueba estática (con prensa) se considerarán dos contenidos de agua (lo cual también se puede lograr en las otras pruebas) uno es aquel donde se obtiene el peso volumétrico seco máximo, y, otro es el que corresponden a la resistencia máxima, a la compresión esto nos demuestra que el contenido óptimo de agua no es el punto nodal donde concurren todas las propiedades del adobe pero si es (como hemos venido demostrando) un índice standar de referencia.

En los dos suelos observamos que el contenido de agua óp-

-tino logrado por la prueba por impacto (proctor) es menor que en los demás métodos mecánicos (inclusive menor que el contenido de agua para la resistencia máxima).

Pero sería muy ligero considerar esto como una regla general porque la energía de compactación juega un papel muy importante pues a grandes rasgos observamos que es a mayor energía de compactación (en la prueba estática) menor contenido de agua, indudablemente que faltó considerar un parámetro para comparar las energías de compactación en los tres métodos (dinámica, estática y amasado).

Con el volumen de sólidos ocurre algo semejante, en la prueba por impacto se logra el mayor (considerando en la prueba estática el volumen de sólidos para la resistencia máxima), lo que nos podría confirmar que la prueba por impacto es relativamente mejor que las demás.

Desgraciadamente nos faltaría considerar el parámetro de la energía de compactación.

Después de haber realizado las pruebas entre sí incidimos en el método utilizado en el campo aunque sea con un carácter teórico.

El contenido de agua utilizado en el campo está muy por encima del contenido de agua óptimo, es decir, está en la parte húmeda (ya saturado) con lo cual el acomodamiento de las partículas es prácticamente completo¹, esto trae como consecuencia grandes contracciones y gran erosión, una debido al contenido de agua alto y la otra debido a la pequeña trabazón entre partículas (están en un orden casi paralelo) además que después del óptimo como observamos la resistencia y el peso volumétrico seco descienden con gran rapidez.

NOTA: 1. Desde luego nos referimos al adobe elaborado, utilizando el método por amasado.

Métodos Químicos

Observamos que prácticamente todos los métodos químicos (estabilizantes) mejoran en mayor o menor grado las propiedades del adobe.

La energía calorífica proporciona indudablemente el mejor adobe (tabique) la cal, el cemento en porcentajes mayores al 5% mejoran las propiedades del adobe.

La emulsión de asfalto también en porcentajes mayores al 10% también le infiere mejorías a sus propiedades.

Aunque debe hacerse la aclaración que ningún método químico, justifica su utilización en términos de autoconstrucción.

Los estudios referentes a este tema se han evocado (cuando menos con más regularidad) más el comportamiento macroscópico del suelo, quedando rezagado los estudios referentes al comportamiento microscópico. Sería interesante conocer las reacciones (por ejemplo) agua-suelo cemento, es decir las reacciones entre las partículas de cemento, con el suelo o cuando menos saber si esta reacción existe, etc.

Por eso pensamos que el comportamiento microscópico no debe relegarse a segundo término.

Métodos Mixtos

Nosotros pensamos que si en los métodos tradicionalmente más estudiados (métodos mecánicos y químicos) no se han logrado grandes avances, a los métodos físicos y mixtos se les ha presentado mucho menor atención

Pero concretamente sobre los métodos mixtos (combinación de los 3 métodos mencionados) no se han hecho estudios muy pro-

-fundos. Los estudios mixtos mencionados aquí nos dan idea de su importancia.

En todos los aspectos se nota que los métodos mixtos mejoran holgadamente las propiedades del adobe.

La utilización de cualquier método de mejoramiento tiene una limitante, que ha sido la constante a lo largo de este estudio y posiblemente de muchos otros, esta limitante es el aspecto socioeconómico.

CONCLUSIONES GENERALES (RESUMEN)

El contenido de agua determina la erosión y la contracción, pero a su vez aquel es determinado por la energía y método de compactación y los tres en conjunto proporcionan las bases para llevar a cabo el proceso de elaboración del adobe.

