

2ej. 126



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**"AUTOFABRICACION DE MAMPUESTOS CON
MATERIALES TERROSOS"**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

JUAN PEDROZA ESCALERA



México, D. F.

1981



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.

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 | <i>Objetivo del estudio</i> | 2 |
| 2. | PROPIEDADES QUE DEBE TENER LOS MAMPUESTOS | 4 |
| 2.1 | <i>Fabricación</i> | 4 |
| 2.2 | <i>Requisitos de los adobes</i> | 8 |
| 2.3 | <i>Mejoramiento de los adobes</i> | 10 |
| 2.4 | <i>Revisión de la literatura</i> | 13 |
| 3. | ENSAYES PARA LA CALIFICACION DE SUELOS EN LA FABRICACION DE ADOBES | 16 |
| 3.1 | <i>Planteamiento</i> | 16 |
| 3.2 | <i>Prueba de resistencia a la compresión</i> | 18 |
| 3.3 | <i>Prueba de contracción volumétrica</i> | 23 |
| 3.4 | <i>Pruebas de resistencia al contacto con el agua</i> | 25 |
| 4. | ESTUDIO Y ANALISIS DE LAS TIERRAS EMPLEADAS | 31 |
| 5. | COMPORTAMIENTO DE DISTINTOS BARROS SOLOS Y ESTABILIZADOS CON CAL; CEMENTO O ASFALTO | 33 |
| 5.1 | <i>Barros sin estabilizar</i> | 34 |
| 5.2 | <i>Barros estabilizados con cal</i> | 36 |
| 5.3 | <i>Barros estabilizados con cemento</i> | 39 |
| 5.4 | <i>Barros estabilizados con asfalto</i> | 48 |
| 6. | ESTUDIO DE UN BANCO DE TIERRA | 55 |
| 7. | ESTABILIZACION DEL ADOBE POR MEDIO DE LA APLICACION DE ENERGIA CALORIFICA | 59 |

| | | |
|----|--------------|----|
| 8. | CONCLUSIONES | 72 |
| | APENDICE | 77 |
| | REFERENCIAS | 85 |

1. INTRODUCCION

El suelo es el material de construcción más viejo y más complejo. Su variedad es enorme y sus propiedades, variables en el tiempo y en el espacio, son difíciles de entender y de medir. Tradicionalmente se ha empleado en la construcción de la vivienda rural, sobre todo en zonas donde los índices de precipitación pluvial son bajos. En México la forma de emplearla es variada, estando entre sus principales aplicaciones el adobe el cual se usa predominantemente en el centro y norte del país, y el bajareque en el sur y el sureste.

El uso del adobe en las zonas con climas extremos presentan grandes ventajas debido a que los grandes espesores normalmente empleados producen un aislamiento térmico conveniente. Otra característica que ha hecho atractivo a este material es su costo; en cuanto a materiales, prácticamente nulo

y empleándose en medios donde los procesos de autoconstrucción son usuales, el costo de la edificación de las viviendas resulta también nulo.

Los principales inconvenientes que puede presentar su empleo, está su poca resistencia a la acción de la intemperie especialmente a la acción del agua; la necesidad de usar grandes volúmenes de tierra, lo que implica el empleo de mucha obra de mano, la que resultaría cara cuando no es proporcionada por los futuros usuarios de la vivienda; la apariencia poco agradable cuando sus superficies no reciben ningún tipo de acabado; la poca resistencia a los esfuerzos de tensión y cortantes y el alto peso volumétrico del material, circunstancias que hacen propicias las fallas de estas estructuras cuando se encuentran en zonas sísmicas.

No obstante los aparentes inconvenientes del empleo del adobe y la existencia de otros materiales con mejores características, el aspecto económico hace y seguirá haciendo que los adobes tengan un lugar dentro de la construcción rural.

1.1 *Objetivo del estudio*

Con vista a lo anterior y con el objeto de eliminar o reducir algunas de sus deficiencias se realizó el presente estudio cuyo principal objetivo es proponer pruebas sencillas que sirvan para calificar los barros con que se fabricarán adobes y presentar algunos resultados de dichas pruebas, efectuadas

en especímenes fabricados con diferentes tipos de barro, bien sea solos o mezclados con pequeñas cantidades de cal, asfalto o cemento. Se presenta también una comparación con la posibilidad de estabilizar el barro por medio de la aplicación de calor, es decir, haciendo con él tabiques.

2. PROPIEDADES QUE DEBEN TENER LOS MAMPUESTOS

2.1 *Fabricación*

El proceso tradicional de fabricar adobe en construcciones consiste esencialmente en lo siguiente: tomar tierra arcillosa, mojarla durante cierto tiempo (24 hrs) hidratándose, manipularla para que todos sus grumos o terrones se deshagan y formen un barro homogéneo lo más fino posible; llenar con este barro moldes de medidas adecuadas, retirar los moldes inmediatamente y dejar secar a la intemperie las piezas formadas. El barro se hace con una gran cantidad de agua que facilitará la destrucción e hidratación de todos los pedazos de tierra y su colocación en los moldes. El máximo de agua aceptable lo fija la posibilidad de desmoldar inmediatamente sin que las piezas se deformen y otros detalles de menor importancia de la fabricación.

Las características del barro que interesan desde el punto de vista de la fabricación se pueden obtener con observaciones directas. Tiene que ser plástico, es decir; cierto grado de humedad debe hacerlo moldeable y al secar debe endurecerse con la forma en que se moldeó. Casi cualquier barro que cumpla es ta condición sirve para hacer adobes y cuanto más arcilloso sea la cumplirá mejor; sin embargo un exceso de arcilla puede ser nocivo en ciertos aspectos, ya que provoca mayores contra ciones, lo que puede producir grietas en los adobes durante el proceso de fabricación e, incluso, dilataciones muy perjudicia les en los ya fabricados si se mojan. El agrietamiento se pue de evitar secando los adobes lentamente (figs 1a y 1b) y prote giéndolos del viento y del sol, ya que las grietas se producen por las diferentes contracciones que tiene al secarse el ado be, unas zonas más rápidas que otras; un secado lento establece una diferencia de humedad menor entre la superficie y el in terior del adobe. El efecto de cambios volumétricos se con trarresta notablemente añadiendo paja u otras fibras (pinaza, zacate) al barro con que se van a hacer los adobes. Estos ma- teriales no impiden la contracción total del adobe pero evitan en forma considerable la aparición de grietas durante la cons trucción y las dilataciones posteriores si se mojan (que son propias de los barros muy arcillosos); las fibras deben repar tirse en forma homogénea ya que, si quedan partes sin prote gerse, en ellas pueden aparecer las grietas. Se ha observado sin embargo que la adición de la paja reduce la resistencia a

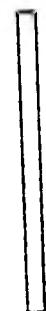


Secado
lento en
interior

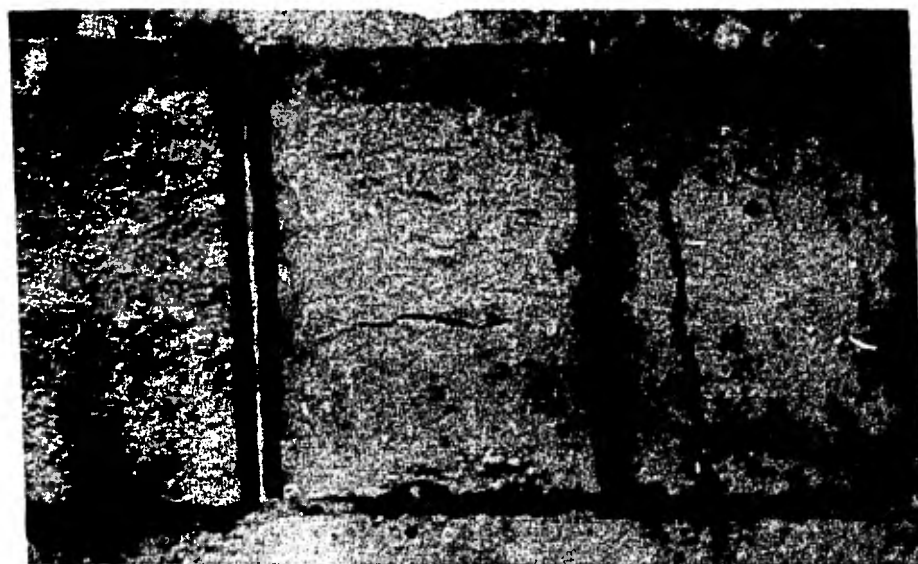
1 - 50% arena

2 paja

3 sola



40 cm



Secado
rápido en
intemperie

1 - 50% arena

2 paja

3 sola

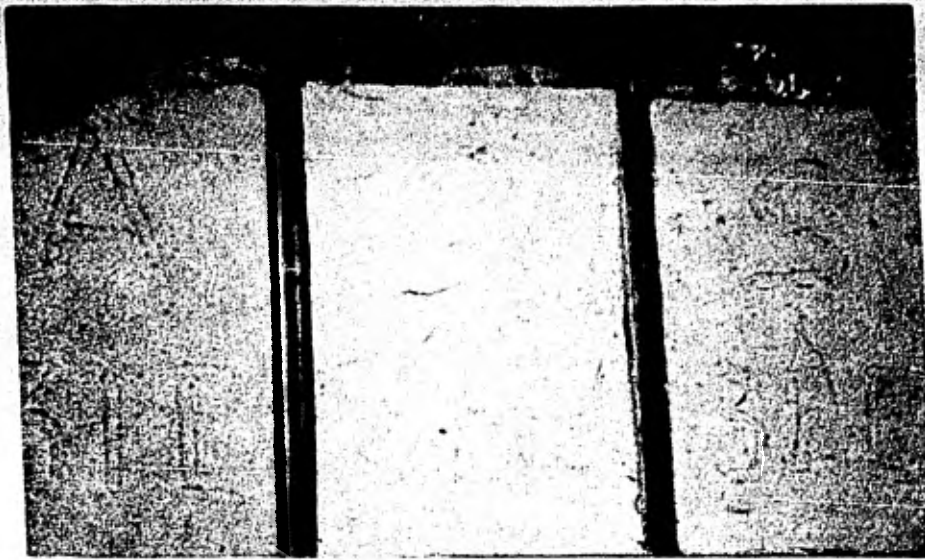
ADOBES - Tierra de Ayotla - Molde 10 x 25 x 40 cm

En el secado lento no hay grietas importantes, solo el adobe 2 con paja se agrieto levemente.

En el secado rápido no hubo agrietamiento inicial.

Una lluvia posterior (3 días) produjo las grietas en el adobe 3 y deslavo la superficie del 1º (con arena)

Fig 1a Agrietamiento de adobes por secado

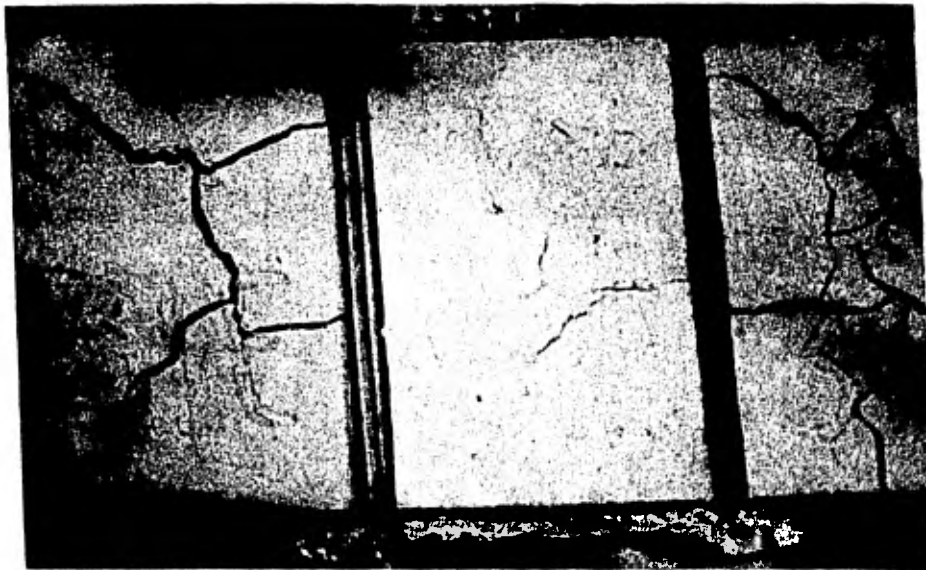


Secado
lento en
interior

1- 50% arena

2 paja

3 sola



Secado
rápido en
intemperie

1- 50% arena

2 paja

3 sola

ADOBES - Arcilla gris - Molde 10 x 25 x 40 cm

En el secado lento no hay grietas importantes, solo el adobe 2 con paja se agrietó levemente.

En el secado rápido los adobes 1 y 3 (de arcilla sola o con arena) se agrietaron violentamente desde el primer día. La paja impidió en el 2 la aparición de grietas grandes.

Fig 1b Agrietamiento de adobes por secado

la carga y a la erosión del agua en, aproximadamente, un 20 o 30%.

También se puede disminuir la contracción, y en parte el peligro de la aparición de grietas, añadiendo arena al barro; con esto se logra reducir su plasticidad favoreciendo la solución del problema del agrietamiento. Más adelante se volverán a mencionar estos fenómenos.

En algunos lugares de Estados Unidos se fabrican los adobes en forma masiva, en pequeñas industrias, para su venta. El producto parece estar destinado más a construcciones caras que a resolver problemas de economías limitadas; buscan dar un aspecto rústico a las casas y proveerlas de paredes aislantes de las temperaturas del medio exterior. La fabricación se basa en los mismos conceptos pero se usan revolvedoras de lodo equipadas con tornillos sinfín, estabilizando el barro con asfalto para dar al adobe resistencia a la erosión provocada por la lluvia, lo cual representa ventajas a los muros construidos con estos; y en la fabricación de los adobes, que pueden dejar secar sin peligro que la lluvia los deteriore.

2.2 *Requisitos de los adobes*

La construcción con adobes tiene dos problemas fundamentales su resistencia frente a sismos y su deterioro con el agua. El primero debe resolverse con un diseño estructural adecuado, con refuerzos metálicos, cerramientos, evitando cargas

concentradas, y proporcionando a los muros resistencia a la tensión (especialmente en las juntas de los adobes). También un diseño adecuado debe proteger a los adobes del deterioro que puede causarles el agua, por ejemplo; con aleros y elementos en la cimentación, que eviten el contacto con el agua de lluvia o capilar del terreno. Pero de todas formas es interesante que los adobes sean de la mejor calidad posible.

La calidad del material (barro) se tiene que juzgar desde dos puntos de vista primero la requerida en la fabricación y después la necesaria para el servicio que presten los adobes ya colocados.

La fabricación, hecha en la forma más usual, es necesario que el barro sea moldeable, que no contenga piedras, que al secar no se agriete y que produzca piezas suficientemente fuertes para que éstas se puedan manejar sin que se rompan.

Los adobes una vez colocados deben ser lo más resistentes posibles a las cargas y a la acción del agua.

De acuerdo con el objetivo del presente estudio y con pruebas sencillas y rápidas que se proponen (capítulo 3) se pretende juzgar la calidad de los adobes desde ambos puntos de vista y llegar a algunas conclusiones respecto a las mejoras que se pudieran obtener agregando al barro algunos aditivos

2.3 Mejoramiento de los adobes

Los procedimientos propuestos como posibles mejoras incluyen dos métodos esencialmente diferentes

- a) comprimir el barro con una prensa al fabricar las piezas(*)
- b) adicionar al barro algún material que le confiera propiedades que mejoren especialmente su resistencia a la acción del agua; es decir, mejorar sus propiedades "hidráulicas". Además existe la posibilidad de combinar ambos métodos lo cual puede, en algunos casos, representar una apreciable ventaja.

He aquí algunas ventajas e inconvenientes del uso de estos métodos.

Las ventajas de prensar el barro solo, sin aditivos estabilizantes son las siguientes; el barro se realiza con una cantidad de agua mucho menor que la empleada en la fabricación tradicional, lo que reduce notablemente las contracciones por el secado inicial de la arcilla. Esto puede evitar el agrietamiento que aparecen en los adobes fabricados con mucha agua y secados violentamente. Las dimensiones y geometría de los adobes quedan más uniformes.

Las desventajas del uso de la prensa son: por una parte, que

(*) Los resultados son muy diferentes según la tierra que se trate y actualmente, se realiza un estudio para tratar de definir en que casos el empleo de la prensa puede proporcionar ventajas sensibles en las propiedades de los adobes.

no es fácil de disponer de tal máquina en un trabajo personal, no organizado por algún grupo o entidad, y tampoco es fácil contar con personal habituado a su uso (que tiene problemas es pecíficos). Por otra parte los adobes pueden resultar más débiles, de menor peso volumétrico y más vulnerable a los agentes atmosféricos, en comparación a los elaborados tradicionalmente; su compactación puede resultar menor por estar el material más seco y a pesar de la presión, lo que se comprobó en los resultados de algunas pruebas que se hicieron al respecto en barro propios para hacer adobes, pero muy arcillosos.

El objeto de adicionar un aditivo estabilizante es hacer la tierra menos vulnerable a las variaciones del contenido de humedad, modificando sus características físicas para dar mayor durabilidad y resistencia a los adobes formados y sobre todo evitar que la tierra se convierta en barro y se desmorone al mojarse.

Los aditivos estabilizantes usuales que se estudiaron son; cal, cemento y asfalto. Los inconvenientes de su uso provienen, naturalmente en primer término, de la dificultad de que existan al alcance (económico y lugar) del constructor. En segundo término de que su uso puede presentar problemas que no se encuentran en la fabricación tradicional de los adobes. Hay distintas causas; he aquí algunas: la cal puede crear un problema en el batido del barro que se hace normalmente con los pies descalzos, y la piel de estos no puede soportar el

contacto continuo con este material. Lo mismo puede suceder con el cemento que además debe ser trabajado en un término perentorio debido a su fraguado. Los aditivos pueden quedar mal distribuidos, ya que no es fácil mezclar uniformemente en una gran masa de barro las pequeñas cantidades de aditivo que se requiere. También se observará en los capítulos que siguen que los aditivos cal y cemento añadidos en pequeñas cantidades casi siempre reducen la cohesión de la arcilla y por lo tanto su resistencia mecánica, lo cual no es conveniente. Sin embargo los aditivos mejoran la resistencia de los adobes al contacto con el agua en muchas ocasiones.

Los resultados obtenidos con el empleo de diferentes aditivos presentaron muchas variaciones, entre unas tierras y otras. En el capítulo 5 se presentan resultados que dan una idea clara de estas variaciones. Probablemente uno de los resultados positivos del uso de estabilizantes sea la existencia de algunos casos en que si pueden fabricar adobes con tierras poco arcillosas con las que no se hubieran podido fabricar sin el empleo de estos métodos especiales.

Además de los métodos de estabilización propuestos existe la posibilidad de mejorar radicalmente el barro de los adobes cociéndolos para convertirlos en tabiques.

Los tabiques se fabrican normalmente en hornos dedicados a producirlos en cantidades grandes para negociar su venta. En

capítulos posteriores se describe como hacer un horno para fabricar pequeñas cantidades de tabique. Se compara esta solución con el método de estabilizar el material, para ello se hornearon adobes para la fabricación de tabiques de tamaño usual (menor a los adobes fabricados tradicionalmente).

2.4 *Revisión de la literatura*

La literatura existente sobre la construcción con adobe, aunque es abundante, consiste principalmente en folletos de poca divulgación y difícilmente accesibles. Se analizaron un gran número de documentos; de ellos solo se consignan en las referencias aquellos que contienen información más completa y relevante.

Las referencias tratan en forma muy amplia la fabricación, las propiedades de los adobes y su mejoramiento; las ref 2, 3, y 4 contienen una extensa bibliografía, sobre el tema que puede ser de utilidad para quienes deseen estudiar con detalle algún aspecto específico del problema.

