



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

CAMPUS ARAGÓN

**“EL ADOBE COMO MATERIAL DE  
CONSTRUCCIÓN”**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A :  
**RICARDO HERAS CRUZ**

ENEP



ARAGON

ASESOR: M. en I. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1996



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

DIRECCION

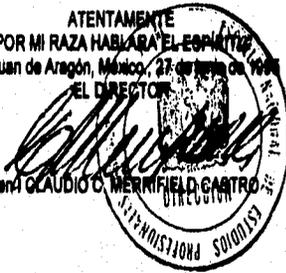
RICARDO HERAS CRUZ  
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 14 de junio del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, M en I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO pueda dirigir el trabajo de Tesis denominado "EL ADOBE COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPANOL"  
San Juan de Aragón, México, 27 de junio de 1968  
EL DIRECTOR

M en I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



cc p Jefe de la Unidad Académica.  
cc p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.  
cc p Asesor de Tesis.

CCMCAIR/ia.

## **AGRADECIMIENTOS:**

### **A mis padres:**

Hugo Heras Cruz.  
Dálila Cruz Osorio. (D.E.P.)

Con amor, cariño, respeto y agradecimiento por el apoyo que siempre me han brindado en los momentos difíciles de mi vida.

### **A dios:**

Por haberme dado lo más valioso: la vida, y a quien debo haber llegado al principio de mi meta.

### **A mis hermanos (as) y sobrinos:**

Silvia, Olivia, Guadalupe, Edith, Elvia, Elva y Omar

Por el interés mostrado durante la elaboración de este trabajo, esperando que les sirva como estímulo para su superación.

### **A mi abuela, tíos, primos y cuñado:**

Por sus consejos para seguir adelante en la vida

**A compañeros y amigos:** Por brindarme su amistad incondicional.

### **A mis profesores:**

Por haberme transmitido sus conocimientos y experiencias profesionales.

### **A la UNAM:**

Por todo el respaldo, instalaciones y servicios que me han proporcionado y en especial a la ENEP Aragón.

### **Al M. en I. Claudio C. Merrifield Castro:**

Por su disponibilidad para dirigirme este trabajo y sus valiosas aportaciones, que llevaron a buen término este.

**Ricardo Heras Cruz.**

## CONTENIDO.

Introducción.....	2
I. Antecedentes históricos.....	6
II. El adobe y sus variantes .....	11
Adobe .....	11
Machimbloque de tierra comprimida estabilizada .....	14
Tapial .....	18
Adobe de Szaskab .....	19
Bloques comprimidos .....	23
Muros de tierra compactada utilizando cimbra deslizante .....	25
Suelo - cemento .....	28
III. Estructura del adobe .....	57
Criterios de selección de tierra .....	58
Pruebas rápidas y ensayos sensoriales .....	61
Análisis granulométrico .....	63
Límites de consistencia .....	71
Prueba de contracción lineal .....	80
Contenido de agua .....	81
Compactación, prueba Proctor .....	81
IV. Resistencia estructural .....	92
Ensayos sobre adobe o unidad .....	92
Ensayos sobre pequeños elementos de muros de adobe .....	101
Ensayos con elementos a escala natural .....	105
V. Efecto sísmico .....	111
Comportamiento sísmico y modos de falla .....	115
Procedimiento de reparación y refuerzo .....	117
Prueba sísmica .....	121
Resultados de la prueba .....	124
Pruebas dinámicas en mesa vibratoria .....	137

<b>VI. El adobe comparado con otros materiales de construcción (resistencia y costos) .....</b>	<b>145</b>
<b>Características térmicas en relación con la humedad .....</b>	<b>150</b>
<b>Adobe comprimido (características técnicas) .....</b>	<b>158</b>
<b>Panel covintec .....</b>	<b>159</b>
<b>Panel JL .....</b>	<b>162</b>
<b>Costo por m<sup>2</sup> de los materiales de construcción .....</b>	<b>165</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>167</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>169.</b>

# INTRODUCCION.

## INTRODUCCIÓN.

El uso de los materiales de construcción obedece a distintos factores como son la disponibilidad, tipo de materia prima y las condiciones ambientales, económicas, tecnológicas y culturales en el sitio de construcción.

Tradicionalmente en las áreas rurales se han utilizado materiales regionales, que a la vez que conservan los métodos de construcción y elementos arquitectónicos de un sitio, han sabido lograr una adaptación consciente a las condiciones ambientales. Sin embargo, los cambios e innovaciones tecnológicas que se originan en las ciudades han tenido un efecto significativo en los hábitos y actitudes del habitante del medio rural.

Los materiales industrializados y semi-industrializados han invadido no solo los mercados urbanos, por lo que su uso se ha extendido a todos los ámbitos, en muchos casos imponiendo nuevos patrones de comportamiento en la construcción. El uso de estos materiales trae consigo efectos diversos en los pobladores del medio rural y su vivienda. Al fabricarse en centros urbanos y localidades más importantes, es necesario transportarlos hasta los sitios más apartados, lo que incrementa los costos de adquisición de los materiales industrializados y semi-industrializados. Paralelamente estos materiales no son concebidos específicamente para las condiciones ambientales de un sitio dado, lo que disminuye considerablemente el confort climático de las viviendas construidas a partir de materiales como el block de concreto, cemento, láminas de zinc, asbesto, etc.

Gracias a un conocimiento empírico, y por lo tanto difícil de transmitir, la tierra se ha utilizado para la construcción desde hace milenios en todas partes del mundo, por todas las personas y razas. Cerca de un tercio de la población mundial vive en vivienda de tierra sin cocer (adobe).

Este material noble es el único material que parte del lugar donde es utilizado y con el transcurso de los años vuelve a él, causando un mínimo de impacto ecológico. En los países en vías de desarrollo el 80% de la población rural utiliza la tierra y el 20% de los habitantes de las áreas urbanas también lo utiliza.

En la actualidad, las técnicas de construcción con tierra ofrecen una alternativa interesante frente a materiales costosos como el concreto y el acero.

Por supuesto esto es posible siempre y cuando dichas técnicas tengan bases científicas lo suficientemente sólidas como para garantizar la homogeneidad y fiabilidad de los adobes y productos hechos a base de tierra, y se utilicen métodos técnicos de realización adaptados a las condiciones económicas y sociales de cada lugar.

Pero ¿que es la tierra? Ante todo es un material natural, maleable extraído del sitio mismo de construcción o de sus alrededores. Es además una mezcla en proporciones muy variables de diferentes elementos (grava, arena, arcilla, limo) a las cuales eventualmente se le agregan sales, óxidos y materia orgánica. La tierra utilizada para la construcción, es por lo tanto, un material extremadamente heterogéneo cuyas características varían de una región a otra.

En el capítulo primero de este trabajo se dan algunos antecedentes de este material (adobe), utilizado en la antigüedad como material de construcción, como es el caso de Mesopotamia, que fue una de las culturas más antiguas, y Jericó que parece ser considerada como la ciudad más antigua superviviente. También se dan antecedentes en América y en México.

En la segunda parte, se mencionan los diferentes variantes del adobe, tales como: El machimbloque de tierra comprimida, el tapial, adobe de szaskab, bloques comprimidos, adobe a base de suelo - cemento, así como el adobe tradicional y recomendaciones para la elaboración de estos.

En la tercera parte, se dan criterios para seleccionar la tierra, así como la forma de realizar pruebas rápidas y sencillas que pueden llevarse a cabo en campo por personas aún no especializadas.

También se mencionan algunas pruebas de laboratorio y su procedimiento para realizarlas. Así mismo se dan los resultados obtenidos con diferentes muestras extraídas de diferentes bancos.

El capítulo IV se da la información sobre las resistencias, (compresión, tensión, a la erosión) tanto en unidades o piezas solas, como en muretes y muros, dando diferentes resultados.

En la quinta parte se dan algunos procedimientos para reforzar casas de adobe en zonas rurales. Esto de acuerdo a resultados obtenidos con ensayos de laboratorio, con mesa vibratoria realizados en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y con pruebas sísmicas realizadas con un excitador mecánico en Chiapa de Corzo, Chis.

Para finalizar con este trabajo en el capítulo VI se dan diferentes características de varios materiales de construcción, incluido claro está el adobe, haciendo una comparación también en cuanto a costos y por último se dan las conclusiones.

# **CAPITULO 1.**

## **ANTECEDENTES HISTORICOS.**

## ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

La tierra fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre en la construcción o habitación de su vivienda, al encontrarla de fácil manejo y disponible en todos los lugares en que éste se establecía. El empleo de la tierra en la construcción dio inicio en aquellos lugares donde la misma abundaba, y a la escasez de otro material para construcción, como la roca, era notable. Comenzó adoptando diversas formas y su empleo se hizo en forma constructiva de expresión propia o imitando los materiales de piedra.

En la antigua Mesopotamia, una de las culturas más antiguas, el tabique cocido al sol (adobe) fue el material más usado en aquel tiempo. Ejemplos de ello tenemos en la ciudad de Ur, una de las principales ciudades de la cultura Sumeria de la antigua Mesopotamia, de la cual proviene Abraham. En ese lugar se encuentra una estructura llamada el "Ur of the Chaldees", conocida por los arqueólogos y mencionada en los textos bíblicos como la "Torre de Babel", la cual esta hecha de adobe.

Las civilizaciones subsecuentes en China, la India, Mongolia, Moroco, Italia, España, Francia, Alemania, Grecia, la desaparecida Unión Soviética, Escandinavia e Inglaterra, han empleado este material en gran escala y han dejado vestigios de su uso en las páginas de la historia del hombre.

Para hacer mención de fechas bastará con decir que de la antigua Mesopotamia se tienen investigaciones que han aportado pruebas de la presencia de un pueblo en Sumeria, *el eremita*, en la etapa neolítica y en los periodos siguientes, cerca del Tigris, unos 4 000 a 5 000 años a.c., y como antes se mencionó, fue en la antigua Mesopotamia donde se empleó este material. Recordando que, en el periodo neolítico (de 8 000 a 6 000 en adelante) cuando se descubre la agricultura y la ganadería, y que el hombre pasa de ser un hombre nómada a un hombre sedentario. Al establecerse en un lugar el hombre busca la protección y opta diversas formas. El tipo de casa que desarrollaron fue lacustre o terrestre.

Las casas terrestres consistían en pozos redondos cavados en el suelo, encalados y cubiertos con ramas, cuadrados o rectangulares, los materiales más usados fueron el adobe, la piedra y la madera.

Según investigaciones, se debe de asignar el origen de la configuración urbana al Asia Occidental, y Jericó (Israel). Parece poder ser considerada como la

ciudad más antigua superviviente. El primer asentamiento permanente tenía sólidas casas abovedadas de adobe, con un porche de entrada y paredes curvas. El asentamiento fue fortificado por una gran muralla de piedra de mampostería ciclópea; la plaza fuerte era vigilada desde una torre circular maciza, también de piedra con una serie de recintos de adobe.

Los recién llegados, es decir, los que se integraban a dicha ciudad, se vieron forzados a usar como principal material de construcción la tierra. Había escasa disponibilidad de piedra y la poca que podía encontrarse se usaba para las defensas (como la torre y la muralla antes mencionada), para la cimentación de las casas y para otros fines extraordinarios.

En América, la presencia de construcciones con tierra nos hacen regresar a la antigüedad, y de ello tenemos ejemplos como "el Chan - Chan" en Perú que fue la ciudad más grande de América, construida por ocho ciudadelas y varias pirámides ceremoniales, templos, edificios públicos y viviendas, circundando a cada conjunto una muralla de adobes que llega a medir hasta 9 metros de altura y 2,50 metros en su base; Casa Grande en Arizona, son construcciones antiguas y sus estructuras están elaboradas de tierra y han estado increíblemente desde hace mucho tiempo, antes de que el hombre blanco llegara.

En el Perú grupos de gentes que se dedicaban a la caza y recolección con un nivel lítico de cazadores del pleistoceno, habitaban las zonas altas de los andes en un periodo cuya antigüedad se estima en 12 000 años. En ese periodo las edificaciones se hacen inicialmente excavando la tierra dura y se utilizan piedras y cañas, desarrollando luego la técnica de construir con tapia (tierra apisonada) y con adobes de diversos tipos. En otros sectores de la costa norte del Perú las viviendas se construían en plataformas a manera de terrazas que se formaban usando bloques de piedra para los muros de contención, sobre las que se ubicaban recintos semi-enterrados que se completaban con un material que tendría gran aceptación en la costa peruana, la "quincha" o estructura de caña revestida con barro.

Durante el periodo denominado formativo inferior, entre los 2 000 a 1 250 años a.c., se construyeron complejas edificaciones utilizando adobes en forma cónica, cilíndrica, en forma de conos truncados y de paralelepípedos de diferentes tamaños. Paralelamente utiliza la tierra apisonada en moldes de madera con la técnica conocida como "tapia": La producción arquitectónica y la diversidad de concepciones en ese periodo nos hace ver que existían ya formas de organización social definidas, con jerarquía y capacidad de planificar y ejecutar, en las que el poder se sustentaba en el culto religioso.

El uso del adobe o tierra apisonada en las "plataformas" y los "montículos" vinculados a los "andenes" y a los "patios rectangulares hundidos", aparece como una alternativa tecnológica que responde adecuadamente a las condiciones que la geografía y el clima imponen a los hombres. Alrededor del primer milenio antes de Cristo surgen culturas más evolucionadas como Chavín y quinientos años después se desarrollan culturas en la cordillera de los Andes, tales como Tiawanaku y Pucara. Sin embargo quienes conocieron mejor la técnica de construir con adobes, fueron los Mochicas cuya cultura floreció entre los 100 años a.c. y 700 después. Ellos continuaron la tradición de construir pirámides hechas de plataformas superpuestas alcanzando hasta 50 metros de altura sobre el nivel del suelo, empleando millones de adobes.

Los Incas adoptaron los conocimientos y la tecnología de estos pueblos y el adobe continuó siendo un material de construcción de primera importancia. Uno de los ejemplos más importantes de esa arquitectura es el templo de Wiracocha en Racche cerca de Cusco, donde quedan los restos de un edificio cuyo espacio interior tenía un gran muro central de 12 metros de altura, de los cuales unos 2.80 metros son de piedra y el resto de adobe con un espesor de muro de 1.65 metros.

En México, fue el principal material de la arquitectura mexicana antigua, y entre los muchos ejemplos de ello podemos citar estructuras tan gigantescas como la pirámide del sol en Teotihuacán o la de Cholula en Puebla, las cuales tienen un núcleo de varias capas de adobe.

La cultura Olmeca, la cual estaba asentada en la región pantanosa que abarca Tabasco y sur de Veracruz, construyen sus casas con ramas y barro sobre plataformas de lodo y piedra.

Los Teotihuacanos (2 000 a.c. - 800 d.c.) construían sus casas rurales con piedra o adobes, sus techos eran de paja, estas eran desplantadas sobre plataformas de lodo y piedra, igual que la cultura Olmeca. Los principales materiales utilizados por esta cultura son: el adobe, la madera, la paja, el tezontle. Utilizaban también el "mortero Teotihuacano", de piedra volcánica y lodo como recubrimiento.

La cultura Mixteco-Zapoteco, con influencia Teotihuacana, utilizaban el "bejerenque", sus principales materiales son también la madera, el adobe y la piedra.

Así como las anteriores culturas, las culturas Maya, Tolteca y Azteca, utilizaron materiales similares para la construcción de sus casas. Con ello podemos ver que el empleo de adobe en cada una de ellas se hizo presente.

La tradición del adobe, la tierra apisonada y la construcción con tabiques de caña y barro (quincha) de época pre-colombina fue continuada por los españoles después de la conquista, aunque se produjo un cambio fundamental en todos los aspectos culturales y tecnológicos del mundo occidental. El adobe usado en las construcciones coloniales sufre algunas variaciones como el agregado de estiércol y el remplazo de la paja entera colocada en forma de espiral por la paja cortada y mezclada con el barro.

En época de la colonia el empleo del adobe fue extenso en edificios religiosos y militares del noreste de México. En la actualidad su empleo sigue siendo tradicional en muchos poblados del país por razones principalmente económicas, puesto que el proceso de elaboración es en cierta forma sencillo, y los recursos naturales principales son: tierra, algún estabilizante como paja y el calor del sol para su secado. Con los avances que se van teniendo en el mejoramiento de este producto, esperamos que su empleo sea similar al de los materiales comunes o al menos mayor al que se ha tenido hasta ahora con el mismo material, principalmente, por supuesto, en aquellos lugares donde el mismo abunda.

<sup>1</sup> González Torres Biviano, *Tierra sin cocer en la construcción*, Tesis profesional, UNAM, CAMPUS ARAGON, México 1995.

<sup>2</sup> International Workshop on Earthen Buildings in Seismic Areas, Vol. 1 y II, Albuquerque, New Mexico, mayo 24 - 28, 1981.

## **CAPITULO II.**

### **EL ADOBE Y SUS VARIANTES.**

## **EL ADOBE Y SUS VARIANTES.**

Los métodos de construcción con tierra son muy variados ya que la tierra puede ser moldeada, modelada, compactada y comprimida, y para cada caso existen diversas tecnologías que van desde la más artesanal hasta la más industrializada.

A diferencia del concreto, la tecnología de la tierra puede y debe adaptarse a las condiciones del lugar si lo que se busca es una optimización económica. Es por ello que no debe escogerse a priori una técnica de construcción con tierra, sino que esta elección debe ser el resultado de un análisis global que considere los parámetros físicos (composición de la tierra, aglutinantes disponibles, climatología), las técnicas (tipo de estructura a construir, materiales disponibles) el aspecto económico (costos de mano de obra, materiales, energía y nivel de calidad requerida) y el social (nivel de formación de los obreros, etc.)

Tal diversidad se deba principalmente a los tipos de tierra encontrados en cada lugar y a los materiales disponibles y/o desarrollo localmente, por lo que la tecnología de la tierra ha generado diferentes tipos de arquitectura en todo el mundo. Los métodos principales de utilización de la tierra pueden clasificarse en función de la humedad de ésta en el momento de su uso y en función de la tecnología empleada.

Dentro de las diferentes técnicas que se emplean para la elaboración de un elemento de tierra sin cocer, se puede encontrar que, dentro del proceso de elaboración que cada una emplea. Dado que los elementos a elaborar son material para un mampuesto, los siguientes datos que se presentan puede orientar la fabricación de muros de tierra tanto a una pequeña industria, así como también a los que prefieren la autoconstrucción con este material.

### **ADOBE.**

El adobe es una masa de barro moldeada y estabilizada con granos, fibras u otros materiales secada al aire y al sol. La composición ideal para la producción de adobe es: arcilla 15%, limo 32%, arena 30%, grava 23%.

En el procedimiento para la elaboración del adobe se utiliza un material arcilloso preparado en estado líquido (con una humedad del orden del 30%). Se trata de un método artesanal y manual en el cual los bloques se fabrican

empleando moldes de madera o de metal. Después de secarlos al sol, dichos bloques son trasladados a una fábrica cuyo mortero está hecho de la misma tierra. A continuación se dan algunas características del material para la elaboración del adobe.

1.- Todas las tierras de plasticidad media, ni muy alta, ni muy baja, que son las más comunes, sirven para la fabricación de los adobes.

2.- Los adobes generalmente presentan una resistencia mecánica suficiente para las construcciones que se fabrican con ellos.

3.- Ninguna tierra tiene suficiente hidraulicidad (propiedad de un material de conservar su resistencia aún en estado saturado), para la producción de adobes que resistan una inmersión en agua.

4.- La erosión de la lluvia destruye cualquier adobe hecho con tierra sola si su acción dura indefinidamente, aunque hay tierras cuyos adobes pueden resistirla por mucho tiempo sin perjuicios importantes.

5.- El aumento de la resistencia mecánica se puede lograr, en cierta forma, solamente con tierras poco plásticas estabilizadas con cemento o en tierras de plasticidad media con calor, aunque nuestro material se modificaría haciéndolo tabique.

6.- La resistencia mecánica de las tierras no plásticas mejora al estabilizarlas con cualquiera de los aditivos, cemento, cal o asfalto, puesto que cualquiera de ellos proporciona el cementante que les falta.

A continuación se da el proceso constructivo del adobe que es típico de las comunidades rurales, el empleo de estabilizantes se ve limitado por la falta de conocimientos a cerca de los resultados de los existentes, manejando solamente así, materiales naturales como la paja y el zacate rojo, entre otros.

El banco de material de donde se obtiene la tierra, la disposición del material estabilizante y el agua, forman parte de la materia prima principal para la elaboración de los adobes; el equipo empleado para el moldeo y secado es simple.

#### **Moldes.**

Los moldes empleados pueden estar hechos de madera o metal, con aditamentos que pueden facilitar su manejo. La madera o metal debe estar

lubricada para evitar la adherencia en las paredes en el momento de retirar el molde. Las dimensiones de los adobes pueden ser tan variables como se desee, sin embargo, por razones de facilidad de manejo se recomienda las siguientes dimensiones, que son las más empleadas.

5 x 10 x 20, 10 x 15 x 30 y 10 x 40 x 40 cms.

### **Mezcla.**

En las comunidades rurales donde se elabora el adobe, el mezclado lo hacen aplicando presión con los pies, a la vez que se le va agregando agua moderadamente, posteriormente se le anexa paja o zacate rojo, éste último es de estructura tubular y es cortado en partes de 20 cms de longitud, al aplicar este estabilizante, el amasado ya no se realiza con los pies, esto con el fin de no dañar los pies del ejecutante.

Una vez mezclados los materiales se procede a llenar los moldes, los cuales ya deben estar lubricados, aplicando una pequeña presión, de manera que quede acomodado el material en el molde.

Al retirar el molde, los adobes deben mantener su forma, de no ser así, se pueden presentar dos cosas, de las que se puede concluir que:

- 1.- Si se aplastan los adobes, la presencia de agua dominó en la estructura del mismo, es decir, tuvo mucha agua.
- 2.- Si por el contrario, parte de la mezcla quedó en el molde, la falta de agua es notable.

### **Secado.**

Ya hechos los adobes, el secado les proporcionará su resistencia, no obstante, se debe tener especial cuidado en este paso, un secado rápido puede ocasionar grietas al adobe, se recomienda un secado no directo al sol, sino un secado a la sombra, ya sea, teniéndolos bajo techo con una ventilación apropiada o cubriéndolos con hojas, paja u otro material.

Dentro del proceso de secado se deben humedecer los adobes de vez en cuando, ya que al ir adquiriendo resistencia, valiendo la comparación con el concreto, estos necesitan agua para su CURADO.

Cuando ya han adquirido una consistencia "dura" (dos días aproximadamente), se acomodan los adobes poniéndolos de lado en hileras abiertas, permitiendo la circulación al aire. Para poder ocuparlos en la construcción los adobes debieron haberse secado durante 15 días como mínimo.

## **MACHIMBLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA ESTABILIZADA.**

El machimbloque es un modelo de block para construcción el cual ha sido desarrollado para abatir los costos de construcción, en las unidades agropecuarias de tipo rural y semiurbano aprovechando al máximo los elementos disponibles en el territorio como es la tierra del lugar de trabajo y la mano de obra no especializada.

El material que se utiliza puede ser cualquier tipo de tierra que se encuentra en la zona de trabajo, con un pequeño y fácil tratamiento se puede fabricar el machimbloque. Puede establecerse que todo material que permita la fabricación del adobe tradicional, será apto para la fabricación del machimbloque, desde luego habrá materiales que presentan mejores características que otros, basándose en estudios de laboratorio realizados por varias instituciones y la experiencia propia.

Se considera como material apto para la fabricación de machimbloque un material limo-arcilloso de plasticidad media con un contenido de arena entre el 10% y el 20% y un contenido de agua óptimo alrededor del 15%.

Dicha estabilización se puede hacer con varios productos, pero los más comerciales son la cal y el cemento portland tipo 1, y dependiendo desde luego de las características propias del suelo que se disponga, variando en forma general entre un 5% y 10% en peso del material seco.

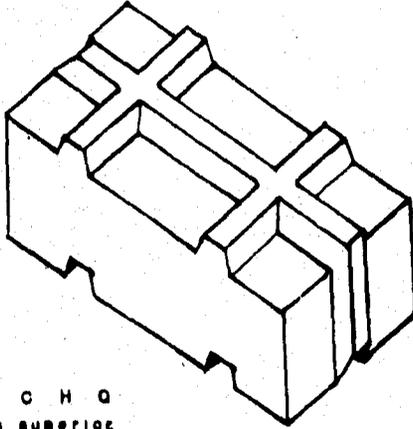
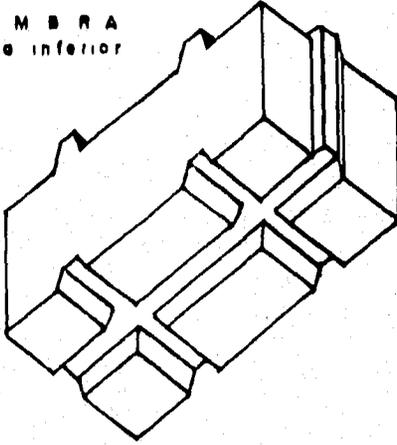
La máquina en que se fabrica el machimbloque es de fabricación nacional y está diseñada con mecanismos simples de operación manual y no requiere prácticamente de ningún tipo de mantenimiento y puede ser transportada a cualquier sitio de trabajo, ya que el peso es de aproximadamente 350 kg., la presión con que comprime la pieza es de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

La pieza al ser retirada del molde está en condiciones de ser colocada en su sitio, el muro (se recomienda protegerla 24 hrs. con plástico para un fraguado) no requiriendo ningún proceso de homeado, curado o secado, se colocan simplemente uno sobre otro sin mortero de liga cuatrapeando cada hilada de la longitud de cada pieza la cual viene determinada por la posición de las costillas y ranuras no siendo necesario efectuar medidas, ya que la misma pieza nos da niveles, plomos y escuadras.

La distribución de las costillas y ranuras permite la formación de esquinas y cruceros de muros, armando las piezas entre sí, sin necesidad de cortarlas

evitando así la utilización de castillos de concreto armado haciendo ésta una estructura totalmente flexible a la acción de temblores. Toda la estructura se debe encofrar con un zuncho perimetral a la altura de cerramiento mediante una cadena prefabricada, estando en condiciones de poder recibir cualquier tipo de techumbre.

H E M B R A  
vista inferior

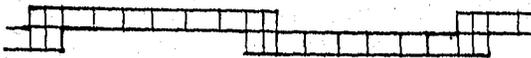


M A C H O  
vista superior

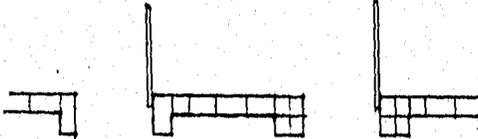
Vista inferior y superior del machibloque.

### Características del machimbloque.

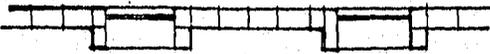
Medidas	35 x 17,5 x 11 cm.
Peso	9 a 10,5 kg.
Resistencia a la compresión	35 a 80 kg/cm <sup>2</sup> .
Absorción	10 a 11%.
Aislante térmico	Excelente.
Aislante acústico	Excelente.
Peso volumétrico	1600 a 1900 kg/m <sup>3</sup> .
Peso por m <sup>2</sup> de muro	285 kg.
Recibe cualquier tipo de recubrimiento.	



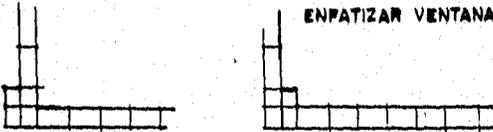
**BARDAS**



**ENPATIZAR ACCESOS**



**ENPATIZAR VENTANAS**

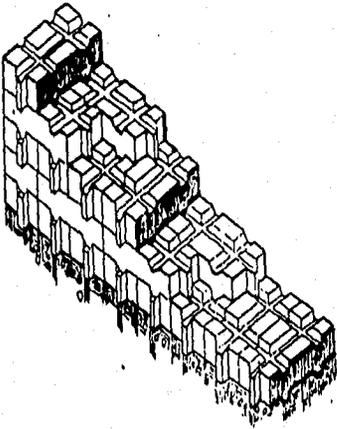


**MACHON ESQUINERO.  
EXTERIOR**

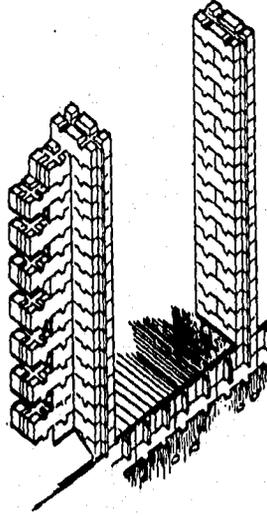
**MACHON ESQUINERO  
INTERIOR**

Variantes de colocación.

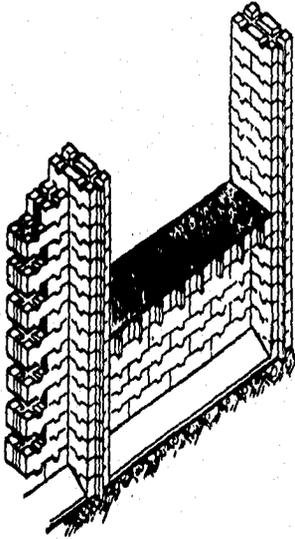
Detalle de la cimentación.



Detalle de la puerta de acceso.



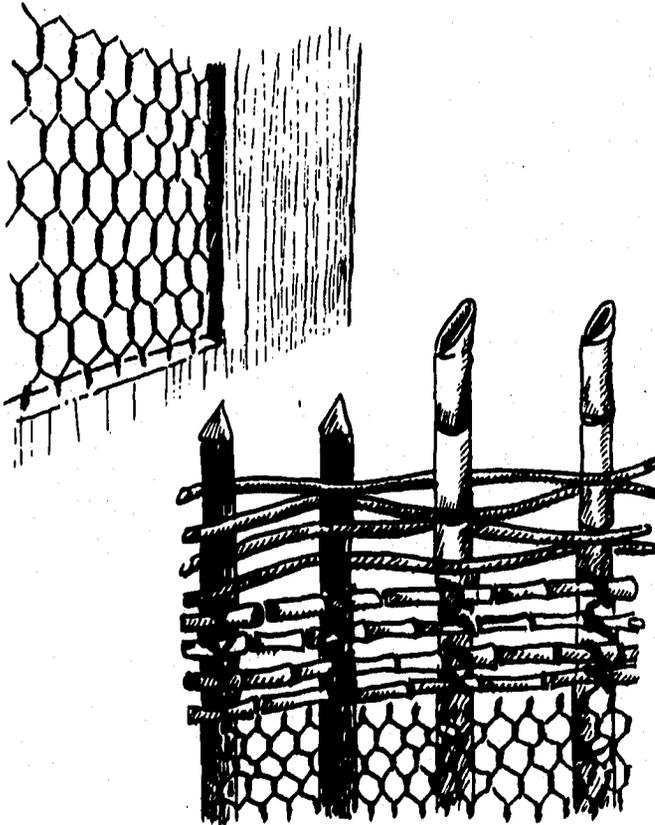
Detalle de ventana.



## TAPIAL.

La mezcla de tierra y agua, adherida a un armazón, a base de estacas, travesaños o trenzado o enrejado de ramas es conocida como tapial o bajareque.

El armazón se fabrica con varas, carrizo, otate, bambú partido o bien con elementos industrializados como puede ser la tela de gallinero. Una vez fijada a los elementos de cimentación se aplica la mezcla, estabilizada con elementos de cohesión como granos o fibras, en ambas caras del armazón, a mano o con doble armazón para aumentar el espesor y solidez del muro. En los dos casos la tierra cumple la función de relleno y se aplica en forma de mortero.



Materiales para la construcción de tapias.

La colocación se realiza en estado húmedo y la primera contracción por secado se produce íntegramente cuando el material ya está colocado, cosa que no sucede en la fabricación de muros con mampuestos, pues estos deben estar secos y contraídos en el momento de su colocación. Esta contracción inicial sin embargo suele ser, mucho menor que la de los mampuestos, pues la tierra debe ser menos plástica, colocarse con muy poca humedad y ser compactada antes de que se seque.

La ventaja de este sistema sobre los muros realizados a base de cimbra deslizante y con adobes es la rapidez de ejecución, además de que posee buenas características de confort en condiciones climáticas tropicales. Paralelamente permite la ejecución total de la estructura de la vivienda lo que facilita su ocupación previamente a la terminación de los muros por ambas caras, quedando la vivienda protegida de la lluvia.

En este sistema constructivo es importante tomar en cuenta las contracciones lineales del material colocado (que no tiene restricción en el sentido vertical pero sí en el sentido horizontal) con su contracción volumétrica, es decir con su plasticidad. El agrietamiento que puede producir la contracción horizontal se contrarresta en algunas construcciones con juntas verticales, colando los muros en tramos no mayores de 2.5 m. de longitud.

Los principales problemas de la construcción de muros colados in situ o tapiados conciernen al instrumento que sirve para apisonar la tierra dentro de las cimbras utilizadas para darle forma. Tradicionalmente, estas herramientas son muy simples, con unas cuantas piezas y tabloncillos de madera. Para aumentar los rendimientos, se adoptan los pisones neumáticos, artefactos ligeros y de un muy buen rendimiento, se requiere poco cuidado. Los modelos más pesados someten a la cimbra a presiones exageradas por lo que no son recomendables.

### **ADOBE DE SZASKAB.**

El szaskab es un material de características calcáreas y con una gran tradición en la construcción en los antiguos caminos de la cultura Maya. Lo impactante de esta mezcla de tierra de szaskab y el cemento es la dureza que adquiere y su gran permeabilidad así como sus grandes cualidades estéticas de color y textura.

Las cualidades demostradas en pruebas de resistencia indican una gran resistencia a la compresión, mayor con ciertas proporciones de cemento, pero llegando a su máximo con solo el 5% de ésta proporción. Indican también una gran permeabilidad, no igual al uso de asfaltos y polímeros, pero muy cercana, con una gran ventaja de costo sobre cualquier otra mezcla. La proporción encontrada de szaskab y cemento demuestra un sencillo sistema de producción. A este material se le ha llamado szaskadobe.

Así mismo, su producción móvil ofrece el atractivo de ser producida en sitio evitando manejo de material y transporte. Otra de las ventajas del szaskab compactado es que se requiere de poca energía para su fabricación y poco elemento técnico de alta especialización. Es posible iniciar la construcción inmediatamente después de su fabricación.