Por lo que las contracciones posteriores que sufre el suelo arcilloso son significativas como se muestra en las figuras I.9, en donde al ir secando la muestra lentamente después de haber sido compactada el peso volumétrico aumenta considerablemente (aunque nosotros lo consideramos muy elevado) lo que significa contracciones considerables. Observándose por otra parte que la expansión es en menor grado.

Lo cual es comprobado con las figuras III.5, III.6 y III.7 (La era, método estático) en donde la contracción es considerable, mientras que en las figuras III.4 (amasado Cholula) y, III.8, III.9 y III.10, (prensa Cholula), la contracción es prácticamente nula, pero debemos subrayar a que el tipo de suelo es diferente.

Con esto comprobamos nuestra afirmación inicial en donde decimos que, la erosión y la contracción son determinadas por el contenido de agua y este a su vez es determinado por la energía y método de compactación, proporcionando los tres, en conjunto, las bases para llevar por buen camino la elaboración del adobe.

Lógicamente esto es válido para cada tipo de suelo.

Las tablas IV.1 y IV.2, así como las figuras IV.1 y IV.2, nos vienen a demostrar como los métodos de compactación proporcionan resultados diferentes, observese el contenido de agua óptimo y el volumen de sólidos máximo en cada método, que son los mejores indicadores de las propiedades de los adobes. Esto por

una parte, por otra, al comparar las tablas IV.1 y IV.2, observamos las diferencias tan marcadas en los resultados de una tabla con la otra de lo cual se concluye que cada tipo de suelo tiene sus propias características. Las figuras IV.1 y IV.2, nos pueden ilustrar mejor las características mencionadas.

Otra observación que debemos recalcar, es la importancia de la prueba proctor como una prueba standar de comparación, puesto que las otras dos pruebas que ejecutamos no se alejan demasiado de los resultados proctor. Por lo cual nosotros proponemos que el contenido de agua óptimo para la elaboración del adobe oscile en un intervalo con las características siguientes, al contenido de agua óptimo proctor adicionándole o restandóle el porcentaje siguiente 0.08 por contenido de agua óptimo proctor.

Ejemplo:

Contenido de agua óptimo proctor 21.5%

$21.5 (0.08) = 1.72$, luego entonces, el contenido de agua óptimo para la elaboración del adobe oscila entre $21.5 - 1.72$ y $21.5 + 1.72$ es decir, entre 19.78 y 23.22 por ciento ó $19.78 \leq x \leq 23.32$ (%).

En base a lo anterior, nosotros afirmamos que, la importancia del contenido de agua, de la energía de compactación, de los métodos para el mejoramiento del adobe justificán y hacen obligatorio un estudio del suelo para su utilización, erigiéndose en un **factor** de fundamental importancia las pruebas índice¹.

Por otra parte, proponemos una clasificación de los métodos para el mejoramiento de los adobes que consideramos práctica.

Y, por último, queremos dejar bien claro que la mayoría (no todos) de los métodos mencionados le proporcionan mejoras al adobe (unos más que otros) pero la importancia reside en saber cual utilizar, la decisión de utilizar uno u otro método va en

razón directa por una parte al respecto técnico, y por otra, el aspecto socioeconómico y político, del segundo aspecto sin negar su fundamental importancia, (puesto que sin su concurso todo estudio técnico o científico resulta estéril) no nos ocupamos de él en el estudio.

Las tablas IV.1 y IV.2 nos proporcionan una sinopsis de las características elementales de los métodos de compactación. Los datos de estas tablas están plasmados en las figuras IV.1 y IV.2.

NOTA: 1. Pruebas simples y prácticas basadas en estudios de laboratorio para conocer las características de los suelos.

TABLA IV. 1

SINOPSIS DE LOS METODOS MECANICOS DE COMPACTACION

SUELO ERA D.F.