La revisión bibliográfica llevada a cabo hace ver que los distintos autores han tratado de alcanzar dos metas diferentes. Unos pretenden informar cómo se fabrican los adobes a las personas que carecen de conocimientos prácticos sobre este proceso ; en las descripciones se encuentra normalmente la comparación del uso de los adobes con otros métodos de construcción de paredes (por ejemplo colados de barro estabilizado

con algún producto en cimbras adecuada etc) y también se encuentran algunas orientaciones someras y muy generales sobre cómo debe ser la tierra para fabricar adobes en la forma tradicional.

Otros autores plantean y apoyan un procedimiento único de construcción que suele estar adaptado a un cierto tipo de tierra disponible "*in situ*". Prácticamente plantean una industria especializada.

Por otra parte la estabilización de suelos para la construcción de pavimentos enfrenta problemas semejantes (en ciertos aspectos) a la fabricación de adobes. Parecería que, puesto que el tema ha sido muy estudiado pudieran encontrarse datos e ideas de gran utilidad para orientar esta fabricación. Pero no es así. La estabilización de las terracerías se juzga con pruebas de resistencia al intemperismo sin tener en cuenta la resistencia mecánica de la tierra estabilizada que en los adobes, es una propiedad de primera importancia. Por otra parte en los trabajos examinados no se dan bases teóricas que expliquen claramente los resultados; en general al hacer pavimentos se estabilizan en forma empírica aplicando los métodos que se ha visto que dieron buenos resultados en pavimentos anteriores.

En algunos estudios se publican resultados extraordinarios de resistencias a largo plazo (varios meses) estabilizando la tierra con cal hidratada; son muy de tenerse cuenta. Porque

aunque en los ensayos efectuados en este trabajo las resisten cias proporcionadas por la cal fueron en general muy bajas, existe la posibilidad de reacciones químicas lentas entre la cal y las arcillas, que no afectaron a estos ensayos rápidos. Los estudios mencionados no describen el proceso de mejoramiento ni detallan con precisión las circunstancias del ambiente y humedad en que se produjo dicha reacción en los ensayos.

También las publicaciones, tanto relativas a fabricación de adobes como a estabilización de bases para pavimentos, se encuentran pocos datos de resultados de pruebas hechas con distintas tierras trabajadas en diferentes condiciones. Se pensó que esta información sería, seguramente de interés para quien tenga que tomar una determinación de cómo fabricar adobes o, incluso, de si se puede o no fabricarlos con los elementos con que cuenta en una localidad dada. Por ello se enfocó el presente estudio a obtener datos que orientan, en medida de lo posible, decisiones de este tipo.

3. ENSAYES PARA LA CALIFICACION DE SUELOS EN LA FABRICACION DE ADOBES

3.1 *Planteamiento*

Para la elaboración de adobes es necesario saber previamente si el suelo con que se pretenden fabricar es adecuado, por lo que se deberá establecer un procedimiento que determine las características principales del suelo. En el presente estudio se consideraron distintos procedimientos y se llegó a la conclusión, que una forma bastante confiable es realizar pequeños ensayos que proporcionen "índices" de las principales propiedades que debe tener un adobe aceptable, que son: resistencia durante la fabricación, resistencia final del adobe, contracción por efecto del secado y capacidad de resistir los efectos del agua.

Para la determinación de estas propiedades, se propone

realizar ensayos sencillos y fácilmente ejecutables en el campo, con instalaciones sencillas.

Las pruebas que se establecen permiten juzgar la calidad de las tierras, al momento de ser efectuadas; sin embargo no permiten prever alteraciones en sus resistencias con el tiempo, bajo la acción de agentes atmosféricos -humedad- especialmente en los adobes estabilizados con cal o cemento. Por lo que se concluye que algunos problemas quedan sin resolver, aunque se puede considerar las pruebas aquí establecidas son una buena ayuda para calificar las tierras disponibles.

Los ensayos se realizaron para diferentes condiciones y periodos de tiempo:

A corto plazo, (C) se sometieron a 2 días de secado frente a un ventilador, condición con la cual el espécimen se verá seco y su humedad interior estará casi en equilibrio con la humedad relativa del medio ambiente.

A mediano plazo, (M) se sometieron a diferentes condiciones, unas 14 días de secado en el ambiente del laboratorio, otras curadas 14 días en la cámara húmeda y secadas 2 días frente al ventilador (Mcs) y unas terceras simplemente curadas 14 días (Mc) y probadas inmediatamente. En estas dos últimas condiciones se probaron en especímenes estabilizados con cal o cemento, los cuales quedan prácticamente fuera del objetivo del presente estudio, ya que difícilmente se podrá disponer de una cámara húmeda en un medio rural, pero resulta

interesante ver como afecta el curado a un adobe estabilizado con cal o cemento.

A largo plazo, (L) se sometieron a 60 días de secado en el ambiente del laboratorio.

También se realizaron ensayos saturados a compresión en cada una de las condiciones anteriormente mencionadas; dicha saturación consistió en sumergir en agua los especímenes 24 hrs aproximadamente para luego probarlas.

Se efectuaron otras pruebas especialmente cuando el barro se estabilizó con algún producto, que presentaron problemas específicos. Se mencionarán en los incisos posteriores.

3.2 *Prueba de resistencia a la compresión*

El barro con que se fabrique el adobe deberá de tener cierta plasticidad, de tal forma que sea fácilmente moldeable, pero con algo de resistencia a la deformación que permita retirar el molde inmediatamente, conservando la pieza su forma geométrica. El adobe, al irse secando deberá de adquirir una mejor resistencia que permita que éste puede manipularse sin romperse o despostillarse, para poder colocarlo de canto, ac-celerando así el proceso de secado.

Para obtener un "índice" de la resistencia a la compresión de los adobes se proponen ensayos sencillos, en piezas de dimensiones mucho menores a las que tienen los adobes, que se

pueden llevar a cabo sin las instalaciones especiales de los laboratorios, ni equipos complicados y que a la vez proporcionan resultados en un mínimo de tiempo.

El procedimiento para la elaboración de las piezas es el siguiente:

- 1) Preparar el barro en las condiciones anteriormente mencionadas
- 2) Tomar una pequeña masa de barro y llenar el molde (tubo cilíndrico de 2 1/8 pulgadas de diámetro y 10.2 cm de altura) compactándolo manualmente procurando que no queden vacíos dentro de él
- 3) Enrasar sus bases y extraerlo con un pistón procurando conservar su forma cilíndrica (ver fig 2).

Después de lo anterior las piezas se sometieron a diferentes condiciones (mencionadas en el inciso 3.1) y luego probadas a la compresión en la máquina universal protegiendo sus bases con tela doblada con un espesor de varios milímetros (fig 4). La máquina universal puede ser sustituida (y en ocasiones así se hizo en las pruebas realizadas) por un dispositivo semejante presentado en las figs 5 y 6 que puede acondicionarse en cualquier lugar. El resultado de esta prueba, semejante a la del "valor cementante" preconizada por la SAHOP, se relaciona con la cohesión de las partículas del barro empleado en estado seco; es decir, refleja la resistencia



Fig 2 Extrusión de un espécimen típico para ensaye de contracción y resistencia



Fig 3 Secado de especímenes para sus pruebas

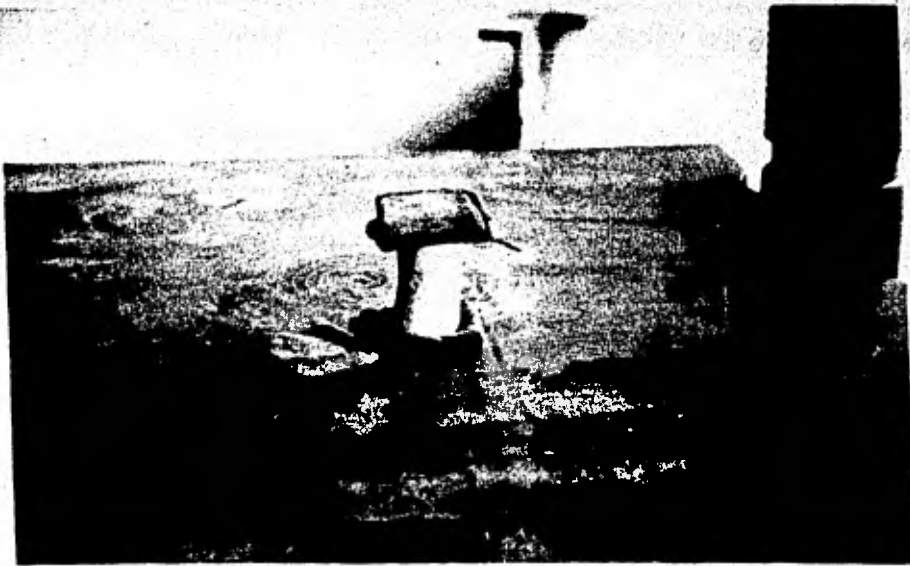
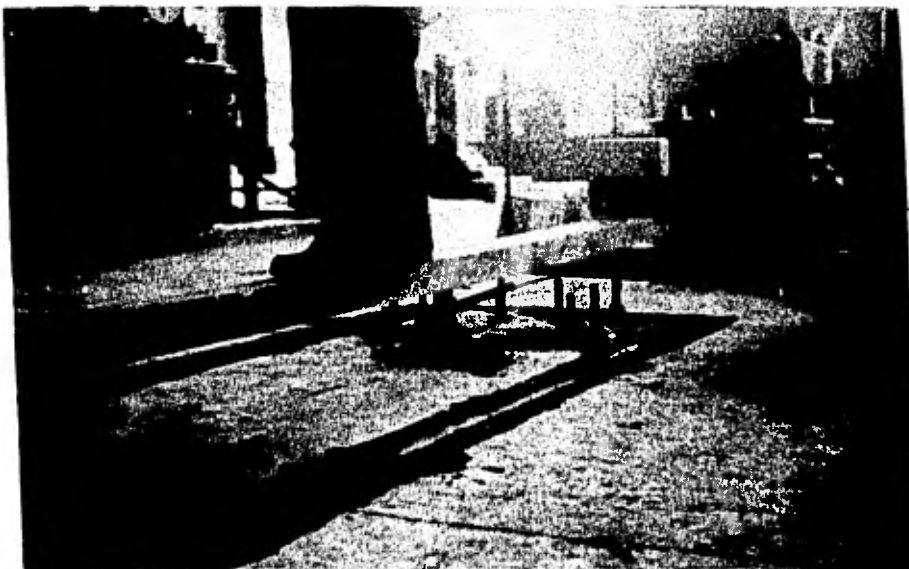


Fig 4 Preparación de espécimen para ensaye de resistencia cabeceo con cojines de tela gruesa



Espécimen
cargado

Fig 5 Ensaye de campo para resistencia en compresión

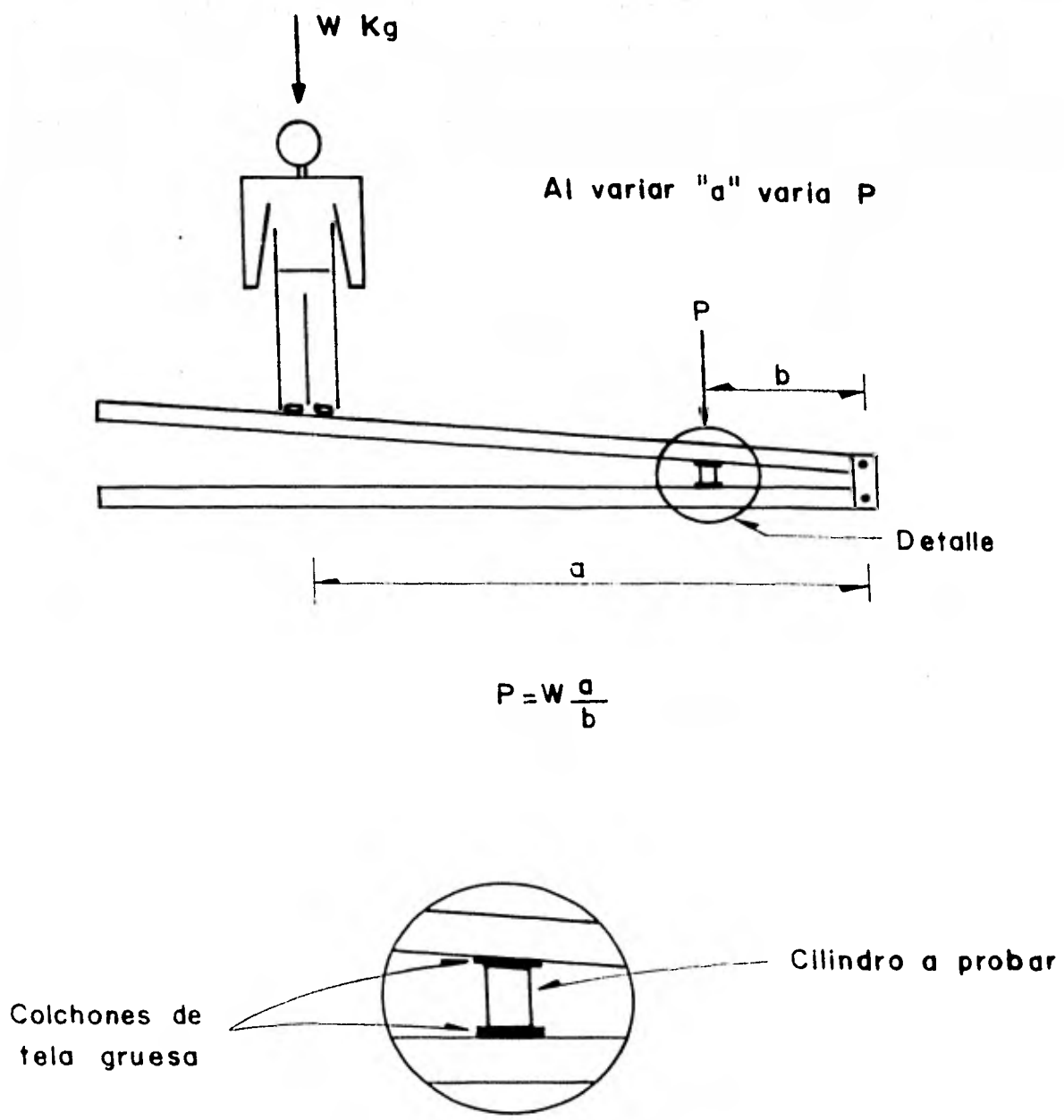


Fig 6 Esquema del ensaye de campo para la determinación de resistencia a la compresión (P)

de los adobes a la compresión, a la tensión y a los impactos que pudieran destruir sus aristas o a las piezas mismas.

3.3 Prueba de contracción volumétrica

La contracción varía naturalmente con el contenido de agua que se proporciona al barro, con un contenido mayor se producirá una mayor contracción. Los datos obtenidos en el presente estudio corresponden a barro preparados en condiciones semejantes a una fabricación "normal" en que su contenido de agua (w) varía entre el rango plástico cerca del límite líquido (y aun más allá) para facilitar su batido y moldeo.

Si se desea obtener rápidamente una idea general de cual será la contracción de los adobes fabricados con un cierto barro se puede hacer la siguiente prueba. Llenar un molde de volumen con un barro mojado y con el contenido de agua con que se vaya a trabajar en la fabricación, extruirlo, secarlo y medir la contracción. Los especímenes utilizados en esta prueba fueron los mismos que se sometieron a la prueba de compresión. Estos especímenes sometidos a un proceso de secado durante 2 días, bien sea a la intemperie (con sol y viento) o sobre una mesa con un ventilador (fig 5), producirá en ellos una contracción casi total (aprox el 95%), el barro se verá seco y su humedad interior estará casi en equilibrio con la humedad relativa del medio ambiente, ya por debajo del "límite de contracción" del material.

Procedimiento de la prueba. El volumen original de la pieza recién fabricada es el del molde con que se hizo, el cual es conocido. El volumen final de la pieza seca se puede obtener con la diferencia de su peso neto y su peso sumergida en agua, medido en gramos, equivalente a su volumen en centímetros cúbicos (Arquímedes). La pesada en el agua se puede hacer en una red o bolsa colgada de la balanza sumergida en agua y equilibrada en estas condiciones. En ellas se coloca la pieza que, para evitar que absorba agua, debe estar recubierta de una capa delgada de parafina o sebo, que se aplica sumergiendo la pieza en este material fundido. (La parafina de las veladoras es muy indicada, ya que existen en cualquier parte y funden a bajas temperaturas). Se puede hacer un cálculo preciso determinando el peso y volumen de la parafina empleada, pero el error que se comete despreciando este peso es muy pequeño, ya que la densidad de la parafina es casi igual a la del agua (0.9 aprox) y la capa con que queda envuelta la pieza es muy pequeña (de 4 a 6 gr aprox).

La relación entre la diferencia "*volumen original menos volumen seco*" y el "*volumen original*" X 100 da el porcentaje de contracción volumétrica que refleja el que es de esperarse en los adobes al cabo de mucho más tiempo, ya que el secado en estos es mucho más lento.

Cuando en un material se presenta gran contracción volumétrica, generalmente propio de los suelos muy arcillosos altamente plásticos, se presenta el problema del agrietamiento en el

adobe al secarse. El problema se puede solucionar secando más lentamente el adobe o añadiendo paja, zacate o arena al barro. Probablemente en un trabajo, si en la prueba mencionada las contracciones volumétricas no excedan del 15% no deben de esperarse problemas de agrietamiento, aunque no se añada paja, zacate o arena al barro, ni se tomen precauciones en el secado. Si las contracciones son mayores deberá ponerse, atención a este problema.

3.4 Pruebas de resistencia al contacto con el agua

Para calificar la resistencia del adobe al contacto con el agua, se establecieron dos pruebas. Una de ellas se orientó para dar una "idea o índice" de la resistencia del adobe en caso de que su material se humedeciera, (saturándose) lo que puede ocurrir, por capilaridad del terreno, por una inundación o algún otro fenómeno; la otra prueba está enfocada a determinar la resistencia a la erosión en los adobes por el efecto de la lluvia que, como es obvio, simultáneamente moja al material. Ambas pruebas se aplicaron a especímenes solos o estabilizados.

3.4.1 Prueba de saturación

La prueba consiste en sumergir especímenes cilíndricos durante 24 hrs aproximadamente, sacarlos e inmediatamente ensayarlos, 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.

3.4.2 Prueba de resistencia al goteo

El objetivo que pretende esta prueba, es obtener una "idea" de la resistencia a la erosión por efecto de la lluvia en el barro, ya sea solo o estabilizado según sea el caso.

Para la realización de esta prueba deberán elaborarse pequeñas placas de dos centímetros de espesor, con el mismo material y en las condiciones con que se pretende fabricar el adobe. El proceso del 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 2.5 m y medir el tiempo que transcurre en perforarse (fig 7). Aquellas que resistan la prueba durante más de 3 hrs, se podrá decir, que el barro en las condiciones probadas tiene una buena resistencia a la erosión, por efecto de la lluvia.