Con este material es posible construir muros, techos, pisos y hasta ciertos acabados, bardas, etc.

La contracción lineal del material es bajo debido a su compactación. Su apariencia estética es inmejorable, ya que refleja las características naturales. Sus características termal para efectos termal pasivos es excelente. Su resistencia a la compresión es también excelente para la construcción de muros de carga. Su permeabilidad se incrementa con el uso de una mezcla de asfalto soluble en agua.

El uso de material de tierra compactada de szaskab trae también un mejoramiento arquitectónico. Una autosuficiencia de producción y construcción con ninguna dependencia tecnológica respecto a otros materiales de construcción. Una adecuación bioclimática debido al alto coeficiente termal del material y por tanto se pueden construir viviendas ecológicas.

Los componentes principales del adobe de szaskab son:

- 1.- Arcilla de szaskab.
- 2.- Arena.
- 3.- Sedimentos.

La arcilla sirve de argamasa, mientras que la arena sirve de esqueleto. Debido a la capacidad de la arcilla de cambiar de volumen en función de su proporción en agua, es susceptible de alterar de manera importante el material, es aquí donde la arcilla de szaskab crea una resistencia muy diferente debido a su especial contenido calcáreo que le da una gran dureza.

El adobe ya compactado aumenta su resistencia y aunado a esto se le da un proceso de estabilización por impermeabilización que envuelve las partículas de arcilla en una capa impermeable con el fin de formar unos compuestos estables y volverlos insensibles a la acción de la humedad.

En algunos casos podremos agregar algún aditivo químico de polímero que consiste en una emulsión inversa ligeramente ácida, compuesta por varios reactivos químicos, cuya misión es la de modificar las características físico/químicas de las partículas de tierra. Todo esto da una gran resistencia, que ha llegado dependiendo del tipo de banco de material escogido de szaskab hasta los 60 kg/cm<sup>2</sup>. Esto hace que las ventajas de este tipo de adobe compactado aumenten ya que están libres de mantenimiento y no necesitan acabados de yeso o pintura, aunado a excelentes cualidades aislantes, tanto de ruido como térmicas. Su elasticidad permite que las fisuras sean raras y escasas e inafectables por insectos.

En relación a la resistencia sus desventajas son que solo trabaja bien a la compresión y se necesita de una buena distribución de las cargas si existen varios niveles. Estos inconvenientes unidos a la selección del tipo de tierra son corregibles con un buen diseño y un buen análisis de tierras. Si el adobe es utilizado en un ambiente tradicional y programas de autoconstrucción su costo se reduce a cerca de la cuarta parte del costo de tabique tradicional, en un ambiente industrial, trabajando con máquinas automáticas compactadoras su costo tiene que ser cuidadosamente analizado en función de una movilidad para producción en sitio.

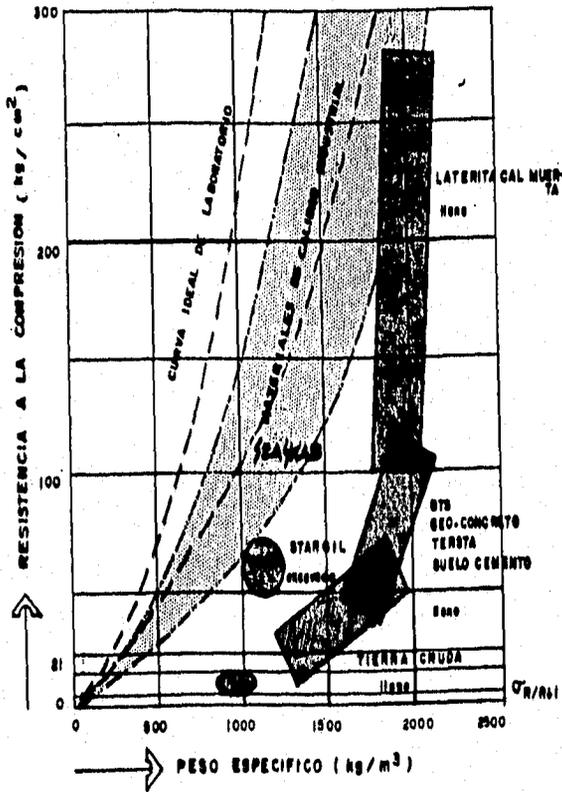
Las cualidades de szaskab son sus propiedades de adquirir muy alta resistencia al mezclarlo con un 3% de cemento y compactarlo a una presión de 40 lb/cm<sup>2</sup>, dando esto en la prueba de resistencia del material, una resistencia de casi 60 kg/cm<sup>2</sup> con una contracción lineal a su secado del 20% y teniendo una gran resistencia a la absorción por capilaridad que puede aumentarse con algún estabilizador químico a base de polímeros.

El material puede ser producido en muy diversas formas ya que esto solo dependerá del tipo del molde usado.

Las dimensiones para su manejo óptimo y colocación son de 28 de largo por 10 de ancho y 12 cm de altura. El acabado de las caras pueden ser muy diversas que producen diseños de dibujos en los muros. El material también puede ser producido con dibujos de hembra y macho para acoplarse y usarse en muros sin necesidad de unión de mezcla entre ellos. Esto brinda la posibilidad de uso extensivo en autoconstrucción. En techos el material puede ser usado en

forma de cúpulas y su dimensión deberá ser más corta. Permite claros hasta de 4 metros, teniendo en el centro el arco 1.80 metros de altura.

En pisos puede ser usado como material vaciado en sitio y compactado por medios mecánicos, se le puede dar un acabado fino que se le llama rejoneado y puede usarse algún molde para darle un acabado de dibujo, al final ya seco se le puede dar una capa de sellador para su protección y mantenimiento.



Gráfica que muestra la resistencia a la compresión contra peso específico

Resultado de las pruebas de resistencia a los ensayos practicados a tierra tomada de la zona de construcción:

a) Secado a Intemperie en dos días para su uso inmediato aún estando seco, resistencia alcanzada de  $40 \text{ kg/cm}^2$  dejándolo secar en un lapso de 7 días al Intemperie aumento a  $60 \text{ kg/cm}^2$ .

Su adherencia fue de:

- 1.- En seco  $0.60 \text{ kg/cm}^2$ .
- 2.- Húmedo  $0.15 \text{ kg/cm}^2$ .

La conclusión de construcción con este tipo de material, es que tiene buena resistencia a la compresión dependiendo del uso de diferentes bancos de arcilla que dieron 40 hasta  $60 \text{ kg/cm}^2$ .

La resistencia al goteo de agua por espacio de 6 horas en aplicación directa y resistencia permanente cuando tiene cierta protección. La resistencia promedio alcanzada en la mitad de un adobe tomando muestras de 5 bancos de material de szaskab fue de  $40 \text{ kg/cm}^2$ .

Una buena tierra de szaskab de buena calidad es cuando el contenido de arcilla es superior a 50% e inferior a 75%.

### **BLOQUES COMPRIMIDOS.**

Para producir bloques comprimidos se debe introducir tierra húmeda, previamente estabilizada, en el molde de una prensa, por un sistema de palancas o pistones hidráulicos, se aplica una fuerza importante sobre la tierra. Después del vaciado, se obtiene un bloque denso de un buen acabado, de aspecto similar al tabique recocido.

La aparición de bloques de tierra comprimidos en el mercado es reciente, pero las huellas de su utilización son importantes. Si desde hace 30 años, han sido de abundante investigación, es en ese sector que los progresos técnicos han sido registrados. Un número impresionante de prensas, primero manuales, después mecánicas y desde hace algunos años hidráulicas, aparecían y desaparecían del mercado. Es desde hace muy poco tiempo que los fabricantes se inclinan sobre equipo periférico, tales como trituradoras, mezcladoras y cornedoras. El empleo de estas máquinas incrementa considerablemente la

ceredoras. El empleo de estas máquinas incrementa considerablemente la calidad de los bloques comprimidos y también su ahorro energético, ya que en los mejores casos, los bloques de tierra mejorada con cemento consumen de 35 a 60 % de energía menos que los ladrillos recocidos. La variabilidad de estos sistemas y la ventaja económica real continúan siendo objeto de búsquedas diversas.

En relación a la presión ejercida sobre el material durante la fase de moldeado, numerosas experiencias llevadas a cabo por diversos centros de investigación y laboratorios, han demostrado que una presión de 20 kg/cm<sup>2</sup> es de calidad aceptable y los bloques compactados a una presión de 40 kg/cm<sup>2</sup>, son totalmente satisfactorios. Sin embargo, la energía y las inversiones gastadas no aportan una extraordinaria mejora de calidad. En el mercado se encuentran diversos sistemas que trabajan en "hipercompresión", es decir en compresiones desde 120 a 430 kg/cm<sup>2</sup>. El incremento en la calidad de estos productos hipercomprimidos es debido en su mayor parte al tipo de estabilizante y al tratamiento ulterior (por producto químico u otro) más que a la hipercompresión. Teniendo en cuenta que el tipo de estabilizante empleado reclama a veces compresiones de esos niveles.

Los productos hipercomprimidos tienen sin embargo una densidad ligeramente superior, que va desde 2200 a 2350 kg/m<sup>3</sup>. Esta densidad no tiene siempre un efecto en el aumento de la resistencia en el bloque seco, pero sí resulta en un incremento en la resistencia del material húmedo. Esto es debido a que el producto es menos sensible a la acción del agua, debido al bloqueo de los conductos capilares del material.

Todas las tierras, para ser transformadas en material de construcción, tienen que pasar por varios procesos, a continuación se listan los básicos:

### **1.- Extracción del material.**

La selección del material es el punto más importante en la elaboración del adobe, pues de la calidad del mismo depende la calidad del producto final en gran medida. La extracción se realiza con medios mecánicos y manuales.

## **2.- Trituración.**

Después de la extracción de la tierra, esta se deposita en una tolva que descarga en un molino que esta formado de martillos que se encargan de demoler los terrones y tierra que se depositó. La trituración puede ser regulada desde partículas tipo talco (0.002 mm de diámetro) hasta areniscas. Una vez triturado el material, este pasa a otra tolva, la cual divide las partículas más finas de las demás por medio de un tubo llamado torpedo, este succiona el polvo y lo deposita en unas revolventoras.

## **3.- Mezclado.**

El polvo baja a las revolventoras, a las cuales se les agrega cemento, agua y fibras químicas; teniendo la mezcla húmeda se pasa a los moldes para aplicarles presión y obtener el producto final.

## **4.- Aplicación de presión.**

Una vez lleno el molde con la mezcla húmeda se aplica una presión de 40 ton. aproximadamente por medio de gatos hidráulicos, con ello la resistencia del producto aumenta en gran proporción. La durabilidad del adobe o la vida útil es de aproximadamente 200 años.

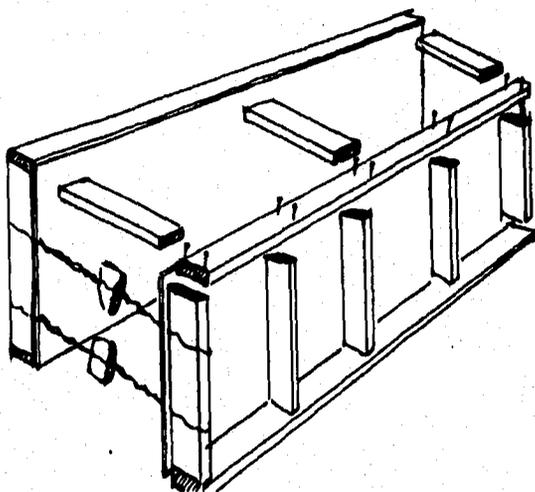
## **5.- Secado.**

El secado es a la sombra, y su razón es el agrietamiento producido por el sol, el tiempo de secado es aproximadamente de 72 horas. El producto final es almacenado y listo para emplearlo en la construcción.

## **MUROS DE TIERRA COMPACTADA UTILIZANDO CIMBRA DESLIZANTE.**

Esta es una obra de albañilería de tierra a la que se le añaden algunas piedras bola (cantos rodados) de dimensiones medias para crear una estructura interna. La mezcla de la tierra con poca agua forma un lodo de baja humedad que se comprime al interior de una cimbra deslizante, con la ayuda de un apizonador.

Se requiere de dos piezas rígidas cuya dimensión máxima recomendable varía de 0.90 a 1.00 mts. por 2.50 a 3.00 mts como cimbra. Esta cimbra pueden ser tablonas, tarimas o triplay grueso de madera, lámina gruesa o ferrocemento. Esta cimbra se coloca sobre los cimientos en el lugar en que se levantará el muro. Después de colocada la cimbra, se apuntala y se tapan los extremos, dejando una separación entre cada pieza rígida, lo que determinará el espesor del muro. Se recomienda un espesor de los 0.25 a 0.50 mts. de acuerdo a los requerimientos de la construcción. Hecho esto se mojan los moldes y se vacía la mezcla al interior de la cimbra, reforzándola con piedra bola y compactándola con el apizonador que puede ser de madera dura o metálico, con un mango de madera, un poco más angosto que en ancho de la pared.



Armado de la cimbra deslizante.

Humedeciendo periódicamente las paredes de la cimbra, se distribuye y apisona cada bote de mezcla vaciado hasta llegar a la altura de la cimbra.

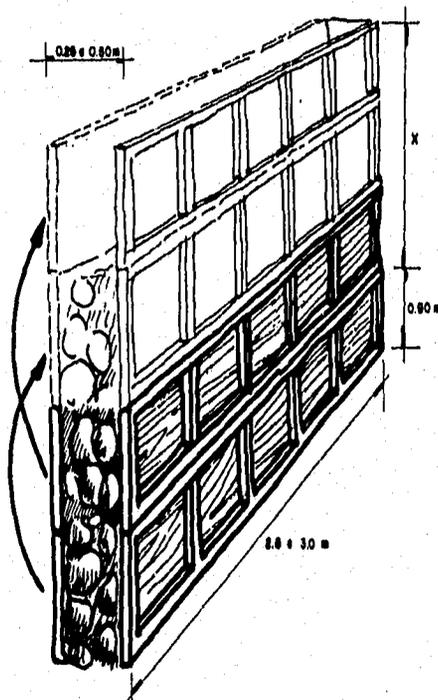
Una vez terminada esta etapa, la cimbra puede ser desplazada hacia arriba o hacia los lados para continuar repitiendo la operación. Con correderas verticales se puede alcanzar la altura deseada para el muro y lateralmente los muros se desarrollan por series.

Las ventajas que tiene un muro de tierra compactada realizado mediante la cimbra deslizante son:

- Homogeneidad de los muros.
- Gran espesor en una sola operación.
- No parásitos, pudrimientos o contracción al secado.
- Construcción con poca madera.
- Resistencia a los incendios.

Las desventajas son:

- Requiere mayor mano de obra.
- Requiere protección de la lluvia durante la construcción y el secado.
- Requiere un excelente recubrimiento para protección de humedad.



Dimensiones recomendables para la construcción de muros con tierra compactada

## **SUELO CEMENTO.**

El material natural para la construcción que por lo regular se tiene al salir de la ciudad es la tierra, su abundancia se hace patente en cualquier lugar y debido a esto en las zonas rurales lo eligen para edificar sus viviendas. Sin embargo no todas las tierras tienen las mismas propiedades, por lo que su procedimiento de estabilización puede variar notablemente y resulta antieconómico. Además, la carencia de conocimientos técnicos por parte de la gente del campo induce a elegir tierras no adecuadas para la fabricación de muros obteniéndose deficientes, motivo importante para que este material se le haga a un lado de obras masivas.

Para proceder adecuadamente en la construcción de viviendas, si no se dispone de un laboratorio, lo más conveniente sería emplear las tierras cuyo uso haya quedado demostrado que es el apropiado; siguiéndose, además, el mismo método de estabilización sin variar paso alguno. Siendo esto muy poco factible, se recomienda, en todo caso, recurrir a los resultados que proporciona un laboratorio.

### **Clasificación de suelos, método de campo.**

Antes de proceder a construir una vivienda, es conveniente efectuar una visita a los terrenos para determinar en forma aproximada con que tipo de suelos se cuenta para las cimentaciones y bancos de préstamo de tierra para su estabilización. Por ejemplo si se tienen tierras orgánicas, estas se caracterizan por su elevado contenido de materias orgánicas. La tierra turbosa se compone de materias orgánicas completamente descompuestas, con una cantidad considerable de tierras minerales finamente divididas y algunos residuos fibrosos. Cuando contienen una gran proporción de materias fibrosas se denominan turbas. Pueden localizarse con facilidad los residuos vegetales y a veces la estructura leñosa. Su color varía entre pardo y negro. Se encuentra en los terrenos bajos, marismas y pantanos. Se contraen mucho al secarse.

Para evitarse dificultades de este tipo y hacer el estudio preliminar citado más fácilmente, se recomienda emplear la tabla 1, que puede servir de consulta para obtener una idea aproximada del tipo de tierra a tratar.

Algunos fabricantes de máquinas para producir bloques, proponen que para seleccionar una tierra que se piense estabilizar, se introduzca dentro de una probeta una pequeña porción de ésta, se agregue agua y se agite dejándose en reposo media hora. Al cabo de este tiempo se tendrán dos capas bastante definidas: una representativa de arena y la otra de arcilla. Si la capa de arena es del orden del 60 al 70 % del total, esa tierra será apta para estabilizarse. Este método, un cuanto tanto empírico, que se pueden obtener resultados aceptables, pero se insiste que es otro de los muchos medios preliminares que se pueden tener para la selección de suelos.

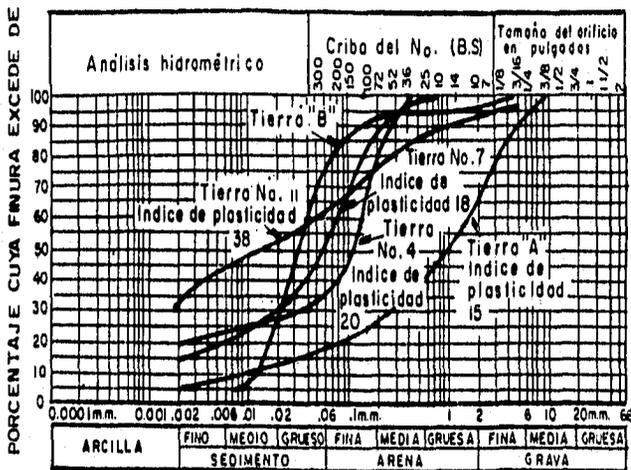
Tabla 1.- Método experimental para la identificación del tipo de tierra.

Tipo de tierra.	Detección visual del tamaño de las partículas y aspecto general de la tierra.	Apretada en la mano y soltada después en seco a temperatura ambiente.	Apretada en la mano y soltada después en húmedo.	La tierra forma una cinta entre el pulgar y otro dedo cuando está húmeda.
Arena	Tiene un aspecto granuloso, en el que pueden distinguirse los distintos tamaños del grano. Fluye libremente cuando está seca.	No forma masa; se desmorona cuando desaparece la presión.	Forma masa, pero se desmorona cuando se toca ligeramente.	No forma cinta.
Marga arenosa.	Tierra esencialmente granulosa, con suficiente sedimento y arcilla para darle alguna cohesión. Predominan las características de la arena.	Forma una masa, que se desmorona con rapidez al se le toca ligeramente.	Forma una masa que no se desmorona si se manipula con cuidado.	No forma cinta.
Marga.	Mezcla uniforme de sedimento arenoso y arcilla. La fracción de arena es muy uniforme, pasando de gruesa a fina. Es fina al tacto, pero algo áspera; no obstante, es bastante suave y ligeramente plástica.	Forma una masa que no se desmorona si se manipula con cuidado.	Forma una masa que puede manipularse con toda libertad.	No forma cinta.
Marga con sedimentaria.	Contiene una cantidad moderada de arena de los tipos más finos y una pequeña cantidad de arcilla. Más de la mitad de las partículas son sedimentos. Cuando está seca puede revelar la forma de terrones que se deshacen con facilidad.	Forma una masa que puede manipularse con toda libertad. Cuando está pulverizada, es suave al tacto, como la harina.	Forma una masa que puede manipularse con toda libertad. Cuando está húmeda se aglutina y forma una pasta.	No forma cinta, sino que parece quebrada; es suave al tacto y puede ser ligeramente plástica.
Sedimento	Contiene más del 80% de partículas sedimentarias, con muy poca arena fina y arcilla. Cuando está seco, puede tener forma de terrones; se pulveriza con facilidad y es suave al tacto como la harina.	Forma una masa que puede manipularse sin quebrarse.	Forma una masa que se manipula. Cuando está mojada se convierte fácilmente en pasta.	Tiende a formar cinta, pero parece quebrado; es suave al tacto.
Marga arcillosa.	Tiene la costadura fina, que se quiebra en terrones duros cuando está seca. Tiene más arcilla que marga sedimentaria. Se parece a la arcilla cuando está seca. Se puede identificar observando su reacción física al quedar húmeda.	Forma una masa que puede manipularse sin quebrarse.	Forma una masa que puede manipularse con libertad sin quebrarse. Puede trabajarse hasta convertirse en una masa densa.	Forma una cinta delgada, que se quiebra con facilidad ya que apenas sostiene su propio peso.
Arcilla	Tierra de textura fina, que se quiebra en terrones. Es difícil de pulverizar; cuando está seca forma un polvo parecido a la harina. Se puede identificar observando sus propiedades de aglutinación cuando está húmeda.	Forma una masa que puede manipularse con libertad sin quebrarse.	Forma una masa que puede manipularse con toda libertad sin quebrarse.	Forma una cinta larga, fina y flexible. Puede trabajarse hasta convertirse en una masa densa y compacta. De considerable plasticidad.

*Estudios granulométricos, de plasticidad, contenido de humedad y densidad para la selección del suelo.*

Ya efectuado el estudio preliminar del suelo y hechos los muestreos requeridos, se puede analizar la granulometría del mismo. Teniéndose ya la clasificación granulométrica, el principal problema que se puede presentar es el determinar si esa tierra es fácil de estabilizar, y cual sería aproximadamente la

cantidad de cemento requerida para su proceso. Estudios que se han hecho en Birmania (tierras Nos. 4, 7 y 11), Inglaterra ( tierra A) y Francia (tierra B) nos pueden ayudar, cuyos análisis granulométricos y cantidad de cemento están representados en la fig. 1. Se concluyo que las tierras 4 y 7 se estabilizaron muy bién con un 5% de cemento en peso; la 11 tenía un contenido mayor de arcilla y limos, requiriendo un 10% de cemento, y adición de arena en cantidad notable para obtener un material aceptable, que con todo y su adición de cemento y arena fué inferior al de las tierras 4 y 7.



Tierras Nos. 4, 7 y 11: Birmania. Las tierras Nos. 4 y 7 se estabilizaron bien. Lo No. 11 tenía exceso de arcilla.

Tierra "A": Informe del Hyderabad Engineering Research Lab. Se estabilizó bien.

Tierra "B": Norte de Francia. Buena estabilización.

Fig. 1. Distribución de las partículas según su tamaño.

En cuanto a la plasticidad, se ha mencionado que a mayor contenido de arcilla mayor es el poder aglutinante; sin embargo, también será, mayores las

variaciones de volumen debido a los cambios de humedad, originándose fisuras en los muros. Al respecto, para conocer las características de las arcillas se recurre a los Límites de Atterberg que establecen las fronteras en forma convencional de los estados por lo que pasa un suelo al irse secando.

- 1.- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- 2.- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.- Estado plástico, en el que el suelo se comporta plásticamente.
- 4.- Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- 5.- Estado sólido en el que el volumen del suelo no varía con el secado.

#### **Límite Líquido.(Ll)**

Frontera entre los estados semilíquido y plástico, que se determina mediante una prueba de laboratorio en la que dos masas de suelo separadas 2 mm. en una copa, se unen en una longitud de 1.27 cm. a un determinado número de golpes.

#### **Límite Plástico. (LP)**

Frontera entre los estados plástico y semisólido, establecido también mediante otra prueba de laboratorio en la que con una pequeña masa de suelo se forma un rollo de forma cilíndrica que, cuando se agrieta y desmorona, tiene un contenido de agua tal que define la frontera.

#### **Índice Plástico. (Ip)**

Se le llama a la diferencia entre el límite líquido y el plástico .  $Ip = Ll - LP$ .

Las arenas y tierras arenosas con poco contenido de arcilla tienen un límite plástico muy bajo. Las tierras de grano fino con un grado reducido de plasticidad tendrán un límite inferior al 35%, por lo que el contenido de arcilla no será superior al 20%.

En la tabla 2 se da la denominación de la tierra de acuerdo a su tamaño.

TABLA 2.

Denominación.	Tamaño en mm.
a) Arcilla	0.0001 a 0.002
b) Limo arcilloso	
Fino	0.002 a 0.006
Medio	0.006 a 0.02
Grueso	0.02 a 0.06
c) Arena	
Fina	0.06 a 0.02
Media	0.2 a 0.6
Gruesa	0.6 a 2.0
d) Grava	
Fina	2.0 a 6.0
Media	6.0 a 20.0
Gruesa	20.0 a 60.0

Las tierras de grano fino con plasticidad media tienen límites líquidos que fluctúan entre 35 y 50%; su contenido de arcilla suele ser del 20 al 40%. Los suelos de alta plasticidad tienen un límite líquido que pasa del 50% y su contenido de arcilla llega a ser mayor del 40 %. (Fig. 2.)

Por lo que respecta al contenido óptimo de humedad para su estabilización resultan más adecuadas aquellas cuyo contenido de humedad fluctúa entre 10 y 14%.

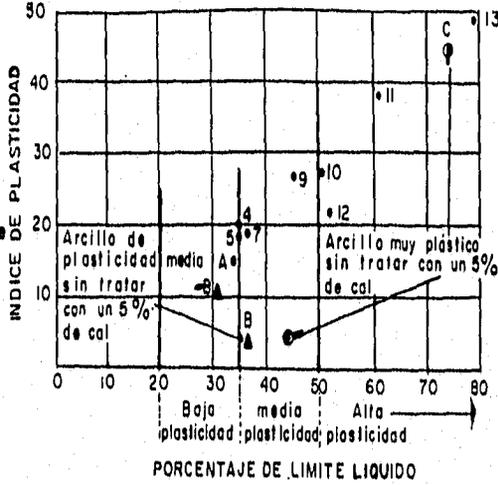
Las gráficas de la fig. 3 ilustran el estudio de ocho tipos de tierras en las que se relacionan en contenido de humedad óptimo, la densidad en seco y los índices de plasticidad obtenidos.

Las tierras 4, 5, 7 y A se estabilizaron bien, pero las 9, 10, 12 y 13 tenían exceso de arcilla y una gran plasticidad, siendo necesario tratarlas mediante la adición de arena y cemento en alta proporción, resultando esto antieconómico para emplearlas en la construcción.

Por lo que respecta al contenido de materia orgánica, es conveniente eliminar al máximo el contenido de esta, procediendo a quitar la capa vegetal superficial, y si se tiene en estratos inferiores hay que realizar pruebas de porcentaje del contenido de humus, para verificar si no es necesario desechar ese material.

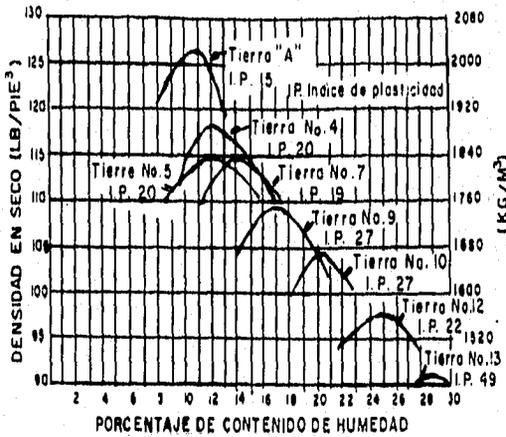
Obsérvese la reducción de la plasticidad de las tierras arcillosas B y C al agregárseles cal.

Fig. 2. Plasticidad de las tierras.



Las tierras 4,5,7,A y probablemente B se estabilizaron bien. La 9 parece estar en el límite. La 11 no pudo estabilizarse en condiciones económicas.

Fig. 3. Relación entre el contenido de humedad y la densidad.



Las tierras 4,5,7 y A se estabilizaron bien. Las tierras 9,10,12 y 13 tenían exceso de arcilla y una gran plasticidad.

### **Criterios para elegir suelos destinados a la construcción.**

1.- Límites recomendables para viviendas urbanas permanentes en cualquier clima, y para toda clase de viviendas en regiones donde el régimen de precipitación pluvial no exceda de 75 cm (750 mm) anualmente.

a). Un mínimo de arena de 33 % del total. Un máximo de arcilla del 20 % del total y un mínimo del 5 %. (Normas BS 1377:48 y ASTM D 422-54 T.)

b). Índice de plasticidad entre el 2.5 % y el 22 %, con un límite líquido inferior al 40 %. (Normas BS 1377:48, ASTM D 424-54T y ASTM D 423-54T.)

c). Contenido óptimo de humedad entre el 10 y 14 %. (Normas BS 1377:48 y ASTM D 558-44.)

2.- Límites recomendables para proyectos pequeños, en comunidades rurales que disfruten de clima moderado y escasa precipitación pluvial, considerando las mismas normas.

a) Un mínimo de arena del 40 % del total. Un máximo de arcilla del 30 % del total y un mínimo del 5%.

b) Índice de plasticidad entre el 2.5 % y el 30 %, con un límite líquido inferior al 50%.

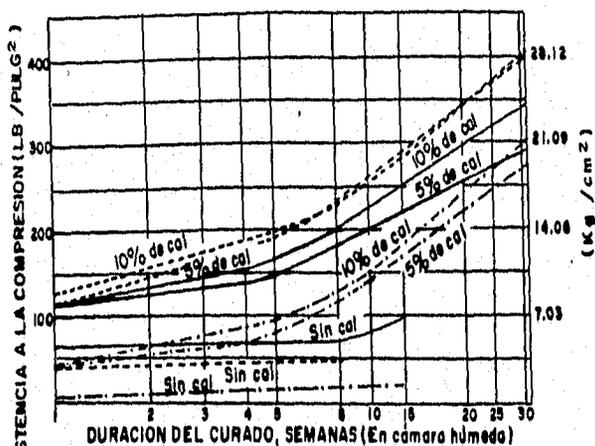
c) Contenido de humedad entre el 7% y el 16%.

### **Propiedades del suelo-cemento. (adobe)**

El objeto de la estabilización con cemento consiste en hacer la tierra menos vulnerable a las variaciones del contenido de humedad, modificando sus características físicas para dar mayor durabilidad y resistencia a los bloques formados, y sobre todo, evitar que la tierra se convierta en barro y se desmorone al mojarse.

El cemento portland es el agente estabilizador más común y que mejores resultados presenta entre otros, como asfaltos, cal, resinas sintéticas y naturales. Se recurre a la cal para estabilizar la tierra porque es muy abundante y resulta más económica que el cemento; pero su empleo práctico consiste en disminuir el índice de plasticidad de la tierra arcillosa, y reducir así las contracciones.

Sin embargo, si es difícil obtener cemento o si su costo encarece demasiado la elaboración de adobes, puede resultar aceptable emplear únicamente cal como estabilizador, si es que se produce una reacción química entre la cal y los silicatos o aluminatos que contienen la tierra; pero aún así, si esta reacción se produjera sería lenta y los especímenes tardarían por lo menos 6 semanas en fraguar o quizá más.



Tierra No. 1 ——— Índice de plasticidad 10. Aumento de la resistencia a los cuatro semanas 142 %.

Tierra No. 2 - - - - - Índice de plasticidad 14. Aumento de la resistencia a los cuatro semanas 63 %.

Tierra No. 3 ..... No es plástica. Aumento de la resistencia a los cuatro semanas 42 %.

Datos del Informe de Whitehouse y Yoder.

Fig. 4. Efecto de la duración del curado sobre la estabilización con cal.

### **Pruebas para tierras estabilizadas.**

#### **Prueba de mojado y secado de mezclas de tierra y cemento comprimidas.**

El procedimiento consiste en preparar una serie de muestras con diferentes porcentajes de cemento; aquí se sugiere de 2.5 %, 5 % y 10 % por peso de tierra en seco. Las muestras deberán elaborarse con un contenido óptimo de humedad.

Los resultados de esta prueba pueden representarse como la gráfica de la fig. 5 que también incluye los resultados típicos con suelos estabilizados por diversos procedimientos.

Aquí se sugieren algunos límites para la prueba de durabilidad:

a).- Para construcciones del tipo permanente en zonas urbanas en cualquier clima, la pérdida de peso no debe exceder del 5 %, y en climas secos con precipitación inferior a 50 cm (500 mm) por año, del 10 %.

b).- Para construcciones en comunidades rurales aisladas, donde no se exigen las normas más estrictas, la pérdida de peso no debe exceder del 10 % para cualquier tipo de clima.

En casi todos los casos se comprobará que las tierras estabilizadas que satisfacen la prueba de durabilidad tienen una gran resistencia mecánica. El contenido de agente estabilizador estará dado por las condiciones económicas.

Se ha comprobado mediante pruebas de laboratorio hechas en Birmania que con muchas clases de tierra es posible satisfacer los requisitos más estrictos, adicionando 5 % de cemento, y cuando se use una tierra con condiciones adecuadas basta un 2.5 % de cemento para satisfacer las pruebas. Uno de los problemas principales que presentan los muros hechos con materiales arcillosos, es el de las contracciones por secado que tiene el material.

Al respecto, la norma BS 2028-53, indica que no se deben exceder del 0.15 % en construcciones permanentes en zonas urbanas o semiurbanas. Para construcciones en pequeñas comunidades rurales o en construcciones aisladas, la contracción no debe ser mayor del 0.2 %. En ambos casos, para ladrillos o bloques prensados, curados y secados al aire antes de la prueba.

Para el caso de muros de tierra apisonada contruidos in situ, curados y secados al aire antes de la prueba, es del 0.10% para ambos casos.

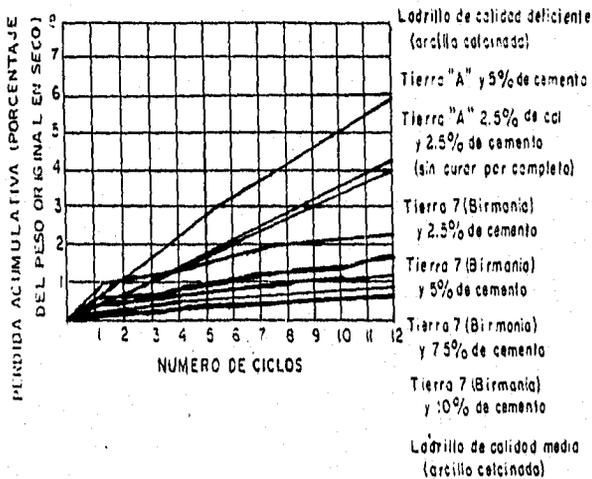


Fig.5. Prueba de durabilidad, humeclación y secado.