Suelo	Método	Presión kg/cm ²	Contenido de agua óptimo %	Volumen de sólidos má- ximo	Resistencia máxima kg/cm ²	Contenido de agua en resis- tencia máxima	Volumen de sólidos en resistencia má- xima
La Era	Impacto	--	21.5	60	--	--	--
D.F.	(Proc- tor)	--	--	--	--	--	--
	Amasado (vasos)	--	24.5	55	--	--	--
	Estáti- co. (prensa)	5.0	25.0	57	14.0	23.0	56.0
		7.5	25.0	60	16.5	20.5	55.5
		10.5	23.5	61	2s.2	23.5	59.0

TABLA IV. 2

SINOPSIS DE LOS METODOS MECANICOS DE COMPACTACION

SUELO: CHOLULA PUEBLA

Método	Presión cm/kg ²	Contenido de agua óptimo	Volumen de sólidos máximo	Resistencia máxima kg/cm ²	Contenido de agua en resis- tencia máxima	Volumen de sólidos en resistencia -- máxima
Impacto (proctor)	--	17.0	63.75	--	--	--
Amasado (vasos)	--	20.0	58.75	--	--	--
Estático (prensa)	5.0	22.0	62.5	4.4	20.0	59.0
	7.5	22.0	59.0	3.5	20.5	57.5
	10.0	18.0	61.0	8.0	19.8	60.5

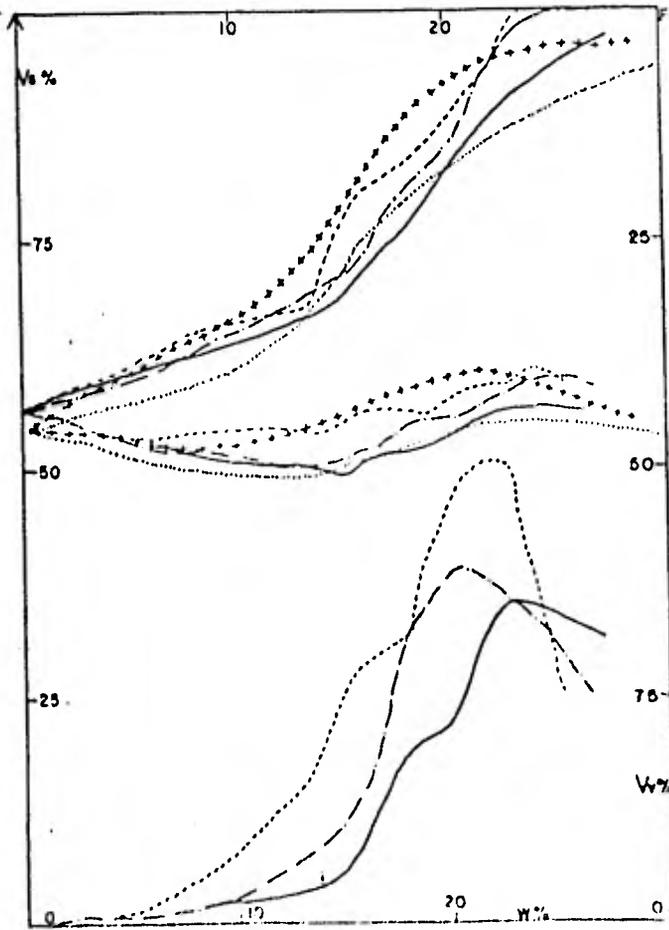


FIG IV 1. LA ERA D.F. Métodos mecánicos de compactación (amasado, estático y dinámico)

Método estático
 Aplicando una carga de 400 Kg
 Aplicando una carga de 600 Kg
 Aplicando una carga de 800 Kg
 Método de amasado
 Método dinámico (proctor)