Para observar la correlación que exista entre la prueba y el efecto provocado por la lluvia, se prepararon muestras de diferentes tierras solas, estabilizadas y por pares; una placa de cada par, se probó al goteo y la otra fue sometida a fuertes aguaceros de 15 a 20 minutos de duración, (fig 8). En

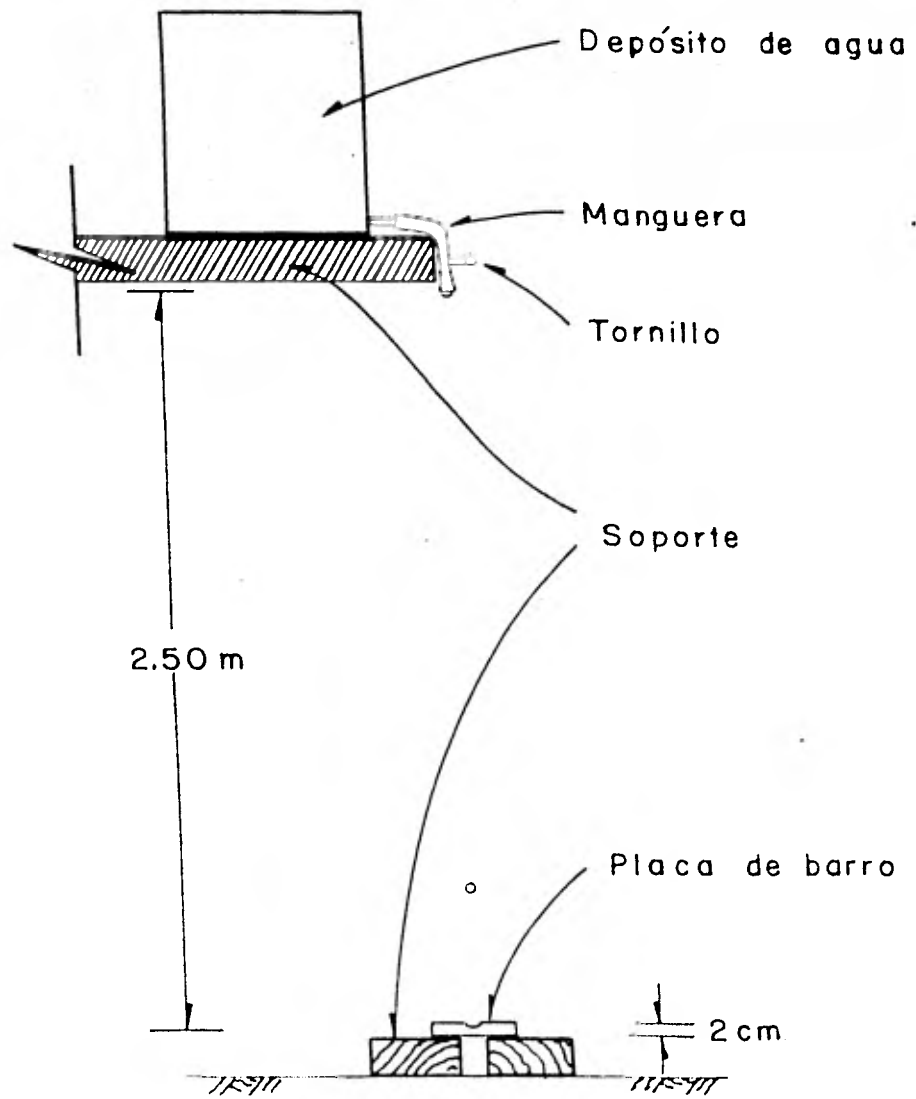
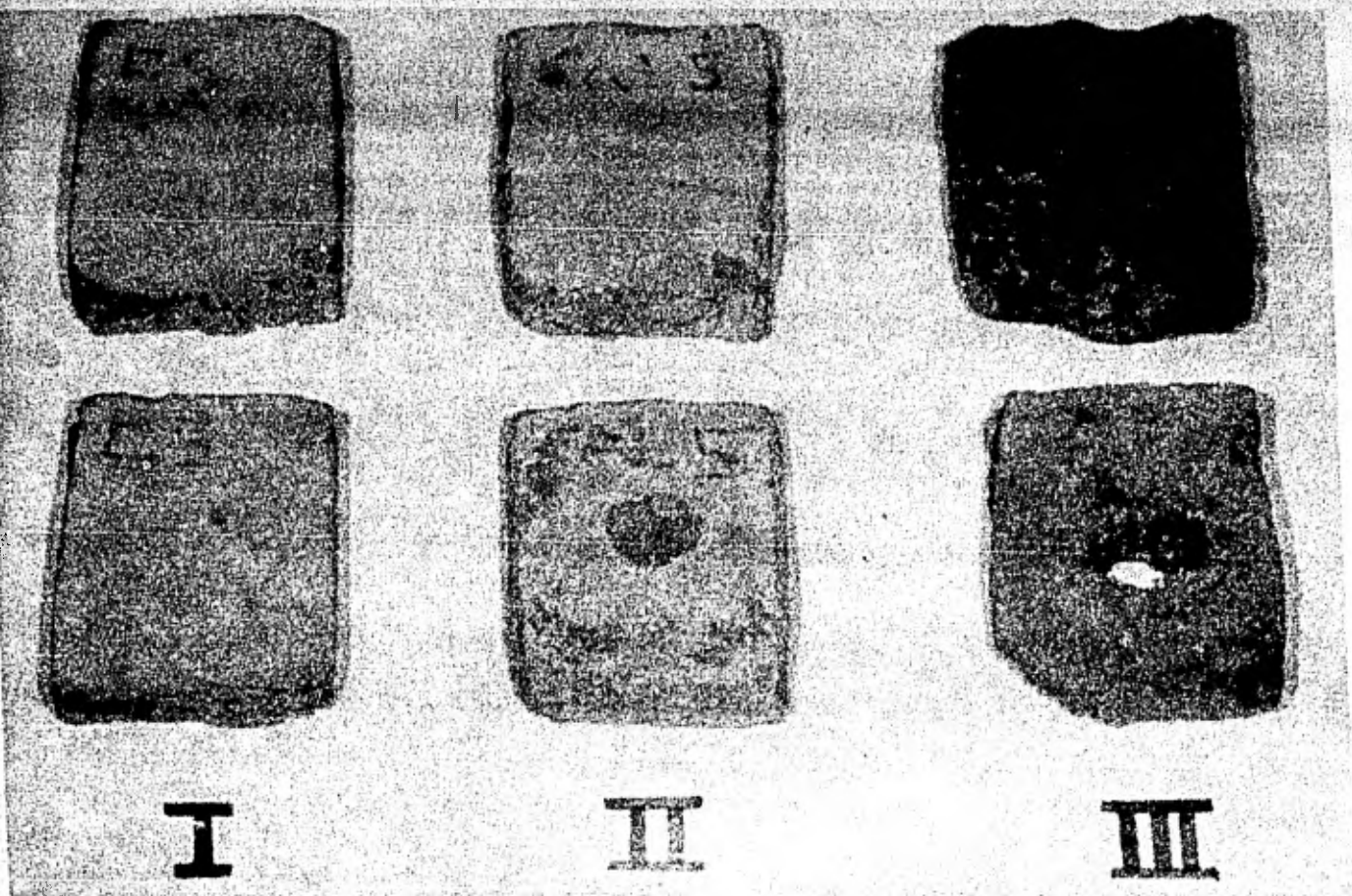


Fig 7 Esquema del ensaye de resistencia a la perforación por goteo.



Arriba — Placas expuestas a un fuerte aguacera de duración de 20 min.

Abaja — Iguales placas sometidas a la prueba de gatea.

I— Arcilla con 5% de cemento. No hay alteración en las superficies.

II— Arcilla con 5% de cal. Leve alteración en las aristas (arriba). El goteo durante 3 hr. produce una marca de 2mm. de profundidad.

III— Arcilla con 2% de emulsión. La superficie se erosiona totalmente (arriba). El goteo perfora en 14 min.

Fig. 8 Prueba de goteo

base a los resultados obtenidos se concluye que:

- 1) Cuando las muestras sometidas al goteo se perforaron en un tiempo menor de 40 minutos, las parejas de éstas se desbarataron con los aguaceros, volviéndose prácticamente lodo. Por esta razón los adobes fabricados en iguales condiciones, no son recomendables, y en caso que tengan que utilizarse, se recomienda que se protejan para evitar que entren en contacto con el agua, mediante recubrimientos, alerones, etc.
- 2) De aquellas muestras que se perforaron, en un tiempo comprendido entre 40 minutos y 3 horas, sus parejas presentaron erosión notable. Los adobes elaborados en condiciones similares a estas muestras, tendrán un comportamiento bajo el efecto de la lluvia, mejor que los anteriores, pero su resistencia aun no es satisfactoria por lo que se recomienda que también sean protegidos.
- 3) De las muestras que soportaron el goteo sin llegar a perforarse, pero presentaron algún deterioro, sus parejas no presentaron erosión, o bien ésta fue muy pequeña. Por lo que se deduce que los adobes elaborados en iguales condiciones a estas muestras, tendrán un comportamiento aceptable bajo el efecto de la lluvia.
- 4) Las muestras que soportaron la prueba del goteo durante 3 horas, sin presentar ningún deterioro, sus parejas

tampoco tuvieron erosión o deterioro alguno. Por consiguiente los adobes que se elaboren en condiciones semejantes a estas muestras, tendrán un comportamiento excelente, bajo la acción del agua.

4. ESTUDIO Y ANALISIS DE LAS TIERRAS EMPLEADAS

Con el objeto de identificar las tierras empleadas en la elaboración de los especímenes, así como clasificarlas de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S), se realizaron pruebas de Mecánica de Suelos, cuyos resultados se resumen en la tabla N° 1.

Como se puede observar en la tabla, ninguno de los parámetros obtenidos se conserva constante en las diferentes muestras.

Sin embargo se observó cierta correlación entre el Índice de Plasticidad y la Resistencia a la Compresión; así como entre ésta y el Porcentaje de Suelo Fino (en peso). A medida que los valores del índice de plasticidad y el porcentaje de suelo fino eran mayores, su resistencia a la compresión era mejor (figs 9 y 10).

| TIERRA | PROCEDENCIA | LL | LP | IP | M | R.S. | D | T | Clasificación S.U.C.S. y Obs. |
|--------|---|--------|--------|--------|------|----------------|-----------|--------------|---|
| A | Santa Ursula 1 Mex., D. F. | 41.4 | 25.7 | 15.7 | 45.3 | Alta | Nula | Alta | SC; arena fina arcillosa color café oscuro, 54.7 % de arena fina. |
| B | Santa Ursula 2 Mex., D. F. | 37.8 | 21.9 | 15.9 | 73.1 | Alta | Nula | Alta | CL; arcilla limosa, color café oscuro, 26.9% de arena fina. |
| C | Cholula Puebla 1 | 33.2 * | 22.3 * | 10.9 * | 39.3 | Ligera | Rápida | Nula | SM; arena limosa, color gris, 60.7% de arena fina. |
| D | Santa Ursula 2 50% + Arena 50% | 29.4 | 25.4 | 4.0 | 51.6 | Media alta | Lenta | Media | ML-CL; arcilla arenosa, color café oscuro, 48.4% de arena. |
| E | Arcilla Gris Ch. Puebla 75% + (Z-3) 25% | 44.6 | 34.0 | 10.6 | 82.4 | Alta | Nula | Alta a media | ML; Limo arcillosa, color gris oscuro, 17.6 % de arena fina. |
| Z-1 | Cerro de Zacatepetl 1 Mex., D. F. | 46.6 | 37.9 | 8.7 | 50.1 | Media | Muy lenta | Media | ML; arcilla limosa, color café amarillito pálido, 49.9% arena fina. |
| Z-2 | Cerro de Zacatepetl 2 Mex., D. F. | 38.9 | 39.6 | 0.6 | 33.0 | Media a Ligera | Media | Nula | SM; arena limo poco arcilloso, color café amarillito pálido, 27 % de arena. |
| Z-3 | Cerro de Zacatepetl 3 Mex., D. F. | 45.6 | 30.5 | 15.2 | 50.6 | Media | Muy lenta | Media | ML; arcilla limosa, color café amarillo pálido 49.4% de arena fina. |
| Z-4 | Cerro de Zacatepetl 4 Mex., D. F. | 31.5 * | 23.6 * | 7.8 * | 23.2 | Media | Rápida | Nula | SM; arena limo poco arcillosa, color café amarillo pálido, 76.8% de arena. |

Tabla 1 Características de Mecánica de Suelos de las tierras empleadas.

LL Límite líquido en (%)

LP Límite plástico en (%)

IP Índice de plasticidad en (%)

M Suelo que pasa la malla 200 en (%) en peso

R.S. Resistencia en seco

D. Dilatación

T Tenacidad

* Características con partículas de suelo que posan la malla 200

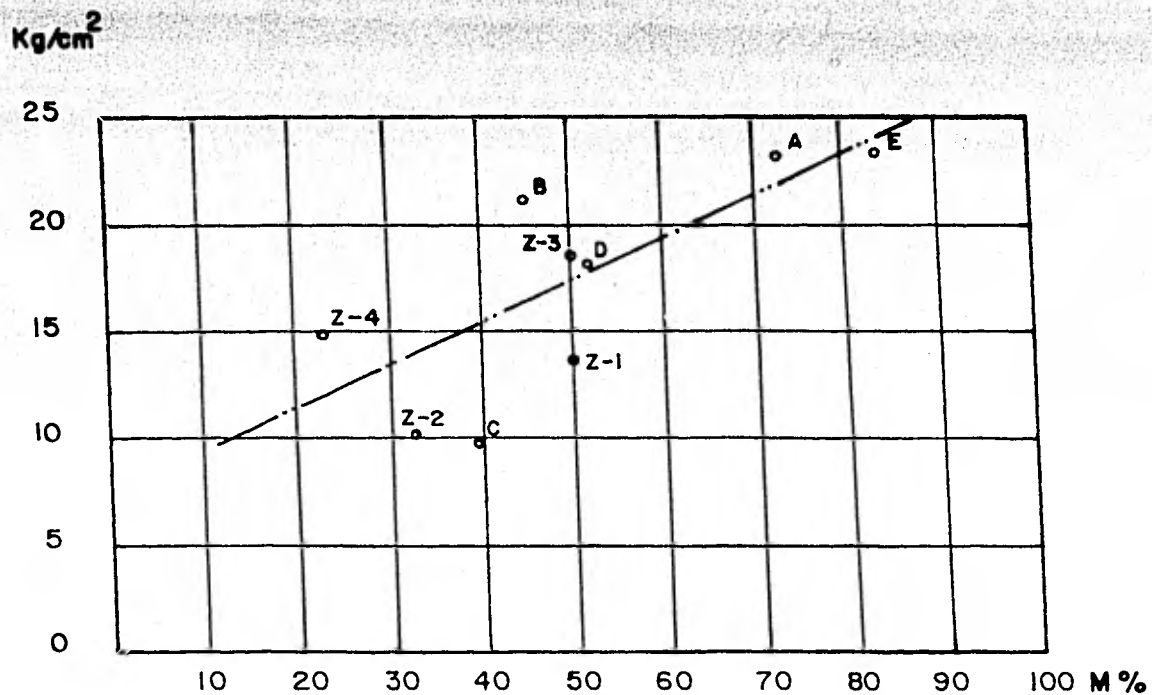


Fig. 9 Influencia del porcentaje de suelo fino en la resistencia a la compresión

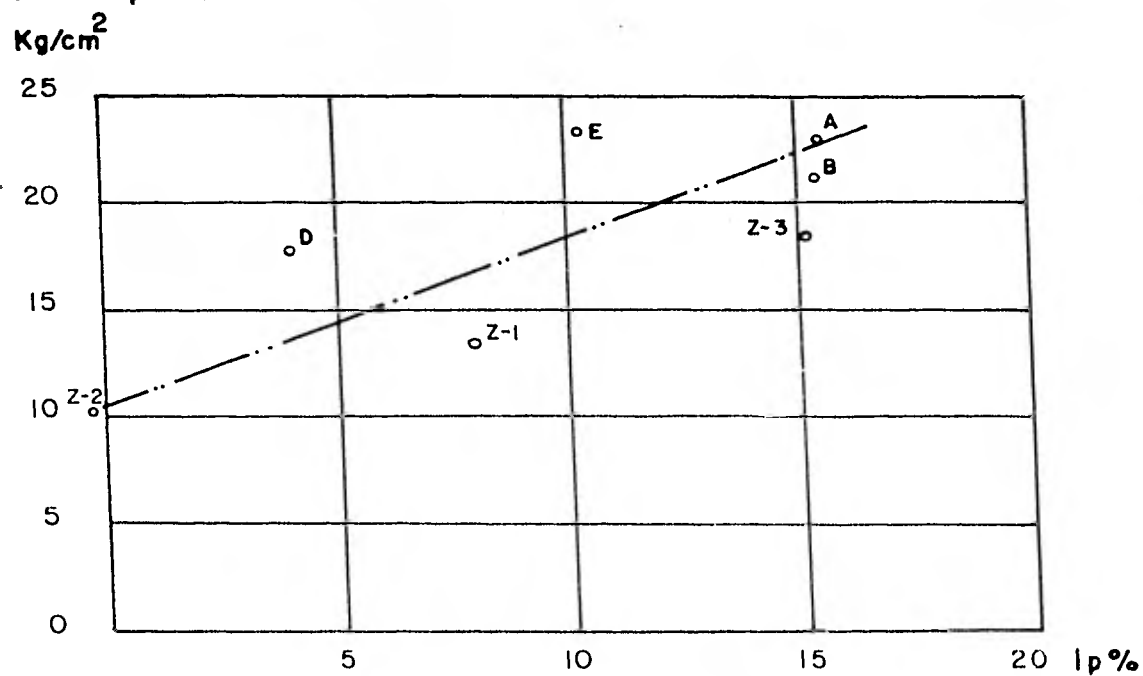


Fig. 10 Influencia del índice de plasticidad en la resistencia a la compresión

A Tierra A

La aseveración anterior no implica necesariamente que los sue los con mayor índice de plasticidad y porcentaje de suelo fino, conduzcan a la obtención de mejores adobes ya que otras propiedades pueden variar simultáneamente en forma inversa.

5. COMPORTAMIENTO DE DISTINTOS BARROS SOLOS O ESTABILIZADOS
CON CAL, CEMENTO O ASFALTO

Utilizando las pruebas que se describen en el capítulo 3 se probaron barros de distintas procedencias estabilizados y sin estabilizar. Se hicieron varias pruebas de las cuales se da la magnitud de los resultados obtenidos en tablas y se interpretan algunas tendencias generales de su comportamiento. Todo ello para guía y comparación para quienes realicen pruebas semejantes.

Las tierras que se probaron tuvieron características diferentes y se clasificaron en "arcillosas y limosas" de acuerdo su índice de plasticidad y porcentaje de suelo que pasaba la malla #200 (en peso). Se consideraron arcillosas cuando su índice de plasticidad fue mayor de 4% y más del 45% del suelo pasaba la malla #200. Cuanto mayor eran estos valores la tierra era más arcillosa y viceversa.

5.1 *Barros sin estabilizar*

Las pruebas se planearon principalmente para calificar a los barros en diferentes condiciones y poder valorar el efecto de los estabilizantes en sus propiedades esenciales.

5.1.1 Resistencia a la compresión

Se obtuvieron resultados muy variables entre unas tierras y otras, los más altos en las tierras arcillosas por ejemplo tierras "B" y "C" (tabla 2). Se probaron tierras muy arcillosas revueltas con arena, la cual reducía su plasticidad y también su resistencia; sin embargo se notó que era necesaria una cantidad importante de arena para que un material muy plástico redujera su resistencia en forma sensible.

5.1.2 Resistencia en estado saturado

En todas las tierras ensayadas fue nula ya que durante la inmersión del espécimen este se desbarataba volviéndose prácticamente lodo. Sin embargo algunas arcillas (el jaboncillo del Valle de México entre otras) resisten la inmersión aunque se puede considerar que sus resistencias son nulas (tabla 2).

5.1.3 Contracción volumétrica

La contracción depende mucho del contenido de agua (w) con que se elabore el espécimen, pero se observa en la tabla 2 que en los materiales más arcillosos fue mayor

5.1.4 Resistencia al goteo

La resistencia a esta prueba es muy poca, pero también las tierras con un mayor contenido de arcilla fue mejor (tabla 2).