### Pruebas de resistencia a la compresión de mezclas de tierra y cemento.

Los resultados que se darán de estas pruebas son de una investigación que se hicieron en el Building Research and Development Laboratory en Birmania, relacionando la resistencia a la compresión con la densidad en seco y el contenido de humedad al efectuarse la prueba, así como la presión de compactación. Los resultados obtenidos se presentan en la fig. 6, 7 y 8, mismos que son de gran utilidad para la elaboración de adobes de suelo-cemento, ya que indican el comportamiento de este bajo las condiciones citadas.

También al Respecto, la US National Bureau of Standards presentó un informe de características de adobes de suelo-cemento elaborados con prensa (no se da información del tipo de suelo empleado) que presenta una serie de propiedades y datos técnicos que incrementan el conocimiento del comportamiento de este material, ya que incluye datos poco conocidos como resistencia al viento, impacto, presión concentrada, resistencia al fuego.

### **Resistencia a la compresión.**

Los bloques soportaron presiones hasta de  $56 \text{ kg/cm}^2$ , y se considera que la presión en la línea del cimiento de una casa de un piso es sólo del orden de  $2 \text{ kg/cm}^2$ , el factor de seguridad pasa de 20. Los bloques de adobe rara vez soportan una presión de más de  $7 \text{ kg/cm}^2$ .

### **Presión transversal (resistencia al viento).**

Una pared de adobes prensados resistió una presión transversal de  $550 \text{ kg/cm}^2$ , lo que significa resistencia a vientos huracanados.

### **Resistencia al deterioro.**

La pared de adobes prensados goteó sólo en las juntas defectuosas de mazclas. La superficie no protegida mostró muy ligera erosión después de severas pruebas, en bloques de densidad baja.

### **Impacto y presión concentrada.**

La resistencia de los adobes prensados resultó más alta que la de muchas otras clases de paredes de mampostería.

### **Resistencia a fuerzas excéntricas o torionales.**

Esta es la fuerza que ejerce en una pared el hundimiento de parte del cimiento, o la fuerza que comúnmente ejerce en una pared un temblor de tierra. La pared de ensaye, de adobes prensados, resistió el doble de la fuerza aplicada a la pared corriente y como un tercio más de la fuerza aplicada a una pared de bloques de cemento.

### **Resistencia al fuego.**

El adobe de suelo-cemento es incombustible.

### **Aislamiento.**

La relación de paso de calor por la pared de adobes prensados es poco más o menos igual a la de una pared de concreto macizo del mismo espesor.

Fig. 6. Resistencia a la compresión y su densidad.

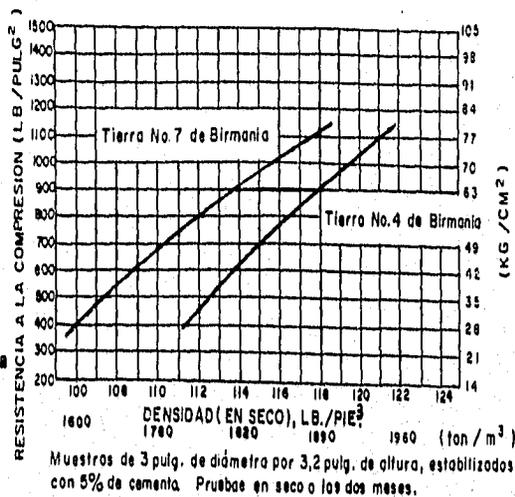
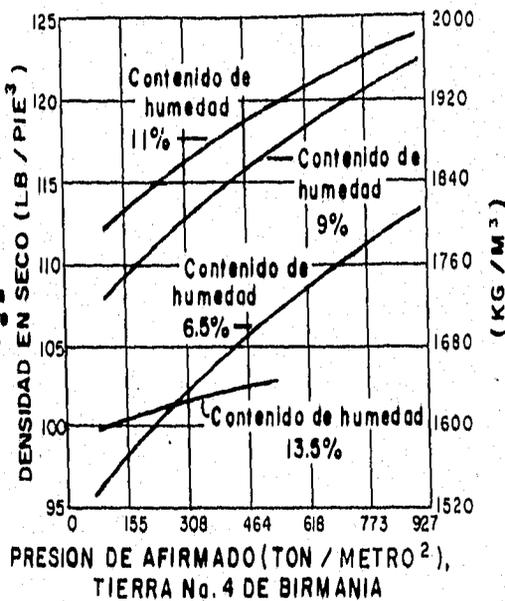
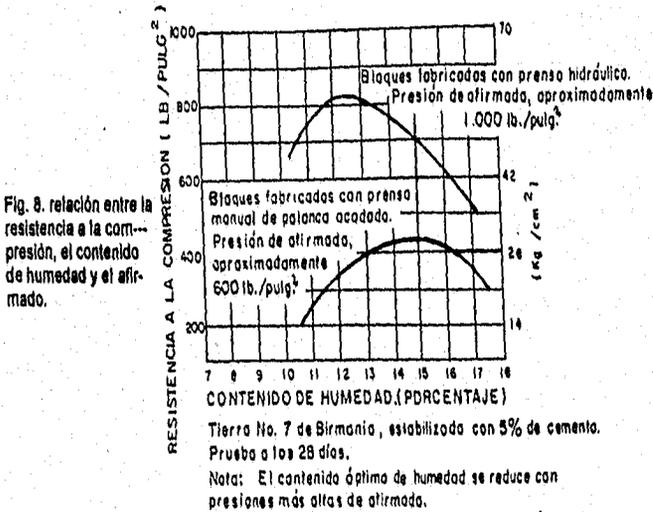


Fig. 7. Relación entre la densidad en seco, la presión y el contenido de humedad.



Comparación de los adobes prensados con el adobe común y la tierra apisonada. El adobe de suelo-cemento hecho a base de una prensa, es un material de construcción relativamente nuevo. En cambio el adobe (a base de tierra y paja) y la tierra apisonada se han empleado durante siglos en la construcción. En los Estados Unidos, México, etc. existen muchas construcciones de adobe y de tierra apisonada que datan de más de un siglo que todavía están en perfectas condiciones. El adobe suelo-cemento hecho a base de una prensa es muy superior en todo respecto al adobe tradicional y a la tierra apisonada.



### **Fabricación de Bloques (adobe) de suelo-cemento.**

Seleccionados los bancos de préstamo y conocidas ya sus propiedades y características, incluyendo la cantidad necesaria de cemento que hay que adicionar al suelo, se procede a evaluar el volumen de material por extraer, mediante la determinación de los coeficientes de peso volumétrico en banco a peso volumétrico suelto, y de suelto a compacto; que aplicados al número de adobes requeridos para el proyecto, se obtiene la cantidad necesaria de tierra por extraer. Se recomienda que antes de proceder a explotar el banco se efectúe un despalme para retirar la tierra vegetal que tenga, e iniciar la extracción en volúmenes pequeños para permitirle así un rápido secado, procediendo, posteriormente, a triturar los grumos y eliminar las gravas.

Para lograr una máxima eficiencia, así como una adecuada calidad de producción, conviene localizar el centro de gravedad del área de construcción, para con esto destinar la zona para:

- Almacén de equipo.
- Almacén de cemento (debidamente protegido para evitar hidrataciones).
- Mezclado de tierra y cemento.
- Elaboración de adobe (suelo-cemento).
- Colocación de adobes recién fabricados (procurando no apilarlos).
- Proceso de curado, que consiste en proteger del sol a los adobes recién elaborados, así como para regarlos periódicamente.
- Grupos de bloques listos para la construcción.

### **Preparación de la tierra y mezclado.**

Quando se tiene el material en la zona, se procede a cribarlo por las mallas estipuladas, operación que es factible y adecuada realizar en el propio banco, y como paso siguiente se adiciona el cemento y agua en las porciones prefijadas. A continuación se procede a hacer la mezcla de los elementos correspondientes, actividad que por lo general se tendrá que efectuar a mano, ya que según experiencias indican que si se emplea una revolvedora será demasiado difícil obtener una buena mezcla entre el cemento y la tierra, ya que lo impiden los terrones que se forman. Además, los volúmenes a mezclar deben ser pequeños para que las pérdidas de humedad y mermas sean poco considerables.

## Elaboración.

Obtenida ya la mezcla lista para fabricar los adobes, se puede proceder a su fabricación de dos maneras. Una que consiste en la aplicación del método tradicional de compactado a mano en moldes de madera, y la otra que consiste en emplear las máquinas que existen en el mercado.

*Método manual.* Este es poco recomendable para producciones masivas debido a su bajo rendimiento y deficiente calidad de fabricación; este método se incluye en este tema como un reconocimiento a los esfuerzos realizados por la gente de campo, que nos han legado una verdadera tradición constructiva integrándose así a la historia de la ingeniería.

Este proceso se inicia haciendo unos moldes de madera que pueden ser para elementos huecos o macizos, debiéndose buscar en todo caso una pieza que tenga un ancho mínimo de 20 cm. para muros de carga; y si el ancho es menor de 20 cm. se usará para muros de relleno. El molde debe forrarse con lámina galvanizada para protegerlo, y evitar que el material se pegue a la paredes que, en todo caso deben de estar aceitadas o engrasadas fig. 9. La forma de colocar el material dentro del molde es mediante tres capas, compactadas cada una con un piñón.

Como siguiente paso se procede a sacar la pieza, fig. 10, operación en la que, por lo regular, si la humedad no es la adecuada, el bloque se desmorona o deteriora. Para la obtención de las piezas se presentan dos alternativas: una en la que se obtiene un solo bloque, y la otra, cuenta con un molde dividido para poder fabricar cuatro piezas simultáneamente, fig. 11. En ambos casos la compactación se efectúa por medio de piñón o mazo, y el bloque se obtiene desarmando el molde; operación que tiene la ventaja de no afectarlo mucho, ya que no es necesario hacer presiones para sacarlo.

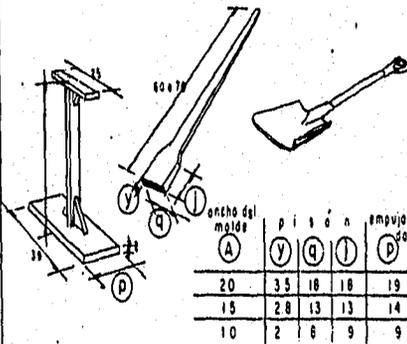
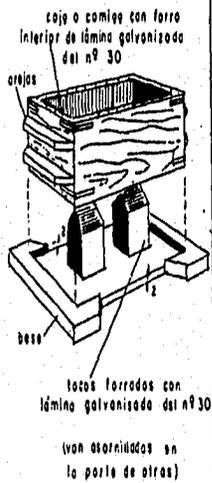
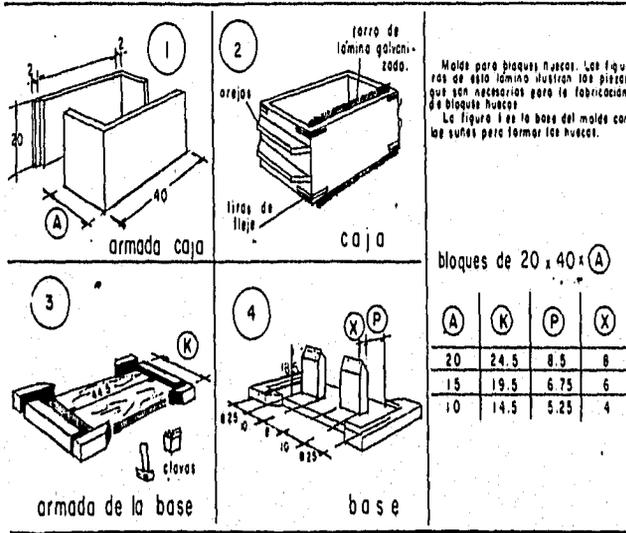


Fig. 9. Molde para adobes huecos de suelo-cemento elaborados a mano.

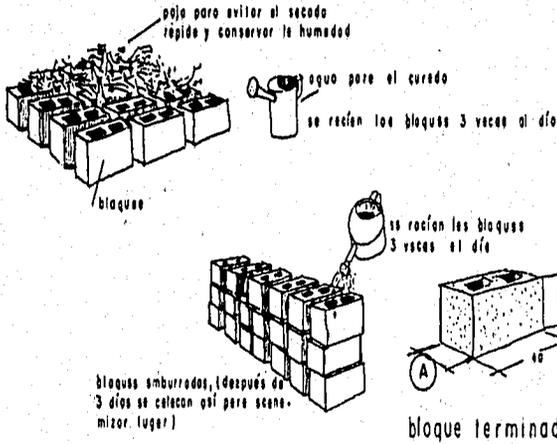
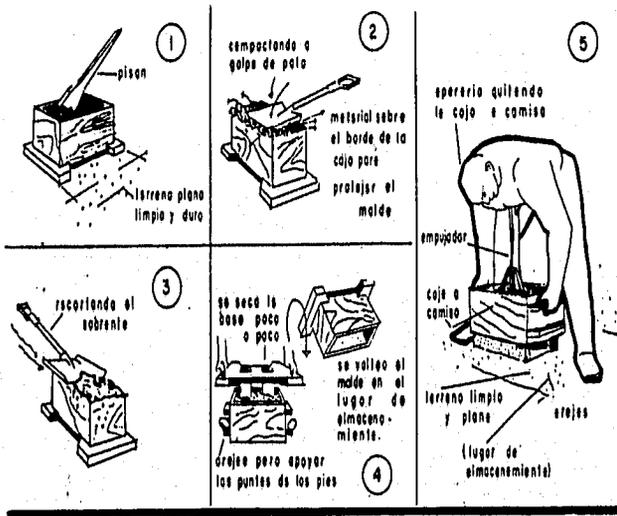


Fig. 10. Fabricación manual de bloques huecos de suelo-cemento.

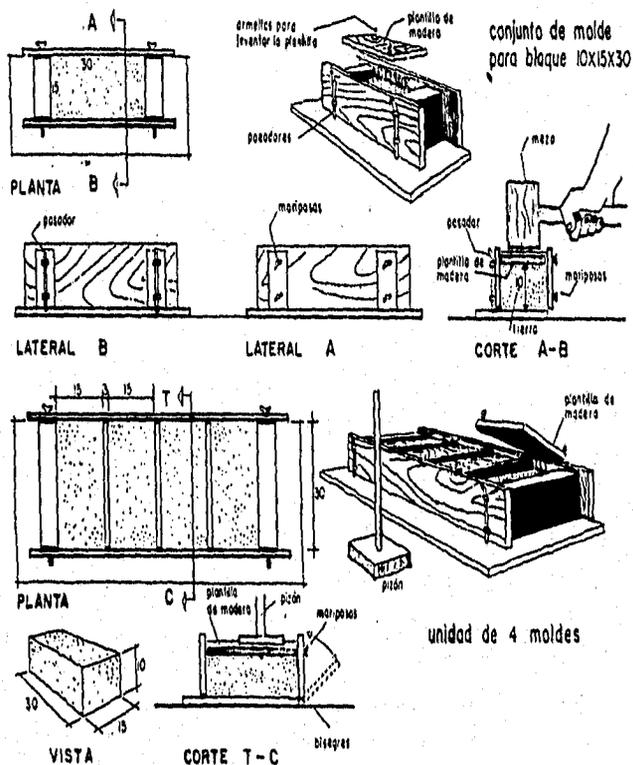


Fig. 11. Moldes para adobes de suelo-cemento elaborados a mano.

**Método mecánico.** Existen en el mercado máquinas para fabricar bloques (adobe), mediante la aplicación de compresión. Estas máquinas son accionadas manualmente o por motor y que producen bloques de tierra estabilizada a base de cemento, uniformes y de buena calidad. En nuestro país existe una máquina llamada ADOPREES, fabricada por la firma ITAL MEXICANA, S.A. de la cual a continuación se dan algunas especificaciones.

TABLA DE PRODUCCIÓN.

ADOPRES MODELO	PERSONAL DE PRODUCCIÓN	ELEMENTOS POR DESMOLDEO	RITMO MEDIO POR CICLO EN SEG.	PRODUCCIONES POR TURNO DE 8 HORAS (10X15X30CM)	PRODUCCION POR TURNO DE 8 HORAS (10X20X40CM)
1000	3	1	25-30	1150 - 1000	-
2000	3	1	13-18	2200 - 1800	1000 - 700
3000	3	2	16-20	3600 - 2880	1800 - 1200
5000	3	4	22-28	5200 - 4400	2500 - 2000
8000	3	4	14-16	8200 - 7200	4000 - 3000
12000	3	6	16-20	12400 - 9600	8000 - 4000

NOTA: Las producciones son indicativas en plantas trabajando al 100 % de su capacidad, elaborando adobloque de las dimensiones establecidas. Bajo requerimiento del cliente se puede modificar las dimensiones.

DATOS TÉCNICOS.

ADOPRES MODELO	H.P.	MEDIDAS EN MTS.	VOLUMEN EN M3.	PESO (SIN ACEITE EN KGS)	UNIDAD OLEODI NAMICA
1800	5	ALTO: 1.44	1.08	400	40 LTS.
2000	10	LARGO: 1.0 ANCHO: 0.70		405	45 LTS.
3600	20	ALTO: 1.44 LARGO: 1.40 ANCHO: 1.63	1.41	555	100 LT6.
5000	30	ALTO: 2.05	7.35	1500	150 LTS.
8000	30	LARGO: 2.20 ANCHO: 1.63		1510	200 LTS.
12000	40	ALTO: 2.05 LARGO: 2.20 ANCHO: 1.63	9.35	1700	500 LTS.

EQUIPO PERIFÉRICO.

TURBOMATIC	ELEVADOR	CRIBA	MOLINO DE RODILLOS	DOBIFICADOR DE AGUA	ROMPE TERRONES
TR - 60	-	3' X 6"	1	MOISTURE MATIC	20/30
TR - 110	-	3' X 6"	2	MOISTURE MATIC	20/30
TR - 180	-	3' X 6"	3	MOISTURE MATIC	20/30
TR - 220	8/16	4' X 10'	5	MOISTURE MATIC	40/60
TR - 330	-	4' X 10'	6	MOISTURE MATIC	40/60
TR - 550	8/16	5' X 10'	12	MOISTURE MATIC	40/60

Existen otras máquinas que se conocen con los nombres de Terracreto, Winget, Elison, Cinva-Ram. La Terracreto, manufacturada por la firma Landsborough Findlay Ltd. - Sudáfrica, es una prensa de balancín operada a mano, que ha sido desarrollada para la elaboración de este tipo de bloques.

La máquina Winget, es una prensa hidráulica movida por un motor de gasolina, cuenta con una mesa rotatoria, con tres posiciones de operación para llenado del molde, prensado y expulsión. Esta mesa gira manualmente de modo que el ritmo de producción es controlado por los operarios, la calidad de los adobes es muy buena debido a las presiones (70 a 80 kg/cm<sup>2</sup>), pero el ritmo de producción es el mismo que el de una máquina operada a mano. Esta máquina es de fabricación Inglesa.

La Elison Blockmaster es una máquina para la producción de bloques, operada manualmente, fabricada en Sudáfrica. Esta máquina usa moldes intercambiables, por tanto, puede producir bloques de 10x22x30 cm. o de 10x15x30 cm.

La máquina Cinva-Ram, fue diseñada y fabricada por el Inter-American Housing and Planning Center (CINVA) en Colombia, en 1952. Actualmente es fabricada en los E.U. por la Richmond Engineering Co., Virginia. Produce elementos de 9x14x29 cm. con un rendimiento de 240 piezas por jornada de 8 horas. Rendimiento demasiado bajo para una producción masiva, pero como ventajas, se tienen las de un bloque de muy buena calidad y duración, con medidas normalizadas y textura homogénea. Esta máquina también se vende en México.

#### **Diseño y construcción de muros.**

Las construcciones a base de suelo-cemento, están difundiendo ampliamente en el mundo, sobre todo en el medio rural; sin embargo, quizá la modestia del material, las pocas ventajas e interés que presenta su uso en zonas urbanas, y por la cantidad de elementos industrializados de más fácil adquisición que se tienen en el mercado, no se ha estudiado en forma sistemática y organizada, de tal forma que permita llegar a establecer normas reglamentadas para el cálculo y diseño de elementos estructurales construidos con tierra estabilizada en la República Mexicana

En trabajos desarrollados en la ONU. dentro de este campo, propone la especificación CP de la British Standard Code of Practice, que fija la relación de esbeltez para muros de suelo - cemento :

$$r = (h/t) \leq 18$$

donde:

r = relación de esbeltez.

h = altura efectiva.

t = espesor.

y para fines de diseño a la compresión se toma la gráfica (fig. 12) que relaciona el máximo esfuerzo de compresión admisible, la resistencia que proporcionan los bloques probados en húmedo en la posición que han de ocupar en el muro con la dosificación elegida y la relación de esbeltez.

Ejemplo: Si se tiene un muro con una altura efectiva de 2.40 m., que soporta una carga de 900 kg/m (incluye carga viva y muerta), si el f'c de los adobes es de 50 kg/cm<sup>2</sup>, calcular el espesor mínimo de los muros.

a) suponiendo t = 15 cm.

$$r = (h/t) = 240/15 = 16$$

b) superficie por metro lineal de muro:

$$1 \times 0.15 = 0.15 \text{ m}^2$$

c) esfuerzo distribuido uniformemente a causa de la carga del techo:

$$f_1 = 0.900/0.15 = 6.0 \text{ ton/m}^2 = 0.60 \text{ kg/cm}^2.$$

d) esfuerzo medio debido al peso propio del muro:

$$f_2 = (2.40 \times 1.00 \times 0.15 \times 1800)/1500 = 0.43 \text{ kg/cm}^2.$$

e) esfuerzo total distribuido:

$$f = 0.60 + 0.43 = 1.03 \text{ kg/cm}^2.$$

f) de la fig. 12 se ve que con una relación de esbeltez de 16 y un  $f_c = 50 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene un  $f_c = 1.25 \text{ kg/cm}^2$ , mayor que  $1.03 \text{ kg/cm}^2$ , que es el de trabajo; luego el espesor supuesto es correcto.

Si el esfuerzo permisible hubiera sido menor, se tendría que incrementar la resistencia del bloque enriqueciendo la mezcla; o bien, se aumenta el espesor del muro.

Los principios de construcción de muros de adobes de suelo-cemento son enteramente semejantes a los de otros materiales; únicamente se debe prestar mayor atención a los siguientes conceptos:

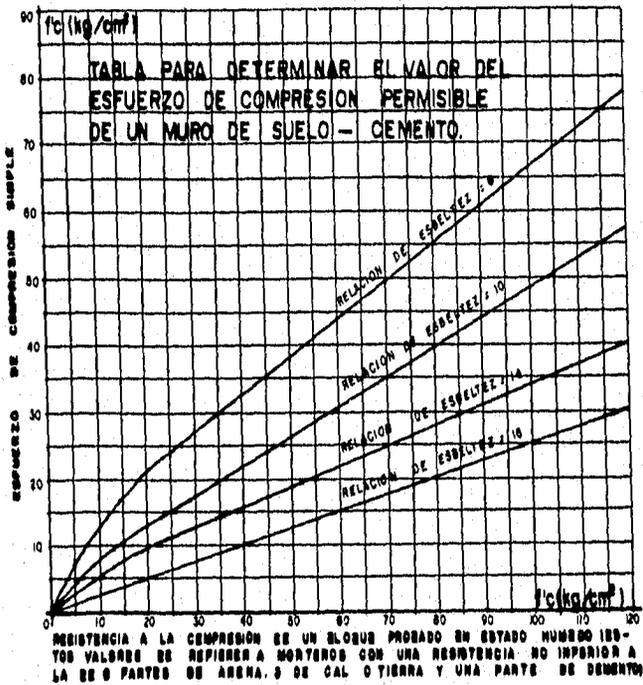


Fig. 12.

#### **a) Contracciones.**

Las contracciones que presentan los muros hechos con este material, pueden ocasionar problemas en cuanto a fisuras, siendo recomendable para reducir al mínimo estos efectos emplear una mezcla pobre para la liga entre adobes (bloques). Se recomienda, por experiencias obtenidas, una parte de cemento, dos de cal apagada y ocho o nueve partes de arena, con la que se puede obtener la suficiente flexibilidad en las juntas para absorber los movimientos que se pudieran presentar.

#### **b) Castillos.**

El concreto empleado en los castillos debe estudiarse, mediante ensayos, para lograr la adherencia adecuada con el suelo-cemento; ya que sus contracciones son diferentes, pudiéndose tener fisuras en las juntas.

Es recomendable, por razones económicas y por las contracciones, cuatrapear en esquinas los muros concurrentes, al igual los que llegan a tope. Si por causas de modulación la unión en "T" no es posible y se requiere junta a tope, hay que colocar grapas de liga entre los muros, así como traslapar el refuerzo longitudinal.

Donde queda el muro libre puede colocarse un castillo, o formar una pilastra, incrementando la sección del muro; proceso constructivo que durante muchos años se ha empleado con buenos resultados.

#### **c) Cerramientos.**

Para cerramientos puede emplearse concreto con las mismas características de los castillos, o bien piezas "U" hechas de suelo-cemento con un colado y armado interior. Si se requiere mayor sección, pueden colocarse más hiladas. Este proceso se ha realizado en una casa construida por el Instituto Nacional de Vivienda (INV) en plan experimental, observándose un comportamiento bastante aceptable.

#### **d) Cargas concentradas.**

Es necesario evitar en su totalidad las cargas concentradas, ya que los adobes sujetos a estas fuerzas se agrietan fácilmente. Se recomienda distribuirlos mediante placas metálicas o de madera.

#### **e) Bloques (adobes) bajo el nivel de terreno.**

La ONU propone que en los bloques que se encuentren a 30 cm. abajo del nivel de terreno, se aumente en un 50 % la cantidad de cemento, y que su resistencia media no sea inferior a  $28 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **f) Impermeabilización.**

Para impermeabilizar se puede seguir el procedimiento tradicional, que consiste en limpiar perfectamente la cara superior de la cadena de cimentación, aplicando sobre ésta una capa de asfalto a la temperatura necesaria para que tenga fluidez, colocando sobre ésta una tira de fieltro asfáltico, de un ancho igual a la cadena y que traslape longitudinalmente 10 cm. como mínimo, aplicándose nuevamente asfalto al cual se le cubre con gravilla, pudiéndose desplantar el muro encima.

<sup>c</sup> IMCYC, Fabricación de ladrillos con mezclas de suelo - cemento, México.

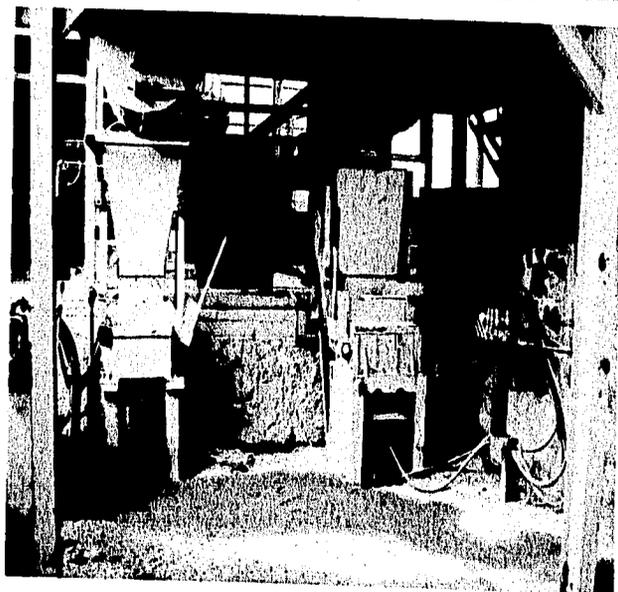
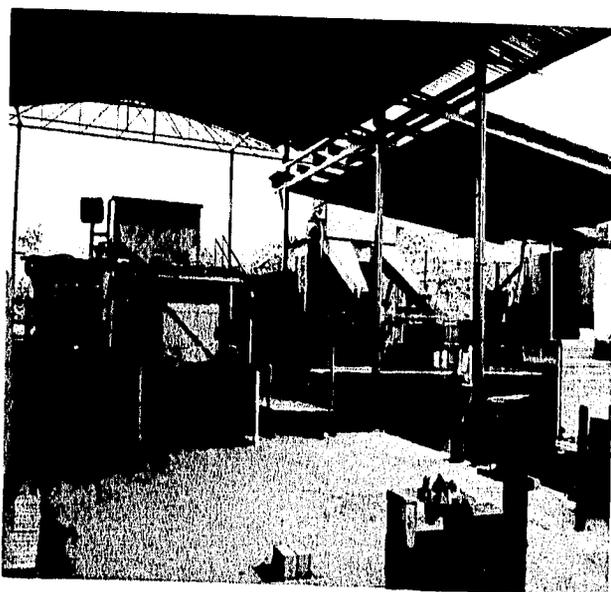
<sup>d</sup> Tercer Simposio CIB/RILEM, Bloque de tierra comprimida estabilizada, México 1989.

<sup>e</sup> IMCYC, Tierra, técnicas de construcción, México.

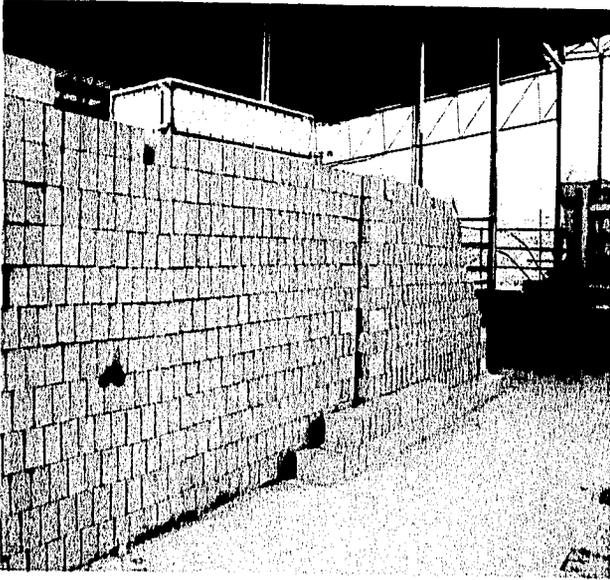
<sup>f</sup> Queipo de Alcalá Francisco, Técnica para la construcción de muros hechos con bloques de suelo-cemento, Revista IMCYC, México, Vol. 8, No. 47, noviembre - diciembre, 1970.

<sup>g</sup> Secretaría de Desarrollo Social, Alternativas en materiales para la construcción de la vivienda, México.

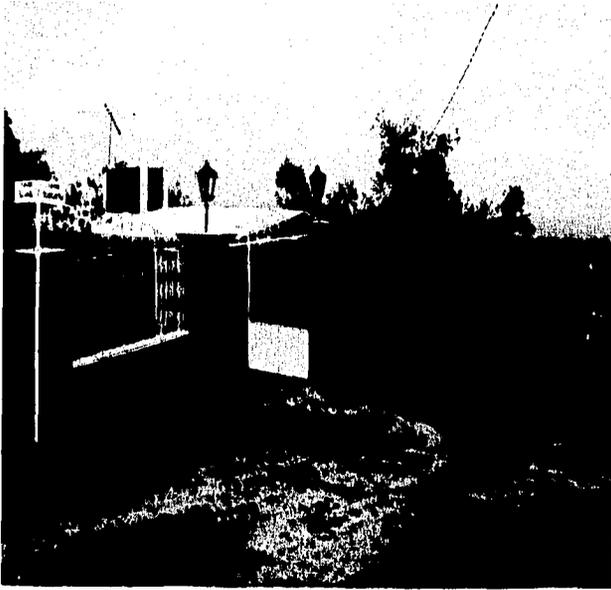
<sup>h</sup> Información proporcionada por la empresa ITAL - MEXICANA S.A., alta tecnología en maquinaria.



Planta de fabricación de adoba (suelo-cemento) comprimido .



Almacenamiento de adobe ,suelo cemento (terminado aparente y vibrado)



Construcción de adobe (suelo-cemento) mejorado y vibrado.

## **CAPITULO III.**

### **ESTRUCTURA DEL ADOBE.**

## ESTRUCTURA DEL ADOBE .

### Introducción.

Todos los Ingenieros conocen el cemento, el agua, el ladrillo cocido y la madera como material de construcción, ya que se estudian en todas las Universidades y escuelas técnicas. Se han analizado en detalle, sistemática y científicamente. En cuanto a la tierra, no es este el caso, ya que se acostumbra tratar este tema en forma muy superficial en aquellos casos donde se le estudia. Por lo tanto dentro de este tema como primer paso se tratará el material como si fuera de su contexto arquitectónico y se describirá su composición.

Un buen conocimiento de las ventajas e inconvenientes de los materiales, que permitirá un adecuado diseño evitando, de esta forma la degradación de los materiales y de las construcciones. Se busca demostrar que el adobe es un concreto de tierra, que puede analizarse y dominarse de la misma forma que el concreto. En ambos casos se tienen gujarros, grava, arena, limo y arcilla, en proporciones variables, según los diferentes porcentajes en la composición de los agregados.

Estudiando el material de esta manera, se ha podido determinar toda una serie de características que permite dominar el material. Tal como acontece con el concreto, se determinará:

La granulosis de su estructura.

La plasticidad del aglutinante o mortero.

Su densidad o compactibilidad.

Se han hecho pruebas de laboratorio sobre este material, comparando los resultados con los de otros laboratorios extranjeros. Se han analizado también muestras de construcción de varios siglos que se encuentran en muy buen estado, y que de hecho son las mejores pruebas de laboratorio.

Si técnicamente se puede construir en tierra cruda o en tierra estabilizada, exactamente como el concreto, no debe descuidarse la importancia del diseño, que debe respetar la exigencia de estos materiales en función de sus características específicas.

La durabilidad de diferentes mezclas:

- 1.- Se deben de fabricar una serie de muestras compuestas por diferentes mezclas que se someten al intemperismo, lluvia, viento, heladas, etc.
- 2.- Justo después del desmante de muestras, se constata que los granulados arena y grava no tiene cohesión.
- 3.- Se espera un tiempo después de someter las muestras a Intemperie para constatar que se obtienen resultados muy diferentes, dependiendo de la composición de las muestras.