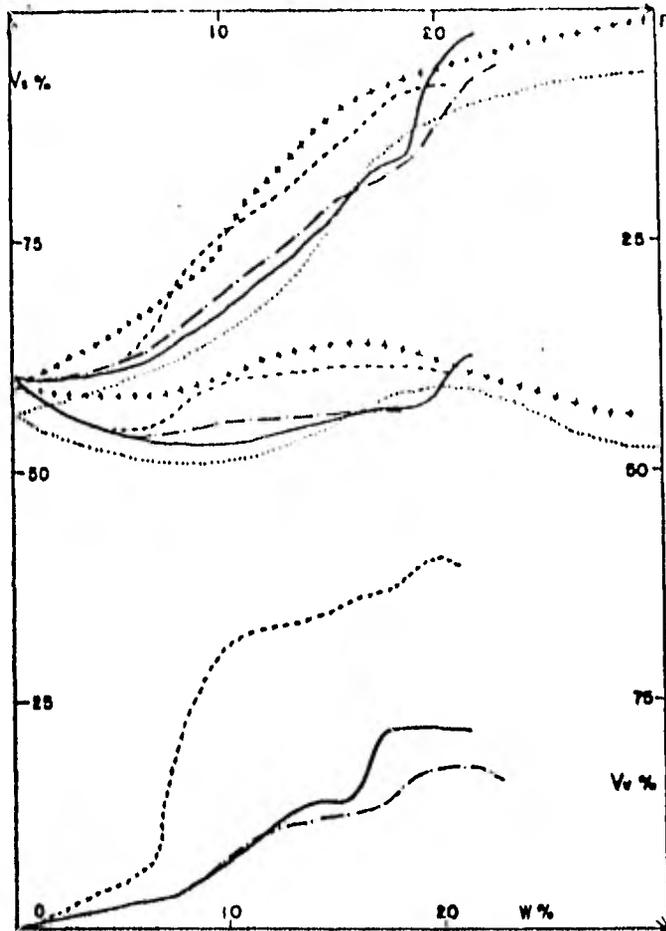
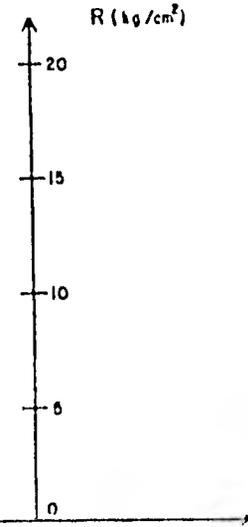
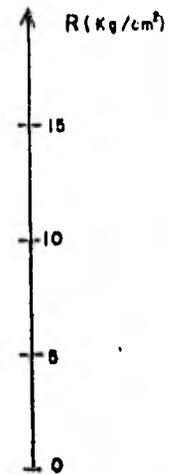


FIG IV 2 CHDLULA PUEBLA Métodos mecánicos de compactación (Amasado, estático y dinámico)

Método estático
 Aplicando una carga de 400 Kg
 Aplicando una carga de 600 Kg
 Aplicando una carga de 800 Kg
 Método de amasado
 Método dinámico (proctor)



A P E N D I C E

I. PROPIEDADES INDICE

I.1 SUELO LA ERA

I.2 SUELO CHOLULA

II. CONTRACCION LINEAL Y LIMITE DE CONTRACCION

II.1 SUELO LA ERA

II.2 SUELO CHOLULA

I. PROPIEDADES INDICE

I.1 SUELO ERA (Arcilloso - Arenoso)

Límite Líquido	=	38.40%
Límite Plástico	=	35.77%
Límite de Contracción.	=	21.60%
Contracción Lineal	=	5.00%
Densidad de Sólidos	=	2.65%

I.2 SUELO CHOLULA (Areno - Arcilloso)

Límite de Contracción.	=	8.28%
Contracción Lineal	=	1.50%
Densidad de Sólido	=	2.60%

II. CONTRACCION LINEAL Y LIMITE DE CONTRACCION VOLUMETRICA

II.1 SUELO "LA ERA" D.F.

Contracción Lineal

Se cálculo con la siguiente fórmula:

$$CL = \frac{(L - L1)}{L} \times 100$$

Se obtuvieron los siguientes resultados:

$$L = 10.0 \text{ cm}$$

$$L1 = 9.5 \text{ cm}$$

Aplicando la fórmula:

$$CL = \frac{(10 - 9.50)}{10} \times 100$$

$$CL = 5\%$$

$$Cl = 5\text{mm}$$

LIMITE DE CONTRACCION VOLUMETRICA

Obtención del volumen de la cápsula Petri con Mercurio:

$$\begin{aligned} Wc &= 13.76 \text{ gr} \\ Wc+Wm &= 442.60 \text{ gr} \\ Wm &= 442.60-13.76 \\ Wm &= 428.84 \text{ gr} \end{aligned}$$