5.1.5 Otras pruebas

Se hicieron especímenes a corto y largo plazo 2 y 60 días en el laboratorio respectivamente y se visualizó que sus propiedades no variaban una vez secado el espécimen (tabla 2).

Se hicieron pruebas con tierras cuyos contenidos de agua variaban entre los límites máximo y mínimo aceptable para la fabricación. Se observó la tendencia a dar resultados de resistencia a compresión y goteo levemente más altos en las piezas más secas y, naturalmente, mayores contracciones en las más húmedas (tabla 3).

| TIERRA (W) | Z-3 | | | | D 75% + (Z-3)25% | | | | C | | | |
|---------------|------|----|------|----|------------------|----|------|----|------|----|-----|----|
| | P | P' | C | G | P | P' | C | G | P | P' | C | G |
| MENOR | 20.1 | 0 | 11.6 | 65 | 21.2 | 0 | 13.7 | 50 | 10.1 | 0 | 2.8 | 20 |
| MAYOR | 17.0 | 0 | 18.0 | 45 | 26.1 | 0 | 20.4 | 30 | 8.7 | 0 | 4.7 | 15 |

Tabla 3 Resultados de las pruebas efectuadas en distintas tierras y contenidos de agua

5.2 Barro estabilizado con cal

Se probaron las mismas tierras estabilizadas con cal hidratada normal, en proporciones de 2, 5 y 10% de cal (en pesos).

| TIERRA | PROCESO | 0% | | | | 2% | | | | 5% | | | | 10% | | | |
|--------|---------|--------------------|--------------------|------|------|--------------------|--------------------|------|------|--------------------|--------------------|------|-----------|--------------------|--------------------|------|------|
| | | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G |
| | | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. |
| "A" | C | 23.2 | 0 | 12.2 | 50 | 11.8 | 0 | 9.9 | ∞ | 9.6 | 5.7 | 9.3 | ∞ | 12.2 | 8.7 | 6.6 | ∞ |
| | Mcs | | | | | 8.7 | 3.5 | 5.6 | 30 | 7.9 | 9.2 | 1.4 | ∞ 3mm | 26.7 | 23.8 | -2.1 | ∞ |
| "B" | C | 21.2 | 0 | 13.5 | 70 | 7.6 | 0 | 9.7 | 40 | 6.1 | 3.5 | 5.6 | ∞ | 9.4 | 5.2 | 9.2 | ∞ |
| | Mcs | | | | | 7.9 | - | 10.7 | 30 | 6.8 | - | 7.5 | ∞ 7mm | 16.6 | - | 0.2 | ∞ |
| | Mc | | | | | - | 0 | 0 | - | - | 3.5 | -1.7 | - | - | 9.6 | -2.1 | - |
| "C" | C | 9.6 | 0 | 3.9 | 18 | 3.1 | 0 | 4.7 | 15 | 5.2 | 2.4 | 6.0 | ∞ | 10.1 | 6.6 | 5.2 | ∞ |
| | Mcs | | | | | 2.4 | 0 | 0.2 | 25 | 13.5 | 11.4 | 7.1 | ∞ 10mm | 24.9 | 16.2 | 0.4 | ∞ |
| Z-3 | C | 18.4 | 0 | 12.8 | 45 | | | | | 5.7 | 0.9* | 12.4 | 125 | | | | |
| | L | 17.7 | 0 | 17.4 | 45 | | | | | 13 | 0 | 6.9 | 15 | | | | |

Tabla 2 Resultados de las pruebas efectuadas con diferentes tierras solas y estabilizadas con "Cal Hidratada"

P Resistencia a la compresión en estado seco.

P' Resistencia a la compresión en estado saturado.

Cv Contracción volumétrica.

G Resistencia al goteo.

* La superficie del espécimen se desbarato durante la inmersión.

C Especímenes ensayados a corto plazo.

Mc Especímenes ensayados a mediana plazo curados.

Mcs Especímenes ensayados a mediana plaza curadas y secados.

L Especímenes ensayados a largo plazo.

∞ Placa que resistió 3 h. y presentó una erosión de 2mm.

5.2.1 Resistencia a la compresión

En los especímenes a corto plazo con 2 y 5% disminuyó considerablemente, en un 50% o más con el 10% las tierras arcillosas mejoró ligeramente, con respecto a las anteriores y en la tierra limosa "C" se obtuvo un mejor resultado e inclusive superó a la obtenida sin el estabilizante; en especímenes a medio plazo curadas y secadas con el 2 y 5% disminuyó algo o se conservó con relación a la prueba sin curar, excepto en la tierra limosa "C" que se incrementó notablemente, superando a la resistencia obtenida sin el estabilizante; con el 10% todas tuvieron una notable mejoría, superando en mucho a las obtenidas en las pruebas sin curar (tabla 2).

5.2.2 Resistencia en estado saturado

La adición del 2% de cal no proporcionó al barro ninguna resistencia, con el 5 y 10% de estabilizante los cilindros aguantaron la inmersión, aunque sus resistencias a la compresión se redujo, aproximadamente en un 30 o 40%, las piezas curadas dieron mejores resultados y en algunas ocasiones mejoraron notablemente (tabla 2).

5.2.3 Contracción volumétrica

Se obtuvieron resultados muy variables, pero generalmente ésta se redujo, en algunos casos notablemente e inclusive, en los especímenes curados ésta fue casi nula y en algunos se manifestó una pequeña expansión (tabla 2).

5.2.4 Resistencia al goteo

La adición de este estabilizante acusó fuertemente resistencia al goteo. Con el 2% generalmente disminuyó, pero con el 5 y 10% casi todas las placas resultaron resistentes a la prueba, aunque con el 5% casi todas tuvieron erosiones (tabla 2).

5.2.5 Otras pruebas

Las pruebas efectuadas con mayor o menor contenido de agua no acusaron fuertes diferencias apreciables, excepto en la contracción, naturalmente mayor en las tierras más húmedas, pero se recomienda que el adobe se fabrique con la menor cantidad de agua posible (tabla 5).

| TIERRA (W) | Z-3 | | | | D 75% +(Z-3)25% | | | |
|---------------|-----|-----|------|-------|-----------------|----|------|-----|
| | P | P' | C | G | P | P' | C | G |
| MENOR | 7.0 | 3.3 | 6.2 | 0.3mm | 10.8 | 0 | 9.7 | 6.0 |
| MAYOR | 6.0 | 2.8 | 11.2 | 0.3 | 7.6 | 0 | 17.2 | 6.0 |

Tabla 5 Resultados de las pruebas efectuadas con distintas tierras y contenidos de agua con un 5% de cal

5.2.6 Observaciones

Para mezclar el estabilizante, se recomienda que se disuelva en agua previamente, la cual después se habrá de agregar a la tierra para hacer el lodo, con esto se evitará que se formen

grumos de cal difíciles de disolver, obteniendo así una mejor distribución del estabilizante.

En las piezas realizadas se formó una capa superficial, como si al secarse el agua que se filtró hacia el exterior hubiera arrastrado algún material, posiblemente cal, dando a la superficie de la probeta características especiales. La costra de 1 ó 2 mm es fácilmente atacable por el agua, observando que al sumergir las probetas esta capa se desprendía fácilmente; también en la prueba de goteo, con las primeras gotas se erosionaba.

La cal puede resultar buena como estabilizante, si se produce una reacción química entre la cal y los silicatos o aluminatos que contenga la tierra; pero aún así, si ésta reacción se produjera sería lenta y los adobes tardarían meses en fraguar (ref 2), cosa que no sucedió en los especímenes aquí realizados.

5.3 *Barros estabilizados con cemento*

La estabilización del adobe con el empleo de éste aditivo presenta varios problemas técnicos, ya que el cemento fragua y endurece rápidamente al contacto con el agua; además necesita un ambiente húmedo adecuado para que su fraguado sea óptimo, condiciones muy difíciles de reproducir para la fabricación del adobe en un medio rural. Por otra parte el barro al secarse se contrae y esta puede producirse antes o después del

fraguado del cemento, lo que muy probablemente afectará la estructura del material en formación y puede producir efectos imprevisibles.

5.3.1 Resistencia a la compresión

Los ensayos efectuados a corto y mediano plazo tuvieron resultados muy similares; con 2% de estabilizante su resistencia se redujo en una forma muy considerable; con el 5% fue algo mayor pero sin llegar a la obtenida sin el uso del estabilizante en las tierras arcillosas. En la tierra limosa "C" esta mejora fue mayor, superando en poco a la obtenida sin el empleo del estabilizante; con el 10% y en las tierras arcillosas se tuvieron resistencias un poco mayores a las sin el estabilizante, y en tierra limosa C fue mucho mayor (tabla 6). Los ensayos realizados a mediano plazo curados secados y sin secar, en comparación a los anteriores, presentaron los siguientes resultados; con el 2% de estabilizante su resistencia fue baja y semejante, con 5% mejoraron levemente, con 10% mejoraron notablemente (tabla 6).

Los ensayos a largo plazo y con el 5% de estabilizante dieron resultados muy bajos, inferiores a los obtenidos a corto plazo (tabla 6).

En síntesis se puede decir, que el empleo del cemento como estabilizante baja la resistencia a la carga cuando se añade en pequeñas proporciones (2-5%) Para que arroje resultados

| TIERRA | PROCESO | 0% | | | | 2% | | | | 5% | | | | 10% | | | |
|--------------------|---------|--------------------|--------------------|------|-----|--------------------|--------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|------|-----|
| | | P | P' | C | G | P | P' | C | G | P | P' | C | G | P | P' | C | G |
| | | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min |
| "A" | C | 23.2 | 0 | 12.2 | 50 | 6.8 | 0 | 7.9 | OC | 13.8 | 13.3 | 8.4 | OC | 28.8 | 23.6 | 7.9 | OC |
| | M | 14.4 | 0 | 9.2 | 45 | 9.6 | 1.1 | 8.2 | OC | 13.5 | 10.5 | 3.0 | OC | 34.1 | 22.1 | 3.0 | OC |
| | Mcs | | | | | 8.5 | 0 | 9.7 | OC | 18.4 | 12.7 | 0.4 | OC | 55.3 | 40.0 | 0.9 | OC |
| | Mc | | | | | 0.9 | 0 | 2.1 | 1.5cm 40 | 12.3 | 10.9 | 2.1 | OC | 37.8 | 51.1 | -3.9 | OC |
| "A" 50% + Arena | C | 16.6 | 0 | 10.5 | 20 | 4.8 | 0 | 9.0 | 60 | 14.0 | 9.1 | 6.7 | OC | 18.4 | 15.1 | 2.1 | OC |
| | M | 19.2 | 0 | 10.1 | 45 | 5.9 | 0 | 7.1 | 75 | 12.9 | 9.6 | 3.2 | OC | 16.6 | 16.2 | 2.1 | OC |
| | Mcs | | | | | 3.5 | 0 | 5.6 | 15 | 17.5 | 17.5 | 0.6 | OC | 36.3 | 38.3 | -1.5 | OC |
| | Mc | | | | | 0.7 | 0 | -2.8 | 30 | 24.0 | 21.4 | -2.9 | OC | 37.6 | 52.0 | 2.6 | OC |
| "C" | C | 9.6 | 0 | 3.9 | 18 | 6.8 | 3.7* | 3.6 | OC | 15.0 | 11.0 | 3.6 | OC | 35.6 | 23.2 | -0.6 | OC |
| | Mcs | | | | | 7.0 | 4.2* | 0.0 | 3mm OC 1.5cm | 20.9 | 31.9 | 7.5 | OC | 57.3 | 55.3 | -2.1 | OC |
| Z-3 | L | 9.4 | 0 | 2.4 | 15 | | | | | 8.5 | 6.6 | -0.6 | OC | | | | OC |
| | Mcs | 18.4 | C | 12.8 | 45 | | | | | 9.4 | 6.8 | 9.2 | OC | | | | |
| | | 17.7 | 0 | 17.4 | 45 | | | | | 3.3 | 0.0 | 7.4 | OC | | | | |
| | | | | | | | | | | 13.5 | 6.8 | 3.6 | 1.5cm OC 5mm | | | | |

Tabla 6 Resultados de las pruebas efectuadas con diferentes tierras solas y estabilizadas con cemento portlan tipo I

C Especímenes ensayados a corto plazo.

M Especímenes ensayados a mediano plazo.

Mc Especímenes ensayados a mediano plazo curados.

Mcs Especímenes ensayados a mediano plazo curados y sec.

L Especímenes ensayados a largo plazo

* La superficie del espécimen se desbarato durante la inmersión

favorables deberá de emplearse un porcentaje mayor. El curado mejorará notablemente la resistencia del adobe (probablemente un secado lento de los adobes cubriéndolos con paja húmeda se logre un efecto similar). Deberán de efectuarse pruebas en cada tierra para ver el efecto del tiempo, en la resistencia a la carga.

5.3.2 Resistencia en estado saturado

Con el 2% de estabilizante y en las diferentes condiciones resultó ser nula o casi nula, desbaratándose la mayoría de las probetas durante la inmersión; con 5% resultó ser un poco menor a la obtenida en estado seco, y con el 10% fue la misma o un poco mayor a las obtenidas en estado seco, probablemente esto se debió a que la inmersión favoreció el fraguado del cemento (tabla 6).

5.3.3 Contracción volumétrica

Se redujo notablemente y ésta fue menor cuando mayor era el porcentaje de estabilizante empleado. En las piezas curadas, con 10% de cemento, llegó a ser nula e inclusive se presentaron pequeñas expansiones (ver tabla 6).

5.3.4 Resistencia al goteo

Las placas elaboradas con 5 y 10% de cemento resistieron muy bien la prueba, las efectuadas con el 2%, algunas resistieron la prueba pero otras se perforaron, aunque en un tiempo más largo en comparación a las placas sin el estabilizante (tabla 6)

Otras pruebas se efectuaron para visualizar en que condiciones y forma conviene fabricar los adobes.

5.3.5.1 Prueba del contenido de agua

Se realizaron las anteriores pruebas, a corto plazo, con diferentes tierras estabilizadas con un 5% de cemento y con un máximo o mínimo contenido de agua posible para la fabricación tradicional del adobe. En la tabla 7 se puede observar claramente que con el contenido mínimo de agua posible resultaron con mejores características para la fabricación del adobe.

| TIERRA (W) | Z-3 | | | | D 75%+(Z-3)25% | | | | D | | r 80%+D | |
|---------------|------|-----|-----|---|----------------|-----|------|---|------|------|---------|------|
| | P | P' | C | G | P | P' | C | G | P | P' | P | P' |
| MENOR | 14.4 | 7.9 | 8.2 | ∞ | 18.4 | 9.4 | 6.7 | ∞ | 24.7 | 12.2 | 35.4 | 12.7 |
| MAYOR | 9.4 | 6.8 | 9.2 | ∞ | 14.6 | 8.1 | 11.4 | ∞ | 19.2 | 9.2 | 16.2 | 8.7 |

Tabla 7 Resultados de las pruebas efectuadas con distintas tierras y contenidos de agua con un 5% de cemento

5.3.5.2 Tiempo de fabricación

El cemento una vez agregado a la masa de lodo, después de un cierto tiempo empieza a fraguar, endureciendo la masa de lodo. Para visualizar como el tiempo que se tarde en moldear el lodo, después de haberle agregado el cemento, influye en las características de adobe, se preparó una masa de lodo con un 5% de cemento, con que se elaboraron probetas y placas

a intervalos de tiempo de una hora aproximadamente que se sometieron a la prueba de compresión y goteo respectivamente, a corto plazo y mediano plazo curadas y secadas. Lo anterior se efectuó con diferentes tierras.

En la fig 11 se muestran gráficamente los resultados de los ensayos a la compresión, observándose que; en las piezas elaboradas hasta 1 1/2 horas después, la resistencia no varió sensiblemente, en los especímenes elaborados entre 1 1/2 y 4 horas después, la resistencia a la carga se redujo notablemente, en comparación a las primeras; y ésta fue mayor cuanto más tiempo que se tardaba en elaborar la pieza; las probetas elaboradas después de un tiempo mayor de 4 horas tuvieron una reducción del 45% o más, en comparación con las primeras. En las placas sometidas al goteo se observó una pérdida de resistencia semejante, ya que las elaboradas primero no sufrieron ninguna erosión y las últimas presentaron pequeñas erosiones.

Apoyados en los resultados obtenidos parece ser razonable proceder en la siguiente forma en la fabricación del adobe estabilizado con cemento

- 1) Realizar pruebas semejantes con la tierra con que se pretende fabricar los adobes, para obtener "índices" de las principales características que adquirirá el adobe estabilizadas con cemento. Se deberá de rechazar este método si éstas no son adecuadas.

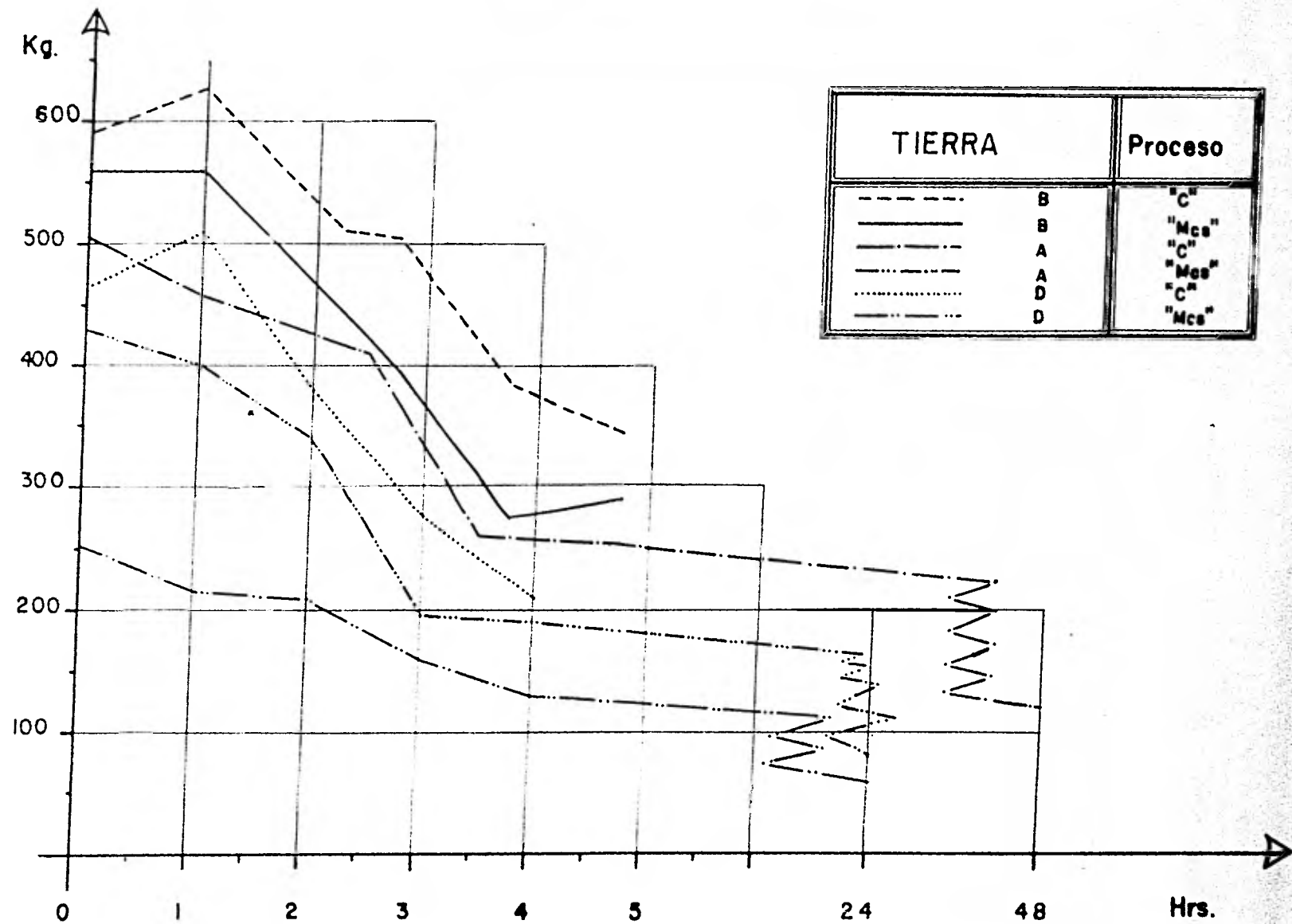


Fig. II Resistencia a la compresión — Tiempo de fabricación.