#### *Criterios de selección de tierra.*

Para colados in situ, adobes y bloques prensados se han determinado una serie de pruebas de laboratorio como: granulometría, plasticidad y compactibilidad que permitan establecer, según una tierra dada y los análisis correspondientes, los criterios más convenientes.

De la misma forma que el concreto, se puede controlar este material de una manera sistemática y distinguir cuatro niveles de intervención:

#### *1.- Análisis de identificación de materiales básicos.*

El fin de los análisis es identificar el material básico: la tierra; los materiales de aportación: agua, estabilizantes y auxiliares; y verificar si estos tienen las cualidades requeridas para la fabricación de materiales de construcción de tierra. Las características así identificadas, permiten en la mayor parte de los casos, tener de antemano una idea muy clara del comportamiento del producto final.

A continuación se mencionan los análisis o pruebas de laboratorio que se le deben hacer a la tierra:

- 1.- Contenido de agua natural.
- 2.- Granulometría.
- 3.- Límite líquido.
- 4.- Límite de plasticidad.
- 5.- Índice de plasticidad
- 6.- Prueba Proctor.
- 7.- Contracción lineal.
- 8.- Dureza en estado seco.

- 9.- Cantidad de materias orgánicas.
- 10.- Peso volumétrico.

Existen otras pruebas que son opcionales, que a continuación se mencionan:

- a).- Identificación visual.
- b).- Coeficiente de uniformidad.
- c).- Límite de absorción.
- d).- Contenido de agua después del secado.
- e).- Volumen de masa y volumen de masa aparente.
- f).- Color, estado seco y húmedo.
- g).- Dureza en estado seco.
- h).- Disolución en estado seco.
- i).- Naturaleza de las materias orgánicas.
- j).- Análisis químico.

## 2.- Pruebas de adecuación.

Estas pruebas tienen como fin seleccionar un material de construcción válido y adecuado, a partir de los materiales de base analizados por medio de pruebas de identificación. Estas pruebas son las más importantes, ya que tienen por objeto seleccionar el material adecuado de la mezcla para construir con tierra de manera más adecuada:

- 1.- Granulometría.
- 2.- Límite líquido.
- 3.- Límite de plasticidad.
- 4.- Índice de plasticidad.
- 5.- Prueba proctor.
- 6.- Peso mínimo seco.
- 7.- Índice de vacíos.
- 8.- Contracción lineal.
- 9.- Contenido de agua.
- 10.- Grado de pulverización.
- 11.- Penetrometría.
- 12.- Resistencia a la compresión (seco)
- 13.- Resistencia a la flexión.
- 14.- Resistencia a la tracción.
- 15.- Resistencia al cizallamiento.
- 16.- Coeficiente de Poisson.
- 17.- Módulo de elasticidad (Young).

**18.- Expansión.**

- 19.- Reducción de volumen por secado
- 20.- Permeabilidad.
- 21.- Agrietamiento.
- 22.- Compatibilidad con morteros y adherentes.

**3.- Análisis de control.**

Estos análisis tienen por objeto verificar, durante la fase de producción, si las materias primas empleadas, están de acuerdo y son comparables con los análisis de adecuación y con los ensayos de verificación. Estos ensayos son los siguientes:

- 1.- Identificación visual.
- 2.- Granulometría.
- 3.- Coeficiente de uniformidad.
- 4.- Contenido de agua.
- 5.- Homogeneidad de la mezcla.
- 6.- Grado de pulverización.

**4.- Ensayos en la producción.**

Habiendo seleccionado los materiales para la fabricación del adobe, se deben realizar los ensayos físicos, durante la fase de producción, esto es para saber si cumplen con las normas descritas por el laboratorio. Los ensayos posteriores a la producción del adobe o de tierra mejorada son:

- 1.- Color en estado seco y húmedo.
- 2.- Homogeneidad de la materia.
- 3.- Compactación.
- 4.- Contenido y tipo de estabilizante.
- 5.- Peso húmedo.
- 6.- Peso seco.
- 7.- Dimensiones.
- 8.- Acabados de superficies.
- 9.- Contracción por secado.
- 10.- Resistencia a la compresión.
- 11.- Resistencia a la flexión.

La UNAM ha elaborado pruebas que permiten conocer, en forma rápida y sencilla las características de una tierra determinadas.

#### *Pruebas rápidas y ensayos sensoriales.*

En ciertos casos particulares, un buen conocimiento del material (tierra) puede permitir que se eviten las numerosas pruebas efectuadas en el laboratorio. En términos generales y con ayuda de ciertas pruebas rápidas, como tocar o de lavarse las manos permite determinar con precisión los suelos aptos para la construcción con tierra, técnicas que predominan en el conocimiento popular. A estas pruebas se les llama ENSAYOS SENSORIALES.

Los suelos pueden clasificarse en: arenosos, limosos, y arcillosos, dependiendo del grupo de partículas que predominan en ellos. Los suelos que contienen arena, limo y arcilla, en ciertas proporciones, se llaman suelos francos. Los suelos intermedios se llaman, por ejemplo, franco-arcilloso, franco-arenoso, o franco-limoso.

#### *Ensayos sensoriales*

##### **Olor.**

Al oler el suelo que se acaba de extraer puede captarse la siguiente sensación:

a) Si huele a moho, es que se trata probablemente de un suelo orgánico. Este olor se amplifica cuando se humedece o se calienta la tierra en cuestión.

##### **Mordedura.**

Si se toma una pizca de tierra y se aplasta con los dientes, podremos experimentar y definir:

a) Si rechina desagradablemente entre los dientes, el suelo es arenoso.

b) Si rechina pero no es particularmente desagradable, el suelo es limoso.

c) Si se tiene una sensación lisa o harinosa entre los dientes y si una pastilla de tierra seca se pega fuertemente si se le aplica la lengua (se agarra bruscamente a la misma), se trata de un suelo arcilloso

## Vista.

A través de la vista podemos tener una idea de la proporción y del grueso de las partículas más voluminosas y de aquellas más finas.

Las partículas más finas visibles al ojo, son las arenas de 0.08 mm. Los granos de limo y arcilla son invisibles. Con la vista también se puede determinar :

- Si es de color castaño a oscuro o verde olivo a negro, es suelo orgánico.
- Si es de color azul marino , café o negruzco, son señales de que el suelo contiene materias orgánicas activas.
- El color gris claro del suelo define que pueden existir limos y/o que contienen gran cantidad de carbonato de calcio por lo que son de débil cohesión y se corren fácilmente.
- Grisáceo a blanco son suelos calcáreos de yeso o de caliche.
- Si son de color amarillo ocre, son suelos que contienen hidrato de carbonato.
- Los colores claros y brillantes caracterizan a suelos inorgánicos.

El color del material varía de acuerdo con la humedad.

### *Ensayos con fragmentos.*

Si al tomar una bolita de tierra ligeramente húmeda y se corta en dos con un cuchillo o espátula:

- El suelo es limoso, si el cuchillo carece de brillo.
- Si la superficie del cuchillo es brillante, el suelo es arenoso.
- Si la espátula tiene adherida tierra al sacarla, el suelo es muy arcilloso.

De los ensayos de laboratorio que se recomiendan hacer a las tierras para la elaboración de adobes, únicamente se hicieron algunos como: Análisis granulométrico, Límites de Consistencia ( Límite Líquido, Límite Plástico, Índice de Plasticidad), Contracción lineal, prueba Proctor para determinar el peso

específico seco máximo y humedad óptima. Las demás pruebas no se llevaron a cabo por no contar con el equipo necesario dentro del laboratorio de Ing. Civil de la escuela.

A continuación se menciona el desarrollo de cada uno de los ensayos que se llevaron a cabo, así como, también los resultados obtenidos

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen según su composición, la granulometría puede determinarse por medio de mallas, por el método del hidrómetro, o bien, combinando ambos.

Los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo. Tal criterio fue usado en Mecánica de suelos desde un principio e incluso antes de la etapa moderna de esta ciencia. Originalmente, el suelo se dividía únicamente en tres fracciones. Posteriormente con el advenimiento de la técnica del cribado, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes.

Algunas clasificaciones granulométricas de los suelos según sus tamaños, son las siguientes:

a). *Clasificación Internacional.*

Basada en otra desarrollada en Suecia.

Tamaño en mm.

2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002
Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	Ultra - Arcilla (coloides)

b). *Clasificación M.I.T.*

Fue propuesta por G. Gilboy y adoptada por el Massachusetts Institute of Technology.

Tamaño en mm.

ARENA			LIMO			ARCILLA		
2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002
Gruesa	Media	Fina	Grueso	Medio	Fino	Gruesa	Media	Fina (Coloides)

c) La siguiente clasificación, utilizada a partir de 1936 en Alemania, está basada en una proposición de Kopecky.

MATERIAL	CARACTERISTICA	TAMAÑO (mm)
Boleo	----	Mayor de 70 mm
Grava	Gruesa	30 a 70
	media	5 a 30
	finas	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Polvo	Grueso	0.05 a 0.1
	Fino	0.02 a 0.05
Limo	Grueso	0.006 a 0.02
	Fino	0.002 a 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra - Arcilla	----	0.00002 a 0.0002

Abajo de 0.00002 mm las partículas constituyen disoluciones verdaderas y ya no se depositan. Con estas clasificaciones señaladas se considera que son suficientes para dar idea del mecanismo utilizado en su elaboración.

El análisis mecánico se concreta a segregar el suelo por medio de una serie de mallas, que definen el tamaño de la partícula.

El método del hidrómetro se basa en la aplicación de la ley de Stokes a una esfera que cae libremente en un líquido.

El análisis combinado o total, consiste en la aplicación de los métodos antes citados, a las porciones gruesa y fina de un mismo material; este es el caso que comúnmente se presenta en las tierras que se emplean en la construcción de presas de tierra.

En nuestro caso la granulometría se hará por el método mecánico por medio de mallas. Este análisis se hace con la muestra íntegra, cabe mencionar que la prueba se hace con la muestra totalmente seca.

#### Equipo:

- a) Juego de mallas: N° 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200, charola y tapa.
- b) Balanza de 0.1 gr. de aproximación.
- c) horno a temperatura constante de 110 °C.
- d) Cepillo de iatón.

#### Procedimiento.

##### A) Material mayor que la malla N° 4 (4.69 mm)

1. El material retenido en la malla N° 4, se pasa a través de las mallas de 3", 2", 1 1/2", 3/4", 1/2", 3/8", N°4 y fondo colocándolas en este orden y agitando, el juego con movimientos horizontales y verticales combinados.

2. Se pesa la fracción retenida en cada malla, y se anota en la hoja de registro de análisis granulométrico.

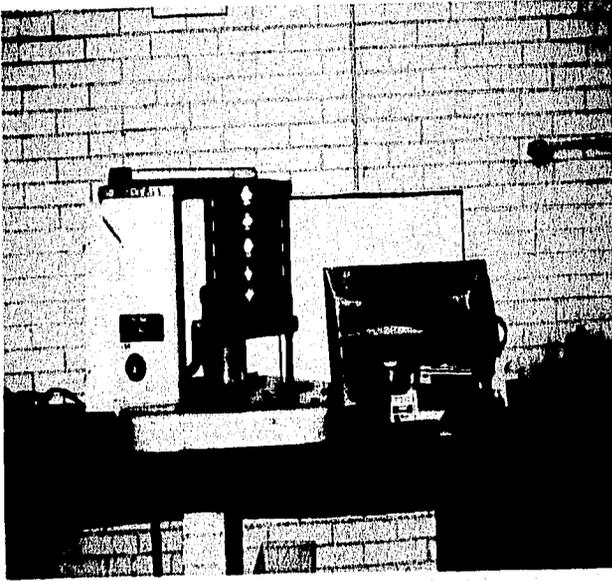
##### B) Material menor que la malla N° 4.

En este análisis la cantidad de suelo requerido depende de los finos que se contenga.

Suelos arcillosos y limosos	500 gr.
Suelos arenosos	500 a 1000 gr.

1.- Se pesa la cantidad requerida de muestra estando seca para hacer la prueba.

2.- Se desmorona cuidadosamente los grumos de material con un trozo cuadrado de madera para evitar romper los granos.



Equipo para realizar prueba de análisis granulométrico.

3.- Se coloca el juego de mallas en orden progresivo de la malla N°. 4 a la 200 (0.074 mm) y al final la charola, vaciando el material previamente pesado, en la malla N°. 4; en seguida se coloca la tapa.

4. Se agita todo el juego de mallas horizontalmente, con golpes secos de vez en cuando. El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos que contenga la muestra, pero por lo general, no debe ser menor de 15 minutos.

5. Se quita la tapa y se separa la malla N°. 4, vaciando la porción sobre algo limpio (papel), las partículas que se tienen entre los hilos de la malla, no se deben forzar para que pasen a través de ella; se debe invertir ésta y con la ayuda de una brocha o cepillo de latón se desprenden las partículas para después agregarse a los depositados en el papel limpio.

6. En forma similar se procede con las demás mallas.

7. Se pesan las porciones retenidas en cada malla y en la charola del fondo, anotando las cantidades en el registro de cálculo.

Se debe conservar cada porción de la muestra en sus respectivos papeles, hasta verificar que la suma de los pesos parciales es igual al peso inicial no segregado, con una tolerancia de 0.5% por pérdidas de operación. Si el error excede del 0.5% se debe volver a pesar cada fracción. Si el error es menor, se le atribuye al peso de la fracción más grande.

8. Se calculan los porcentajes del material retenido en cada malla, se anotan estos en el registro, columna "% parcial retenido".

9.- Se determinan los porcentajes acumulados del material que ha pasado por cada malla, restando de 100% el porcentaje parcial retenido en la segunda malla y así sucesivamente.

10. Al efectuar el análisis por mallas grandes se conoce el porcentaje del material que pasa la malla N°. 4 respecto del total. Multiplicando este valor por cada uno de los porcentajes parciales, acumulativos menores que la malla N°.4., se obtienen los porcentajes con respecto a la muestra total

11. Con los valores obtenidos en las columnas de "% acumulativo que pasa" se construye una gráfica en papel semilogarítmico, y con esto se obtiene la curva de granulometría del material.

UNAM CAMPUS ARAGON.

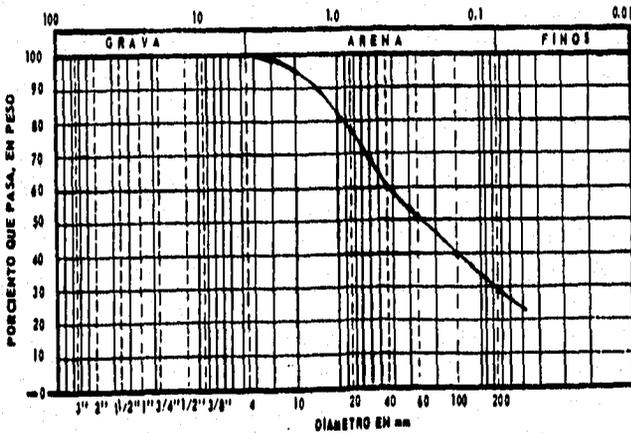
ANALISIS GRANULOMETRICO.

Procedencia: ENEP ARAGON.  
 Profundidad: 1.80 m.  
 Fecha: 6-marzo-99.  
 Calculó: Ricardo Heres Cruz.  
 Peso total de muestra: 500 gr.

Banco: PCA.  
 Muestra N°: 1  
 Revisó: M. en I. Claudio C. Merrfield Castro.

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°. 4.

Malla N°.	Abertura (mm).	Peso parcial suelo retenido, (gr)	Porcentaje parcial retenido (%)	Peso acumulado (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)
4	4.760	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2.000	20.20	4.04	20.20	4.04
20	0.840	92.00	18.40	112.20	22.44
40	0.420	85.90	17.18	199.10	39.62
60	0.250	48.50	9.70	248.60	49.32
100	0.149	55.80	11.16	302.40	60.48
200	0.074	48.40	9.68	350.80	70.16
Charola.	----	149.20	29.84	500.00	500.00



$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}} =$$

CLASIFICACION S.U.C.S.:

UNAM CAMPUS ARAGON.

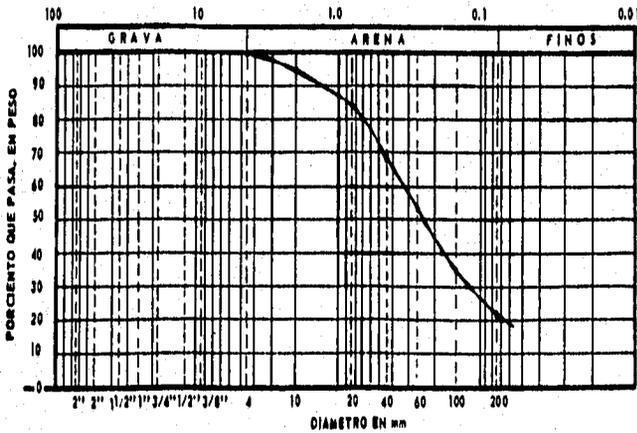
ANALISIS GRANULOMETRICO.

Procedencia: Tlayecapan, Morelos.  
 Profundidad: 0.50 - 1.0 mts.  
 Fecha: 7 - marzo - 96.  
 Cálculo: Ricardo Heres Cruz.  
 Peso de muestra: 400 gr.

Banco:  
 Muestra N°: 1.  
 Reviso: M. en I. Claudio C. Merrifield Castro.

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4.

Malla N°.	Abertura (mm).	Peso parcial suelo retenido, (gr)	Porcentaje parcial retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%).
4	4.750	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2.000	16.60	4.20	16.60	4.20
20	0.840	45.90	11.40	62.40	15.80
40	0.420	62.60	15.70	125.20	31.30
80	0.250	64.10	16.03	169.30	47.33
100	0.149	70.60	17.65	259.90	64.98
200	0.074	62.00	13.00	311.90	77.98
Charola.	---	88.10	22.025	400.00	100.00



$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} =$$

CLASIFICACION S.U.C.S.:

UNAM CAMPUS ARAGON.

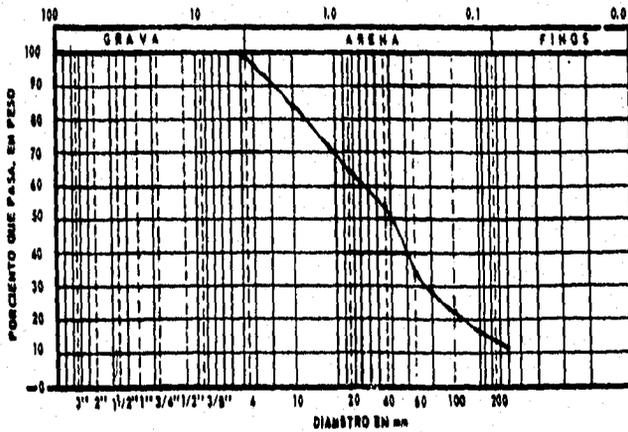
ANALISIS GRANULOMETRICO.

Procedencia: Totolapa, Morelos.  
 Profundidad: 0.0 a 1.0 mts.  
 Fecha: 8 - marzo - 96.  
 Calculó: Ricardo Heras Cruz.  
 Peso muestra: 500 gr.

Banco:  
 Muestra N°: 1  
 Reviso: M. en I. Claudio C. Memfield Castro.

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°. 4.

Malla N°.	Abertura (mm).	Peso parcial suelo retenido, (gr)	Porcentaje parcial retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
4	4.750	5.00	1.00	5.00	1.00
10	2.000	76.40	15.28	81.40	18.28
20	0.840	90.95	18.00	172.35	34.47
40	0.420	98.10	19.62	270.45	54.09
60	0.250	62.30	12.46	332.75	66.55
100	0.149	53.25	11.65	388.00	77.60
200	0.074	40.30	8.06	428.30	85.66
Charola.	---	71.70	14.34	500.00	100.00



$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^3}{D_{10} D_{60}} =$$

CLASIFICACION S.U.C.S.:

## LIMITES DE CONSISTENCIA.

### Introducción.

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, dependen en gran parte de la humedad. El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante de comportamientos diferentes del material. Cuando el contenido de agua es muy elevado, en realidad se tiene una suspensión muy concentrada, sin resistencia estática al esfuerzo cortante; al perder agua va aumentando esa resistencia hasta alcanzar un estado plástico en que al material es fácilmente moldeable; si el secado continúa, el suelo llega a adquirir las características de un sólido, pudiendo resistir esfuerzos de compresión y tensión considerables.

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por A. Atterberg.

- 1.- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- 2.- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.- Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
- 4.- Estado semisólido en que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- 5.- Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el suelo.

Los anteriores estados son fases generales por las que pasa un suelo al irse secando y no existen criterios estrictos para distinguir sus fronteras. El establecimiento de éstas ha de hacerse en forma puramente convencional.

Arbitrariamente, A. Atterberg marco las fronteras de los estados en que pueden presentarse los materiales granulares muy finos, fijando los límites siguientes: Líquido, plástico y de contracción.

El límite líquido es la frontera entre los estados líquido y plástico; la frontera entre los estados plástico y semisólido se le llama límite plástico y la frontera que separa al estado semisólido del sólido se le llama límite de contracción.

El límite líquido (Ll) lo fija el contenido de agua (expresado en porcentaje del peso seco), que debe tener un suelo remoldeado para que una muestra del mismo, en que se haya practicado una ranura de dimensiones estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos, se cierre sin resbalar en su apoyo.

El límite plástico (Lp) lo fija el contenido de agua con el que comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo, de aproximadamente 3.2 mm. de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa, no absorbente que puede ser una placa de vidrio.

El límite de contracción (Lc) es el contenido de agua que saturaría a un suelo contraído por secamiento de evaporación.

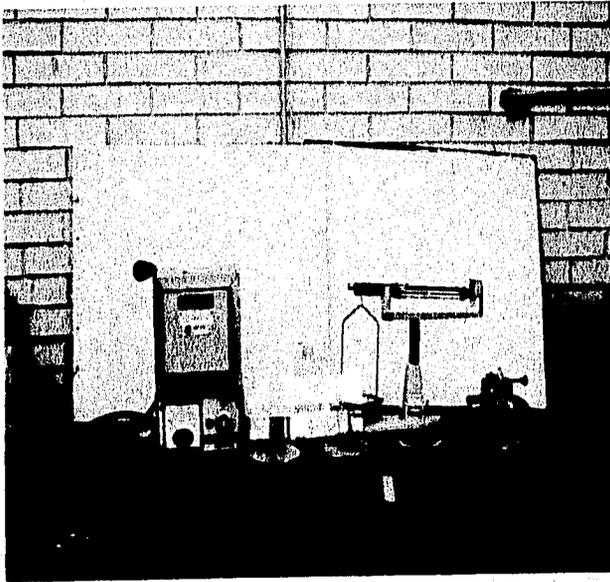
La diferencia entre el límite líquido y límite plástico se le llama índice de plasticidad y es una medida de la plasticidad del suelo. Se define el índice de contracción por la diferencia entre los límites plástico y de contracción.

#### **DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO.**

Las pruebas de consistencia se hacen solamente con la muestra de suelo que pasa por la malla N°. 40 (0.420 mm)

Procedimiento.

- 1.- Se toma una porción de la muestra de suelo que paso por la malla No. 40.
- 2.- Se agrega agua y con una espátula de cuchillo, se mezcla perfectamente hasta obtener una pasta suave y espesa.
- 3.- Del material que se preparó se pone en la copa del aparato (copa de Casagrande) una cantidad de 50 gr. aproximadamente, se vuelve a mezclar hasta que la muestra quede homogénea; con una espátula se dispone el material de modo que, siendo la superficie superior plana, su espesor máximo sea del orden de 1 cm.
- 4.- Se coloca la punta del ranurador en la parte superior y al centro de la muestra, colocando la herramienta perpendicular a la superficie de la copa.



Equipo para realizar ensayos de Límites de consistencia y Contracción lineal.

5.- Se hace una ranura en el centro de la muestra, inclinando el ranurador para que permanezca perpendicular a la superficie inferior de la copa.

Para arcillas arenosas, lomos de poca plasticidad y algunos suelos orgánicos, el ranurador no puede correr a través de la pasta sin rasgar los bordes de la ranura. Para estos suelos se corta la ranura con una espátula y se verifican las dimensiones con el ranurador plano.

6.- Después de haber hecho la ranura, se da vuelta a la manija uniformemente a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes hasta que se cierra el fondo de la ranura en una distancia de 1 cm.

7.- Con la espátula se vuelve a mezclar el material y se repiten las operaciones indicadas en 2,3,4,5 y 6. Si el número de golpes coincide con la determinación anterior o su diferencia es de 1 golpe, se anota el resultado en la hoja de registro. En caso de que la diferencia sea mayor de 1 golpe, se repite el proceso hasta lograr una coincidencia de dos intentos sucesivos.

8.- Se pesan aproximadamente 30 gr. de la porción de la muestra que está próxima a la ranura en un vidrio de reloj, en una balanza de 0.01 gr. de aproximación anotando el peso de la tara + muestra húmeda en la hoja de registro.

9.- Se repiten los pasos del 3 al 10, para ir variando la consistencia del material. Es recomendable contar con cuatro determinaciones procurando que estén comprendidas entre 5 y 40 golpes (2 determinaciones abajo de 25 golpes y 2 arriba de 25 golpes).

10.- Todos los vidrios de reloj conteniendo las muestras, se introducen en el horno a una temperatura de 110 grados centígrados, durante 24 hrs. mínimo, para que se sequen. Una vez secas se sacan del horno, se dejan enfriar, después se pesan y se anota el peso de tara + muestra seca.

11.- Se llevan a cabo los pasos necesarios para obtener la cantidad de agua necesario en %, correspondiente a cada número de golpes y se construye la curva número de golpes contra humedad natural en %, en rayado semilogarítmico.

El límite líquido se encuentra donde el contenido de agua en la curva corresponda a 25 golpes (L).

Un Método optativo para determinar el límite líquido con un solo punto (ASTM D423-59T) dentro de cierto rango de número de golpes (de 20 a 30 únicamente) es el de emplear la fórmula empírica siguiente:

$$Ll = wn \left( \frac{N}{25} \right)^{0.12}$$

Donde:

Ll: Límite líquido.

wn: Humedad con N número de golpes en %.

N: Número de golpes.

Si al comparar el valor obtenido con la gráfica con el de la ecuación, debe de ser parecido. El empleo de esta fórmula se recomienda siempre y cuando se tenga mucho cuidado al hacer la prueba.

### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO.

De la muestra que se tomo para hacer el límite plástico se toma una porción, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad óptima.

1.- Se rueda con la mano sobre una superficie plana, limpia y lisa no absorbente como una placa de vidrio, hasta formar un cilindro de 3.2 mm. de diámetro y de 15 cm. aproximadamente de largo.

2.- Se amasa la tira y se vuelve a rodar, repitiendo la operación tantas veces como se necesite para reducir, gradualmente, la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empiece a endurecer.

3.- El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se empieza a agrietar. Se ponen los pedazos en un vidrio de reloj.

4.- Se pesa en la balanza y se anota el valor en la columna tara + muestra húmeda; así mismo se anota el número de tara y su peso en la columna respectiva.

5.- Se introducen las muestras tomadas en el horno durante 24 hrs. mínimo para que se sequen, se sacan y se dejan enfriar, se pesan, anotando el valor de tara + muestra seca.

5.- Con los datos anteriores se calcula el contenido de agua en %. Si la diferencia de los porcentajes no es mayor de 2 se promedian, y en caso contrario se repite la determinación.

La fórmula para determinar el contenido de agua es:

$$w(\%) = (Ww/Ws) \times 100$$

Donde:

$Ww = W_H - W_s$

$w(\%)$  = contenido de agua en porcentaje.

$Ww$  = peso de agua.

$W_s$  = peso seco de la muestra.

$W_H$  = peso de la muestra húmeda.

A continuación se dan los cálculos y resultados de muestras de tierra de diferentes bancos.

**UNAM CAMPUS ARAGON.**

**LIMITES DE CONSISTENCIA Y HUMEDAD NATURAL.**

Obra: Fábrica de adobes (ADOVAL, S.A.) Localización: Totolapa, Morelos.  
 Sondeo N°: Muestra N°: 1  
 Descripción: Tierra color amarilla. Ensaye N°: 1  
 Profundidad: 0.30 - 1.50 m.  
 Fecha: 21 - feb. - 96. Opero: Ricardo Heras Cruz  
 Cálculo: Ricardo Heras Cruz Reviso: M. en I. Claudio C. Merrifield Castro.

**LIMITE LIQUIDO.**

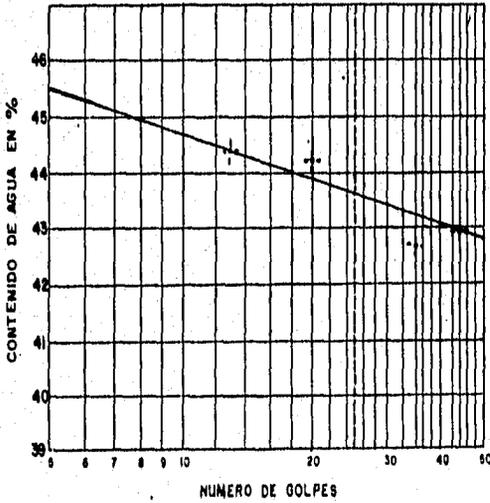
Prueba N°.	Cápsula N°.	Número de golpes.	Peso cápsula + suelo húmedo. gr.	Peso cápsula + suelo seco. gr.	Peso del agua gr.	Peso de la cápsula gr.	Peso del suelo seco gr.	Contenido de agua (w) %.
1	9	13	86.30	78.00	10.30	52.80	23.20	44.39
2	10	20	90.045	78.70	11.345	53.05	25.85	44.23
3	11	36	93.7	82.30	11.40	55.60	28.70	42.89
4	12	46	97.2	83.90	13.30	52.95	30.95	42.97

**LIMITE PLASTICO.**

1	13	---	60.90	59.20	1.70	55.40	3.80	44.74
2	14	---	83.80	60.60	3.00	62.60	8.20	36.59

**HUMEDAD NATURAL.**

1	B	---	376	313.70	62.30	85.00	228.7	27.24
---	---	-----	-----	--------	-------	-------	-------	-------



w = 27.24 %

LI = 43.60 %

Lp = 40.665 %

lp = 2.953 %

Clasif. SUCS:

CONTRACCION LINEAL.

LI = 10.00 cm.

Lf = 9.40 cm.

CL = 6.00 %

UNAM CAMPUS ARAGON.

LIMITES DE CONSISTENCIA Y HUMEDAD NATURAL.

Obra: Banco de materiales.

Localización: Tlayacapan, Morelos.

Sondeo N°:

Muestra N°: 1

Descripción: Tierra color amarilla.

Ensayo N°: 1

Profundidad: 0.50 - 1.00 m.

Opero: Ricardo Heras Cruz

Fecha: 22 - feb. - 98.

Reviso: M. en I. Claudio C. Merrifield Castro.

Calculó: Ricardo Heras Cruz

LIMITE LIQUIDO.

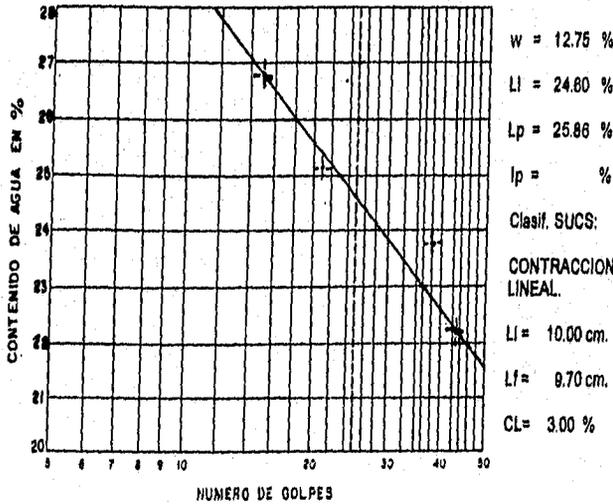
Prueba N°.	Cápsula N°.	Número de golpes.	Peso cápsula + suelo húmedo. gr.	Peso cápsula + suelo seco. gr.	Peso del agua gr.	Peso de la cápsula gr.	Peso del suelo seco gr.	Contenido de agua (w) %.
1	1	15	89.80	82.00	7.80	53.00	29.00	28.89
2	2	21	79.80	74.30	5.30	53.20	21.10	25.12
3	3	43	66.80	64.20	2.40	53.40	10.80	22.22
4	4	38	85.90	80.00	5.90	55.20	24.80	23.79

LIMITE PLASTICO.

1	6	---	85.20	83.00	2.20	53.20	9.80	22.45
2	6	---	83.40	81.60	1.80	55.45	8.15	29.27

HUMEDAD NATURAL.

1	A	---	377.55	344.46	33.10	84.80	259.55	12.75
---	---	-----	--------	--------	-------	-------	--------	-------



**UNAM CAMPUS ARAGON.**

**LIMITES DE CONSISTENCIA Y HUMEDAD NATURAL.**

Obra: PCA  
 Sondeo N°: 1  
 Descripción: Arcilla color negra.  
 Profundidad: 1.80 m.  
 Fecha: 4 - marzo - 96  
 Calculó: Ricardo Heras Cruz

Localización: ENEP ARAGON.  
 Muestra N°: 1  
 Ensayo N°:  
 Opero: Ricardo Heras Cruz  
 Revisó: M. en I. Claudio C. Merrifield Castro.

**LIMITE LIQUIDO.**

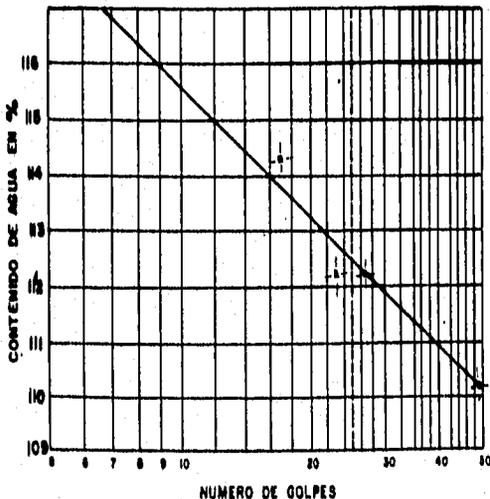
Prueba N°.	Cápsula N°.	Número de golpes.	Peso cápsula + suelo húmedo. gr.	Peso cápsula + suelo seco. gr.	Peso del agua gr.	Peso de la cápsula gr.	Peso del suelo seco gr.	Contenido de agua (w) %.
1	1	49	35.45	30.80	4.65	26.20	4.40	110.23
2	4	27	101.73	86.70	3.03	86.00	2.70	112.22
3	3	23	84.30	87.75	16.85	83.00	14.75	112.20
4	6	17	103.07	86.30	3.77	86.00	3.30	114.24

**LIMITE PLASTICO.**

1	5	---	61.40	56.35	3.05	53.20	5.15	59.23
2	7	---	63.00	60.01	2.99	55.45	4.56	65.67
3	14	---	61.00	57.85	3.35	52.80	5.05	66.34

**HUMEDAD NATURAL.**

1	7	---	65.00	71.00	24.00	52.90	18.1	132.60
2	6	---	108.80	80.30	28.50	55.40	24.90	114.53



w = 123.53 %

L<sub>i</sub> = 112.60 %

L<sub>p</sub> = 63.71 %

I<sub>p</sub> = 48.9 %

Clasif. SUCS:

CONTRACCION LINEAL.