Peso volumétrico del Mercurio:

$$\begin{aligned} \gamma_m &= 13.55 \text{ gr/cm}^2 \\ \gamma_m &= \frac{Wm}{Vm} \\ Vm &= \frac{Wm}{\gamma_m} \end{aligned}$$

Sustituyendo valores en uno:

$$\begin{aligned} Vm &= \frac{428.84}{13.55} \\ Vm=Vi &= 31.65 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Obteniendo el peso húmedo de la muestra:

$$\begin{aligned} Wc+Wh &= 74.34 \\ Wh &= 74.34 - 13.76 \\ Wh &= 60.58 \text{ gr} \end{aligned}$$

Se obtuvieron los siguientes resultados después de sacar la muestra del horno:

$$\begin{aligned} Wc+W_s &= 60.05 \\ W_s &= 60.05-13.76 \\ W_s &= 46.29 \end{aligned}$$

Obtención del porcentaje de agua de la muestra antes de contracción:

$$Wi = \frac{Wh - W_s}{W_s} \times 100 \dots\dots 2$$

Sustituyendo valores en 2:

$$\begin{aligned} Wi &= \frac{60.58 - 46.29}{40.82} \times 100 \\ Wi &= 30.52\% \end{aligned}$$

Obtención del volumen de la muestra contraída utilizando mercurio:

$$\begin{aligned} Wc \text{ Mmc} &= 71.34 \\ Mmc &= 71.34 - 13.76 \\ Mmc &= 57.58 \text{ gr} \\ Vsc &= \frac{57.58}{13.55} \\ Vsc &= 4.25 \text{ cm}^3 \\ Vmc &= Vf = Vi - Vsc \\ Vt &= 31.65 - 4.25 \\ Vf &= 27.40 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Obtención del límite de contracción volumétrica:

$$Lc = Wi - \frac{Vi - Vf}{W_s} \times 100$$

Sustituyendo valores en:

$$\begin{aligned} Lc &= 30.52 - \frac{31.65-27.40}{46.82} \times 100 \\ Lc &= 21.44\% \end{aligned}$$

II.2 SUELO "CHOLULA PUEBLA"Contracción Lineal

$$CL = \frac{(L - L1)}{L} \times 100$$

Se obtuvieron los valores:

$$L = 10.0 \text{ cm}$$

$$L1 = 9.85$$

Sustituyendo valores en la fórmula:

$$CL = \frac{(10 - 9.85)}{10} \times 100$$

$$CL = 1.5 \%$$

$$CL = 1.5 \text{ mm}$$

LIMITE DE CONTRACCION VOLUMETRICA

Obtención del volumen de la cápsula con mercurio:

$$\begin{aligned} W_c &= 132.60 \text{ gr} \\ W_c - W_m &= 427.85 \text{ gr} \\ W_m &= 427.85 - 132.60 \\ W_m &= 295.25 \text{ gr} \end{aligned}$$

Sustituyendo valores en:

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{295.25}{13.15} \\ V_m = V_i &= 21.79 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Obteniendo el peso húmedo de la muestra:

$$\begin{aligned} W_c + W_h &= 174.38 \text{ gr} \\ W_h &= 174.38 - 132.60 \\ W_h &= 41.78 \end{aligned}$$

Se obtuvieron los siguientes resultados después de sacar la muestra del horno:

$$\begin{aligned} W_c + W_s &= 169.78 \text{ gr} \\ W_s &= 169.78 - 132.60 \\ W_s &= 37.18 \text{ gr} \end{aligned}$$

Obtención del porcentaje de agua de la muestra antes de contraerse:

$$W_i = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Sustituyendo valores en:

$$W_i = \frac{41.78 - 37.18}{37.18} \times 100$$

$$W_i = 12.37\%$$

Obtención del volumen de la muestra contraída utilizando mercurio:

$$W_c + W_{mc} = 153.26 \text{ gr}$$

Peso volumétrico del mercurio:

$$\gamma_m = 13.55 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

$$V_m = \frac{W_m}{\gamma_m}$$

$$W_{mc} = 153.26 - 132.60$$

$$W_{mc} = 20.66 \text{ gr}$$

$$V_{sc} = \frac{20.66}{13.55}$$

$$V_{sc} = 1.52 \text{ cm}^3$$

$$V_{mc} = V_f = V_i - V_{sc}$$

$$V_f = 21.79 - 1.52$$

$$V_f = 20.27 \text{ cm}^3$$

Obtención del límite de contracción volumétrica:

$$L_c = \frac{W_i - V_i - V_f}{W_s} \times 100 \quad 3$$

Sustituyendo en 3:

$$L_c = \frac{12.37 - 21.79 - 20.27}{37.18} \times 100$$

$$L_c = 8.28\%$$

Vease FIG. IV. 3

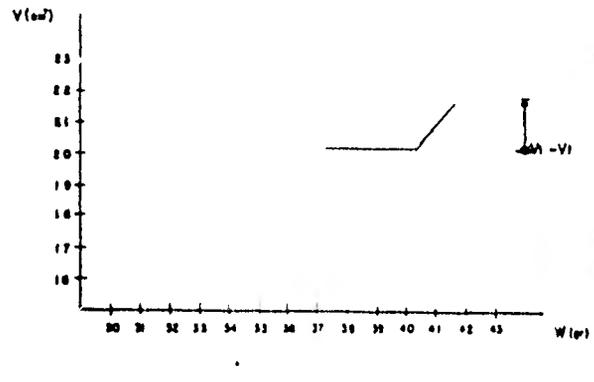
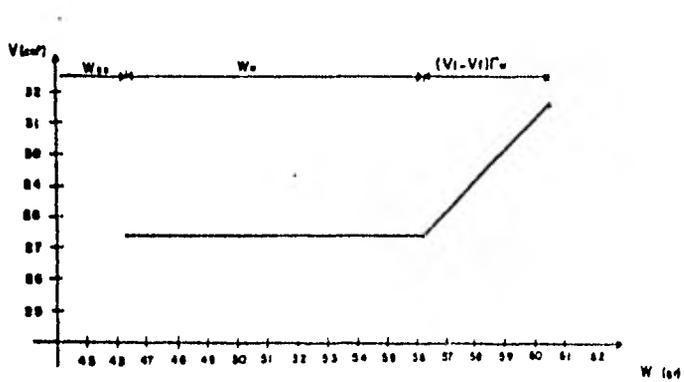
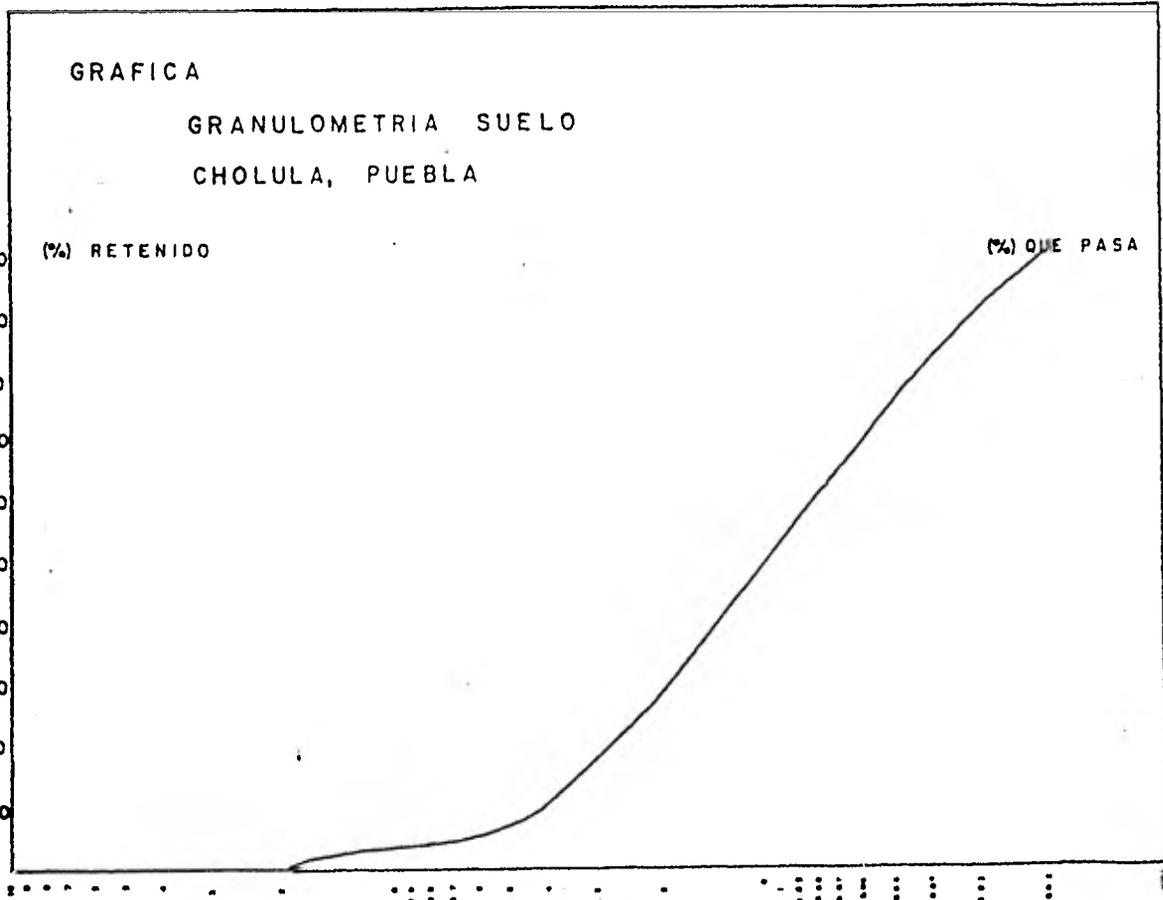