- 2) Tomar una masa de tierra previamente hidratada, y elaborar lodo para una jornada de trabajo, con un mínimo contenido de agua posible -moldeable-
- 3) Separar una masa de lodo de tamaño tal que el moldeo del adobe se realice en un tiempo máximo de 1 1/2 horas. Agregar el porcentaje de cemento, (previamente elegido mediante las pruebas efectuadas) distribuirlo lo mejor posible tratando de evitar que se formen grumos de cemento difíciles de disolver, y en la forma más rápida posible.
- 4) Iniciar inmediatamente el moldeo de los adobes
- 5) Se tratará que el adobe conserve su humedad durante varios días (7 ó 9) para que el cemento frague (lo que se puede conseguir al cubrirlos con paja húmeda o plásticos).

No todas las tierras en su estado natural son recomendables para su estabilización con cemento ya que estas deben de cumplir con ciertas características para que su estabilización no resulte antieconómica.

La ref 2 Ing. Francisco Queipo de Alcalá Revista IMCYC Vol 8 N° 47, noviembre-diciembre 1970 propone los siguientes criterios para elegir suelos destinados a construir muros con tierra estabilizados con cemento.

- I. Límites recomendados para viviendas urbanas permanentes en cualquier clima y para toda clase de vivienda en regiones donde el régimen de precipitación pluvial no

exceda de 75 cm anualmente

- a) Distribución por tamaño de las partículas; Norma ASTM D422-54 T.

Un mínimo de arena de 33 por ciento del total. Un máximo de arcilla del 20 por ciento del total y un mínimo del 5 por ciento

- b) Propiedades plásticas, Normas ASTM D 424-54T y D 423-54T. Índice de plasticidad entre el 2.5 por ciento y el 22 por ciento, con un límite líquido inferior al 40 por ciento

II. Límites recomendados para proyectos pequeños, en comunidades rurales que tengan un clima moderado y escasa precipitación pluvial.

Considerando las mismas normas se tiene:

- a) Un mínimo de arena de 40 por ciento del total. Un máximo de arcilla del 30 por ciento del total y un mínimo del 5 por ciento
- b) Índice de plasticidad entre el 2.5 por ciento y el 30 por ciento, con un límite líquido inferior al 50 por ciento.

Lo anterior queda fuera del objetivo de esta tesis pero se mencionó por considerarse de interés.

La ref 2 recomienda usar del 4 a 10 por ciento de cemento como estabilizante lo cual no resulta muy económico.

5.4 Barros estabilizados con asfalto

Se hicieron pruebas estabilizando el barro con productos asfálticos, entre estos emulsiones y rebajados de fraguado lento y rápido. En ambos casos en los resultados se observaron efectos semejantes. Estos efectos con productos más volátiles se producían en poco tiempo, mientras que con los menos volátiles, especialmente con los rebajados de fraguado lento, mantuvieron su viscosidad demasiado tiempo obligando esperar un intervalo de semanas o meses para estudiar su fraguado y ver su resistencia obtenida. Se optó por hacer pruebas con emulsiones asfálticas de rompimiento rápido que tienen efectos más inmediatos.

A continuación se enuncia una teoría de la estabilización de los suelos con asfalto tomada de la ref 3 (adobe estabilizado Oficina de Investigación y Normalización, Ministerio de Vivienda y Construcción del Perú 1977).

La estabilización del adobe con asfalto se fundamenta en el hecho de que la arcilla es el único componente del suelo que es inestable en presencia de humedad. Por consiguiente, si se logra estabilizar la arcilla, toda la masa del suelo quedará estabilizada al mismo tiempo.

El asfalto emulsificado que se usa como estabilizador de suelos, consiste de glóbulos microscópicos de asfalto que están

rodeados y suspendidos en un medio acuoso. Unas pocas gotas de estabilizador asfáltico puede colorear una gran cantidad de agua y permanecer suspendidos en ella sin que se produzca sedimentación. Se recomienda sin embargo, mantener el estabilizador a una temperatura superior a los 0° centígrados. El congelamiento causa que el asfalto se desemulsione y dificulte las operaciones de mezclado.

Cuando el estabilizador es mezclado con un suelo que contiene arcilla, en presencia suficiente de agua, esta última transporta los glóbulos de asfalto y establece un contacto directo entre ellos y las superficies de las partículas de la arcilla.

La arcilla posee una mayor capacidad de absorción de agua que los suelos compuestos de arena y cascajo. De esta manera el estabilizador hace contacto con la parte arcillosa del suelo y a medida que se realiza la evaporación del agua, los glóbulos de asfalto forman una fina película que rodea a las partículas de arcilla.

La cantidad necesaria de asfalto para revestir las partículas de arcilla es mínima comparada con los otros métodos usados para este propósito. Esta capa es tan delgada que sólo oscurece ligeramente el color del suelo. Cuando está totalmente seca la masa tratada con la emulsión asfáltica mantiene aproximadamente la misma firmeza y resistencia a la compresión que un suelo secado que a sido mezclado solamente con agua.

La fuerza cohesiva de las partículas de arcilla no es disminuida por el estabilizador; sin embargo, como las partículas de arcilla quedan recubiertas por una película de asfalto repelente al agua, estas no podrán ser humedecidas nuevamente y convertirse en barro.

Pese a un contacto prolongado con el agua, puede producir cierta absorción, las partículas de arcilla no se expandirán o perderán cohesión. La afinidad al agua que poseían anteriormente estas partículas desaparece después del tratamiento.

5.4.1 Resistencia a la compresión

La emulsión añadida al barro en 2, 5 y 10% no alteraron en forma importante su resistencia aumentando o disminuyendo ligeramente, en comparación a los resultados originales (sin estabilizante), en las pruebas a corto plazo. En las pruebas realizadas a mediano y largo plazo tuvieron un incremento en su resistencia entre un 10 y 30% en relación a las efectuadas a corto plazo. Esto muy probablemente ocurre por endurecimiento de la emulsión asfáltica conforme transcurre el tiempo que aumenta la fuerza cohesiva de las partículas del suelo (tabla 8).

5.4.2 Resistencia en estado saturado

Con un contenido del 2% la mayoría de los especímenes se desbarataron durante la inmersión, con 5 y 10% resistieron la inmersión pero su resistencia fue muy pequeña que puede

| TIERRA | PROCESO | 0% | | | | 2% | | | | 5% | | | | 10% | | | |
|--------|---------|--------------------|--------------------|------|------|--------------------|--------------------|------|-----------|--------------------|--------------------|------|------------------|--------------------|--------------------|------|-----------|
| | | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G |
| | | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. |
| "B" | C | 21.2 | 0 | 13.5 | 70 | 17.9 | 0 | 11.1 | 70 | 23.4 | 1.3 | 11.4 | OC | 14.2 | 0 | 11.4 | 150 |
| | M | | | | | 24.5 | 0 | 11.2 | 90 | 26.2 | 1.7 | 10.9 | OC | 16.6 | 0.9 | 11.2 | OC |
| "A" | C | 23.2 | 0 | 12.2 | 50 | 22.5 | 0 | 9.4 | 50 | 23.2 | 0 | 10.9 | 100 | 10.3 | 0 | 10.3 | 185 |
| | M | 14.4 | 0 | 9.2 | 45 | 24.3 | 0 | 7.7 | OC 2mm | 29.5 | 2.0 | 7.7 | 60 | 16.6 | 1.3 | 9.0 | OC 1mm |
| "C" | C | 9.6 | 0 | 3.9 | 18 | 10.9 | 0 | 5.2 | 18 | 11.8 | 1.1 | 6.7 | OC | 7.4 | 3.1 | 10.1 | OC |
| | M | 9.2 | 0 | 6.9 | 10 | 9.6 | 0 | 4.9 | 20 | 15.3 | 1.7 | 6.7 | OC 1cm | 10.7 | 0.9 | 6.2 | 220 |
| | L | 9.4 | 0 | 2.4 | 15 | | | | | 12.0 | 0 | 2.6 | OC 3mm 175 | | | | |
| "D" | C | 17.9 | 0 | 8.9 | 70 | | | | | 20.5 | 0.4 | 10.4 | 70 | | | | |
| Z-3 | C | 18.4 | 0 | 12.8 | 45 | | | | | 15.3 | 0 | 9.2 | 40 | | | | |
| | L | 17.7 | 0 | 17.4 | 45 | | | | | 25.3 | 0 | 9.4 | OC 5mm | | | | |

Tabla 8 Resultados de las pruebas efectuadas con diferentes tierras solas y estabi-
lizadas con "Emulsión Asfáltica"

C Especímenes ensayados a corto plazo
M Especímenes ensayados a mediano plazo

L Especímenes ensayados a largo plazo
OC Placa que resitó 3h. y presentó una erosión de 1cm.

considerarse nula (tabla 8).

5.4.3 Contracción volumétrica

Se observó que la contracción no varía por la presencia del estabilizante pero si producía en una forma más lenta, ya que el secado era más lento en comparación a las probetas realizadas con los otros estabilizantes y solas. Y con ello la contracción de las piezas es más uniforme por lo que el problema de agrietamiento de algunas arcillas se ve atenuado o resuelto (tabla 8).

5.4.4 Resistencia al goteo

Las placas con el 2% de estabilizante tuvieron una ligera mejora, con el 5 y 10% incrementaron su resistencia en forma bastante notable e inclusive varias de ellas resistieron la prueba durante más de tres horas aunque algunas de ellas presentaron cierta erosión (tabla 8).

5.4.5 Otras pruebas

Para visualizar un poco más los efectos provocados por el estabilizante y en que condiciones conviene fabricar los adobes, se efectuaron las siguientes pruebas.

5.4.5.1 Prueba del contenido de agua

Se hicieron pruebas con un máximo y mínimo contenido de agua posible (moldeable) para la fabricación del adobe tradicional.

En la tabla 9 se puede observar que las pruebas con un máximo contenido de agua tuvieron un mejor comportamiento, excepto en la prueba de contracción que naturalmente fue mayor. Al elaborar los especímenes se observó, que el estabilizante es bastante difícil de mezclarlo con la tierra pues al agregarlo se forman grumos difíciles de disolver, esto puede atenuarse si a la emulsión previamente se diluye en agua y es mezclada en una parte de la tierra del total a preparar, haciendo un lodo bastante aguado con el objeto de facilitar su mezclado; una vez efectuado lo anterior se le agregará la otra parte de la tierra y se revolverá conjuntamente. El lodo preparado en estas condiciones y con un alto contenido de agua (moldeable) proporcionará un adobe de mejor calidad.

| (W) \ TIERRA | Z-3 | | | | D 75% +(Z-3)25% | | | |
|--------------|------|----|------|-----|-----------------|----|------|-----|
| | P | P' | C | G | P | P' | C | G |
| Menor | 21.0 | 0 | 14.8 | 135 | 18.0 | 0 | 11.4 | 95 |
| Moyor | 24.0 | 0 | 18.9 | 200 | 29.9 | 0 | 20.0 | 110 |

Tabla 9 Resultados de las pruebas efectuadas con distintas tierras y contenidos de agua con 5% de emulsión asfáltica.

5.4.5.2 Pruebas de absorción

Estas pruebas se hicieron por capilaridad e inmersión en probetas de barro solas y estabilizadas con el 5 y 10% de asfalto, con el fin de visualizar el efecto de impermeabilización que proporciona el asfalto. Aunque la capacidad de absorción de las piezas estabilizadas fue semejante a la tierra sola, esta se produjo en una forma mucho más lenta. Probablemente esta es la razón por la que mejora la resistencia al goteo de las placas estabilizadas con asfalto.

En la ref 3 recomienda para la estabilización con asfalto, que el suelo esté compuesto de un 55 a 75% de arena (suelo retenido por la malla N° 200) y de 25 a 45% de materiales finos (limos y arcillas).

En la misma referencia recomienda proporciones pequeñas de asfalto del 1 al 5% entre el cual buscan el porcentaje óptimo, mediante una serie de pruebas, (compresión humedecido y seco, etc). Pero en estas pruebas no queda reflejada la resistencia a la lluvia con la claridad de la prueba del goteo aquí propuesta.

De acuerdo a los anteriores resultados se puede concluir que la emulsión asfáltica puede ser benéfica ya que el adobe adquiere una mejor resistencia al deterioro al contacto con el agua y a largo plazo la resistencia del adobe mejora.

6. ESTUDIO DE UN BANCO DE TIERRA

Para tener una "idea" de como pueden cambiar las propiedades de un banco y por ende las características del adobe que se pretende fabricar, se tomaron 4 muestras de suelo de un banco amplio de aspecto más o menos homogéneo (cerro de Zacatépétl). A cada una de ellas se le efectuaron pruebas de Mecánica de Suelos; acusaron fuertes diferencias entre sí (tabla 1). También se elaboraron probetas y placas de materiales solos y estabilizados con un 5% de cada uno de los aditivos; posteriormente fueron ensayadas. En la tabla 10 se muestran los resultados; en una forma general se puede decir:

Los materiales solos tuvieron entre sí relativamente poca diferencia en la resistencia a la compresión, y difirieron un poco más en la prueba del goteo. Las contracciones fueron regulares o ligeras, todo esto acusa que el material varía

de poco arcillos a limoso.

En los especímenes estabilizados con cal y ensayados a corto plazo se redujo considerablemente la resistencia a la compresión; aumentó en forma importante las resistencias al goteo; se redujo levemente las contracciones; y no proporcionó resistencia a las probetas saturadas. (tabla 10)

En las piezas estabilizadas con cemento y probadas a corto plazo redujo en forma considerable la resistencia a la compresión; proporcionó cierta resistencia en las pruebas saturadas; aumentó en mucho la resistencia al goteo; y redujo las contracciones. (tabla 10)

Los especímenes probados a mediano plazo curados y secados estabilizados también con cemento presentaron los mejores resultados; aumentando considerablemente su resistencia a la compresión tanto en estado seco como saturado; así como también en mucho la resistencia al goteo; y se redujo en forma considerable las contracciones. Se puede visualizar que las tierras más limosas (Z-2, Z-4) se vieron más favorecidas por este método de estabilización (tabla 10)

Las pruebas a corto plazo estabilizadas con emulsión asfáltica bajaron ligeramente la resistencia a la compresión; no proporcionaron ninguna resistencia en las piezas saturadas, aumentaron levemente la resistencia al goteo, y se produjeron prácticamente las mismas contracciones. (tabla 10)

| TIERRA | SOLA ^c | | | | E. ASFALTICA ^c | | | | CAL HIDRAULICA ^c | | | | CEMENTO I ^c | | | | CEMENTO I ^{Mcs} | | | |
|--------|--------------------|--------------------|------|------|---------------------------|--------------------|------|------|-----------------------------|--------------------|------|------|------------------------|--------------------|-----|-----------|--------------------------|--------------------|------|-----------|
| | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G | P | P' | Cv | G |
| | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | min. |
| Z-1 | 13.5 | 0 | 13.1 | 15 | 12.2 | 0 | 13.5 | 25 | 3.1 | 0 | 9.4 | 80 | 9.6 | 6.1 | 9.2 | 330 | 10.9 | 6.1 | 2.4 | OC 3mm |
| Z-2 | 10.3 | 0 | 4.3 | 15 | 8.3 | 0 | 3.4 | 50 | 4.4 | 0.9* | 3.4 | OC | 9.6 | 10.5 | 3.9 | OC 1mm | 24.8 | 21.9 | 1.3 | OC |
| Z-3 | 18.4 | 0 | 13.7 | 40 | 15.5 | 0 | 15.7 | 40 | 5.7 | 0.9* | 12.4 | 125 | 12.2 | 7.4 | 7.9 | OC 3m | 13.5 | 7.0 | 3.6 | OC |
| Z-4 | 14.9 | 0 | 6.2 | 15 | 15.1 | 0 | 7.7 | 30 | 3.9 | 2.2* | 5.8 | OC | 10.1 | 7.4 | 5.2 | OC | 22.7 | 19.4 | -1.1 | OC |

Tabla 10 Resultados de las pruebas efectuadas para el estudio de un banco de tierra, sola y con el 5% de los estabilizantes, cal hidráulica, cemento portlan tipo I, y emulsión asfáltica.

^c Ensayes efectuados a corto plazo.

^{Mcs} Ensayes efectuados a mediano plazo curados y secados.

P Resistencia a la compresión en estado seco.

P' Resistencia a la compresión en estado saturado.

Cv Contracción volumétrica.

G Resistencia al goteo

* La superficie del espécimen se desbarato durante la inmersión.

OC Placa que resistió 3hr y presentó una erosión de 1mm.

I Cemento portlan tipo I

En síntesis se puede decir que en las 4 muestras los efectos de los estabilizantes fueron los mismos, con mayor o menor efecto pero con la misma tendencia. Además, que si varían las características de la tierra en un mismo banco, se recomienda que (para la fabricación del adobe) se efectuen pruebas semejantes a las descritas con el objeto de tener una idea de la calidad del adobe que se va a obtener (tabla 10)

7. ESTABILIZACION DEL ADOBE POR MEDIO DE ENERGIA
CALORIFICA -TABIQUE-

Con el objeto de visualizar los efectos que produce la aplicación de energía calorífica en el adobe y que tan factible es la autofabricación del tabique, sin que represente una gran inversión económica y procurando que el esfuerzo de trabajo sea lo menor posible, se realizaron los siguientes trabajos y pruebas.

Se hicieron 3 pequeños hornos para leña en diferentes formas y acomodamiento del adobe, con una capacidad aproximada para 1500 a 2000 tabiques de tamaño normal (7 x 14 x 28). En ellos se colocaron en diferentes puntos aparatos de medición, termopares que proporcionaron una idea de la propagación de la energía calorífica en el horno; también se elaboraron cilindros de diferentes barros; unos se colocaron en distintos

lugares en los hornos y otros se sometieron a distintas temperaturas en muflas eléctricas de temperatura controlable. De estos últimos unos se sacaron inmediatamente, alcanzadas ciertas temperaturas, y otros se mantuvieron 1.5 y 5 horas a la máxima temperatura constante. Con estos cilindros se efectuaron pruebas de contracción volumétrica, resistencia a la compresión en estado seco y saturado.