L<sub>i</sub> = 10.00 cm.

L<sub>f</sub> = 7.70 cm.

CL = 23.00 %

## PRUEBA DE CONTRACCION LINEAL.

La prueba de contracción lineal, es también una medida de la plasticidad de la porción de los materiales que pasa la malla N°. 4. En este caso, no se obtiene una humedad sino una relación de longitudes. El material con humedad correspondiente al límite líquido, se coloca en un molde de dimensiones 2x2x10 cm y se introduce en un horno a una temperatura de 110 °C, hasta un peso constante, periodo durante el cual sufre una disminución de longitud, de acuerdo a sus características. El porcentaje de acortamiento sufrido con respecto a la longitud inicial, es la contracción lineal que se calcula de la siguiente manera:

$$C.L = ((L_i - L_f)/L_i) \times 100$$

donde:

- C.L. = Contracción Lineal en porcentaje.
- L<sub>i</sub> = Longitud inicial de la muestra.
- L<sub>f</sub> = Longitud final de la muestra.

*Si la mezcla que se colocó dentro del molde se contrae más del 10% de su longitud, no es adecuada para ser usada en la construcción.*

Esta prueba tiene ventajas, si se compara con los límites de Atterberg como son:

- a) Se necesita un solo parámetro.
- b) La variabilidad es menor que la del límite plástico y por tanto, que la índice plástico.
- c) Constituye una medida más exacta de la plasticidad y puede pensarse que es un vernier para los límites de consistencia.

Al utilizarse la contracción lineal de materiales de buena calidad, se pueden rechazar o aceptar con mayor precisión.

Se ha encontrado una correlación del índice plástico y la contracción lineal en la cual, aquella es del doble al triple que ésta; dicha ambigüedad hace que al utilizar solo los límites de Atterberg en materiales de baja plasticidad, se pueden aceptar materiales de mala calidad o rechazar los utilizables.

NOTA: Los cálculos de esta prueba se realizaron en conjunto con los límites de consistencia, por tanto, aparecen en la hoja de cálculo de estos.

## CONTENIDO DE AGUA.

Se toma un poco de muestra aproximadamente 200 grs. en estado húmedo, se pesa y se anota el peso de tara + muestra húmeda, se introduce en el horno a una temperatura constante de 110 grados centígrados, durante 24 hrs. aproximadamente. Posteriormente se retira, se deja enfriar, y se anota el peso de tara + muestra seca. El contenido de agua natural de la muestra está dado el porcentaje y se calcula con la siguiente expresión:

$$w(\%) = (Ww/Ws) \times 100$$

Donde:

- w(%) = contenido de agua natural en porcentaje.
- Ww = peso del agua de la muestra (grs).
- Ws = peso seco de la muestra (grs).

NOTA: los cálculos para determinar el contenido natural de agua se elaboraron en conjunto con los límites de consistencia, por tanto aparecen en la hoja de cálculo de estos.

## COMPACTACION. PRUEBA PROCTOR. (DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA.)

Se entiende por compactación todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material granular, en general es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no solo depende de las características del dispositivo que se usó para compactarlo, sino fundamentalmente de la humedad que tiene el material. Si las partículas están secas, fricción intergranular opone una resistencia mayor al desplazamiento relativo entre ellas, que si se encuentran lubricadas por una película de agua; por el contrario si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso. Esto último es cierto en suelos que tienen un alto porcentaje de finos y no en las arenas gruesas

y gravas. Por tanto, dado un proceso de compactación, para cada material existe un contenido de agua con el que obtiene el máximo peso volumétrico.

#### Equipo:

- Cilindro proctor de compactación de 10.2 cm. de diámetro interior y 12.3 cm de altura.
- Extensión del cilindro de igual diámetro y 6.5 cm. de altura.
- Guía de lámina galvanizada de 46 cm. de longitud.
- Base estándar para apoyar el cilindro.
- Charola de lámina galvanizada.
- Espátula y enrasador.
- Pieza prismática de madera de 20 x 5 x 5 cm., para desmoronar terrones
- Horno a temperatura constante de 110 grados centígrados.
- Cucharón de lámina galvanizada.
- Balanza de 0.1 grs. de sensibilidad.
- Balanza de 20 kg de capacidad, con 5 grs. de sensibilidad.

#### Procedimiento.

1. Del banco de material se toma una muestra, que posteriormente se vacía en una charole y se separa la grava con la mano o con la ayuda de una malla. Los grumos de tierra se desmoronan con un piñón y el material se pasa por la malla No. 4.
- 2.- De esta muestra se toman aproximadamente 4.0 kg. se coloca en una charola y se deja secar al aire en caso de que esté muy húmeda.
- 3.- Se esparce agua en cantidad tal que la humedad resulte un poco menor del 10% y si el material es arenoso es conveniente ponerle una humedad menor. Esta operación también puede efectuarse con un atomizador. Una forma práctica de

un poco de muestra entre las manos y cerrando esta; si el grumo al detenerlo entre los dedos por sus extremos no se deshace, a partir de ahí se empieza la prueba. Al agregar agua se mezcla perfectamente, tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.

4.- Usando el cucharón, se vacía en el cilindro proctor, previamente armado con su extensión, material suficiente para obtener una capa floja de unos 8 cm. de espesor.

5.- Esta capa se compacta con 25 golpes del pisón, procurando repartirlos en toda su superficie y usando la guía para que la altura de caída sea la misma. Los golpes de pisón se dan levantando éste hasta el nivel superior de la guía y dejándolo caer libremente.

6.- Se vuelve a vaciar material en el cilindro para tener una segunda capa que, agregada a la primera, dé una altura total de unos 11 O 12 cm., compactandola del mismo modo que la primera.

7.- De igual forma, se procede con la tercera capa, procurando que una vez compactado el material, la superficie esté 1 O 2 cm., arriba del ensamble en la extensión.

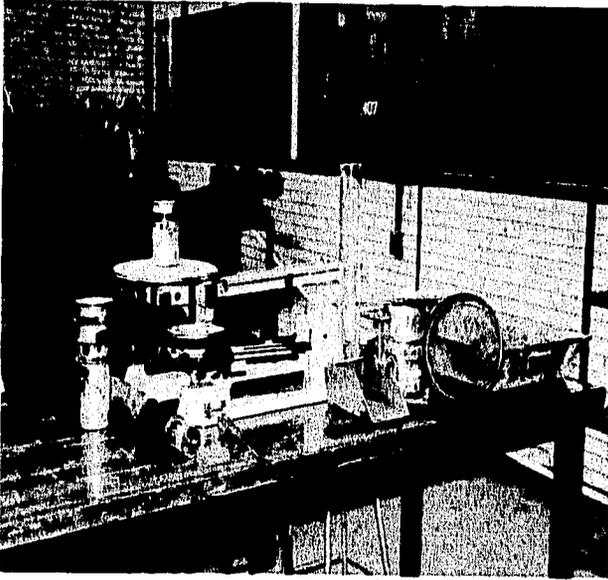
8.- Al terminar la compactación de las tres capas, con una espátula de cuchillo se recorre el perímetro de la extensión para despegar el material y se quita cuidadosamente la extensión, enrasando la muestra al nivel superior del cilindro y rebajando el material sobrante con una espátula de cuchillo o bien con un enrasador.

9.- Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada con el platillo de la báscula aproximando la lectura hasta 5 grs. El peso obtenido se anota en la columna peso cilindro + tierra.

10. En una cápsula (vaso de aluminio) se toma una porción de la muestra compactada aproximadamente 100 grs., y se pesa, anotando este valor en tara + muestra húmeda.

11. Se desarma el cilindro próctor con el objeto de extraer fácilmente el material, devolviéndolo a la charola.

12.- El material se desmenuza y cuando esta bien desmoronado se le agrega agua en cantidad suficiente para aumentar el contenido de humedad de un 2% a un 5% aproximadamente, dependiendo del tipo de material, se homogeniza toda



Equipo para realizar pruebas de compactación (Proctor).

la muestra y se repiten todos los pasos del 4 al 12, inclusive, obteniendo así un nuevo punto de la gráfica humedad contra peso específico seco.

Para poder definir las condiciones óptimas del material, es necesario efectuar cuatro o cinco veces los pasos del 4 al 12, inclusive, incrementando en cada ensayo el contenido de agua.

13.- Todas las cápsulas que contienen la muestra húmeda de cada ensayo, se colocan dentro de un horno a 110 grados durante 24 hrs. mínimo.

Transcurrido este tiempo, se retiran del horno, dejándolos enfriar y se pesan, registrando el valor en la columna tara + muestra seca.

14.- Siguiendo las instrucciones que aparecen en el hojé de cálculo, se encuentran los valores necesarios para construir los pesos específicos secos contra contenido de agua.

A partir de esta gráfica se definen los valores óptimos del material que corresponden al peso volumétrico seco óptimo y su humedad.

Es necesario de entemano obtener los siguientes datos: Peso del cilindro próctor armado, pero sin su extensión, volumen del mismo, peso del pisón.

En las hojas de cálculo siguientes se dan los resultados obtenidos de los ensayos que se hicieron a los materiales de los diferentes bancos.

UNAM CAMPUS ARAGON.

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA,  
(PRUEBA PROCTOR).

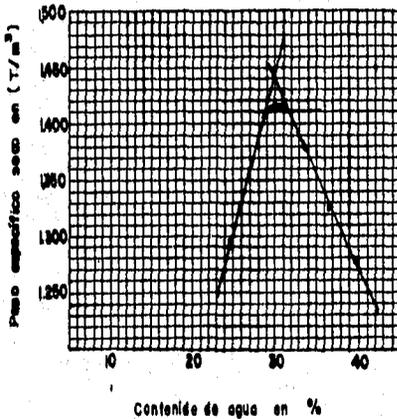
Obra: Fábrica de adobes (ADOVAL, S.A.) Localización: Totolapa, Morelos.  
Ensayo N°: 1 Sondeo N°: 1  
Profundidad: Descripción:

Molde N°: 3 Volumen: 930,175 cm<sup>3</sup>.  
Peso: 3237 gr. Peso martillo:  
Altura caída: N° de capas: 3  
N° de golpes por capa: 25 Fecha: 14 - feb. - 96.

Calculo: Ricardo Heras Cruz.

Reviso: M. en I. Claudio C. Merrifield Castro.

Determinación N°	1	2	3	4	5	6
Peso molde + suelo húmedo, g.	4770	4912	4952	4922	4985	---
Peso del molde, g.	3237	3237	3237	3237	3237	---
Peso suelo húmedo, g (Wm)	1503	1675	1715	1685	1658	---
Peso específico húmedo, T/m <sup>3</sup> ( $\gamma_m = Wm/V$ )	1.616	1.801	1.844	1.811	1.762	---
Cápsula N°	1	2	3	4	5	---
Peso cápsula + suelo húmedo, g.	390.03	324.70	381.80	433.5	470.00	---
Peso cápsula + suelo seco, g.	327.80	268.5	292.00	341.80	360.90	---
Peso del agua, g.	62.23	62.80	69.80	91.90	109.10	---
Peso cápsula, g.	76.65	84.95	84.30	91.10	83.70	---
Peso suelo seco, g.	251.15	183.66	207.70	250.60	277.20	---
Contenido de agua, % (W)	24.78	26.66	33.61	36.69	39.36	---
Peso específico seco, T/m <sup>3</sup> ( $\gamma_d = \gamma_m/(1+W)$ )	1.295	1.399	1.380	1.325	1.279	---



w óptima = 30.50 %

$\gamma_d$  máximo = 1.412 T/m<sup>3</sup>.

UNAM CAMPUS ARAGON.

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA.  
(PRUEBA PROCTOR).

Obra: Banco de arcilla.  
Ensayo N°: 1  
Profundidad: 0.50 - 1.00 m.

Localización: Tiayacapan, Morelos.  
Sondeo N°: 1  
Descripción: Tierra color amarilla.

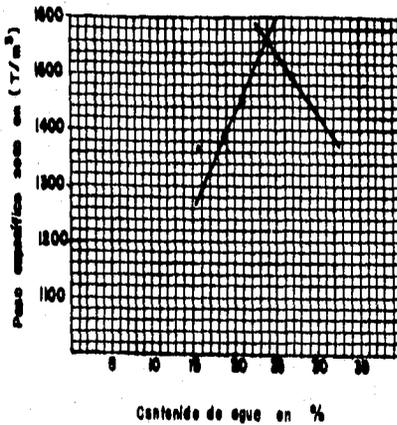
Molde N°: 3  
Peso: 3237 gr.  
Altura calda:  
N° de golpes por capa: 25

Volumen: 930.175 cm<sup>3</sup>.  
Peso martillo:  
N° de capas: 3  
Fecha: 15 - feb - 96.

Calculo: Ricardo Heras Cruz.

Reviso: M. en I. Claudio C. Merrifield Castro.

Determinación N°	1	2	3	4	5	6
Peso molda + suelo húmedo, g.	4708	4765	4874	5038	5016	---
Peso del molde, g.	3237	3237	3237	3237	3237	---
Peso suelo húmedo, g (Wm)	1471	1528	1837	1801	1778	---
Peso específico húmedo, T/m <sup>3</sup> ( $\gamma_m = Wm/V$ )	1.581	1.643	1.769	1.936	1.812	---
Cápsula N°	6	7	8	9	10	---
Peso cápsula + suelo húmedo, g.	375.60	393.10	369.60	384.00	482.10	---
Peso cápsula + suelo seco, g.	335.20	344.20	336.20	311.45	367.01	---
Peso del agua, g.	40.30	48.9	33.70	52.55	85.09	---
Peso cápsula, g.	80.45	80.01	80.45	80.14	80.69	---
Peso suelo seco, g.	254.75	264.18	255.75	221.31	316.32	---
Contenido de agua, % (W)	15.82	18.51	20.69	23.75	26.89	---
Peso específico seco, T/m <sup>3</sup> ( $\gamma_d = \gamma_m/(1+W)$ )	1.365	1.386	1.454	1.564	1.607	---



w óptima = 23.75 %

$\gamma_d$  máximo = 1.564 T/m<sup>3</sup>.

UNAM CAMPUS ARAGON.

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA.  
(PRUEBA PROCTOR).

Obra: PCA ENEP ARAGON.  
Ensayo N°: 1  
Profundidad: 1.80 m.

Localización: ENEP ARAGON.  
Sondeo N°: 1  
Descripción: Arcilla color negra.

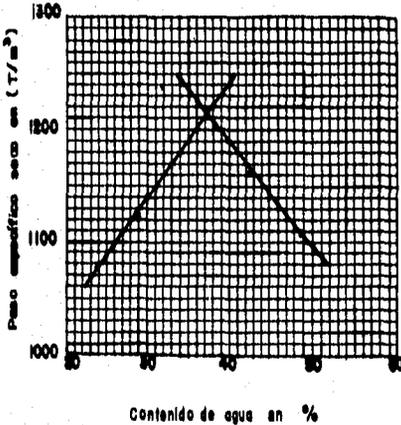
Molde N°: 3  
Paso: 3237 gr.  
Altura caída:  
N° de golpes por capa: 25

Volumen: 930.175 cm<sup>3</sup>.  
Peso martillo:  
N° de capas: 3  
Fecha: 28 - feb. - 96.

Calculo: Ricardo Heras Cruz.

Reviso: M. en I. Claudio C. Merrifield Castro.

Determinación N°	1	2	3	4	5	6
Peso molde + suelo húmedo, g.	4479	4581	4784	4780	4745	---
Peso del molde, g.	3237	3237	3237	3237	3237	---
Peso suelo húmedo, g (Wm)	1242	1344	1547	1543	1508	---
Peso específico húmedo, T/m <sup>3</sup> ( $\gamma_m = Wm/V$ )	1.335	1.445	1.663	1.858	1.621	---
Cápsula N°	2	5	6	10	A	---
Peso cápsula + suelo húmedo, g.	200	279.85	273.45	333.45	367.60	---
Peso cápsula + suelo seco, g.	177.75	235.95	221.15	258.05	274.95	---
Peso del agua, g.	22.25	43.90	52.30	75.40	92.65	---
Peso cápsula, g.	84.95	83.7	80.45	80.89	85.35	---
Peso suelo seco, g.	92.60	152.25	140.70	177.36	189.8	---
Contenido de agua, % (W)	23.98	28.84	37.17	42.51	48.87	---
Peso específico seco, T/m <sup>3</sup> ( $\gamma_d = \gamma_m / (1+W)$ )	1.077	1.122	1.212	1.183	1.080	---



w óptima = 36.00 %,  $\gamma_d$  máximo = 1.213 T/m<sup>3</sup>.

*De los resultados obtenidos en los diferentes ensayos se puede concluir que:*

1. Los materiales extraídos del banco de materiales de la fábrica de adobes ADOVAL ubicada en Totolapa Morelos y Tlayacapan Morelos respectivamente tienen un límite líquido de 43.60 % y 24.60 %, por lo que están dentro de lo recomendado por la Norma ASTM D-423-547, donde nos dice que debe ser inferior a 50%. El límite líquido de la arcilla del pozo a cielo abierto (PCA) que se hizo en la ENEP ARAGON ( parte posterior del A - 12), no cumple con estos requisitos, ya que está en 112.60 %.

2. Tocante al índice de plasticidad la Norma BS1377:48, ASTM D424-54T recomienda que deben cumplir con el rango de 2.5 y 22 %; por tanto cumplen las arcillas de Totolapa y Tlayacapan, Morelos y la arcilla de la ENEP ARAGON no cumple con esta Norma.

3. Para que los materiales para la elaboración de adobes cumplan con la prueba de Contracción Lineal ésta no debe ser mayor a 10 %. Con ésta prueba cumple la arcilla de Totolapa y Tlayacapan por tener una contracción lineal de 6.0 % y 3.00 % respectivamente. El material que no cumple es la arcilla de la ENEP ARAGON por tener una contracción igual a 23 %, que es mayor al 10 % recomendable.

4. Con estos resultados y de acuerdo a la fig. 1 del capítulo II, en donde se analizan tierras de Birmania y tomando en cuenta el análisis granulométrico de las tierras se puede decir que se estabilizan con 10 a 15 % de cemento Portland tipo 1 las tierras de Totolapa y Tlayacapan. La arcilla de la ENEP ARAGON por tener un índice de plasticidad fuera de los límites recomendados no se recomienda estabilizarla para la elaboración de adobes por las variaciones de volumen tan pronunciadas que tiene debido a los cambios de humedad.

Cabe mencionar que la tierra que se trajo del banco de material de la fábrica de adobes ubicada en Totolapa, Morelos, la estabilizan con un 15 % de cemento del peso seco.

También se recomienda utilizar algún cemento asfáltico para hacer más impermeable el producto. De acuerdo a pruebas, los suelos más aptos para la construcción de adobes son los arenosos; los de características arcillosas son poco aptos para las mezclas de suelo - cemento, estos últimos pueden ser empleados mejorandolos mediante la adición de arena.

Otro punto importante es que los suelos ideales para ser utilizados son los que están constituidos por los siguientes elementos.

Arcilla	5 a 10 %
Limo	10 a 20 %
Arena	60 a 80 %.

<sup>a</sup> Juárez Badillo, *Mecánica de Suelos Vol. 1*, Editorial Limusa, México.

<sup>b</sup> Secretaría de Desarrollo Social, *Cartilla para la Autoconstrucción de una Vivienda de Adobe*, México.

<sup>c</sup> Comisión Nacional del Agua, IMTA, *Mecánica de Suelos, instructivo para ensayos de suelos*, México 1990.

<sup>d</sup> Miguel Medinavitea J., Carlos J. Mendoza Escobedo, *Estabilización de tierra para la construcción de viviendas*, F.I. UNAM.

<sup>e</sup> Mario Cesar Olivera Martínez, *Una solución a construcciones rurales: Tierra mejorada*, Tesis profesional, Universidad Anahuac, Escuela de Ingeniería, México 1990.

## **CAPITULO IV.**

### **RESISTENCIA ESTRUCTURAL.**

## **RESISTENCIA ESTRUCTURAL.**

### **INTRODUCCIÓN.**

Para distinguir las propiedades mecánicas del adobe, debido a la fuerte variación de resultados según el tipo de material de junta entre adobe y adobe, que es un mortero. La construcción en el medio rural demuestra que aún utilizando únicamente morteros de barro, de las mismas características del adobe, es posible observar enormes diferencias en la resistencia del muro o unidad elaborado hecha a base de adobes, sin que existan mayores diferencias de las propiedades de los adobes.

En el caso del adobe asentado con el mismo barro, las pruebas que se realizan sobre el mortero, vienen a ser las mismas que se pueden realizar sobre el bloque. Las probetas de mortero no tienen mayores diferencias con los bloques mismos. Más bien si se utilizan morteros enriquecidos con materiales aglomerantes (cemento, cal, yeso, etc.), sin que la mezcla contenga tierra como elemento inerte, es posible utilizar las mismas pruebas que se usan para el mortero de los muros de ladrillo, para conocer las propiedades mecánicas del mortero.

Una idea básica debe quedar clara en la evaluación de estos morteros: la práctica de clasificarlos según su resistencia a compresión obedece a razones de simplicidad, pero poco tiene que ver dicha resistencia con la buscada adherencia que los morteros deben tener con los bloques y de la cual depende grandemente la resistencia de los muros.

### **ENSAYOS SOBRE EL ADOBE O UNIDAD.**

#### **COMPRESIÓN AXIAL.**

Consiste en aplicar una fuerza de compresión a la muestra. La carga (P) se le puede aplicar por medio de una máquina de compresión axial (Máquina Universal). Los ensayos sobre el bloque o medio bloque no ha dado resultados satisfactorios por el confinamiento que se produce en la probeta, especialmente en los bloques cuya menor dimensión es de 8 a 10 cm.

Se recomienda que las pruebas se haga sobre cubos cuya arista sea la menor dimensión del bloque, siempre que ésta no sea mayor a 15 cm. Caso contrario deberá tallarse cubos de 10 cm. Según experiencias obtenidas de estudios sobre la influencia del tamaño de la arista, revela que es conveniente ésta recomendación. (10 cm. por arista).

Se ha analizado la influencia de la esbeltez de prismas (tallados de bloques de adobe), en la resistencia a la compresión.

Las principales variables que influyen en la resistencia a la compresión son: la composición del suelo, su densidad, tiempo de secado y contenido de agua.

El orden de magnitud de la resistencia a compresión puede apreciarse con los siguientes resultados hechos en diferentes países.

Perú (PUCP) cubos de 8 cm.

$\sigma$  promedio = 1,5 N/cm<sup>2</sup>

México (UNAM) cubos de 10 cm.

$\sigma$  máximo = varía de 0.52 a 1.60  
debido a la proce---  
dencia del suelo.

USA.

$\sigma$  máximo = varía de 0.41 a 5.40  
según la composi --  
ción del suelo.

Se empleará un valor de la resistencia ( $R_0$ ), calculada en base a la sección transversal. Este valor será sobrepasado por el 80 % de las muestras ensayadas. Para efectos de diseño se debe considerar un coeficiente de seguridad de 2.5 ( $R^* = 0.4 R_0$ ).

Se podrá homologar resultados de probetas prismáticas de esbeltez  $\lambda$  = mayor/menor dimensión, utilizando la expresión  $R\lambda = R_0 / \lambda$  ( para  $\lambda \leq 6$  ). No se considerará significativa la variación del tamaño de la arista de la probeta cúbica. El valor de  $R_0$  corresponde a  $\lambda = 1$

Otra forma de llevar a cabo esta prueba es como sigue:

*Compresión en seco.*

a) Se toma una muestra de tierra de aproximadamente 2 ó 3 kg.

b) Se deja secar hasta que se pueda pulverizar los terrones con la ayuda de un pisón.

c) Se humedece la tierra pulverizada con una cantidad de agua tal que permita amasarla y moldearla fácilmente.

d) Se fabrican tres o más cilindros de 5 cm. de diámetro por 10 cm. de altura.

e) Los cilindros fabricados con arcilla estabilizada con cemento se curan por un lapso mínimo de dos días en una cámara húmeda, formada por dos charolas sobrepuestas, la inferior con agua y la superior cubierta con trapos húmedos. Los cilindros fabricados con arcilla sola (sin cemento), no requieren curado.

f) Se secan los cilindros colocándolos frente a un ventilador por un lapso de dos días. Un secado equivalente se puede obtener si las muestras se colocan en una corriente natural de aire a la sombra, durante un tiempo un poco mayor, o si se ponen al sol algunas horas. Para que haya equivalencia se debe controlar la pérdida de peso, frente al ventilador, al segundo día las muestras pierden aproximadamente el 20% de la pérdida del primer día. Este dato puede servir como orientador sobre la velocidad del secado en otras circunstancias.

g) Ya secos los cilindros se ensayan a compresión en una prensa o se rompen entre dos vigas, como se ilustra en la fig. 1. Para esta última alternativa se coloca una viga tendida en el suelo y otra encima, sujetándolas entre sí en un extremo; la superior se apoya sobre el cilindro asentado en la inferior, dejando su extremo libre para recibir una carga.

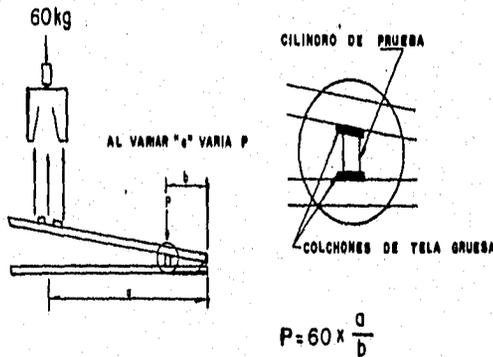
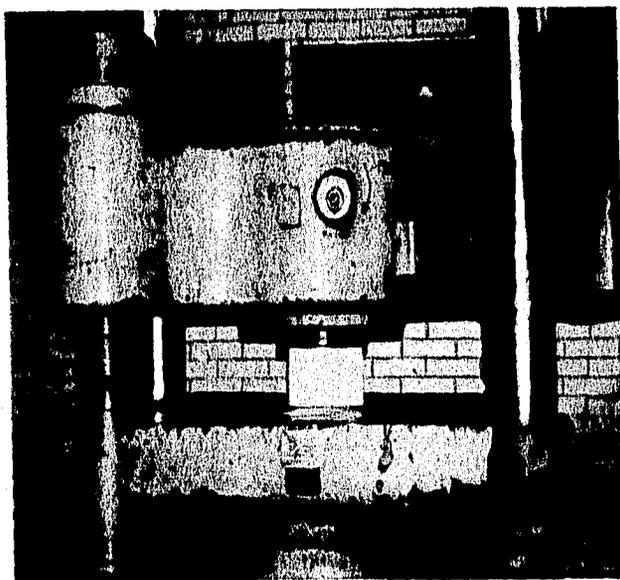


Fig. 1. Esquema del ensayo de campo para determinación de resistencia a compresión.

De acuerdo con la magnitud de la carga, con su posición y la del cilindro, se puede estimar la fuerza que comprime éste (fig.1). Variando la posición de la carga, la fuerza se puede incrementar hasta provocar la rotura del cilindro. Las cabezas del cilindro se protegen con paños doblados para evitar la concentración de esfuerzos en las superficies de contacto con las vigas.

h) La fuerza que produce la falla dividida entre su área se considera representativa de la resistencia a compresión de la arcilla seca.



Compresión de especímenes de adobe en la Máquina Universal.

### *Compresión saturada.*

La prueba de compresión saturada sigue los pasos a) a f) antes descritos para la prueba de compresión en seco. La diferencia estriba en lo indicado a continuación:

f') Después de secar los especímenes (paso f de la prueba de compresión en seco) los cilindros se sumergen en agua durante un día para llevarlos a la condición saturada.

Después de este paso la prueba continúa de acuerdo con lo recomendado en los pasos g) y h) de la prueba de compresión en seco.

### TENSIÓN.

Se han logrado buenos resultados, elaborando probetas cilíndricas, con moldes similares a los utilizados para el concreto (15 x 30 cm.). El secado de dichos especímenes requiere de un tiempo mayor que el necesario para los adobes (bloques). Con este ensayo (tipo Brasileño) se puede determinar que la resistencia a la tensión es del orden del 8 % de los cubos a compresión de 10 cm. de arista.

### TENSIÓN POR FLEXIÓN.

Se ha discutido sobre los detalles del bloque a flexión, por ejemplo, distancia entre apoyos en relación a su mayor dimensión, material de apoyo. Pero en general pareciera que la heterogeneidad propia del material, no permite precisar los resultados diferenciados de esas sutiles variaciones. En principio las normas ASTM para bloques de ladrillo son aplicables al caso del adobe, siempre que se fije el ancho del bloque que sí es un factor determinante pues a mayor ancho se obtendrá mayor resistencia.

Es importante destacar que las variables que influyen en la resistencia a compresión en los cubos, influyen también en la resistencia a tracción, pero no necesariamente en el mismo sentido, y lo mismo ocurrirá para la resistencia frente a otras sollicitaciones (corte, cizallamiento, etc.). Así mientras el contenido de arcilla, por poner un ejemplo, influye positivamente en la compresión, lo hace negativamente en la tensión. También ocurre que la influencia del tiempo de secado o contenido de humedad, son más influyentes en la resistencia a la tensión que en la compresión.

Se reporta en general una resistencia a la tensión por flexión del orden de entre la cuarta y la sexta parte de la resistencia a compresión.

#### PRUEBA DE GOTEO.

Esta se relaciona con la resistencia de las piezas a la erosión originadas por la lluvia. Esta prueba consiste en lo siguiente:

- a) Se fabrica una tableta de aproximadamente 2 cm. de espesor x 10 x 10 de superficie del mismo material empleado para fabricar los adobes.
  - b) Se curan las tabletas en la misma forma que los cilindros de concreto (en caso de que se use cemento para estabilizar la arcilla).
  - c) Se secan las tabletas en la misma que los cilindros, como se indica en el paso f de la prueba de cilindros secos.
  - d) Se deja caer una gota por segundo desde la punta de un tubo de hule de 3 mm. de diámetro interior situado a 2.5 m. de altura sobre la tableta. La velocidad de goteo se puede regular con algún dispositivo que permita estrechar el tubo de hule.
- a) Se mide el tiempo que tarda la gota en perforar la tableta.

#### *Resultados de las pruebas.*

##### Tierra sola.

Aplicando las pruebas a diversas tierras arcillosas se observó que las plásticas ( que son las más finas ) daban mejores resultados a compresión (en estado seco) y al goteo.

Las más arenosas, o las plásticas adicionadas con arena, tenían resistencias menores.

Una razón de esto puede encontrarse en que la arcilla se hace resistente y dura al aproximarse sus partículas para lograr su cohesión; para ello necesita contraerse al secarse; los granos de arena en su interior, aunque no estén en contacto unos con otros, restringen ésta contracción y dificultan la cohesión entre las partículas de la arcilla.



Efecto de la erosión en construcciones de adobe.

Consecuentemente la arena evita contracciones y reduce resistencias, aunque como se dijo anteriormente el material que se contrae mucho no es conveniente usarlo para la elaboración de adobes.

Esta resistencia puede tener mayor trascendencia, ya que un barro que requiere de 10 a 15 minutos para su perforación puede ser severamente deteriorado por un aguacero fuerte que incida en el muro, mientras que uno que resiste más de dos horas. puede soportar varios años de lluvias con pocos desperfectos especialmente en los paños verticales de los muros ( fig. 3).

## TIERRA ESTABILIZADA.

La tierra se estabilizó con cal, asfalto y cemento, siempre con la finalidad de mejorar los mampuestos que con ella se fabricaran. El efecto más trascendente que se encontró fue que la adición de cualquiera de los tres materiales en proporción baja ( de orden de 5% del peso de tierra) proporcionaba a las piezas fabricadas una resistencia notable al goteo ( o sea la erosión por la lluvia ), aunque en algunos casos no aumentaba sensiblemente la resistencia a compresión del material estando saturado. No se encontró una razón lógica para ésta diferencia, pero las pruebas lo comprobaron clara y repetidamente.

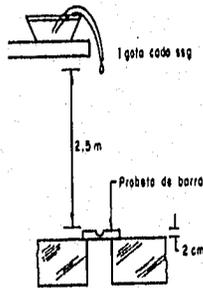
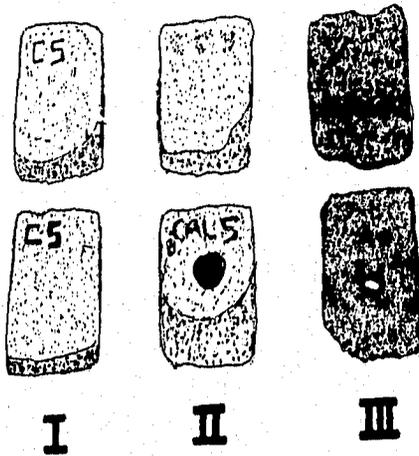


fig. 2. Esquema del ensayo de resistencia a la perforación por goteo.

Por lo demás, cada uno de los estabilizadores produjo los siguientes resultados:

La cal empleada hasta en un 10% del peso de la tierra redujo sensiblemente (30 a 40%) la resistencia a compresión de las arcillas en seco en la prueba a los dos días. Mejoró notablemente, como se acaba de mencionar, la resistencia al goteo.

Algunas arcillas se estabilizaron con una emulsión asfáltica de rompimiento rápido, en proporción de 5 a 10% del peso de la tierra. Por lo que se escogió este producto, por ser el que más rápido evapora sus solventes; las otras emulsiones o rebajados tardan mucho (en algunos casos meses) en evaporar sus solventes. Se observó que mejoraba su resistencia al goteo notablemente.