FIG. IV. 3

NOTACION

W_c	=	Peso del cilindro proctor (sin la parte superior).
V_c	=	Volumen del cilindro.
W_h	=	Peso de la tierra húmeda.
W_{th}	=	Peso total de la tierra húmeda.
W_s	=	Peso de la tierra seca.
W_{ts}	=	Peso total de la tierra seca.
T	=	Tara.
W_t	=	Peso de la tara.
W_w	=	Peso del agua.
W_{tw}	=	Peso total del agua.
W_i	=	Contenido de agua.
s	=	Peso volumétrico seco.
V_s	=	Volumen de sólido
V_v	=	Volumen de vacío.
S_s	=	Densidad de sólidos.
V_t	=	Volumen de tara (vaso).
L_c	=	Límite de contracción.
Cl	=	Contracción lineal.
L	=	Longitud de la muestra.
Ll	=	Longitud de la muestra contraída.
W_m	=	Peso del mercurio contenido en la cápsula.
$Klmc$	=	Peso del mercurio que no desalojó la muestra.
m	=	Peso volumétrico del mercurio.
$V_m = V_i$	=	Volumen del mercurio en la cápsula
V_{sc}	=	Volumen contraído
$V_{mc} = V_t$	=	Volumen de la muestra contraída.

REFERENCIAS

1. *Fundamentos del Diseño y Construcción de Presas de tierra y enrocamiento.* Daniel Resendiz y R. J. Marsal.
2. *Ecuaciones Constitutivas de los suelos.* Instituto de Ingeniería UNAM, 1976.
3. *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, volúmenes I y II.* Alfonso Rico y Hermilo del Castillo.
4. *Mecánica de Suelos.* T. William Lambe - Robert. V. Whitman.
5. *La Vivienda en Cuba, en el siglo XX.* Roberto Segre.
6. *Investigación en Autoconstrucción, varios autores (CONACYT)*
7. *Autofabricación de Mampuestos con materiales terrosos.* Juan Pedroza Escalera (Tesis Profesional)
8. *Estabilización de Suelos para componentes constructivos.* Miguel Madinaveitia J.
9. *El Origen de la familia, la Propiedad Privada y el Estado.* Federico Engels.
10. *Técnicas y Sistemas Yuya.* Guillermo Truba y Coronel.
11. *Mécanica de Suelos. Tomo I.* Juárez Badillo y Rico Rodríguez.
12. *El Adobe Mejorado** Alberto Fuentes.

* Referencia no publicada.