El tabique que se obtuvo de las horneadas se clasificó en 3 categorías, de acuerdo al color que presentaron:

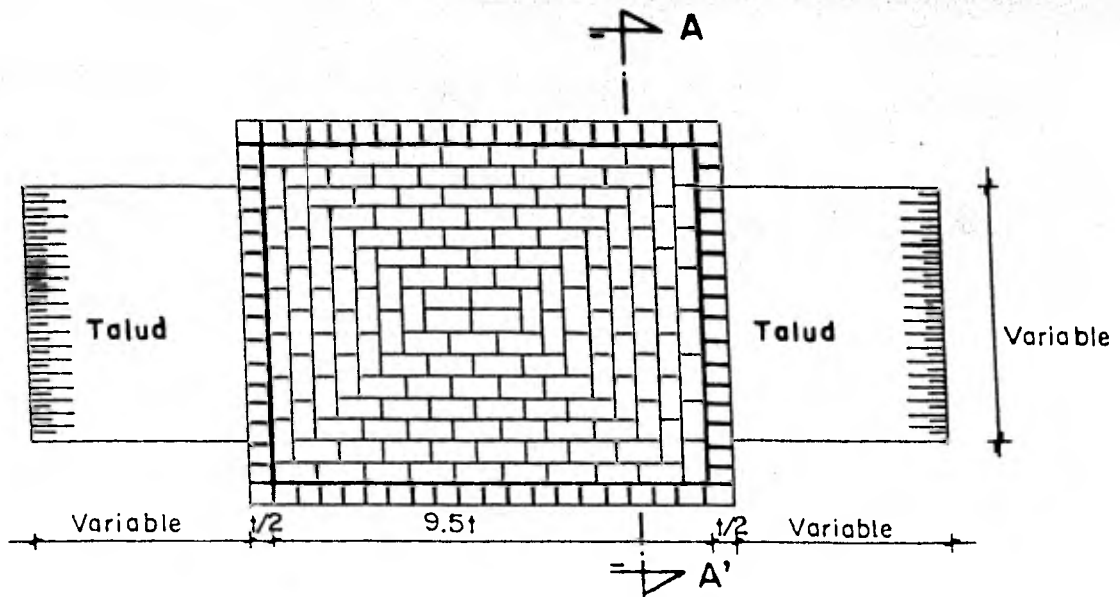
- 1) Bien cocidos, color rojo naranja
- 2) Medio cocidos, color naranja pálido
- 3) Calentados, color barro seco

De acuerdo a esta clasificación se elaboraron piletas con mortero de arena, cal y cemento, cuya resistencia se probó a la compresión; también se realizaron pruebas de goteo sobre medios tabiques; además se realizó otra prueba con fracciones de tabiques (de un cuarto), la cual consistió en sumergirlos en agua y observar si se desbarataban o reblandecían.

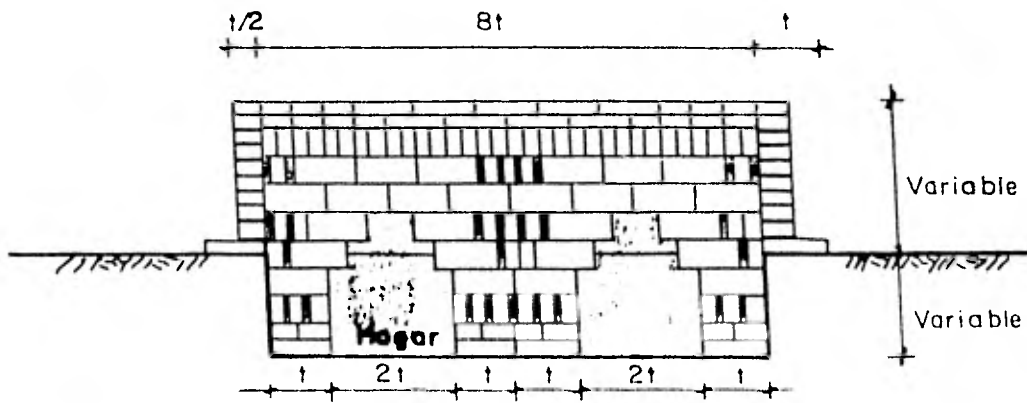
Con base en lo observado se dan las siguientes orientaciones prácticas para obtener una mejor eficiencia y calidad del tabique.

- 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 (figs 12a y 12b).
- 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 cantida de leña que se utilice será menor.
- c) Es recomendable que el horno quede algo enterrado y se levanten muros laterales con adobes y lodo del mismo material (entre más anchos mejor). Lo anterior es con el fin de evitar corrientes de aire y que se aproveche mejor la energía calorífica. 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 (figs 12a y 12b).
- d) Al atizar el horno debe procurarse mantener las llamara-
das vivas, para ello se recomienda, que los leños queden algo alzados del piso ya que esto facilitará que los leños ardan mejor (seña 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 estabilizaban durante las últimas horas del proceso.



PLANTA



CORTE A-A'

Fig. 12a Esquema del acomodamiento del tabique en el horno.

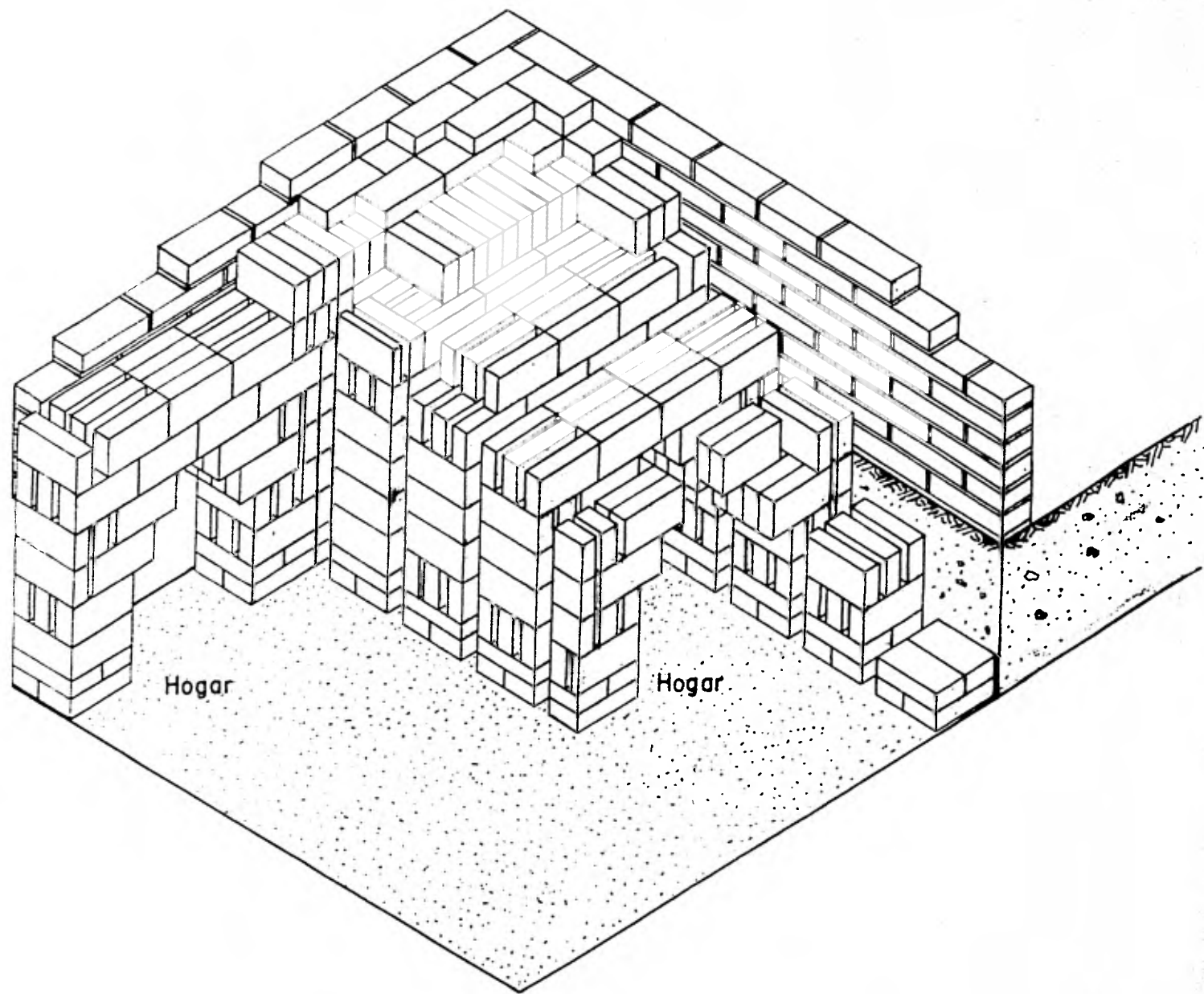


Fig 12b Esquema del acomodamiento del tabique en el horno (Isométrico)

7.1 Interpretación de los resultados

El tercer horno se hizo siguiendo más o menos las orientaciones ya mencionadas; se logró que aproximadamente que el 70% del tabique quedara bien cocido y el restante quedó medio cocido o muy calentado. De acuerdo a estas tres clasificaciones las piletas sometidas a la compresión tuvieron las siguientes resistencias promedio \bar{f}_m .

Bien cocidos $\bar{f}_m = 49.6 \text{ kg/cm}^2$

Medio cocidos $\bar{f}_m = 25.0 \text{ kg/cm}^2$

Calentados $\bar{f}_m = 18.7 \text{ kg/cm}^2$

En la prueba del goteo los tabiques bien cocidos y medio cocidos, resistieron durante más de 5 horas sin presentar ninguna erosión; en los muy calentados, de 6 especímenes, uno tuvo una perforación de 8 mm aprox, los demás no presentaron erosión.

La prueba de sumergir fracciones de tabiques arrojaron los siguientes resultados; los bien cocidos y medio cocidos tuvieron un excelente comportamiento, pues no se desbarataron ni se reblandecieron, durante 7 días, conservando sus aristas vivas. Los muy calentados tuvieron un buen comportamiento pues de 6 especímenes sólo uno mostró reblandecimiento, desbaratándose fácilmente a una presión manual.

Los cilindros colocados dentro de los hornos, aumentaron sus resistencias a la compresión, pero sus resultados fueron muy variables, observándose que el aumento dependía del grado de cocimiento que tuvo el cilindro. Cuanto mayor fue éste, mayor fue su resistencia.

Los cilindros sometidos a distintas temperaturas dentro de las muflas eléctricas, ensayadas a la contracción volumétrica, compresión en estado seco y saturado, presentaron los siguientes resultados:

I. Contracción volumétrica. En las figs 13 y 14 se observa que la contracción inicial debida al secado de las probetas fue bastante fuerte; a partir de esta contracción inicial, las probetas sometidas a distintas temperaturas, tuvieron un "incremento" en sus contracciones y este fue mayor, cuanto mayor fue la temperatura a la que se sometió la probeta. Algunas probetas sometidas a 800 y 1000°C presentaron una contracción hasta en un 40% mayor que la inicial. En varias probetas se presentaron problemas de agrietamientos debido a la dilatación que sufren al ser sometidas a altas temperaturas. (1000 - 1200°C). Unas probetas llegaron a su punto de fusión.

II. Resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos en esta prueba fueron muy variables. Pero en las figs 15 y 16 se observa que su resistencia mejoró, conforme

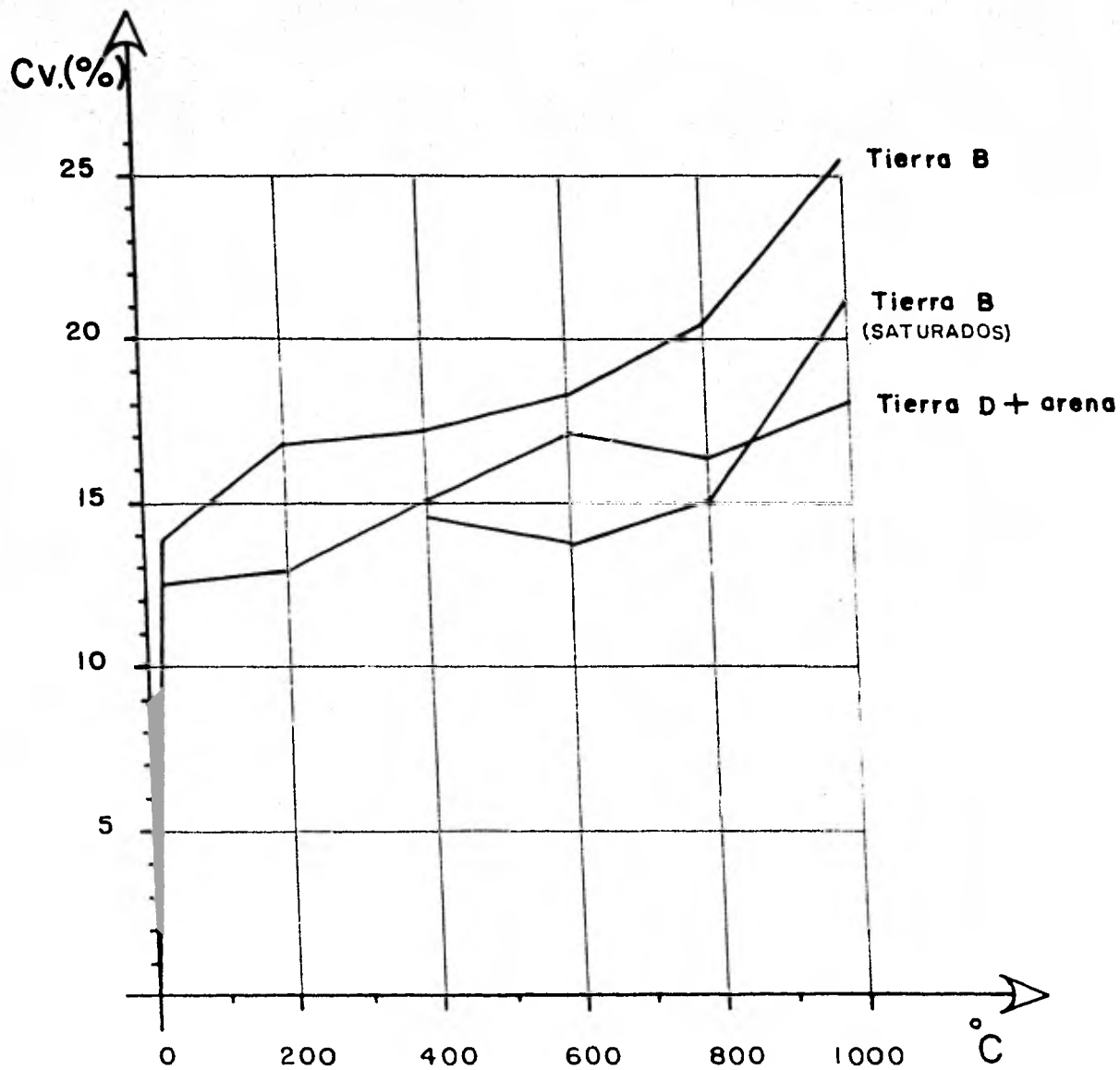


Fig. 13 Contracción volumétrica (%) — Temperatura.

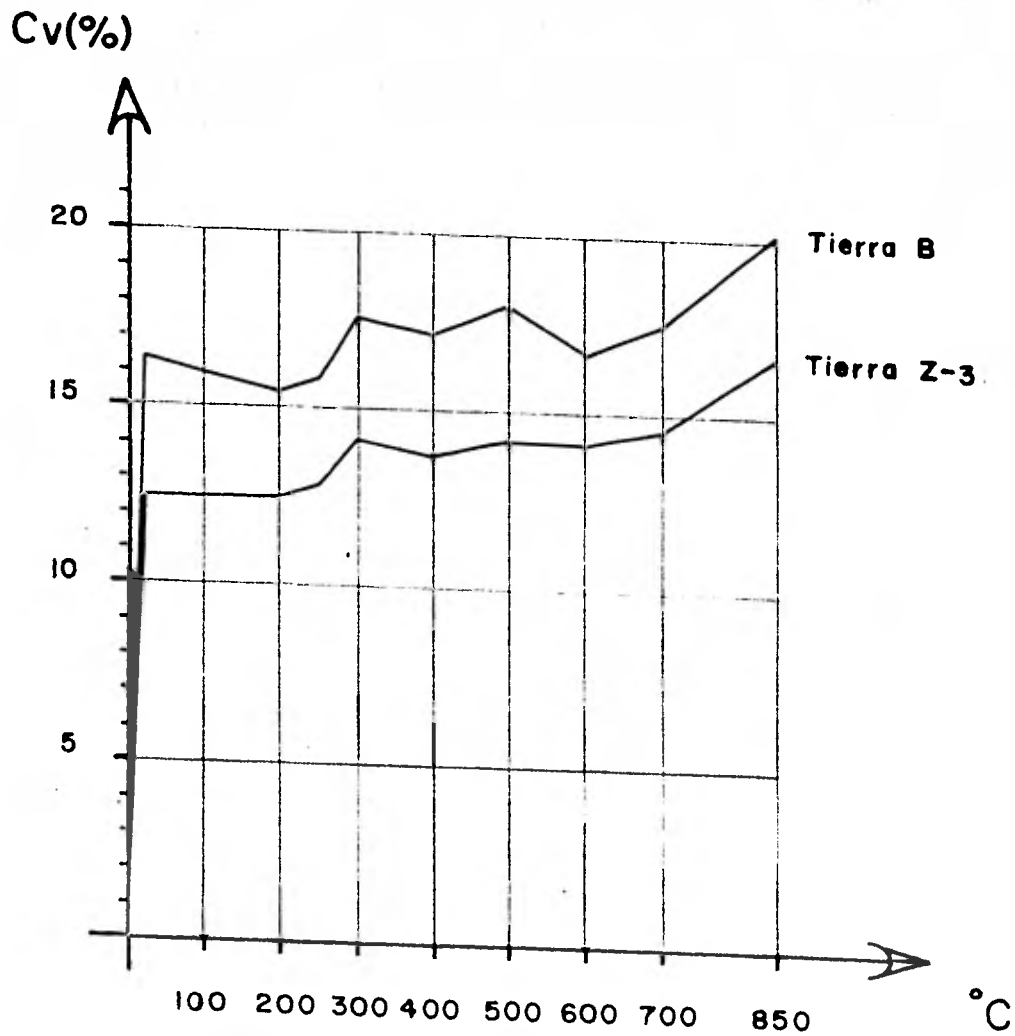


Fig. 1 Contracción volumétrica - Temperatura.

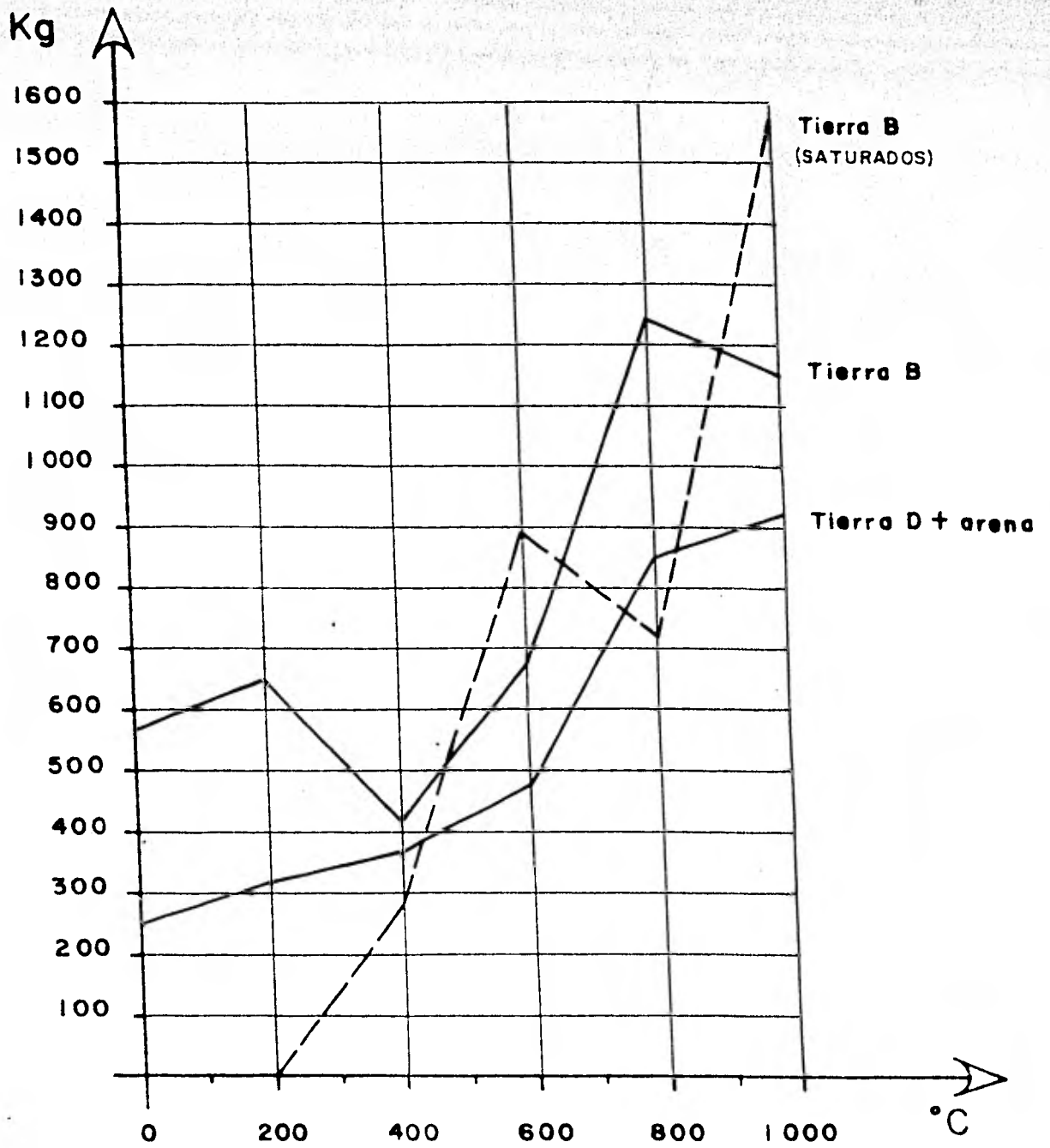


Fig. 15 Resistencia a la compresión — Temperatura.