Arriba. Placas expuestas a un fuerte aguacero de duración de 20 minutos.

Abajo. Iguales placas sometidas a la prueba de goteo.

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

II. Arcilla con 5% de cal. Leve alteración en las orillas (arriba), el goteo durante 3 hr. Produce una marca de 2 mm. de profundidad.

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

Fig. 3. Prueba de goteo.

Con cemento se obtuvieron los mejores resultados, pero también se originaron muchas dudas. Se puede suponer que la cal y el asfalto no produjeron reacciones químicas al mezclarse con la arcilla y el agua, pero el cemento fraguó con el agua y, posiblemente, tuvo alguna reacción con la arcilla. La resistencia de la mezcla con poco cemento se debe a la cohesión de las partículas de arcilla que se aproximan por contracción; el cemento tratará de formar una estructura que restringe esta contracción, pero debido a la cantidad de cemento empleado, ésta será débil y el material resultante menos resistente que la arcilla sola seca.

El uso de mayor cantidad de cemento anula totalmente la contracción de la arcilla y proporciona una estructura resistente al material; con consumos de cemento de 10 a 15% del peso de la tierra, las pruebas daban resistencias semejantes a las del material seco, y en porcentajes mayores estas resistencias crecían.

Se debe tener en cuenta que el material queda sujeto a dilataciones y contracciones producidas por la arcilla que pueden debilitar, con el tiempo, su estructura interna. Al mismo tiempo, el cemento en proporción de 5% ya daba una buena resistencia al goteo.

De las pruebas de tierras estabilizadas se deduce que su empleo en un medio rural es problemático. La cal garantiza solo mejoras en la resistencia al goteo y puede reducir la resistencia a la carga; el asfalto mejora también la resistencia al goteo sin reducir la de la carga, pero es difícil de conseguir y no fácil de mezclar, y el cemento se tiene que emplear en proporciones altas, es decir, resulta costoso su empleo y se requiere sujetar a un programa cuidadoso para prevenir su fraguado.

## **ENSAYOS SOBRE PEQUEÑOS ELEMENTOS DE MUROS DE ADOBE.**

### **COMPRESIÓN AXIAL.**

El ensayo más típico resulta ser el de la pila de adobes asentados horizontalmente (la menor dimensión vertical). De acuerdo a estudios de carácter experimental acerca de la influencia de la esbeltez de dichas pilas y del número de juntas rellenas de mortero, revelan que la relación 1:4 entre la menor y mayor dimensión de la pila da resultados estables con dimensiones todavía muy manejables para el transporte.

Sin embargo, si las pilas son confeccionadas con adobes mas bien verticales (menor dimensión horizontal), se obtienen importantes variaciones no solo en la resistencia que disminuye, sino en el módulo de rigidez que aumenta aún en mayor proporción. Esto demuestra la no isotropía de los muros de adobe para cargas aplicadas en su plano.

Variaciones en la dimensión de los bloques no producen efectos significativos, pero sí influye fuertemente (50%) el tiempo de secado. No se ha comprobado que la composición del mortero influye mayormente para este tipo de sollicitación.

La inclusión en el mortero de barro de aglomerantes como la cal o el yeso, mejoran la resistencia en un 20 ó 25%. Si en cambio los morteros son de aglomerantes con arena en vez de tierra (cemento-arena, cemento-yeso o cal-arena, etc.), los incrementos de resistencia pueden ser del orden del 250 ó 300%. Asimismo, este tipo de morteros aumenta considerablemente el módulo de elasticidad (mayor rigidez). Se ha concluido también en la importancia del espesor de las juntas, si éstas son muy gruesas, disminuye la resistencia y transportabilidad de las pilas.

#### COMPRESIÓN DIAGONAL.

Este ensayo sirve para evaluar la resistencia al corte de los muros, parámetro básico en el comportamiento sísmico de los muros de adobe. El tamaño de las probetas cuadradas es del orden de un bloque y medio por lado. El ancho es el de la menor dimensión del bloque.

Estos ensayos pueden realizarse con la probeta en posición horizontal con la carga paralela al suelo o en posición vertical con la carga perpendicular al suelo. Las mediciones de deformaciones son efectuadas sobre las dos diagonales del espécimen.

Una investigación conjunta entre la UNAM de México y la PUCP del Perú, reveló que la resistencia al corte puede variar de 1 a 5 dependiendo de las propiedades del barro de la junta de asentado.

El promedio de los resultados peruanos es de  $\zeta = 0.026 \text{ N/cm}^2$  con un coeficiente de variación del 61 %, los resultados mexicanos arrojan valores del orden de  $0.13 \text{ N/cm}^2$ .

## ENSAYE DE CORTE EN MURETES

Intentando una mejor relación entre muretes pequeños (alrededor de  $1 \text{ m}^2$ ) y los muros a escala natural, se han realizado gran número de ensayos con variación de dimensiones, espesores de junta y calidad de morteros. Estos ensayos consisten en la aplicación de una carga concentrada horizontalmente en el mismo plano de los muretes ubicados verticalmente. Otra variable de estudio es la altura de aplicación de la carga en relación a las dimensiones de la probeta, intentando incluir estas variables en la expresión de la resistencia al corte, lo cual no resulta sencillo.

Utilizando este ensayo se ha realizado estudio de muros de adobe con morteros de junta de distintos materiales, permitiendo una primera clasificación de morteros para efectos de definición de normas técnicas. El ensayo es muy eficiente para optimizar morteros de cualquier material. En base a investigaciones realizadas se dan algunas recomendaciones sobre los morteros a utilizar.

Los morteros podrán clasificarse en dos grupos:

- a). tipo I ( en base a arena y aglomerantes ).
- b). Tipo II ( en base a tierra con o sin aglomerante).

### MORTERO TIPO I.

- 1.- Su resistencia a compresión (ASTM C109), no será menor de  $25 \text{ kg/cm}^2$ .
- 2.- Si se trata de morteros de cemento arena, la relación volumétrica estará comprendida entre 1:3 y 1:12. Debe utilizarse arena gruesa.
- 3.- Si se trata de morteros de cemento cal o yeso arena, la relación volumétrica entre aglomerante y agregado inerte estará comprendida entre 1:25 y 1:8.
- 4.- Deberá emplearse la mínima cantidad de agua que permita juntas planas en los muros.

NOTA: La calidad del mortero está asociada a la adherencia con las unidades. El uso de la resistencia a compresión como indicador, obedece solo a razones prácticas.

- Los límites señalados han sido fijados en relación con dicha adherencia, dado el comportamiento durante los ensayos efectuados.

Los límites señalados han sido fijados en relación con dicha adherencia, dado el comportamiento durante los ensayos efectuados.

## MORTERO TIPO II.

- 1.- Serán utilizados únicamente en viviendas rurales o construcciones provisionales.
- 2.- Se considerará dentro de esta categoría a los morteros con resistencias a compresión menores que  $25 \text{ kg/cm}^2$ .
- 3.- La composición del mortero debe cumplir los mismos lineamientos que las unidades.
- 4.- Deberá emplearse la menor cantidad de agua que sea necesaria para una mezcla trabajable.

Se considera que las juntas de los muros constituyen las zonas críticas, en consecuencia ellas deberán recibir el mayor cuidado.

## ENSAYO DE FLEXIÓN

En el caso de muretes pequeños, el ensayo que mejor resultados ha proporcionado es el de flexión de muretes en posición horizontal apoyados en dos o cuatro lados. Desafortunadamente solo es posible realizar este ensayo con muros de adobe de muy buena calidad. Los especímenes se elaboran verticales y luego se rebaten. Esta operación obliga a un mínimo de calidad para evitar fisuras previas al ensayo mismo. Se ha intentado también confeccionar los especímenes horizontalmente y luego retirar parte del molde, pero aún así se requiere de buena mampostería para soportar tan solo el peso propio y posteriormente cierta carga vertical (concentrada y aplicada al centro cuando hay dos apoyos y uniforme cuando hay cuatro apoyos).

## ENSAYOS CON ELEMENTOS A ESCALA NATURAL

### ENSAYOS DE CORTE EN MUROS

Estos ensayos consisten en la aplicación de una carga concentrada en el plano del muro. Los tamaños de los especímenes varían entre cuadrados de 2 m de lado a rectángulos de 2.4 a 4.0 m.

Fundamentalmente se utilizan dos tipos de ensayos dependiendo de la calidad del muro.

El primer tipo es el ensayo en voladizo, que es apropiado para muros de poca resistencia, si es que se desea obtener una medida de esta resistencia al corte con un tipo de falla semejante al que ocurre en las construcciones por efecto de los sismos.

Este ensayo somete a la probeta a tensiones en la parte inferior de la cara que recibe la carga y esto de alguna manera disminuye la resistencia al corte, lo cual no deja de ser inconveniente. Normalmente la fuerza se aplica a través de un elemento de repartición. La falla empieza donde termina ese elemento de repartición. La altura efectiva del muro a efectos de comparaciones con cálculos analíticos debe considerarse desde el suelo hasta el inicio de la fisura.

El segundo tipo utiliza dos tirantes verticales a los lados del espécimen que bajo una leve tensión une dos vigas de concreto. La viga superior recibe la carga lateral y la inferior actúa como cimiento y está fija a la base. Este ensayo logra una buena falla al corte, pero tiene el inconveniente de ir tensando un tirante y aflojando el otro, a medida que aumenta la carga lateral, introduciendo una distribución de tensiones muy desuniforme y variable entre fase y fase de carga. Este ensayo o una variación del mismo con un solo tirante, es conveniente para muros de mejor calidad.

Estos ensayos conducen a la evaluación de la resistencia cortante y a expresiones empíricas al diseño o comprobación de muros de adobe.

También se han elaborado ensayos sobre muros en L o en T para apreciar la distribución de esfuerzos en la conexión, el tipo de falla y principalmente para definir criterios prácticos de diseño o que involucren en el cálculo de la resistencia al corte de los muros longitudinales, parte del área correspondiente a los muros transversales.

## ENSAYOS DE FLEXIÓN EN MUROS.

Dos tipos de falla muy comunes por acción de los sismos, ocurren debidos básicamente a la flexión: la falla vertical en los encuentros de los muros y la falla vertical al centro de los muros largos. Por supuesto estas fallas, muchas veces se complen por desperfectos o por la presencia de vanos en los muros.

Para estudiar la resistencia a flexión se han llevado a cabo ensayos con cargas perpendiculares al plano del muro, apoyado éste, en uno, dos, tres y cuatro lados.

## RESISTENCIA EN MAMPOSTERIA.

### ESPESOR DE LAS JUNTAS.

El espesor de las juntas será de 2 cm. para morteros tipo II y de 1.5 cm. para morteros tipo I, con una tolerancia del 50 %.

### RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

La resistencia a compresión de la mampostería,  $R_m^*$ , podrá determinarse experimentalmente o por los valores referenciales en la tabla siguiente:

---

TABLA 2.  
RESISTENCIAS ADMISIBLES DE MAMPOSTERIA.

- Valores referenciales de resultados de ensayos de pilas de adobe.

### COMPRESIÓN:

Mortero tipo I :  $R_m^* = R_m^*$

Mortero tipo II :  $R_m^* = 0.5 R_m^*$

### CORTE:

Mortero tipo I :  $C_m^* \times 0.8 + 0.48 \sigma_m$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Mortero Tipo II :  $C_m^* \times 0.4 + 0.24 \sigma_m$  (kg/cm<sup>2</sup>).

---

a) Ensayo de pilas, con materiales a usar en obra.

De preferencia las pilas estarán compuestas por el número de adobes necesario para obtener un coeficiente de esbeltez de 4. Sin embargo, podrá usarse pilas desde 4 unidades, en vista de que ha quedado demostrado que para el adobe, luego de tres juntas, la variación de resultados es mínima y prácticamente independiente del coeficiente de esbeltez.

Se tendrá especial cuidado en mantener la verticalidad del espécimen. El tiempo de secado del mortero de las pilas será de alrededor de un mes. La resistencia de las pilas aumenta significativamente con el tiempo de secado ( $\pm 50\%$  en el primer año).

La resistencia nominal  $R_m^*$  se considerará como el 40% del valor sobrepasado por el 90% de las pilas ensayadas.

$R_m^* = 0.4 R_m$ . El número mínimo de pilas a ensayar será de 6. En ningún caso se considerará  $R_m^* > R^*$ .

b) Si no se realiza ensayos de pilas de adobe, se podrá utilizar los valores referenciales de la tabla 2.

#### RESISTENCIA AL CORTE.

La resistencia al corte de la mampostería,  $C_m^*$  podrá determinarse experimentalmente o por los valores referenciales de la tabla 2.

a) Ensayo de corte, con materiales a usar en obra.

Los especímenes serán muretes de relación largo-altura de alrededor de 1:7, cargados lateralmente a 2/3 de su altura, con o sin carga de compresión simultánea. El producto del largo por la altura será de alrededor de  $1 \text{ m}^2$ .

El tiempo de secado de las probetas será de aproximadamente un mes.

La resistencia nominal,  $C_m^*$ , se considerará como el 40% de la resistencia del murete,  $C_m$ , es considerada como el valor sobrepasado por el 90% de los ensayos  $C_m^* = 0.4 C_m$ .

El número mínimo de probetas a ensayar será de 12, utilizando tres niveles distintos de esfuerzo de compresión simultánea (4 probetas por nivel).

La resistencia a corte,  $C_m$ , se calculará siempre como una función lineal del esfuerzo de compresión actuante.

$$C_m = a + b \sigma_m.$$

Resultados experimentales demuestran que este valor debe ser afectado por un factor de escala (para considerar muros a escala natural)  $\alpha = 2$ , de modo que los valores de  $a$  y  $b$  deberán ser multiplicados por este factor  $\alpha$ , antes de calcular  $C_m$ .

En el cálculo de  $m$  se considerará solamente el 70% de las fuerzas gravitacionales, debido a la eventual actuación simultánea de fuerzas de inercia asociadas a aceleraciones verticales propias a un sismo. Adicionalmente solo se considerará el peso propio de medio muro para fijar una altura promedio del área crítica.

b). Si no se realiza ensayos de corte, se podrá realizar los valores diferenciales de la tabla 2.

#### RESISTENCIA A LA TENSION.

Para fines de diseño se considerará nula la resistencia a la tensión de la mampostería (esfuerzos perpendiculares a las juntas).

#### MODULO DE ELASTICIDAD.

El modulo de elasticidad de la mampostería podrá evaluarse experimentalmente, o en su defecto considerar:

Mortero tipo I:  $E = 5000 \text{ kg/cm}^2 \text{ ó } 1000R'_m$ .

Mortero tipo II:  $E = 1700 \text{ kg/cm}^2 \text{ ó } 680R'_m$ .

El modulo de elasticidad se incrementa con el tiempo de secado de la probeta.

Para cargas de corta duración se utilizará un valor de "E" incrementando en un 50%.

## MODULO DE RIGIDEZ. (G).

Se considerará como  $G = 0.4 E$ .

En la tabla siguiente se presentan algunas resistencias a compresión y a la tensión por flexión en adobes de distinta procedencia.

PROCEDENCIA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TENSIÓN. (kg/cm <sup>2</sup> )
Chiapas	16.00	2.00
Chiapas	9.90	*
Chiapas	7.90	4.00
Guatemala	9.10	*
Guerrero	8.10	3.00
Guerrero	5.20	4.40
Oaxaca.	9.30	*
Oaxaca.	13.50	2.00

<sup>1</sup> IMCYC, Tierra, técnicas de construcción, México.

<sup>2</sup> Miguel Medinavitea J., Carlos J. Mendoza Escobedo, Estabilización de tierra para la construcción de viviendas, F.I. UNAM.

<sup>3</sup> International Workshop on Earthen Buildings in Seismic Areas, Vol. 1 Y II, Albuquerque, New México, mayo 24 - 28, 1981.

# **CAPITULO V.**

## **EFFECTO SISMICO.**

## EFFECTO SISMICO.

Las primeras ciudades construidas por el hombre, de las que se tiene noticia, surgieron en la Baja Mesopotamia y fueron hachas de tierra sin cocer (adobe). Desde varios siglos antes de Cristo hasta nuestros días se ha seguido empleando sus dos principales tipos, el Adobe y el Tapial. Con este material se han levantado viviendas, templos, fortalezas y en el presente siglo, inclusive, edificios de varios niveles.

Se debe reconocer una tradición en la construcción de adobe o tapial, pero desafortunadamente muy pocos han intentado adaptar la tecnología de la Ingeniería sísmica a obras realizadas con este material. Es indudable que un serio esfuerzo de la investigación en el mundo y en México en el campo de la Ingeniería sísmica debiera ser urgentemente orientado hacia este grave problema.

En la técnica de construir con adobe, se acentúan una serie de problemas que la Ingeniería sísmica ya ha detectado y está en proceso de resolver, para obras con otros materiales. Todo ello debido a la gran fragilidad y, en general, la pobreza de la albañilería de adobe. Este hecho conduce a la necesidad de guiarse más por la opinión o intuición antes que desarrollar análisis numéricos profundos.

Indudablemente es conveniente enriquecer las decisiones con la mayor información que hoy es posible obtener: la que proviene de la observación de daños producidos por los terremotos y la que se deriva de la realización de ensayos de laboratorio.

En países tercermundistas como Perú, México, Irán, Turquía, India, se han iniciado programas de investigación, ello significa poner al alcance de los investigadores, mejores herramientas para la profundización del conocimiento, tales como los más modernos avances tecnológicos en términos de computación, equipos de laboratorio, etc.

En las construcciones de adobe dañadas por terremotos es más palpable, que en otros materiales, el hecho de que los métodos actuales para definir Ingeniería sísmica el movimiento del suelo son poco acertados.

Las características dinámicas de este tipo de construcción, la flexibilidad creciente durante el proceso de degradación de los muros, la desconexión de los diferentes elementos desde bajos niveles de daño, son tales que se concluye en la necesidad de ubicar este tipo de obras exclusivamente en suelos firmes y estables frente a las vibraciones.

La observación de los daños en construcciones de tierra también revela la notable influencia de la simultaneidad de los diferentes componentes del movimiento sísmico. Este conocimiento conduce al diseño de importantes detalles de refuerzo, especialmente en las conexiones de los diferentes elementos. La distribución simétrica y uniforme de muros, la tendencia a habitaciones cuadradas y vanos pequeños, la adecuada rigidez torsional, cobran especial importancia y darán rígidas pautas al proyecto estructural. Pautas mucho más exigentes que para otros materiales con mejores propiedades mecánicas.

La complejidad de los modelos estructurales, que puedan representar con éxito, a las masivas construcciones de adobe, es bastante grande. Hasta el momento se ha intentado solucionar este problema con modelos fuertemente simplificados, comprobados empíricamente y en forma aproximada por ensayos estáticos de laboratorio. En México, se han llevado a cabo ensayos con mesas vibratoria que abren el camino para establecer modelos de comportamiento dinámico.

Se coincide en señalar la necesidad de realizar ensayos a escala natural sobre mesa vibratoria, para corroborar los resultados hasta ahora obtenidos por medio de ensayos estáticos a escala natural o vibratorios pero con modelos a escala natural.

Se estima que en México más de 75% de las viviendas existentes han sido construidas sin la intervención de profesionales, sin apearse a reglamentos de construcción con materiales locales y con mano de obra principalmente constituida por los propios usuarios de la vivienda. Esta modalidad de construcción es característica del medio rural, pero es muy frecuente también en zonas urbanas.

En nuestro país se debe poner especial atención al problema de la seguridad contra sismo, ya que gran parte es sísmicamente activa. En los temblores de Puebla y Orizaba algunas decenas de miles de viviendas fueron destruidas o seriamente dañadas causando la muerte a varios centenares de personas. En los temblores de intensidad moderada ocurridos en Chiapa de

Corzo Chis. en 1974, miles de viviendas fueron dañadas, por estar construídas con adobe.

De un total de 8,286,373 viviendas que existían en 1970 en la República Mexicana y que servían para alojar a 43,381,547 ocupantes, 2,494,946 viviendas eran de muros de adobe dando alojamiento a un total de 15,700,00 ocupantes o sea que aproximadamente el 33% de la población vivía en casas de adobe.

Por las razones anteriores se considera que el problema de encontrar soluciones constructivas que aumenten la seguridad sin afectar sensiblemente el costo de la vivienda rural debe tener la más alta prioridad en cuanto a investigaciones de ingeniería estructural y la tecnología de materiales de construcción.

Como se viene mencionando el adobe en el material más empleado para los muros en la vivienda rural.

Las viviendas más comunes se caracterizan por un cuerpo principal de un sólo piso, con planta rectangular alargada de 30 a 50 m<sup>2</sup> de área, frecuentemente sin muros divisorios; los muros perimetrales, sin refuerzo alguno, tienen de 3 a 3.5 m. de altura y espesores de 40 a 60 cm. Los sistemas de techo varían según el clima de la región. La solución más común, propia de climas cálidos o templados, es a base de armaduras de madera con teja completas a separaciones de 80 a 100 cm., sobre las que se sujetan listones de madera que soportan las tejas.

En otros casos una viga robusta longitudinal descansa sobre los muros cabeceros y, en los tercios del claro, se apoya en vigas transversales; elementos generalmente de madera rolliza, se apoyan en los muros y en la viga longitudinal y reciben los listones de madera y las tejas.

En climas muy cálidos se coloca un tapanco de madera para tener un mejor aislamiento térmico. Los techos son generalmente de dos aguas con pendientes entre 25 y 50%; techos de una agua o de cuatro son menos frecuentes.

En regiones de climas más extremos y de escasa precipitación pluvial se emplea el terrado, en el que el techo está formado por vigas de madera separadas aproximadamente 50 cm., sobre las cuales se colocan tablas de madera que soportan un relleno de tierra de 30 a 50 cm. de espesor. El techo se termina con una capa de mortero, generalmente de cal.

Frecuentemente, tanto el adobe de los muros como la madera de los techos se encuentran deteriorados por intemperización. Pero la experiencia que se tiene con el adobe, en sí, en cuanto a su durabilidad, es favorable pues basta protegerlo contra la humedad para que se conserve mucho tiempo.

Basta mencionar que se tienen construcciones de este material en distintos sitios del país que datan de la época colonial y se encuentran en muy buen estado.

A continuación se da una relación aproximada de porcentajes para distintas entidades de la República.

Estados con más de 50% de casa de adobe.

Zacatecas	80
Coahuila	90
Chihuahua	73
Durango	71
Tlaxcala	70
Aguascalientes	80
Jalisco	55
Michoacán	50
Guanejuato	50

Estados con más del 20% de casas de adobe.

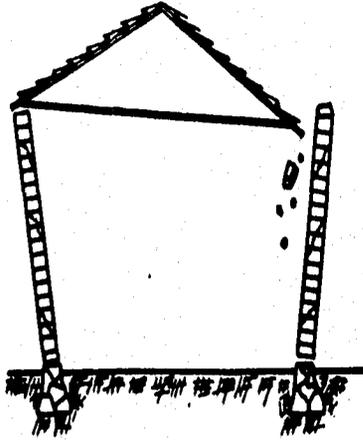
San Luis Potosí	39
Guerrero	38
Nayarit	37
México	37
Sonora	36
Oaxaca	33
Puebla	32
Querétaro	25
Baja California N.	23
Hidalgo	22
Colima	21
Sinaloa	21

Como puede observarse, hay estados como el de Chiapas, que no figuran por tener un porcentaje inferior al 20%, pero no obstante, tiene poblaciones como la de Chiapa de Corzo cuyo material predominante es el adobe.

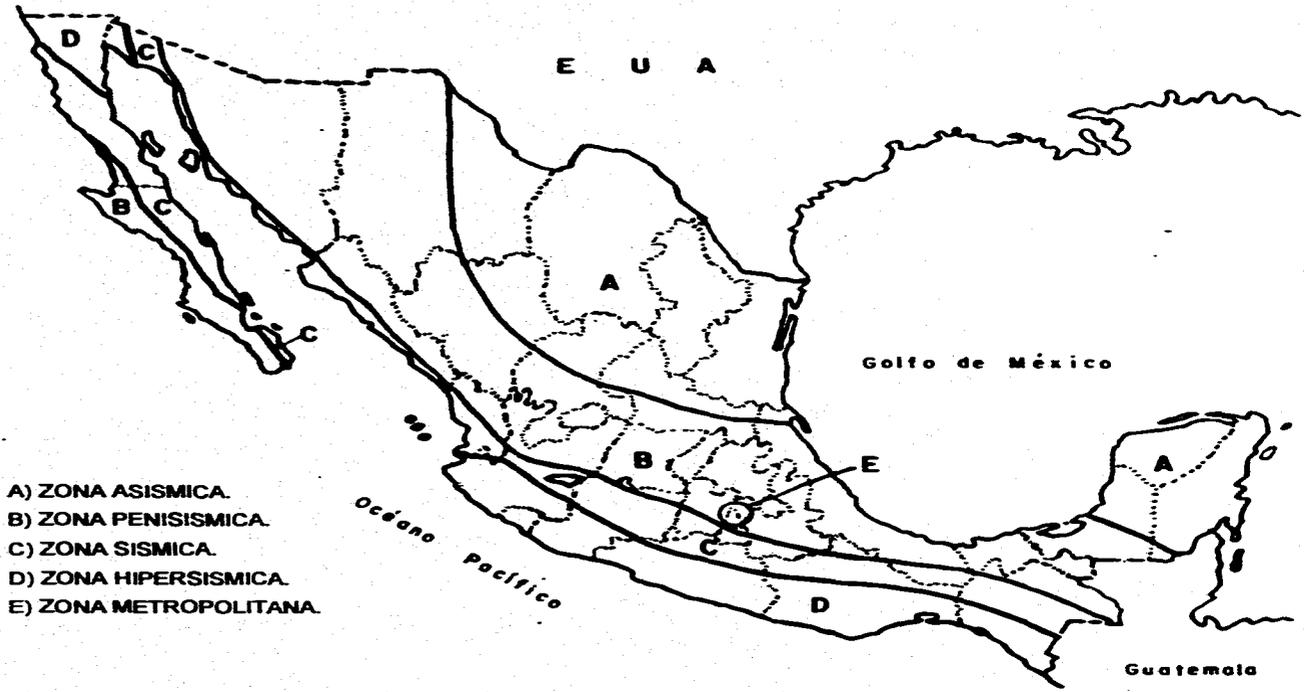
## COMPORTAMIENTO SÍSMICO Y MODOS DE FALLA.

El problema estructural de estas casas es que la estabilidad lateral de los muros se logra a base del espesor de los mismos, pero al no tener sujeción en su parte superior, trabajan como bardas y aunque no sufran volteamientos se agrietan en las intersecciones; por otra parte las grandes oscilaciones de los muros durante un sismo cuando no producen su caída pueden provocar la caída de los techos. Fig. 2

fig. 2



Un estudio reciente, se analiza con detalle el comportamiento dinámico de este tipo de construcciones. En el modo fundamental de vibración se aprecia que éstas inducen momentos flexionantes críticos en las esquinas superiores de los muros, las cuales se agrietan progresivamente hacia abajo, de manera que el muro frontal comienza a vibrar como un voladizo, ocurriendo el volteamiento cuando la altura agrietada del muro es suficientemente para que la resultante de fuerzas caiga fuera de la sección del muro.



- A) ZONA ASISMICA.
- B) ZONA PENISISMICA.
- C) ZONA SISMICA.
- D) ZONA HIPERSISMICA.
- E) ZONA METROPOLITANA.

119

REGIONALIZACION SISMICA DE MEXICO

El volteamiento ocurre casi siempre hacia afuera. Este modo de falla es el que se ha observado con mayor frecuencia a raíz de los sismos.

En viviendas en que la longitud no soportada de los muros es pequeña o en que los techos proporcionan restricción a la flexión, o en las de más de un piso, la falla suele ocurrir por cortante a través de grietas diagonales. Este modo de falla es propiciado frecuentemente por la existencia de aberturas importantes en los muros.

Se han observado indicios de que el colapso se ha iniciado en ocasiones por la caída del techo, ya sea por fallas locales en las conexiones o en la madera misma por encontrarse deteriorada, o por deslizamiento de los elementos del techo sobre los muros a los que están fijados en forma muy precaria.

Una falla parcial, que ocurre con frecuencia aún para sismos de moderada intensidad, es la caída de las tejas que se deslizan por efecto de las aceleraciones verticales y horizontales y caen a veces dentro de la misma vivienda.

El comportamiento sísmico de las construcciones con muros de piedra es similar al de las de adobe, con la agravante de que el peso volumétrico de la piedra es mayor y su resistencia a tensión y cortante es generalmente menor debido a la debilidad del mortero con que se unen las piedras y a que éstas presentan cantos redondos que no permiten una adherencia adecuada con el mortero.

Además de los modos de falla principales descritos para las construcciones de adobes frecuente que se presente una falla local por el empuje de la vigas de techo sobre el muro, lo que da lugar a una perforación local del muro y a la caída parcial del techo.

#### PROCEDIMIENTOS DE REPARACIÓN Y REFUERZO.

Las soluciones que se han propuesto para reparar o reforzar las viviendas de adobe, de cal y canto o de tabique son similares debido a que el comportamiento y modos de falla son semejantes para los diferentes materiales.

El sistema de refuerzo propuesto para este tipo de construcción consiste en añadir una dala de amarre de concreto reforzado, colada al nivel de apoyo de los techos, esto con el fin de proporcionar continuidad entre los muros transversales, aumentar la resistencia a la flexión y la rigidez y permitir una mejor liga con el techo y con esto hacer más estable a toda la construcción.

Otro precedimianto para una mejora radical del comportamiento, consiste en colocar elementos de concreto verticales en las esquinas y en las aberturas, las cuales junto con la viga cadena, forman marcos que confinan al adobe.

Debido a las dimensiones de los muros, estos elemento resultan muy robustos y hacen que la solución resulte complicada y costosa. Otras modalidades de refuerzo consisten en la colocación de elementos verticales de madera dentro del adobe o adosados a los muros y ligados al techo.

Además del refuerzo fundamental señalado, existen detalles constructivos complementarios (fig. 4) que deben llevarse a cabo y que son los siguientes:

1. Para ligar la dala a los muros se propone que se les haga una ranura de 10 cm. de ancho y 3 cm. de profundidad al centro del espesor de los mismos en el tacho alto de la hilada que recibe la dala para que sea llenada con el concreto de la propia dala formándose así un diente que ayude a la liga entre ambos (véase detalle 1, fig. 4).
2. para evitar el deslizamiento longitudinal de las dalas deberán llevar en sus cruzamientos un espolón de sección prismática de dimensiones iguales a del espesor de los muros y que sobresalga por debajo del techo inferior de las dalas aproximadamente 30 cm. (fig. 3)

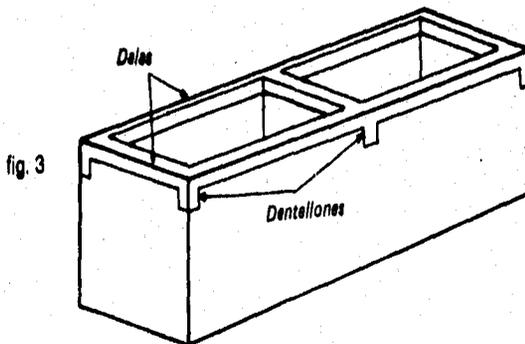
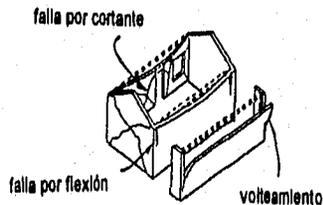


fig. 3

3. para fijar el techo deberán dejarse anclas de alambón ahogadas a las dalas, que sirvan de amarre al apoyo de los techos. (ver detalle 2, fig.4)
4. Para rigidizar los techos deben arriostrarse también con alambón según el plano inclinado de los mismos. (ver detalle 3, fig. 4)
5. Para darles estabilidad a los pórticos, conviene arriostrarlos con alambón. (ver detalle 4, fig. 4)
6. Para evitar la caída de tejas al exterior, conviene sujetar las de la orilla por medio de alambre amarrado al listón de apoyo.(ver detalle 5).
- 7 Para evitar la posible caída de tejas al interior cuando las fajillas son perpendiculares a las tejas, conviene colocar una malla da gallinero clavada a los largueros del techo.
8. En construcciones nuevas es conveniente el cuatrapeo de los muros en sus intersecciones para mejorar su estabilidad.

Otra forma de mejorar la seguridad de las construcciones existentes es a través de modificaciones que reduzcan la magnitud de las fuerzas que las afectarían en caso de un sismo; por ejemplo, la reducción del peso del techo a través del empleo de materiales más ligeros; la reducción de la altura de los muros dentro de los límites de habitabilidad y la adición de muros intermedios que rigidicen la construcción, son soluciones que pueden mejorar drásticamente la resistencia.

Al juzgar los distintos procedimientos de refuerzo hay que considerar la eficiencia en aumentar la seguridad contra sismo, la facilidad de ejecución en una vivienda ya terminada y el costo en cuanto a materiales de construcción. Es evidente que las distintas alternativas propuestas difieren mucho en cuanto a materiales de construcción. Es evidente que las distintas alternativas propuestas difieren mucho en cuanto a los aspectos mencionados.



Distintos modos de falla de viviendas de adobe.

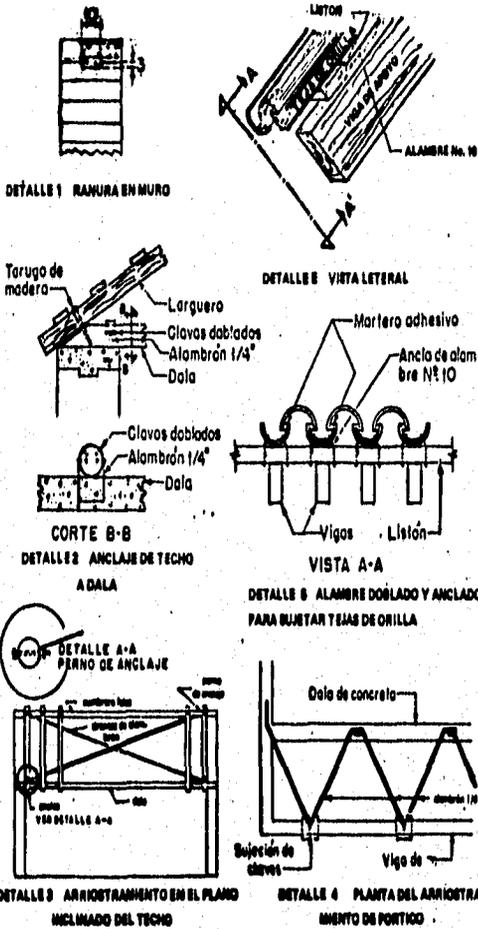


Figure 4. Detalles constructivos complementarios.