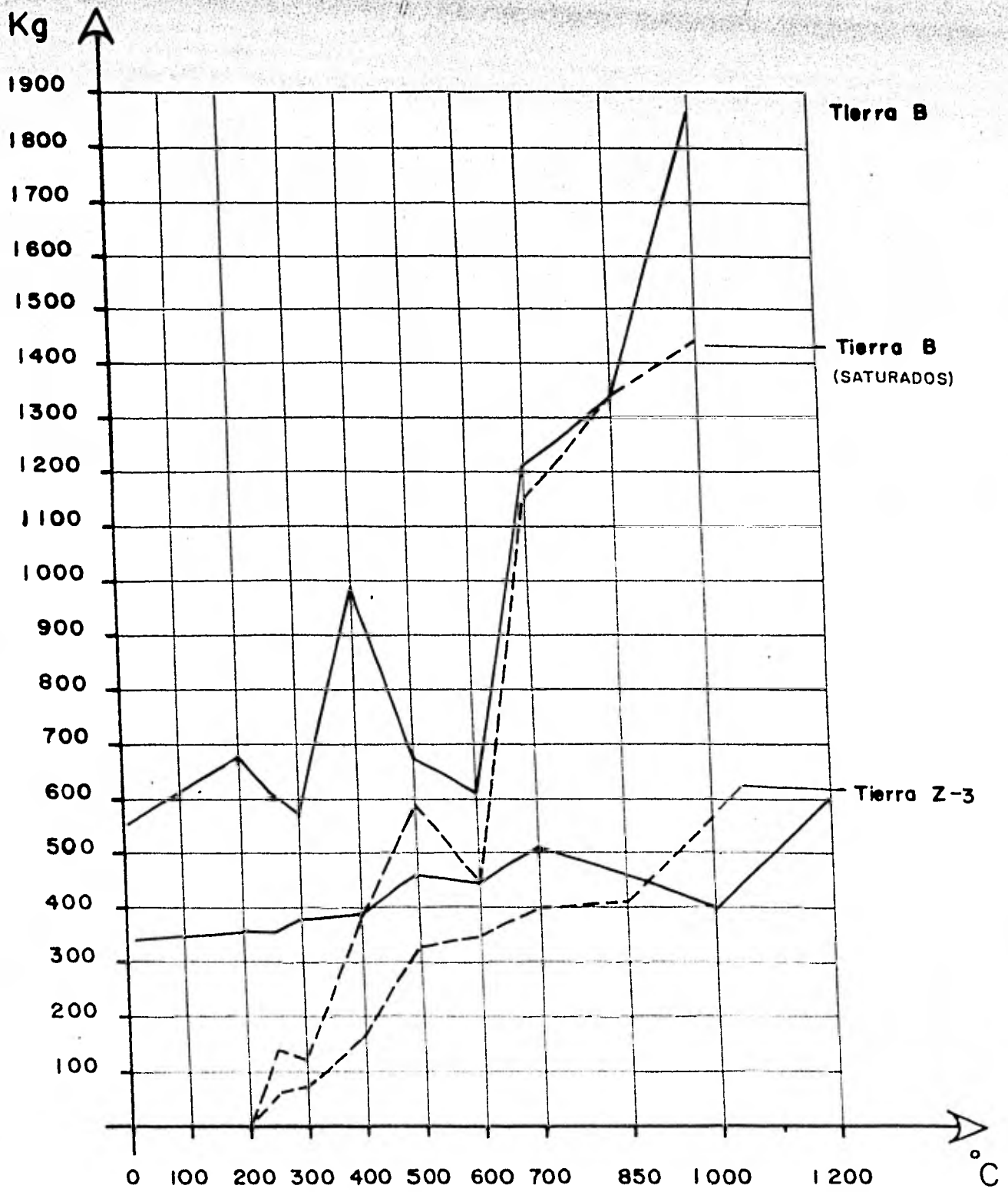


Fig. 16 Resistencia a la compresión - Temperatura.

se incrementó la temperatura a las que se sometieron las probetas esta mejora en su resistencia fue más sensible a partir de los 500°C aproximadamente.

III. Resistencia a la compresión en estado saturado. Las figs 15, 16 muestran los resultados obtenidos, y se observa lo siguiente: las probetas sometidas a una temperatura inferior o igual a los 200°C no presentaron resistencia alguna desbaratándose durante la inmersión; a partir de esta temperatura, conforme aumentaba, mejoró la resistencia, observándose que a partir de los 500°C aproximadamente las resistencias fueron un poco menores o semejantes a las obtenidas en estado seco.

7.2 Observaciones

Las probetas sometidas a las temperaturas entre 600 y 800°C elaboradas con el mismo material del tabique horneado, presentaron un color de cochura semejante al tabique bien cocido; de esto se puede deducir que el tabique obtenido, adquirió propiedades similares a las probetas ensayadas que resultaron bastante buenas.

Con diferentes tierras se elaboraron algunas probetas, se cocieron durante 1.5 horas, y se ensayaron a la compresión, visualizándose que unas tierras presentaron un color de cochura bastante uniforme, mientras que otras presentaron en su superficie expuesta un color de arcilla cocida, cambiando

paulatinamente a un color barro seco hacia el centro de la probeta; de esto se deduce que la conducción térmica de las arcillas es diferente para cada una. Observándose una mejor conducción en las tierras limosas (lo anterior no significa que de las tierras limosas se obtenga un mejor tabique, aunque sí un ahorro en combustible ya que requerirá un menor tiempo de cocimiento).

Los tabiques presentan grandes ventajas sobre el adobe como son: mejor apariencia; mayor facilidad en el moldeo, manipulación y colocación del mampuesto; una mayor resistencia a la compresión; resistencia al deterioro a contacto con el agua (material hidráulico). Una desventaja es la factibilidad del cocimiento del adobe, dependiendo de la zona en que se requiera elaborar esta será mayor o menor. Otra desventaja es la mano de obra adicional que requiere para el cocimiento de adobe, aunque esto se ve compensado en la elaboración del tabique que requiere menor cantidad de material debido a su tamaño (7 x 14 x 28 cm) y su mayor facilidad en la construcción de muros.

8. CONCLUSIONES

8.1 Las tierras con que se elaboran los adobes tienen propiedades muy variables y el empleo de diferentes procedimientos en su elaboración pueden también hacerlas variar. Su calidad no acepta reglas generales. Solo cabe probarlas en cada caso con pruebas adecuadas.

8.2 Las pruebas propuestas ya descritas (resistencia a la compresión en estado seco y saturado, contracción, goteo, etc) proporcionan una clara orientación razonable para poder valuar y discernir en una forma comparativa y en un plazo corto, de pocos días, la factibilidad de poder fabricar adobes, así como también permiten discernir las ventajas que pueden tener unas tierras sobre otras, ya sea solas o empleando algún estabilizante. No se pueden dar límites aceptables para los resultados de estas pruebas ya que se tendrían que

estudiar y comparar con resultados reales en construcciones en diferentes condiciones climatológicas y tipos de construcción.

Ventajas y desventajas que presentaron el uso de los estabilizantes en la elaboración de los ensayos realizados.

8.3 El empleo de cal mezclada manualmente sin el empleo de alguna otra precaución redujo notablemente la resistencia a compresión, aunque proporciona cierta resistencia al agua y reduce la contracción del barro. Considerando estas circunstancias, acompañadas del costo del producto y la dificultad de su mezclado con la tierra en forma poco controlada se puede decir que su empleo es poco conveniente, aunque ya se mencionó que también se pueden producir efectos muy favorables en algunas tierras sobre todo a largo plazo (semanas o meses).

8.4 El cemento añadido en porcentajes pequeños (2, al 5%) presentó efectos similares a los de la cal. Para obtener resistencias a compresión parecidas a las del barro sin estabilizar, se necesitó usar en proporción muy alta ($\leq 10\%$ aprox) lo cual resulta muy costoso en las construcciones de este tipo. El barro así estabilizado tuvo una resistencia bastante alta al deterioro al contacto con el agua, en los casos en que se usó una proporción baja fue semejante a la producida por la cal. Sus efectos en las propiedades del barro fue mejor que el producido por la cal sobre todo en

las pruebas sometidas a un curado. Los efectos que puede tener a largo plazo no se estudiaron por lo que es posible que se puedan presentar efectos perjudiciales impredecibles, al estar sometidos el material a las inclemencias del medio ambiente. Subsistió el igual que en los otros aditivos, el problema de hacer una mezcla homogénea. Además se tiene el problema que una vez añadido el estabilizante deberá de mezclarse y moldear los adobes en un lapso de tiempo muy corto (dos horas aprox) pues sino se procede de esta manera las propiedades del adobe se verán seriamente reducidas.

8.5 El asfalto usado en forma de emulsión generalmente, mejoró ligeramente las propiedades del adobe sobre todo en los especímenes realizados a largo plazo; aumentó ligeramente la resistencia a la compresión en estado seco, y en la prueba saturada generalmente le confirió una resistencia (aunque muy pequeña); en la prueba de goteo le proporcionó una cierta resistencia (resistencia a la lluvia). Esta última puede ser de una gran utilidad para los adobes o muros una vez elaborados pues estos presentaron una mayor resistencia al deterioro.

Además el asfalto incrementa la impermeabilización del barro que actúa como una protección contra la deformación volumétrica debida a los cambios por humedad, ya que una mayor impermeabilización al barro provoca que las deformaciones sean más lentas lo cual reduce el riesgo de que los adobes

o muros construidos se agrieten debido a estos efectos.

Las emulsiones asfálticas presentan los siguientes inconvenientes; no son fáciles de obtenerse en cualquier lugar sobre todo en zonas rurales aisladas (y menos en pequeñas cantidades); además su mezclado con el lodo tampoco no es fácil de homogenizar mediante métodos tradicionales.

De acuerdo a lo anterior se puede decir que la estabilización mediante la emulsión asfáltica resulta más conveniente en comparación con la cal y el cemento, sobre todo en climas secos de precipitación moderada.

8.6 La estabilización del adobe mediante la aplicación de energía calorífica o sea la fabricación de tabiques cociendo el mismo barro con que se elaboran los adobes, de acuerdo a los resultados de las pruebas efectuadas, parece ser una solución bastante razonable para conseguir un material de mejor calidad para construir muros. El barro al cocerse aumenta notablemente su resistencia a la compresión en estado seco y saturado, además se puede considerar prácticamente nulo el deterioro al contacto con el agua, así como también las variaciones volumétricas debido a los cambios por humedad. Y aun los tabiques, no bien cocidos tuvieron una buena resistencia a la compresión y a la prueba del goteo.

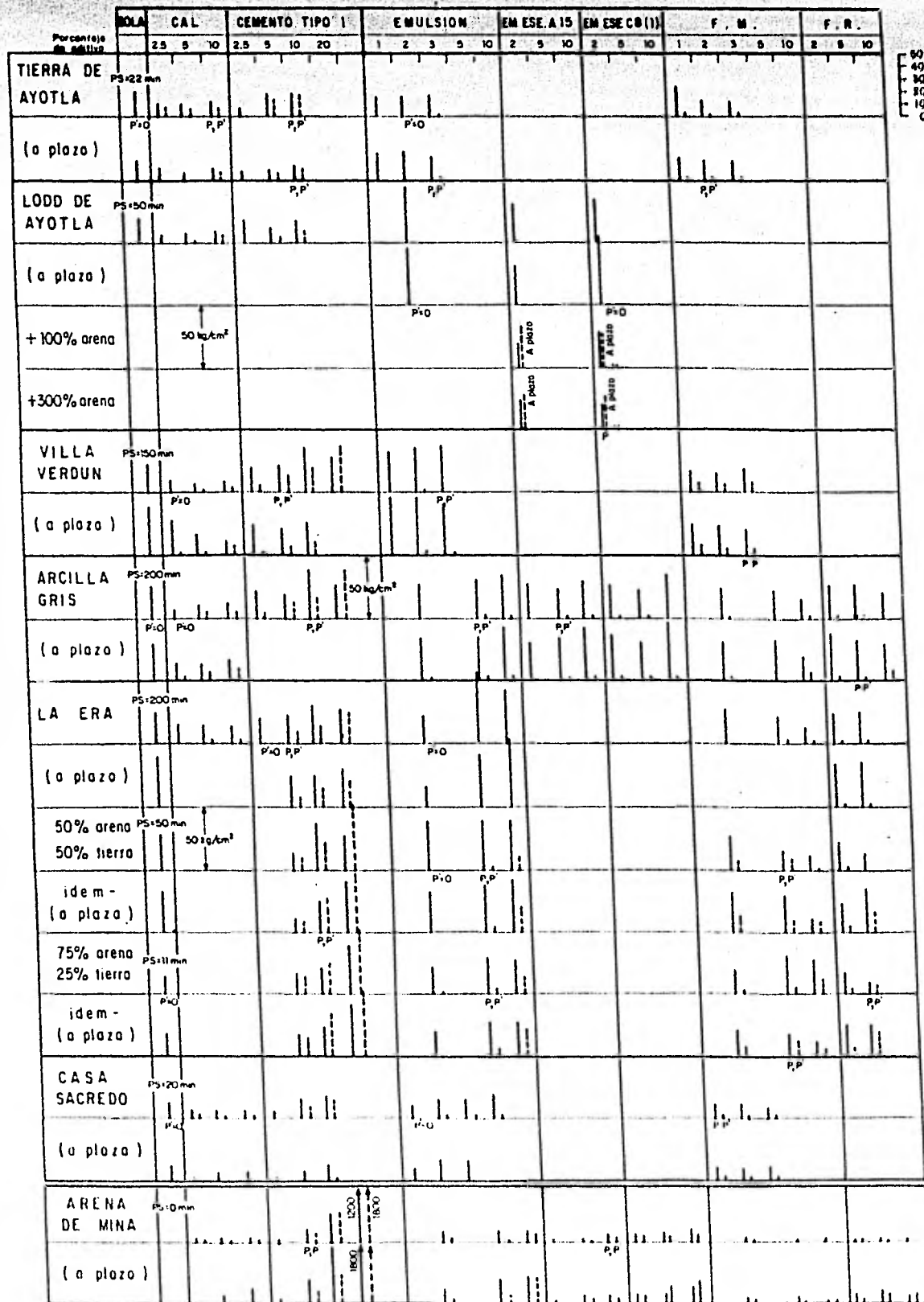
El cocimiento del adobe presenta problemas específicos como: requerir la elaboración de un horno pequeño (cap. aprox.

1 500 piezas); utilizar una gran cantidad de leña o el manejo (un tanto complicado) de un quemador con el combustible necesario.

8.7 En síntesis, no se puede precisar como usar el barro en la forma más indicada (solo o estabilizado) para la fabricación del mampuesto en una zona dada. Esto dependerá en mucho de las características del material a usar y de las condiciones climatológicas que prevalezcan en la zona. Las pruebas establecidas en este estudio solo pretenden dar una guía en una forma comparativa, para usar una tierra en una u otra forma ya sea sola o estabilizada lo más conveniente y obtener muy probablemente un mampuesto de una mejor calidad.

APENDICE

Se presentan resultados de pruebas similares de anteriores investigaciones tomadas de la ref 5.



50
40
30
20
10
0

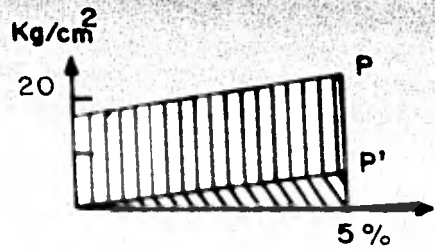
! P' resistencia en seco
! P' resistencia saturada

EMULSION
EM ESE A15
EM ESE CB(1) } Emulsiones de diferentes tipos

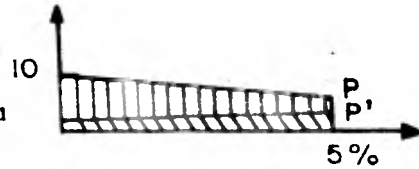
F M Asfalto rebajado de fraguado medio
F R Asfalto rebajado de fraguado rapido
(a plazo) Pruebas efectuadas 1 mes despues de fabricados los cilindros

Fig 17 Resistencias de barro con y sin aditivos

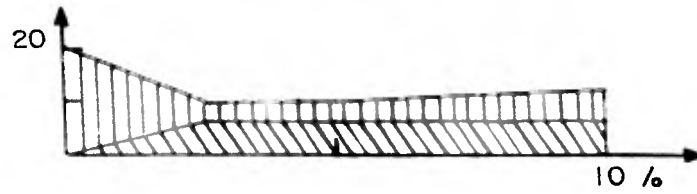
Saltillo
El Mezquite



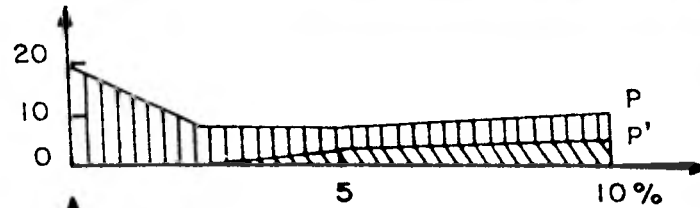
San Luis P.
Poza de St. Ana



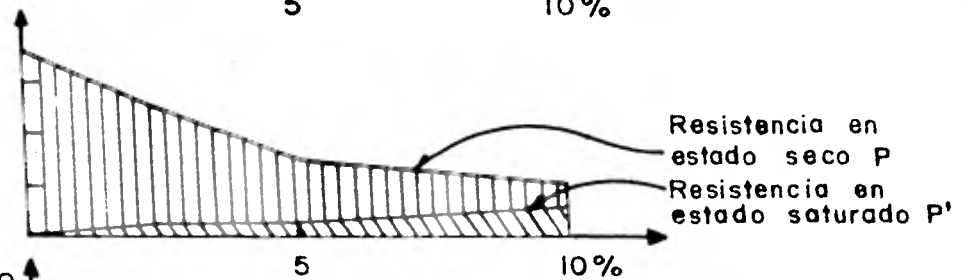
Tierra Ayotla



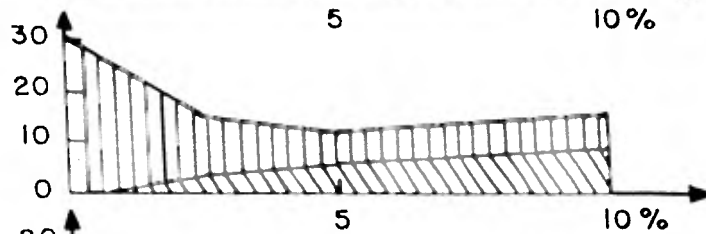
Lodo Ayotla



Villa Verdún



Arcilla gris



Sagredo



Arena azul

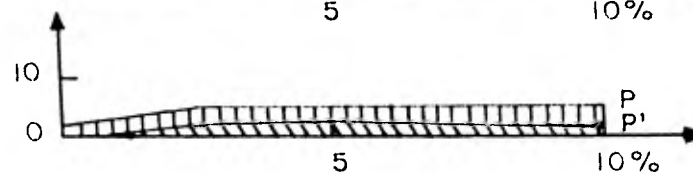


Fig. 18 Resistencia de barros con cal hidráulica.