## PRUEBA SÍSMICA.

El sistema propuesto para reforzar las viviendas de adobe, debe ser experimentado con el objeto de comprobar su eficiencia, pues existen muchas interrogantes sobre el comportamiento real de la viviendas así reforzadas, al ser sometidas a las vibraciones por sismos.

Para llevar a cabo esta prueba se requería que la vivienda fuera sometida a un sismo igual a los sismos reales que pueden afectarla, pero esta solución no es realizable desde el punto de vista práctico, por lo que se optó aprovechar los conocimientos que se tienen sobre los efectos de los sismos reales a través de sus "espectros" de aceleraciones.

Como se sabe, el espectro de aceleraciones de una zona sísmica define la aceleración media que se espera tenga una estructura en función de su periodo natural de vibración, es decir, que gracias al conocimiento que se tiene de los espectros de aceleraciones se conoce cual es la "respuesta" que una estructura puede tener ante sismos desde el punto de vista de sus aceleraciones.

En el caso de las construcciones de adobe, los elementos estructurales cuya respuesta queda definida ante un sismo lo constituyen, por una parte, las dalias de refuerzo a que se ha hecho referencia, al quedar sometidas a las fuerzas de inercia horizontales que producen las masas que le son tributarias de muros y techos, y por otra parte, los muros que reciben la acción de las dalias y las fuerzas de inercia de su propia masa al quedar sometidos a vibraciones en su propio plano.

La presencia de estos dos tipos de elementos estructurales en una vivienda reforzada con dalias hace que su respuesta ante un sismo real sea sumamente compleja pues existen simultáneamente aceleraciones de muy distinta intensidad en muros y dalias, formándose un sistema de vibraciones desacoplado, ya que por la discrepancia entre los periodos naturales, cada grupo de elementos vibra independientemente uno del otro.

No obstante esta complejidad, es factible hacer una prueba experimental bastante simple, pues debido a la independencia que existen entre las vibraciones de unos elementos y otros basta excitar separadamente a una dalia, que conviene que sea la que queda sometida a las máximas cargas dinámicas y al muro que recibe las máximas cargas en su plano para poder observar el comportamiento de la vivienda y responder así a todas las interrogantes enumeradas.

Este tipo de prueba se llevo a cabo en dos viviendas típicas de adobe, una con tapanco, ubicada en Huixquillucan, Edo. de México, en que se emplearon las dalias y vigas de madera de que estaba dotada la casa, habiéndose tenido que

Este tipo de prueba se llevo a cabo en dos viviendas típicas de adobe, una con tapanco, ubicada en Huixquilucan, Edo. de México, en que se emplearon las dadas y vigas de madera de que estaba dotada la casa, habiéndose tenido que reforzar las primeras y añadir elementos metálicos de liga a las segundas y otra en Chiapa de Corzo, Chis., en que se construyó la dala de concreto ya mencionada.

La excitación de los elementos críticos señalados se logro utilizando un excitador mecánico que produce fuerzas alternantes horizontales de ley Senoidal mediante la rotación de masas excéntricas dispuestas en tal forma que se anula la componente vertical de dichas fuerzas. Además se utilizaron seis acelerómetros y un equipo que permiten graficar simultáneamente las aceleraciones que detectan los acelerómetros.

#### **Detalles de la prueba realizada en Chiapa de Corzo, Chis.**

El excitador mecánico cuyo peso es de aproximadamente 1200 kg., se instaló sobre una torre de patas flexibles con el fin de que las fuerzas de inercia de las masas giratorias del excitador fueran absorbidas por la dala de refuerzo más cargada de la vivienda ascogida (véanse figuras 5 y 6), pues las fuerzas de inercia del excitador en sí las resiste la misma torre.

Para este fin el excitador se llgó a dicha dala en dos puntos situados simétricamente respecto al centro de su claro: ver primera posición en la fig. 5. esta liga se hizo por medio de bridas de acero que abrazan a la dala y que son fácilmente removibles.

Los acelerómetros se instalaron en lugares adecuados como son, el centro de la dala que recibe directamente las fuerzas altamantes y el centro de la dala que le es paralela, un punto a la mitad de la altura del muro y otro en su base. En el caso del muro excitado en su plano (posición 2 del excitador de la fig. 5) los acelerómetros se instalaron en la dala, en la parte alta del muro, a la mitad de su altura, en su base y al centro de las dalas de la fachada.

En el caso particular de esta vivienda se presentó una irregularidad estructural, que es bastante común en este tipo de casas, que consiste en que el muro paralelo al de fachada está ligado, aproximadamente a la mitad de su longitud, con un muro que le es perpendicular y que es más bajo (ver fig. 5 y 6). Esto produce concentraciones de esfuerzos en el adobe cuya importancia sólo una prueba de este tipo puede determinar, lo que añade una interrogante más a la prueba.

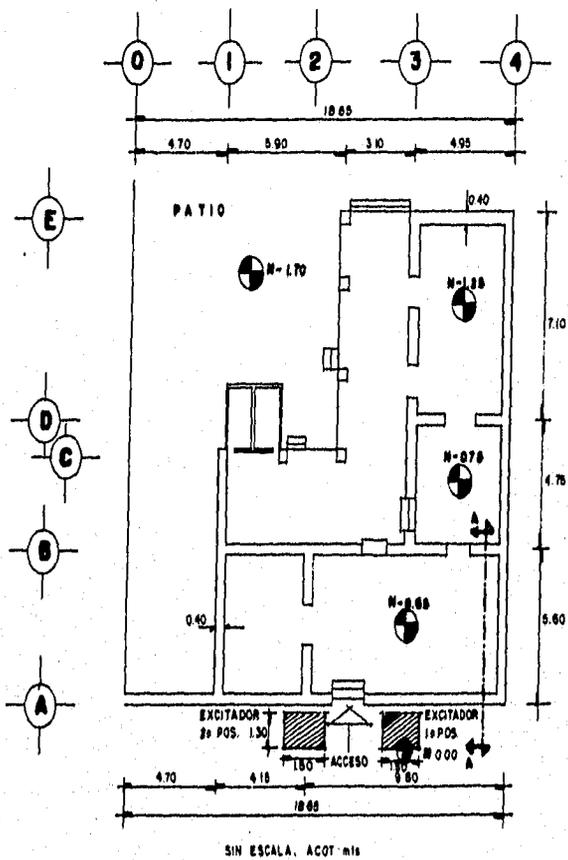


Figura 5. Planta.

La magnitud de las fuerzas alternantes aplicadas es igual al producto de las masas giratorias, su radio de giro y el cuadrado de su velocidad angular. El proceso de aplicación de estas fuerzas dio inicio con fuerzas menores que las que se estimó que deben aplicarse para obtener la aceleración buscada haciéndose variar la frecuencia de rotación hasta alcanzar la resonancia que se detecta al registrarse la máxima aceleración.

Definida la frecuencia de resonancia se incrementa la magnitud de las masas giratorias hasta alcanzar la aceleración estipulada por el Reglamento de Construcciones del lugar, para esta frecuencia de rotación. El hecho de provocar la resonancia permite que las fuerzas aplicadas sean mínimas en virtud de la amplificación que sufren las oscilaciones de la estructura en esta condición.

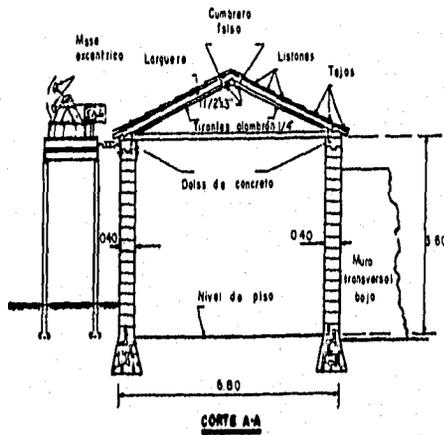


Figura. 5. Excitador montado en torre flexible.

En el caso de Chiapa de Corzo, el Reglamento de Construcciones del estado de Chiapas, estipula que la aceleración media que se alcanza es de  $0.24g$  en estructuras con periodo de vibración comprendido entre  $0.30$  seg. y  $0.50$  seg. cimentados en terreno firme. Fuera de este periodo existen reducciones en las aceleraciones.

Cabe mencionar que en el caso de las dalis de refuerzo debido a que las aceleraciones que tienen lugar a lo largo de ellas varían con sus deflexiones, la aceleración al centro del claro pueden estimarse que es un 50% mayor que el valor medio dado por el Reglamento.

#### RESULTADOS DE LA PRUEBA.

En las tablas 1 y 2, proporcionadas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, aparecen los registros de aceleraciones en resonancia con las cargas

máximas aplicadas para excitación normal al plano del muro de fachada y para excitación en el plano del muro divisorio respectivamente.

En las figuras 7 y 8 se muestra gráficamente la aceleración resultante para cada frecuencia aplicada con dichas cargas máximas que fueron la canasta pesada con dos placas en el caso de la figura 8. La magnitud de las fuerzas alternantes aplicadas se deduce de la gráfica de la figura 9, curvas 4 y 6.

Como puede verse en la tabla 1, la dala del muro de fachada sujeta a fuerzas normales al plano del muro tuvo una aceleración máxima al centro del claro de 0.312 g., en que "g" es la aceleración de la gravedad, y un periodo de vibración de 0.263 g. Para este periodo, que es inferior a 0.3 g., la aceleración media que puede esperarse en Chiapa de Corzo es de 0.22 g y al centro de la dala puede estimarse como se mencionó anteriormente, un 50% mayor, o sea de 0.33 g., lo que indica que casi se alcanzó la aceleración máxima que se define en el reglamento de Construcciones del Estado de Chiapas para este lugar.

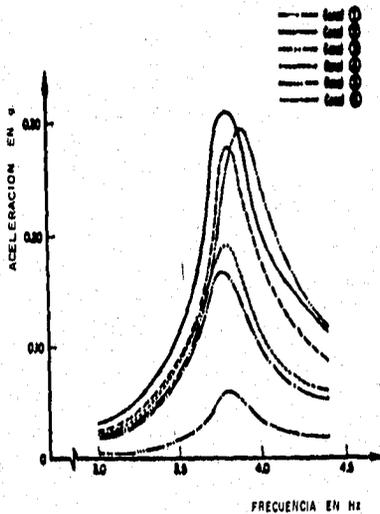


Fig. 7. Curvas de resonancia bajo cargas normales al plano del muro frontal, aceleraciones versus frecuencia aplicada a la dala con cargas normales al plano del muro.

La dala paralela a la fachada, acelerómetro 6 de la tabla 1, tuvo una acalación 0.267 g., para la misma frecuencia de resonancia, lo que indica que existió una transmisión muy satisfactoria de los movimientos de un muro al otro que demostró la eficiencia de los anclajes de los techos a las dalas, habiéndose comportado satisfactoriamente la techumbre sin ocurrir caída de tejas, lo que demostró la conveniencia de la sujeción de las tejas de orilla en la forma propuesta.

Los muros transversales soportan satisfactoriamente la reacción de las dalas debidas a las fuerzas de inercia de las masas que le son tributarias que por su carácter alternante producen un efecto amplificado aproximadamente de un 15%, lo que originó un esfuerzo rasante en el área neta del muro divisorio de 0.15 kg/cm<sup>2</sup> sin que haya presentado agrietamiento alguno. A este respecto cabe señalar que los esfuerzos rasantes provocados en este muro durante esta prueba son prácticamente los que se producirían aplicando el Reglamento de Chiapas.

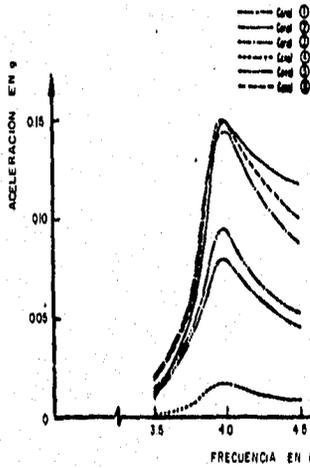


Figura. 8. Curvas de resonancia bajo cargas en el plano del muro divisorio.

Las oscilaciones de la dala paralela a la de la fachada y las consiguientes al muro que corona no produjeron desmoronamientos de los bloques de adobe en la intersección de este muro con el que se cruza, por lo que la prueba vino a demostrar que este cruzamiento de muros a diferente altura no constituye ningún problema al menos para la magnitud de las aceleraciones provocadas.

Los postes de tabique que soportan los pórticos se mantuvieron estables, habiéndose comprobado la eficiencia del sistema de contraventao que sujata a estas partes.

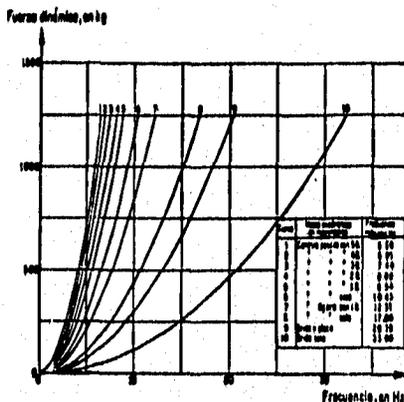


Figura 9. Curvas fuerza dinámica del vibrador versus frecuencia para distintas condiciones de masas excéntricas. Multiplíquense por cuatro las fuerzas de la gráfica.

La aceleración a la mitad de la altura del muro fue aproximadamente de las 2/3 partes de la aceleración máxima ( punto 4 tabla 1), habiendo sido soportada sin problema alguno por el adobe sin ocurrir el desprendimiento del recubrimiento de ladrillo de que está dotada la fachada de esta casa.

En el caso del muro sujeto a vibraciones en su plano, las aceleraciones máximas alcanzadas en la dala variaron de 0.095 g a 0.147 g con un periodo de 0.25 seg. Ver tabla 2.

Este valor máximo de las aceleraciones en realidad se debió a que entraron en resonancia las dala de 9.80m. de claro que fueron excitadas en la prueba anterior y que acusaron un periodo de 0.263 seg., pues de acuerdo con los datos de la prueba hecha en Huixquillucan el periodo de vibración de este muro debe ser mucho menor, del orden de 0.12 seg.

### DISEÑO DE LAS DALAS.

Los resultados obtenidos nos permite comprobar la bondad del refuerzo propuesto, el cual puede ser realizado fácilmente por cualquier constructor o propietario de escasos recursos, siguiendo los lineamientos ya establecidos y reforzando las dalas adecuadamente para que éstas soporten las fuerzas laterales que les correspondan.

El cálculo de estas fuerzas pueden hacerse determinando, para cada caso, según la zona que corresponde y el tipo de suelo en que este construida la vivienda, la aceleración media máxima de ésta, pudiéndose omitir hacer las reducciones que permite el espectro de aceleraciones de acuerdo con el periodo de vibrar de la dala.

En los cálculos siguientes no se utilizó la reducción de cargas por ductibilidad que acepta el Reglamento de Construcciones.

Considerando el caso de Chiapa de Corzo, el nuevo Reglamento de Construcciones, aprobado por el estado, indica una aceleración máxima de diseño para terreno firme (tipo 1) de 0.24 g., por encontrarse en la zona sísmica C.

Si se supone que la elástica de la dala es de tipo parabólico, la aceleración en el centro del claro debió incrementarse en un 50%, o sea que será de 0.36 g. con variación parabólica, teniendo un valor nulo en los apoyos.

Por otro lado las aceleraciones decrecen hacia la cimentación, por lo que suponiendo conservadoramente que éstas siguen una ley parabólica con un máximo al centro de la dala y cero en su apoyo, podemos calcular la reacción en la dala utilizando dos cargas equivalentes concentradas, una a la mitad de la altura del muro y otra en su apoyo en la dala.

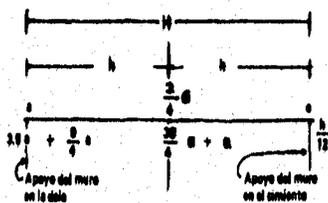
Llamando:

R = Reacción de la dala.

a = Aceleración máxima en la dala = 0.36 g.

H = Altura del muro.

m = Masa del muro, tributaria de la dala.



$$R = \left( \frac{10 + 0}{4} + \frac{17}{4} \right) a \cdot m \cdot \frac{h}{12}$$

$$R = 10 a \cdot \frac{h}{12} m$$

$$R = \frac{10}{12} a \cdot \frac{H}{2} m$$

$$R = 0.833 a \cdot \frac{H}{2} m$$

Considerando como ejemplo el muro de 9.60m. de claro, 3.60 m. de altura y 0.40 m. de espesor con peso volumétrico de 1.4 ton/m<sup>3</sup>, que corresponde a la casa ensayada.

La carga que gravita sobre la dala es la correspondiente a la masa tributaria tanto del muro como de la techumbre, por lo que la carga máxima de la dala vale:

$$\text{Carga del muro } 1.8 \times 1.4 \times 1.4 \times 0.833 \times 0.36 = 0.302 \text{ ton/m.}$$

$$\text{Carga de la techumbre } 2.8 \times 0.040 \times 0.36 = 0.040 \text{ ton/m.}$$

Determinación de elementos mecánicos, siguiendo el método de Newmark para cuatro intervalos.

h	.	.	2.4	.	2.4	.	2.4	.	2.4	.	m.
w	.	0	.	0.258	.	0.342	.	0.258	.	.	ton/m.
P	.	0.60	.	2.90	.	3.93	.	2.90	.	0.60	(2.4/12) ton.
V	5.46	.	4.86	.	1.96	.	-1.96	.	-4.86	.	(2.4/12) ton.
M	.	.	.	4.86	.	6.82	.	4.86	.	.	(2.4/12) ton.
M	.	.	.	2.35	.	3.27	.	2.35	.	.	ton-m.
M <sub>0</sub>	.	.	.	.	.	4.60	.	.	.	.	ton-m.
V <sub>0</sub>	.	1.47	.	.	.	.	.	.	.	.	ton.

Donde:

h = intervalos para el cálculo de las cargas equivalentes concentradas P.

a = Aceleraciones.

w = Carga lineal.

P = Carga equivalente concentrada el límite del intervalo.

V = Fuerza cortante para el cálculo de los momentos.

M = Momentos flexionantes.

M<sub>0</sub> = Momento último (1.4 x M).

V<sub>0</sub> = Cortante último (1.4 x V).

Para fines prácticos puede seguirse el siguiente procedimiento.

$$\text{Muro } 1.8 \times 0.4 \times 1.4 = 1.01 \text{ ton/m.}$$

$$\text{Techumbre } 2.8 \times 0.04 = 0.11 \text{ ton/m.}$$

Considerando como una carga uniforme el producto de esta masa por el coeficiente dado por el Reglamento (0.24 g para Chiapa de Corzo).

El momento flexionante vale:

$$M = (1.12 \times 0.24 \times 9.80^2)/8 = 3.10 \text{ ton-m} \approx 3.27 \text{ ton-m.}$$

Lo que permite calcular el momento flexionante con un error de aproximadamente el 5%.

Conocidos los elementos mecánicos, se puede proceder al diseño de la dala.

Dado que el espesor de los muros de adobe es de 0.40m., el peralte se puede considerar de 0.37m. Trabajando con concreto de  $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$  y acero de refuerzo  $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$  se tiene:

$$V_{cu} = 0.53 \times 0.85 \times \sqrt{140} = 5.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{cu} = 53 \times 0.15 \times 0.37 = 2.95 \text{ ton} > 1.47 \text{ ton.}$$

No necesita estribos.

$p_{max}$  (resistente).

$$p_{max} = 0.75 \times 0.82^2 \times (140/4000) \times (6000/6000+4000) = 0.0114$$

$$M_{max} \text{ (resistente)} = \phi \text{ } b d^2 \text{ } p \text{ } f_y \text{ } (1 - (p m / 2)), \text{ en donde}$$

$$m = f_y / (0.85 f_c) = 4000 / (0.85 \times 140) = 33.61$$

$$M_u \text{ max} = 0.9 \times 15 \times 37^2 \times 0.0114 \times 4000 (1 - (0.0114 \times (33.61/2)))$$

$$M_u \text{ max} = 681303.66 \text{ kg - cm} = 6.81 \text{ ton.} > 4.60 \text{ ton - m.}$$

$$M_u/bd^2 = 460000/20535 = 22.40 \text{ kg/cm}^2$$

$$22.40 = 0.9 \times 4000 p (1 - ((33.61/2)xp))$$

$$p = 0.007056$$

$$A_s = pbd = 0.007056 \times 15 \times 37 = 3.9 \text{ cm}^2 \text{ (Varilla del número 3 y 4).}$$

Se reforzará igual en las dos caras y se usarán anillos de alambón para armar.

En forma análoga se pueden calcular las dalas para distintas zonas sísmicas y distintos claros.

La tabla 3 muestra el reforzamiento de viviendas comunes en las zonas sísmicas A y B para cualquier tipo de terreno y en la zona C para terrenos firmes (figura 1 en las cuales se ha considerado 40 cm. de espesor del adobe y se ha diseñado considerando concreto de  $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$ .

El espesor supuesto para la dala es de 15 cm.

No se considera indispensable la construcción de las dalas con espesor mayores a 15 cm.

No se considera indispensable la construcción de las dalas de refuerzo en zona sísmica A para el caso de suelos tipo 1, y no se ha incluido la zona C de terreno tipo II y III ni la zona D en su totalidad por requerirse experimentación con mayores aceleraciones.

Si se considera la reducción de acero para un factor de ductilidad de 4, podrá usarse la tabla 4.

Aunque la máxima intensidad sísmica considerada sólo cubre hasta el caso de la zona "C" en terreno firme (tipo 1) cabe hacer notar que los terrenos de los tipos II y III de suelos son poco frecuentes.

Teniendo en cuenta que prácticamente las cargas dinámicas de las dalas varían linealmente con el espesor de los muros, si las dalas se hacen de ancho igual al espesor del muro de refuerzos propuestos en la tabla se conservan para cualquier espesor de éstos.

Los casos cubiertos por la tabla 3 no requieren la revisión de esfuerzo rasante en los muros en vista de los resultados de las pruebas sísmicas en las casas del tipo que se ensayaron.

Tabla 1. Aceleraciones marinas registradas en diferentes puntos de la construcción a la frecuencia de resonancia.

*Excitación normal al plano del muro frontal.*

Prueba	Condición de masas excéntricas del vibrador	g* (1)	g* (2)	g* (3)	g* (4)	g* (5)	g* (6)	Frecuencia Hz.	Periodo, seg.
I	Canastas pesadas sin placa	0.118	0.200	0.138	0.113	0.028	0.211	4.87	0.214
II	Canastas pesadas, 1 placa	0.150	0.290	0.222	0.150	0.053	0.200	4.00	0.250
III	Canastas pesadas con 2 placas	0.167	0.312	0.250	0.192	0.062	0.267	3.80	0.263

g\* = Aceleración de la gravedad.

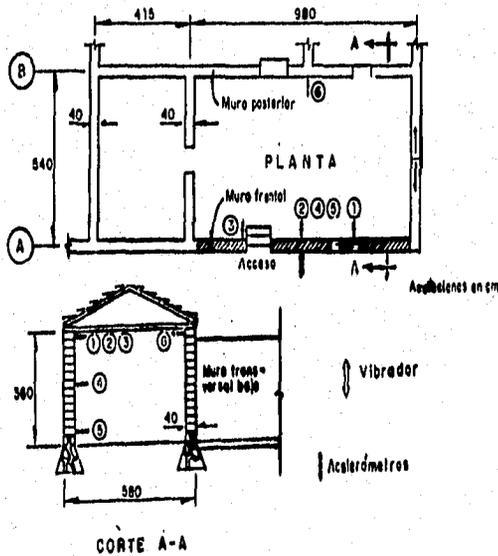


Tabla 2. Aceleraciones marinas registradas en diferentes puntos de la construcción.

*Excitación en el plano del muro divisorio.*

Prueba	Condición de masas excéntricas del vibrador	g* (1)	g* (2)	g* (3)	g* (4)	g* (5)	g* (6)	Frecuencia Hz.	Periodo, seg.
IV	Bridas solas	0.021	0.020	0.025	0.002	0.016	0.027	4.85	0.206
V	Canastas pesadas sin placas	0.095	0.114	0.142	0.017	0.077	0.147	4.00	0.250

g\* = Aceleración de la gravedad.

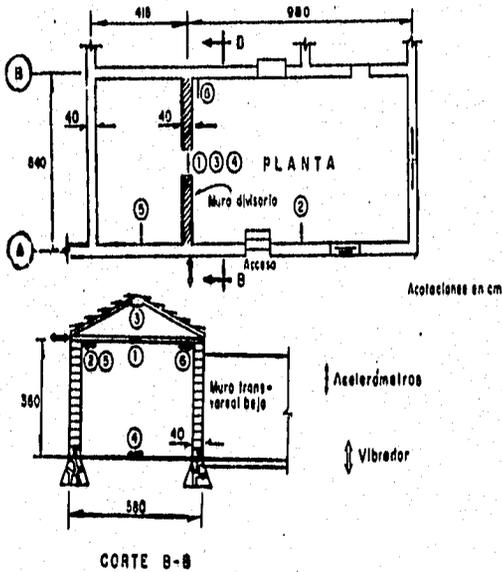


TABLA 3.

REFUERZO DE LAS DALAS.

Zona de la República	Tipo de suelo	Longitud de muros en metros.						
		4	5	6	7	8	9	10
A	I	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	3#2.5
	II	2#2.5	2#2.5	2#2.5	3#2.5	3#2.5	2#4	2#4
	III	2#2.5	2#2.5	2#2.5	3#2.5	2#4	2#4	2#4
B	I	2#2.5	2#2.5	2#2.5	3#2.5	2#4	2#4	2#4
	II	2#2.5	2#2.5	2#3	2#4	2#4	3#4	3#4
	III	2#2.5	2#3	2#4	2#4	2#4	3#4	3#4
C	I	2#2.5	2#3	2#4	2#4	2#4	3#4	4#4

TIPOS DE SUELO

TIPO I. Terreno firme, tal como tepetate, arenisca medianamente cementada, arcilla muy compacta.

TIPO II. Suelo de baja rigidez tal como arenas no cementadas o limos de mediana o alta compacidad, arcilla de mediana compacidad.

TIPO III. Arcillas blandas muy compresibles.

TABLA 4.

Zona de la República	Tipo de suelo.	Longitud de muros en metros.						
		4	5	6	7	8	9	10
A	I	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5
	II	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5
	III	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5
B	I	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5
	II	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5
	III	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	3#2.5
C	I	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	2#2.5	3#2.5

TIPOS DE SUELO

TIPO I . Terreno firme, tal como tepetate, arenisca medianamente cementada, arcilla muy compacta.

TIPO II. Suelo de baja rigidez tal como arenas no cementadas o limos de mediana o alta compactad, arcilla de mediana compactad.

TIPO III. Arcillas blandas muy compresibles.

## PRUEBAS DINÁMICAS EN MESA VIBRATORIA.

Este es un ensayo sencillo y representativo que consiste en colocar el modelo en una plataforma cuya inclinación puede variarse gradualmente.

En el Instituto de Ingeniería de UNAM se cuenta con una mesa vibratoria de 2.4 x 4.5 m. con capacidad para recibir modelos hasta de 15 ton. y aplicar movimientos en la dirección larga de la mesa que reproduzcan con fidelidad acelerogramas medidos o simulados. El desplazamiento máximo de la mesa es de +2.5 cm.

En la vivienda típica de adobe en el medio rural la longitud y la altura de estos muros hace que sea crítico el efecto del sismo en dirección normal a ellos y que la falla esperada sea por efectos de flexión.

Para ensayar la vivienda en cuestión en mesa vibradora, el tamaño de la mesa obliga a reproducir sólo una porción de la vivienda o a ensayar un modelo a escala reducida. Se eligió la segunda opción y se construyó un modelo con una escala geométrica de 1 a 2.5. Para reproducir el comportamiento dinámico del prototipo se requirió respetar en el modelo una serie de condiciones impuestas por el análisis dimensional.

Existen dos formas de cumplir con dichas condiciones. En la primera se requiere que los pesos volumétricos de los materiales que forman el modelo sean superiores a las del prototipo en una vez la escala de dimensiones, en otra alternativa, se requiere que la resistencia ante todos los posibles modos de falla sea inferior en el modelo en una vez el factor de escala.

Con estas condiciones y alterando adecuadamente la escala de tiempo y aceleraciones del movimiento sísmico, se puede relacionar directamente el comportamiento dinámico del modelo y el del prototipo y se pueden reproducir los modos de falla.

El cumplir con cualquiera de las dos condiciones es sin embargo problemático. Para la alternativa 1, sería difícil y costoso fabricar un material que tuviera 2.5 veces el peso volumétrico del adobe y conservara la misma resistencia y módulo de elasticidad.

Una forma aproximada de cumplir con esta condición es colocar masas distribuidas de manera uniforme en el modelo de manera que la masa total se incremente en la relación deseada y localmente los esfuerzos no se vean afectados.

En estructuras en que las masas están concentradas en los pisos y techos, es fácil cumplir esta condición con sobrecargas colocadas en los distintos niveles.

En el modelo en cuestión la masa principal es la de los muros y deberían colocarse pesos a distintas alturas del muro, la magnitud de las cargas necesarias es muy alta y se consideró difícil hacerlo sin afectar los muros. En la alternativa 2, aunque es factible obtener un material con una resistencia en tensión 2.5 veces menor que la del adobe, es poco probable que se pueda disminuir en la misma proporción la resistencia en compresión, la adherencia en las juntas, la fricción y el módulo de elasticidad.

Si no se modifican ni la densidad del material ni las resistencias, se puede aún así, reproducir exactamente el comportamiento y esfuerzos dinámicos en el modelo; alternativa 3; sin embargo los esfuerzos estáticos debidos al peso propio del modelo, resultan menores que los requeridos. Si estos esfuerzos son despreciables, esta es una alternativa aceptable.

En el modelo en cuestión el efecto del peso propio no es del todo despreciable ya que incrementa la resistencia en cortante y en tensión por flexión.

En vista de lo anterior se eligió una solución intermedia entre las alternativas 1 y 3; se colocaron masas adicionales que equivalían a incrementar la densidad del material en 2.5; de esta forma se puede cumplir con las condiciones dimensionales para comportamiento dinámico, mientras que los esfuerzos por cargas verticales resultan en el modelo 63% de los requeridos por el análisis dimensional; alternativa 4.

Se consideró que esta diferencia en los esfuerzos estáticos no debía afectar el modo de falla por flexión horizontal y que debería dar lugar a resultados conservadores en cuanto a la posible falla por volteo.

Con los adobes fabricados en laboratorio se construyó un modelo que reproducía en detalle las características de la vivienda típica con techo de vigas y puntales.

Este modelo se sometió a la acción de la componente N-2 del temblor de El Centro\*; se eligió este movimiento por tener periodos dominantes cortos, los cuales son más críticos para las construcciones en estudio. Por las limitaciones de desplazamiento de la mesa fue necesario alterar el acelerograma original, filtrando los movimientos de periodos largos para reducir el desplazamiento máximo a 6.25 cm. ( que a la escala del modelo equivalen a 25 cm.).

\* Sismo de el centro, California. Ocurrió el 16 de mayo de 1940.

Se comprobó que el movimiento corregido daba lugar al mismo espectro que el original en el intervalo de periodo de interés.

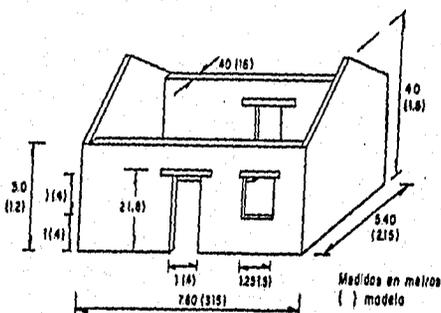
El primer modelo ensayado no tenía refuerzo especial y su objetivo fue estudiar el comportamiento sísmico y los niveles de sismo que podría resistir una vivienda típica. El modelo se sometió al acelerograma mencionado con distintos niveles de aceleración máxima. Antes de cada prueba se realizaron ensayos de vibración libre para determinar la variación del periodo fundamental y de amortiguamiento.

Se midieron aceleraciones en la mesa y en distintos puntos del modelo. Se aplicó inicialmente en movimiento correspondiente a 50% de la intensidad máxima (aceleración máxima del terreno de 0.16 g).

Esto produjo agrietamiento por flexión en los muros largos. El daño no fue muy espectacular, pero fue evidente desde el punto de vista instrumental; se observó un incremento apreciable del periodo de vibración y del amortiguamiento después de este ensayo; además, después de esta prueba los dos muros largos comenzaron a vibrar de manera independiente y con periodos diferentes.

Posteriormente se aplicaron niveles desde 10% hasta 100% de la intensidad total del sismo considerado: el daño fue muy severo para 70% de la intensidad máxima, pero no se presentó el colapso total del modelo. Posteriormente se quitó el techo y toda la masa adicional que se había colocado para cumplir con los requisitos del análisis dimensional según la alternativa 4.

Se colocó directamente sobre los muros la masa correspondiente al techo.



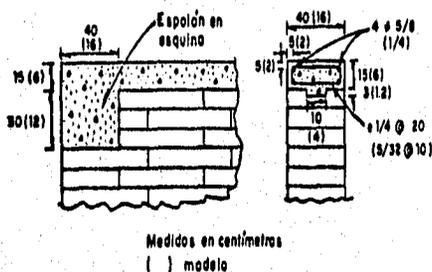
Características de una vivienda de adobe considerada como típica.

En estas condiciones la situación del ensayo era más desfavorable, ya que no se contaba con la liga que el techo proporciona a los muros y además los esfuerzos verticales debidos al peso propio eran muy inferiores a los requeridos. Se observó, para la intensidad máxima del sismo, una dislocación grave del modelo pero tampoco ocurrió el colapso.

Se cree que al colapso total no ocurrió debido a que se habían filtrado los períodos largos del temblor, por lo que los desplazamientos impuestos a la masa vibratoria no fueron suficientes para provocar el volteamiento de los muros ya totalmente sueltos. Se considera que, para el 50% de la intensidad del sismo de El Centro, el daño en el modelo fue suficientemente severo para considerar que este había fallado. La variación de aceleraciones con la altura en la parte central del muro longitudinal osciló entre un 30% y un 90%.

Un segundo modelo tenía la misma geometría que el primero y estaba construido con el mismo material, pero contaba con una cadena de concreto perimetral.