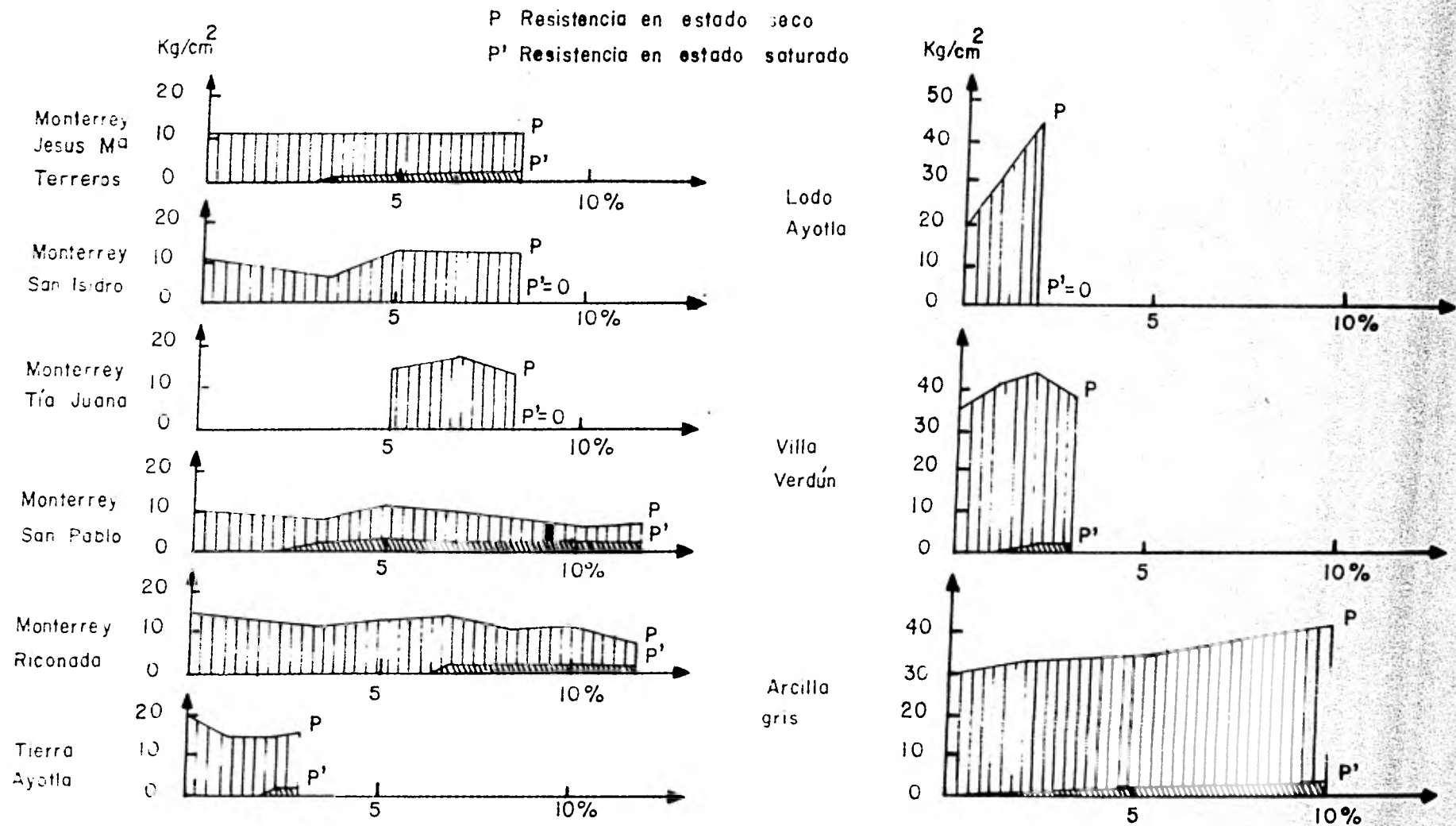


Fig. 19a Resistencia de barras con emulsión asfáltica.

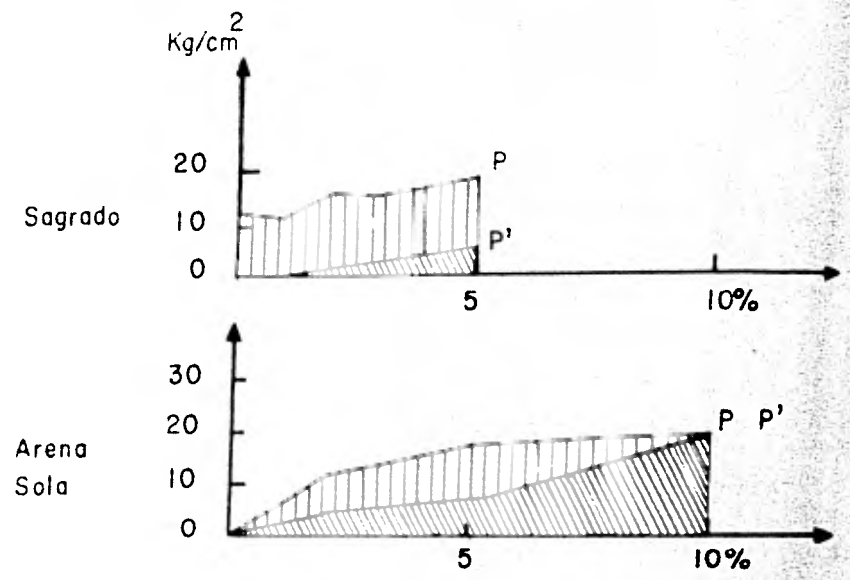
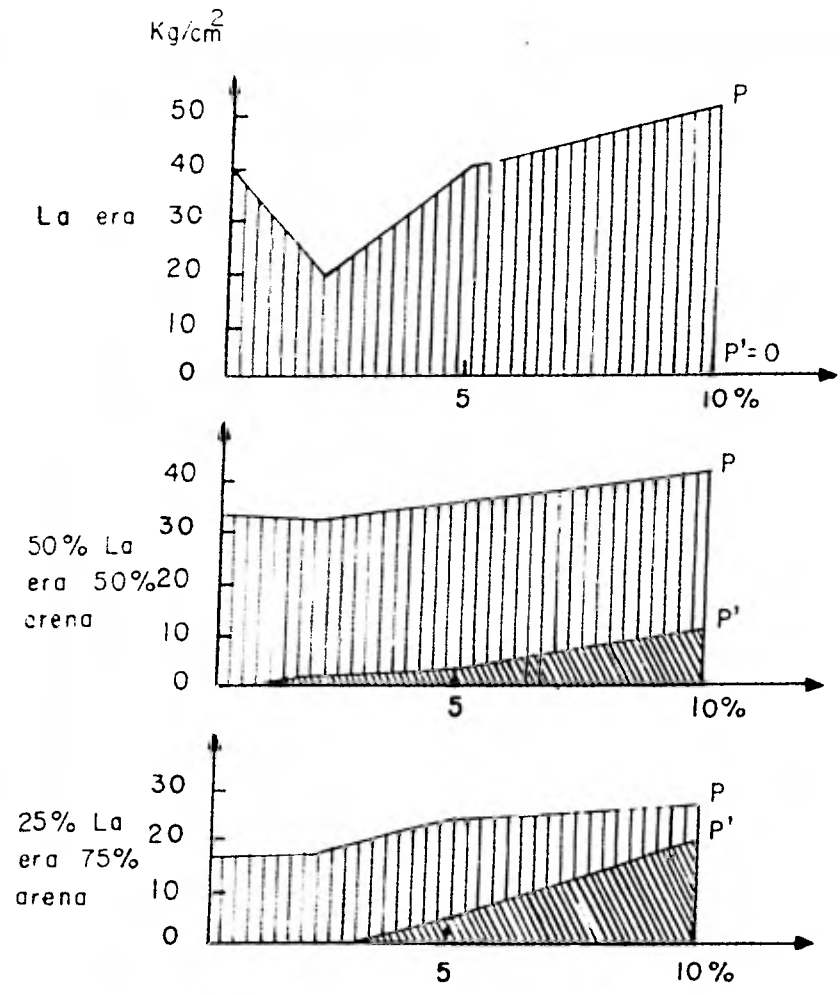


Fig. 19b Resistencias de barros con emulsión asfáltica.

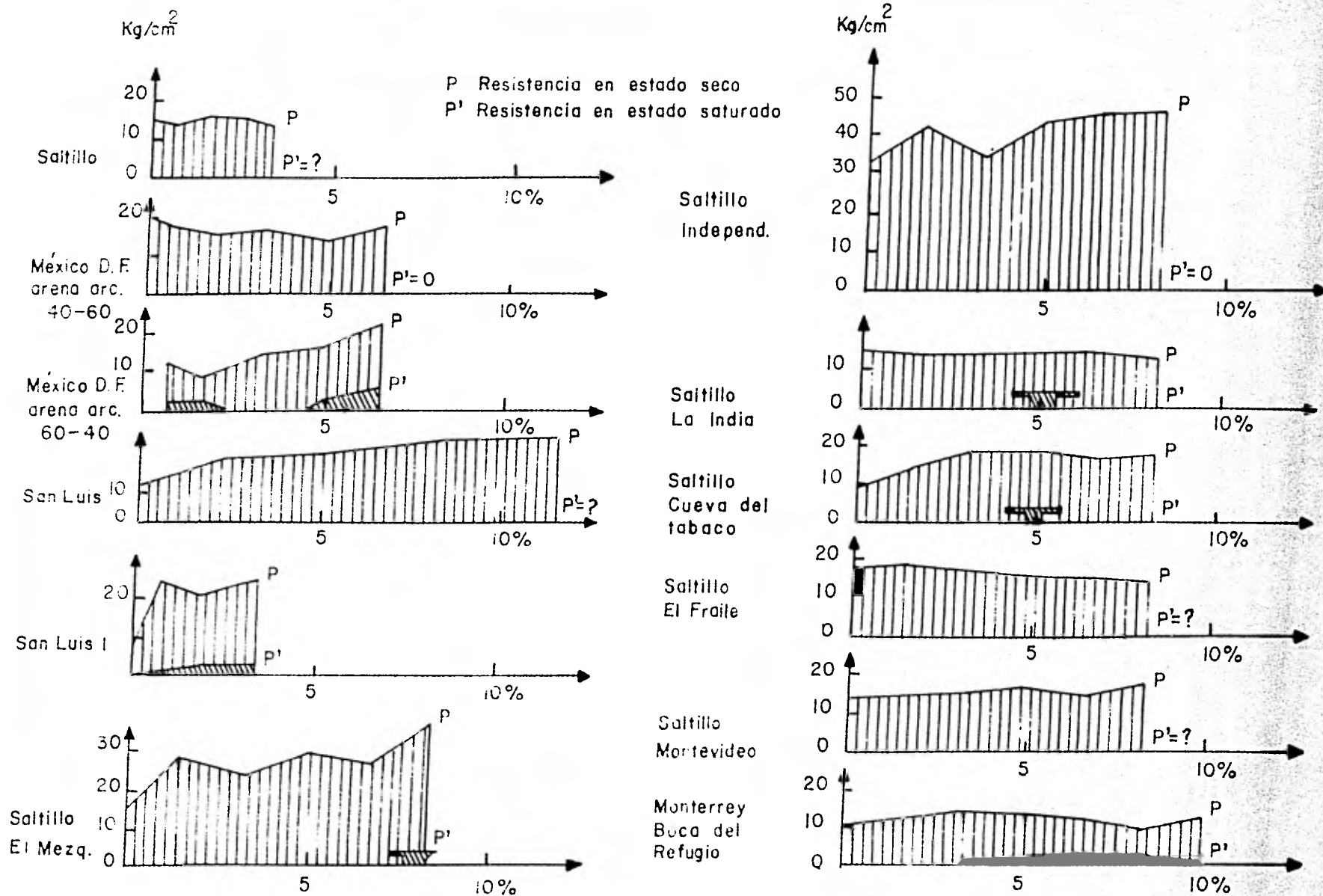
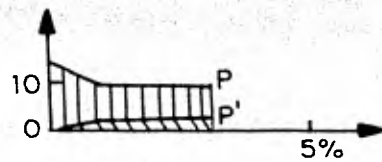
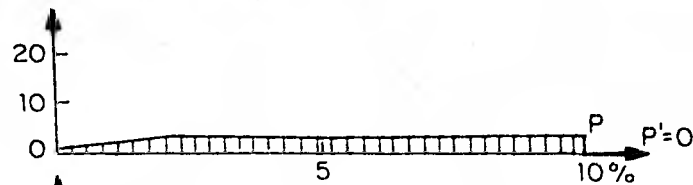


Fig. 19 c Resistencias de barras con emulsión asfáltica.

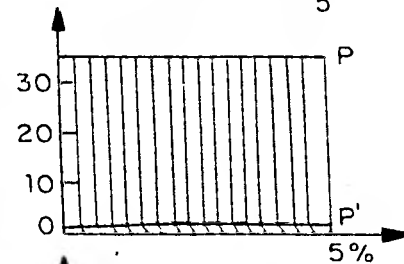
Sagredo
+ FM



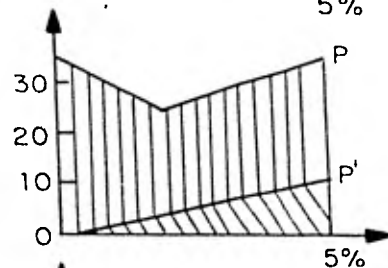
Arena azul
+ FM



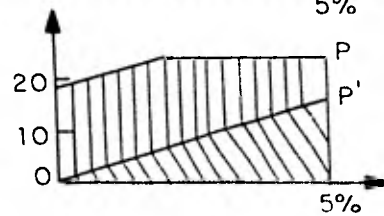
La era
+ FR



50% arena
50% La era
+ FR



75% arena
25% La era
+ FR



Arena azul
+ FR

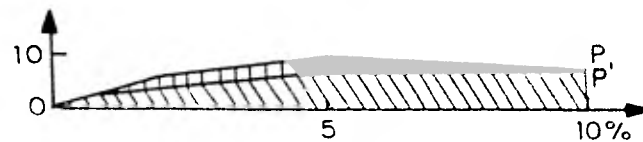
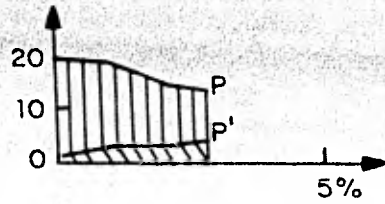
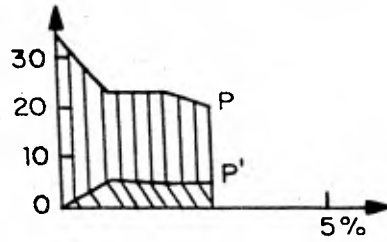


Fig 19 e Resistencias de barros con asfaltos rebajados

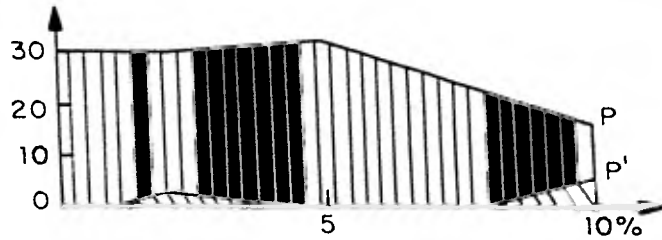
T Ayotla
+ FM



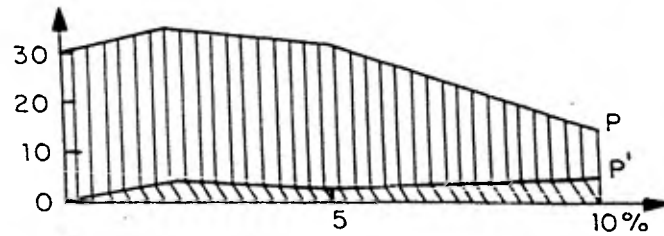
Villa Verdún
+ FM



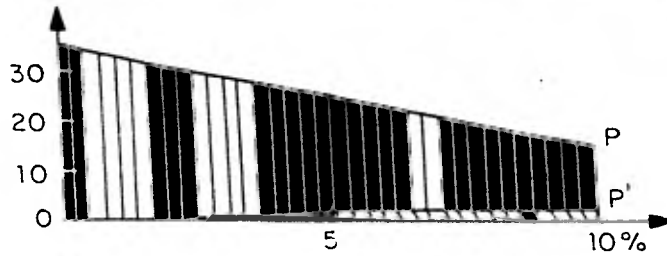
Arcilla gris
+ FM



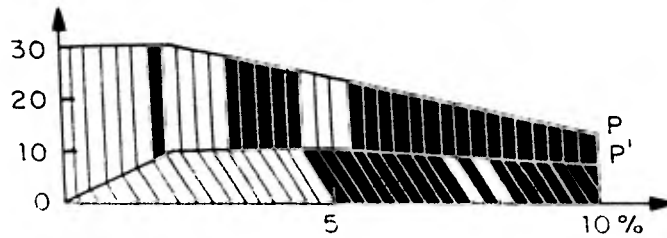
Arcilla gris
+ FR



La Era
+ FM



50% arena
50% La Era
+ FM



75% arena
25% La Era
+ FM

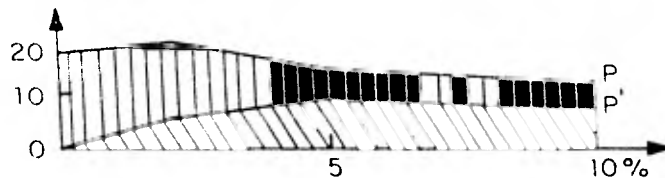


Fig 19d Resistencias de barras con asfaltos rebajados

REFERENCIAS

1. E. Juárez Badillo y A. Rice Rodríguez, *Mecánica de Suelos*, tomo I
2. Francisco Queipo de Alcalá, *Revista IMCYC*, Vol 8, N° 47, noviembre-diciembre 1970
3. "Adobe Estabilizado", Oficina de Investigación y Normalización, Ministerio de Vivienda y Construcción del Perú 1977
4. J.R. Clinton "Preservation of Historic Adobe Structures a Status Report" NBS Technical Note 934, National Bureau of Standards, 1977
5. Miguel Madinaveitia J. "Estabilización de suelos para componentes constructivos", Instituto de Ingeniería, UNAM 1980
6. "Manual de Construção com Solo-cimento" Centro de Pesquisas de e Desenvolvimento, Thaba Tecnológicas do Habitat.