Los ensayos iniciales de vibración libre mostraron que el periodo de vibración era inferior en 16% al determinado en el modelo no reforzado; esto indica que la cadena proporciona un incremento de rigidez de aproximadamente 40%.



Dimensiones de una cadena de refuerzo de la parte superior del muro.

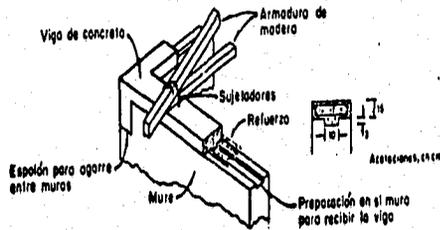
Este modelo se sometió a una serie de movimientos sísmicos con un secuencia similar a la seguida en el modelo no reforzado. Se llegó progresivamente a la intensidad máxima (90% del acelerograma de El Centro) sin que hubiera daños visibles.

El periodo no varió y el amortiguamiento aumentó al crecer la intensidad del movimiento, lo cual denota que hubo solo pequeños daños en el modelo.

Posteriormente se colocó sobre los muros una masa equivalente a la de un techo de 500 kg/cm<sup>2</sup> y tampoco se observaron daños para la intensidad máxima del sismo.

Aunque se reconoce que los ensayos no permiten conclusiones precisas a cerca de la intensidad de sismo que causa la falla de la viviendas de adobe, debido a las limitaciones de los modelos y de la mesa vibratoria, se cree que son muy indicativos en hacer patente el modo de falla y la mejora definitiva en el comportamiento sísmico si se coloca en la parte superior de los muros un elemento rígido continuo en el perímetro.

En general los ensayos indican una resistencia a sismo mayor de la que se esperaba; se considera que esto se debe solo en particular a las características del movimiento sísmico aplicado; se cree que las viviendas de adobe han fallado con frecuencia por sismos de baja intensidad debido al deterioro que tanto el adobe como los techos han sufrido con el tiempo.



Refuerzo con viga cadena de concreto.

De todo esto se puede concluir que estas pruebas son válidas para la vivienda de adobe y de piedra o de mampostería no reforzada en general.

Las viviendas típicas de un piso deben su escasa seguridad ante efectos sísmicos a problemas de falla por flexión normal al plano de muros largos. Los procedimientos de refuerzo deben mejorar las siguientes características, en orden de prioridad.

1.- Rigidización de los techos. Se requiere que las fuerzas de inercia puedan transmitirse a los elementos que sean capaces de resistirlas por medio de refuerzos en su plano ( muros alineados en la dirección de sismo); para ello es necesario que exista un elemento con alta rigidez horizontal a nivel del techo. Es conveniente rigidizar el techo para que forme diagrama por medio de un contraventeo en su plano. Una viga ( de concreto o de madera ) en el extremo superior del muro cumple parcialmente esta función.

2.- Liga de los muros entre sí y con el techo. La unión de los muros en las esquinas por el simple cuatrapeo, y la de éstos con el techo por medio del empotramiento directo de las vigas en el adobe, son muy poco eficientes.

Para obtener una mejor conexión entre los distintos elementos se requiere de refuerzo local o de elementos perimetrales continuos que estén cuidadosamente ligados a los muros y al techo.

3.- Incremento de la resistencia en flexión de los muros. Esto puede lograrse reduciendo las longitudes libres de los muros y sus alturas, con una mayor subdivisión de espacio interior o con elementos de refuerzo horizontal de acero, madera o caña.

4.- Proporcionar cierta ductilidad. Es importante disminuir el carácter altamente frágil de la falla de las construcciones de adobe. Puede obtenerse mayor ductilidad con elementos de concreto que confinen los muros en todo su perímetro o con refuerzo vertical y horizontal, siempre que éste se encuentre adecuadamente anclado al adobe.

6.- Protección contra Intemperización. Es necesario que tanto el adobe como la madera no vean afectada su resistencia por efecto de la intemperie. Por lo que respecta a los muros, la protección puede lograrse aislando el adobe de la humedad por medio de aleros en los techos y de zoclos de piedra en la base o por medio de un recubrimiento.

<sup>9</sup> Miguel Medinavitea J., Carlos J. Mendoza Escobedo, Estabilización de tierra para la construcción de viviendas, F.I. UNAM.

<sup>1</sup> Carlos Escalante Portas, Claudio C. Merrifield castro, Casas de adobe antisísmicas, Revista Ingeniería Civil, CICM, noviembre - diciembre 1977.

## **CAPITULO VI.**

### **EL ADOBE COMPARADO CON OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCION (RESISTENCIA Y COSTOS)**

## **EL ADOBE COMPARADO CON OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCION.**

En el principio de este trabajo se definieron las propiedades de la tierra que formaría el material propio para la construcción. Esta tierra pasa por un proceso de elaboración, una vez obtenido el producto (adobe, bloque, tapial, etc.), se procede a una serie de pasos para obtener el producto final, una construcción con adobe.

Los numerosos resultados de diferentes investigaciones llevadas a cabo en el mundo, permiten calcular, con una precisión relativa, las características del material tierra.

Los materiales que más atención han tenido en las investigaciones son el adobe, el bloque comprimido y el tapial, y aunque el tequesal y el bajarenque mereceran atención igual, el estudio de los primeros es similar al de los materiales convencionales, y el empleo de los segundos es prácticamente en las comunidades indígenas y rurales del país.

Tanto los materiales como el producto final, tienen ciertas propiedades, propiedades que hacen que este material, un producto eficaz, teniendo como principales puntos a favor, la confortabilidad y la economía generalmente; recordando que la economía de la obra se obtiene siempre y cuando el proceso de construcción se lleve a cabo con una organización de autoconstrucción, la obtención del material (adobe y bloque comprimido principalmente) por medio de fábricas y la dirección de mano profesional, acrecenta el costo de manera considerable.

Los organismos oficiales encargados de normalizar las características de los materiales de construcción, se encuentran un poco obstaculizados frente a este material; en efecto la tierra cruda no resiste ninguna de sus pruebas estandarizadas, pero fuera del laboratorio, en condiciones reales, resiste perturbaciones atmosféricas severas, durante siglos.

Las diferentes características que presentan los materiales elaborados con tierra se expresará, en diferentes cuadros que resumen el resultado de diferentes pruebas que se han llevado a cabo.

Cada cuadro presentará las diferentes características físicas relacionadas con su estabilidad, permeabilidad, confort térmico, acústica y varios.

De acuerdo a investigaciones, las características se subdividen en diferentes clases: A, B, C, D, donde se denota la calidad del material, el cual tiene un valor decreciente respectivamente, donde:

- A Excelente.
- B Bueno.
- C Regular.
- D Bajo.

También es necesario clasificar los diferentes materiales de acuerdo a sus características de elaboración, para ello clasificaremos con números las variantes de cada tipo de material.

#### Bloques comprimidos.

- 1). Bloques llenos no estabilizados comprimidos a  $2\text{MN/m}^2$ .
- 2). Bloques llenos estabilizados a 8% de cemento, comprimidos de 2 a  $4\text{MN/m}^2$ .
- 3). Bloques llenos de laterita estabilizados con 12 a 19% de cal, comprimidos a  $30\text{MN/m}^2$  y estufados a 95 hrs. bajo presión y  $90^\circ\text{C}$ .

#### Adobes.

- 4) Adobe no estabilizado.
- 5). Adobe estabilizado de 5 a 8 % de emulsiones de asfalto.

#### Tapial.

- 6). Tapial no estabilizado compactado de 90 a 95% con prueba Proctor Standard.
- 7). Tapial estabilizado con 8% de cemento, compacto de 90 a 95% con prueba Proctor Standard.

En la tabla se denotan dos símbolos:

- S = Símbolo.
- U = Unidades.
- CRU = No estabilizado.
- EST = Estabilizado

C L A S E S

ESTABILIDAD	S	U	A	B	C	D
Resistencia a la compresión seco a los 28 días. 40% después de 1 año. 50% después de 2 años.	l28	MN/m <sup>2</sup>	> 12	5 12	2 5	2
Resistencia a la compresión húmedo a los 28 días 24 hrs. en agua.	th28	MN/m <sup>2</sup>	> 2	1 2	0.5 1	0 0.5
Resistencia a la tensión Seco a los 28 días Ensayos Brasileños.	l28	MN/m <sup>2</sup>	>2	1 2	0.5 1	0 0.5
Resistencia a la tensión seco a los 28 días.	l28	MN/m <sup>2</sup>	>2	1 2	0.5 1	0 0.5
Resistencia a la tensión por flexión Seco a los 28 días.	l28	MN/m <sup>2</sup>	>2	1 2	0.5 1	0.5
Resistencia a la cizalladura Seco a los 28 días.	l28	MN/m <sup>2</sup>	>2	1 2	0.5 1	0.5
Coefficiente de Poisson.	u		0 0.15	0.15 0.35	0.35 0.50	> 0.5
Módulo de Young.	m	MN/m <sup>2</sup>		700 7000		
Masa volumétrica aparente.	p	kg/m <sup>3</sup>	> 2200	1700 2200	1200 1700	< 1200
Expansión Inmersión hasta saturación.		mm/m	0 0.5	0.5 1	1 2	> 2
Contracción Secado artificial hasta estabilización.		mm/m	0 1	1 2	2 5	> 5
Contracción al secado.		mm/m	< 0.2	0.2 1	1 2	B
Resistencia al impacto de un cuerpo blando; altura de la caída de un saco de arena de 27 kg.		m	> 3	2 3	1 2	> 1
Resistencia al aplastamiento con carga excéntrica vertical.	R		> 0.50	0.40 0.50	0.30 0.40	0.20 0.30
Resistencia a la flexión Presión horizontal uniforme.		Mpa	5.10 <sup>-3</sup> 6.10 <sup>-3</sup>	4.10 <sup>-3</sup> 5.10 <sup>-3</sup>	3.10 <sup>-3</sup> 4.10 <sup>-3</sup>	2.10 <sup>-3</sup> 3.10 <sup>-3</sup>
Resistencia a un empuje horizontal localizado Presión por un disco de 2.5 cm. de diámetro-muros b=2.50m., L=1.20 m, b=30cm.		N	> 4500			
Coefficiente de dilatación térmica.		mm/m	< 0.010			

BLOQUES  
COMPRIMIDOS

ADOBE

TAPIAL.

ESTABILIDAD	1 CRU	2 EST	3 EST	4 CRU	5 EST	6 CRU	7 EST
Resistencia a la compresión seco a los 28 días. 40% después de 1 año. 50% después de 2 años.	D	C	A	D	C	D	C
Resistencia a la compresión húmedo a los 28 días 24 hrs. en agua.	D	A	A	D		D	A
Resistencia a la tensión Seco a los 28 días Ensayos Brasleños.		B					B
Resistencia a la tensión seco a los 28 días	C					C	
Resistencia a la tensión por flexión Seco a los 28 días.	C					C	
Resistencia a la cizalladura Seco a los 28 días	D					D	
Coefficiente de poisson.		B					B
Módulo de Young.		B			B		B
Masa volumétrica aparente.	B	B	A	C	C	B	B
Expansión Inmersión hasta saturación.							
Contracción Secado artificial hasta estabilización.							
Contracción de secado.	B			B	B	C	C
Resistencia al impacto de un cuerpo blando; altura de la caída de un saco de arena de 27 kg.		B		B	C	B	C
Resistencia al apiastamiento con carga excéntrica vertical.		A	A	B	D	C	A
Resistencia a la flexión Presión horizontal uniforme.		A		D	C	D	A
Resistencia a un empuje horizontal localizado Presión por un disco de 2.5 cm. de diámetro-muros b=2.50m., L=1.20 m, b=30cm.		A		A	A	A	A
Coefficiente de dilatación térmica.							B

C L A S E S.

PERMEABILIDAD	S	U	A	B	C	D
Permeabilidad.		m/seg		$1 \times 10^{-8}$		
Absorción de agua por las juntas. Debe ser inferior a 15% según las normas francesas.		% (peso)	0 5	5 10	10 20	< 20
Absorción total.		kg/m <sup>3</sup>	0 7.5	5 10	10 20	> 20
Susceptibilidad al hielo.			no	poco	sensible	muy sensible
Susceptibilidad a las eflorescencias.			muy poco	poco	sensible	muy sensible
Durabilidad bajo exposición a la intemperie, sin protección.			excelente	buena	media	débil

BLOQUES                      ADOBE                      TAPIAL  
COMPRIMIDOS

PERMEABILIDAD	1 CRU	2 EST	3 EST	4 CRU	5 EST	6 CRU	7 EST
Permeabilidad.		B					B
Absorción de agua por las juntas. Debe ser inferior a 15% según las normas francesas.					A		
Absorción total .		C	A				C
Susceptibilidad al hielo.	D	B	A	D	B	C	B
Susceptibilidad a las eflorescencias.	B	B	A			B	B
Durabilidad bajo exposición a la intemperie, sin protección.	D	B	A	D	B	C	A

## CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS EN RELACIÓN CON LA HUMEDAD.

Para poder comenzar este tema es conveniente definir algunos conceptos.

**Conducción.** Es la transportación de calor por medio de colisiones entre moléculas de rápido movimiento al extremo caliente de un cuerpo de materia y entre las moléculas lentas, al extremo frío. Parte de la energía cinética de las moléculas rápidas para las moléculas lentas y el resultado de las colisiones sucesivas es un flujo de calor a través del cuerpo.

**Termia (th).** Es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de una tonelada de agua tomada a 14.5°C bajo la presión atmosférica normal.

Tomando en cuenta la conductividad, se pueden clasificar las diferentes formas de utilización de la tierra a lo largo de una curva decreciente en función de la densidad aparente. Esta curva está muy cerca de las de concreto y corresponde a la conductividad del material en una humedad de equilibrio medio del orden de 4% en volumen (2.5% en peso).

**Conductividad.** Las variaciones de la conductividad en relación con la humedad son muy importantes y equivalen al 12% para el 1% de variación en la humedad de volumen.

Así para un material totalmente seco, esta conductividad podría reducirse al 40% y para un material que alcanzara una tasa de humedad del 12% sería aumentada al 60% aproximadamente. La humedad de la tierra, depende de la temperatura y esencialmente de la humedad relativa, puede variar entre 1.5% en verano y 7% en invierno. Estas variaciones son más o menos acentuadas según la higroscopicidad del material y la de sus recubrimientos. (fig. 1 y 2)

Sobre esta curva se pueden reportar las densidades medias y aproximadas siguientes:

Tierra - paja  
1000 kg/m<sup>3</sup>

Tabique de tierra (adobe)  
1800 kg/m<sup>3</sup>

Muro colado in situ  
1800 kg/m<sup>3</sup>

Muro colado in situ (tapial)  
2000 kg/m<sup>3</sup>.

Bloques hipercomprimidos  
2300 kg/m<sup>3</sup>

#### *Almacenaje térmico.*

En relación a las capacidades de almacenaje térmico, la capacidad calorífica varía de 0.2 Kcal/Kg para la mayor parte de los muros de adobe y un poco menos (0.18 Kcal/Kg) para los bloques comprimidos de tierra estabilizada o muros colados in situ.

La aptitud del almacenaje térmico es aumentado por:

- 1.- Una fuerte capacidad calorífica.
- 2.- Una fuerte conductividad.
- 3.- La posibilidad de absorción y de reabsorción de humedad.

La aptitud al aislamiento es aumentado por:

- 1.- Una débil conductividad
- 2.- Una débil absorción de agua externa.
- 3.- En algunas configuraciones, por la migración y la condensación de la humedad interna.

Desde el punto de vista conducción, la tierra se comporta de una manera similar a los otros materiales minerales, pero trabajada de una manera adecuada se puede obtener en las construcciones de adobe un gran confort y habitabilidad.

La proporción de agua de un muro de tierra puede variar fácilmente un 5% entre el verano y el invierno. Para un muro de 40 cm. de espesor, esto significa una diferencia de más o menos 50 lts. de agua: 0.6 termias por litro o 30 termias por m<sup>2</sup>. El proceso de evaporación puede reducir de un 10 a 15% las necesidades de calefacción en las regiones de clima riguroso. (fig. a y b)

FIGURA. 1

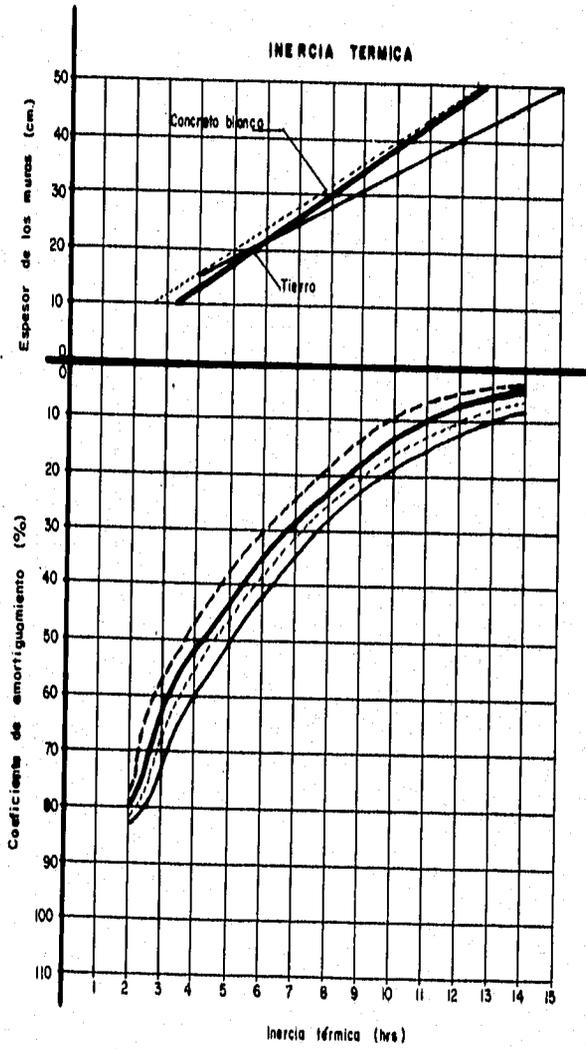
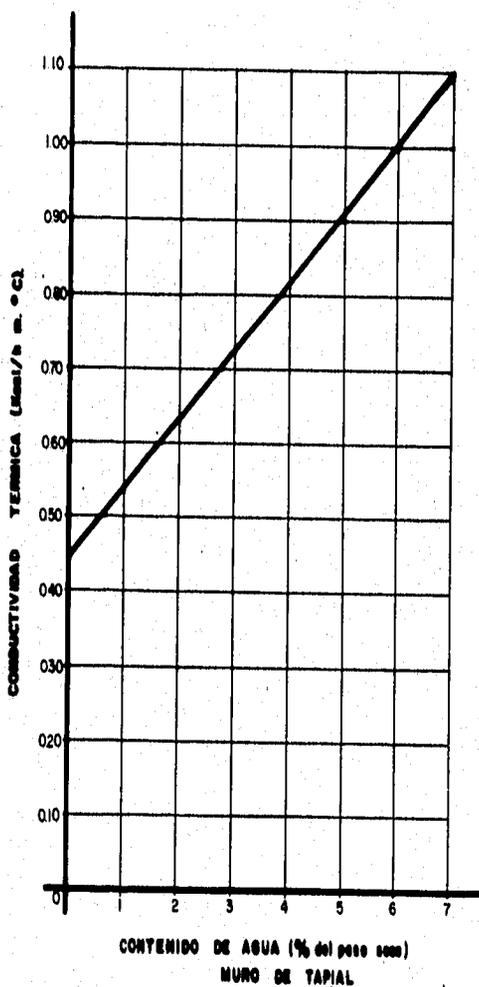


FIGURA 8.



C L A S E S

CONFORT TÉRMICO	S	U	A	B	C	D
Calor específico.	C	Kj/Kg	1.00 0.85	0.85	0.85 0.85	
Coefficiente de conducción. Depende de la densidad aparente.	$\lambda$	$hm^{2c}$	0.23 0.48	0.48 0.81	0.81 0.93	0.93 1.04
Coefficiente de amortiguación. Muro de 40 cm.	m	%	< 5	5 10	10 20	> 30
Coefficiente de diferencia de horario. Muro de 40 cm.	d	h	> 12	10 12	5 10	< 5

BLOQUES      ADOBE      TAPIAL  
COMPRIMIDOS

CONFORT TÉRMICO	1 CRU	2 EST	3 EST	4 CRU	5 EST	6 CRU	7 EST
Calor específico.	B	C		B	B	B	C
Coefficiente de conducción. Depende de la densidad aparente.	C	C	D	B	B	C	C
Coefficiente de amortiguación. Muro de 40 cm.	B	B	B			B	B
Coefficiente de diferencia de horario. Muro de 40 cm.	B	B	B			B	B

Fig. a. VIVIENDA CON MUROS DE CEMENTO Y TECHO DE LÁMINA GALVANIZADA.

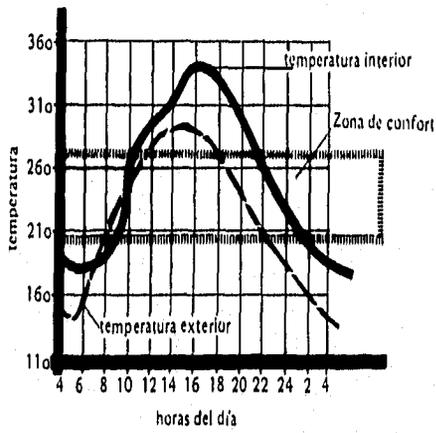
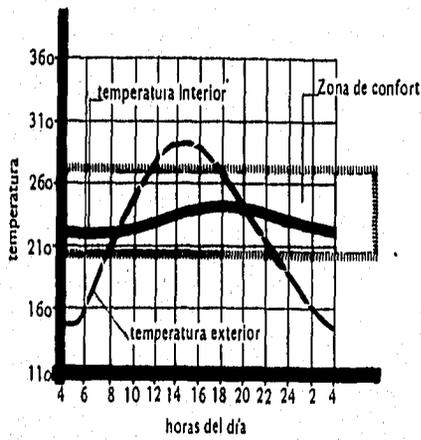


Fig. b. VIVIENDA CON MUROS DE TIERRA Y TECHUMBRE PESADA.



C L A S E S

ACÚSTICA	S	U	A	B	C	D
Coeficiente de debilitación acústica. Muro de 20 cm. a 500 Hz.		db	> 60	50	40	30
Coeficiente de debilitación acústica Muro de 20 cm. a 500 Hz.		db		60	50	40

BLOQUES      ADOBE      TAPIAL  
COMPRIMIDOS

ACÚSTICA	1 CRU	2 EST	3 EST	4 CRU	5 EST	6 CRU	7 EST
Coeficiente de debilitación acústica. Muro de 20 cm. a 500 Hz.	B	B	B			B	B
Coeficiente de debilitación acústica Muro de 20 cm. a 500 Hz.	C	C	C			C	C

C L A S E S

VARIOS	S	U	A	B	C	D
Compatibilidad de aplanados superpuestos Colgamiento natural sobre el muro sin medios mecánicos.			excelente	buena	media	débil
Uniformidad de dimensiones.			excelente	buena	mediana	mala

BLOQUES      ADOBE      TAPIAL  
COMPRIMIDOS

VARIOS	1 CRU	2 EST	3 EST	4 CRU	5 EST	6 CRU	7 EST
Compatibilidad de aplanados superpuestos Colgamiento natural sobre el muro sin medios mecánicos.	C	C	B	C	C	B	C
Uniformidad de dimensiones.	B	B	A	C	C	D	D

## **ADOBE COMPRIMIDO (ADOBLOQUE),**

Es un material elaborado a base de tierra y cemento, que como cualquier adobe tiene excelentes características térmicas y acústicas. Este es una pieza estructural que se puede elaborar de manera sólida, con huecos en forma de dala para cadenas y trabes - dala con huecos, para entrelazar los amarres de varilla. También se puede producir para pisos y techos.

### **CARACTERISTICAS TÉCNICAS.**

(FUENTE: CRA Terra.)

#### **-- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:**

<b>METODO DE ESTABILIZACIÓN:</b>	<b>RESISTENCIA</b>
Productos químicos	60 a 120 kg/cm <sup>2</sup>
Cemento	50 a 100 kg/cm <sup>2</sup>
Cal	30 a 80 kg/cm <sup>2</sup>
Emulsión o impermeabilizantes	25 a 55 kg/cm <sup>2</sup>
Paja o armazón	20 a 40 kg/cm <sup>2</sup>

#### **-- RESISTENCIA A LA TENSIÓN:**

1/5 de la resistencia a la compresión.

#### **-- MODULO DE YOUNG:**

7000 A 70 000 kg/cm<sup>2</sup>

#### **-- IMPERMEABILIDAD:**

1 x 10<sup>-6</sup> cm/segundo

#### **--CONTRACCIÓN LINEAL AL SECADO:**

Con tierra estabilizada 2 mm/metro

#### **-- CONTRACCIÓN LINEAL - HORIZONTAL DE UN MORTERO DE LODO:**

En muro con pieza de 30 x 30 x 30 cm. = 1.07 a 2 mm/5 metros.

**--DILATACIÓN TÉRMICA:**

0.012 mm/metro por ° C

**-- CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS:**

- \* Coeficiente de conducción 0.44 a 0.57 kcal/h m °C
- \* Calor específico C = 0.2 Kcal/kg.
- \* Coeficiente de transmisión de un muro de tierra estabilizada:

Muro de 20 cm.: - 1.6 Kcal/h m<sup>2</sup> °C 1.3 W/m<sup>2</sup> °C

Muro de 30 cm.: - 1.2 Kcal/h m<sup>2</sup> °C 1.0 W/m<sup>2</sup> °C

Muro de 40 cm.: - 1.0 Kcal/h m<sup>2</sup> °C 0.8 W/m<sup>2</sup> °C

muro de 50 cm.: - 0.8 Kcal/h m<sup>2</sup> °C 0.7 W/m<sup>2</sup> °C

- \* Amortización térmica para un muro de 40 cm.: 10 %.
- \* Desfasamiento horario para un muro de 40 cm.: 8 a 12 horas.

**-- CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS.**

Un muro de 40 cm. amortización de una frecuencia de 500 Hz = 56 dB.

**PANEL COVINTEC.**

Este material consiste en una armadura tridimensional de alambre de acero calibre 14, formado con armaduras de alambre abierta de 76 mm. de peralte unidas a cada 51 mm. con alambre electrosoldado. En ésta estructura se integran tiras de espuma de poliestireno expandido de 57 mm. de espesor, resultando un ensamble que aparenta una placa aislante de 2.44 x 1.22 metros con un reticula exterior de alambre.

**DATOS TÉCNICOS.**

DESCRIPCION.	NOMENCLATURA	VALOR
Resistencia a la compresión con el mortero	f'c	70 kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de fluencia en acero de refuerzo	fy	4220 kg/cm <sup>2</sup>

-- COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL PANEL COVINTEC:

0.545 Kcal/m<sup>2</sup> °C

-- COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA:

0.32 N.R.C.

-- RESISTENCIA AL CORTANTE:

Losas 1983 kg/ml.  
Muros 2586 kg/ml.

-- PESO EN kg/m<sup>2</sup>:

Sin mortero: 4.2 ks.  
Mortero de 10 cm. de espesor: 90 Kls.  
Mortero de 12 cm. de espesor: 110 Kls.

-- DIMENSIONES ESTANDAR:

Largo: 2.44 m.  
Ancho: 1.22 m.  
Espesor: 0.075 m.

**CARGAS PERMISIBLES PARA MUROS DE PANEL COVINTEC.**

ALTURA	CARGA TOTAL	PESO PROPIO	CARGA DISPONIBLE.
1.00 m.	6908 kg/ml.	148.2 kg/ml.	6759 kg/ml.
2.00 m.	6265 kg/ml.	206.4 kg/ml.	5968 kg/ml.
3.00 m.	4864 kg/ml.	362.6 kg/ml.	4502 kg/ml.
4.00 m.	4382 kg/ml.	342.4 kg/ml.	3840 kg/ml.

Con fines comparativos, a continuación se dan algunos valores del coeficiente total de transferencia de calor (U) (AISLAMIENTO TÉRMICO), como de AISLAMIENTO ACÚSTICO para otros materiales diferentes de construcción.

### AISLAMIENTO TÉRMICO.

MATERIAL	ESPESOR	"U" (Kcal/h. m <sup>2</sup> .°C)
Muro COVINTEC con aplanado de 25 mm. sobre ambas caras	10.7 cm.	0.545
Muro de tabique	14.0 cm.	4.428
Muro de bloque de concreto	20.0 cm.	4.465
Muro de concreto	10.0 cm.	14.870

### AISLAMIENTO ACÚSTICO.

MATERIAL	ESPESOR	REDUCCIÓN DE SONIDO
Muro de Tabique	14.0 cm.	33
Muro de Block de concreto	20.0 cm.	44
Muro doble de tablaroca	8.0 cm.	27.2
Muro COVINTEC con aplanado de 25 mm. sobre ambas caras	11.0 cm.	46

NOTA: El nivel de ruido normal en una casa es del orden de los 50 decibeles (db) y el de la calle de 70 db.

### OTRAS CARACTERÍSTICAS.

Los materiales aislantes de resinas plásticas presentan dudas sobre su resistencia al fuego. En el caso del Panel Covintec, el poliestireno empleado es

autoextinguible, además hay que pensar que está forrado de una buena capa de mortero. Pruebas realizadas bajo normas ASTM E - 119 resultaron en su aprobación oficial por el Estado de California como material de construcción con resistencia al fuego por más de una hora.

#### **PANEL JL.**

Este material está compuesto por una estructura de alambre de acero electrosoldado, formada por dos mallas 4-4 y 11-11, unidas por alambres en posición diagonal calibre 11, y una placa de poliestireno expandido de 6 cm. de espesor. Las mallas se encuentran separadas 15 mm. de la placa de poliestireno.

#### **PROPIEDADES AISLANTES TÉRMICAS.**

Este material es parecido al panel covintec, por tener la espuma de poliestireno.

Las cualidades aislantes térmicas, lo hacen siete veces más aislantes que el concreto reforzado y que el tabique, y cuatro veces más eficiente que el muro de tabicón, esto porque la espuma está formada por pequeñas celdas independientes que contienen aire.

#### **PROPIEDADES AISLANTES ACÚSTICAS.**

El panel JL ofrece buena resistencia al paso del ruido.

#### **RESISTENCIA AL FUEGO.**

Este material logra una resistencia al fuego de una hora y media, este índice puede incrementar a dos horas con una capa de concreto de 5 cm por cara.

#### **RESISTENCIA A SISMOS.**

Por su bajo peso relativo, las cargas muertas en las losas y entrepisos son hasta 30% menores que las de concreto reforzado y del 50% en muros de carga, lo que aunado a su composición de estructura tridimensional en caja múltiple formada por caras sólidas y contraventeadas en todas direcciones en el plano horizontal, le permite resistir los requerimientos mecánicos con eficacia.

## RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE.

NOTA: En cuanto a esta prueba y a las que se mencionan posteriormente fueron elaboradas por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, (IMCYC).

Las cargas máximas (realizadas en dos paneles) registradas fueron de  $P=17634$  kg en los paneles simples y de  $p=13800$  kg en los unidos, con lo que se puede estimar los esfuerzos de  $F = 11.5$  kg/cm<sup>2</sup> y  $14.7$  kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

## RESISTENCIA A LA FLEXION.

En los paneles simples la deformación máxima registrada fue de 12.72 mm con una recuperación a 24 hrs del 61% mientras que la menor deformación fue de 10.78 mm. con una recuperación del 65.70%

En los paneles unidos longitudinalmente la máxima deformación registrada fue de 13.9 mm. con una recuperación del 69%, la menor flecha fue de 11.70 mm. con 67% de recuperación.

De acuerdo a lo expresado en el RCDF93, la flecha máxima permitida en este tipo de elementos se expresa con la relación  $f=L/360$  y la recuperación de la flecha se especifica de 75% como mínimo. En este caso la flecha máxima permitida es de  $f=425/360 = 1.18$  mm. por lo que se puede observar las losas quedaron ligeramente fuera de la tolerancia.

## ENSAYES BAJO CARGA LATERAL. (FLEXOCOMPRESION)

Estos se efectuaron sobre paneles unidos y se obtuvieron cargas máximas de falla de 6025 kg. y 6140 kg. respectivamente, con lo que los esfuerzos estimados son de 5 kg/cm<sup>2</sup> y 5.11 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

## RESISTENCIA AL VIENTO.

Esta se llevo a cabo con la aplicación de la carga utilizando prismas de concreto con un peso de 23 kg., aproximadamente mismos que fueron dispuestos en forma uniforme en la superficie de los muros. El lastre se colocó en cuatro etapas de magnitud igual al 25% de la carga total aplicada que fue de 100 kg/m<sup>2</sup>.

En cada etapa se tomo la deflexión o flecha experimentada hasta llegar a la producida por la carga total. Con el 100% de la carga se dejo el modelo durante 24 horas, después de las cuales se registró la deflexión; posteriormente se descargó el panel permitiendo su recuperación otras 24 horas. De las tres pruebas realizadas la recuperación fue del 100%.

### TENSIÓN DIAGONAL.

En este ensayo se realizaron tres pruebas de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

CARGA (kg)	DEFORMACIÓN (centésimas de mm.)
5060	0.25
7720	0.38
6900	0.28

### COMPARACIÓN DEL ADOBE CON OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (TABIQUE, TABICÓN, BLOCK, PANEL W, PANEL COVINTEC, ADOBE COMPRIMIDO) EN CUANTO A COSTOS.

Para hacer este análisis se hizo una investigación de mercado para obtener los costos de los diferentes materiales como son: cemento, arena, agua y los que se mencionaron anteriormente para así poder llegar a un buen resultado.

Cabe mencionar que este análisis se hizo para determinar el costo de 1 m<sup>2</sup> de construcción (se analizó en muro), tomando en cuenta las recomendaciones que se dan para cada material. El muro de tabique rojo recocido, block, tabicón normalmente necesitan un terminado (repellado) que puede ser de mortero cemento-arena con relación 1:5 y un espesor mínimo de 1.5 cm. En el panel se recomienda poner un repellado de 2.5 cm. como mínimo.

En el caso del adobe comprimido de terminado aparente y el adobe vibrado, son productos que no necesitan un repellado (por el mismo terminado que se le da) por tal motivo el costo que se da, es con y sin incluir el repellado. Se recomienda que aunque no sea necesario y el material este expuesto al intemperismo se le coloque un repellado de 1.5 a 2.0 cm. de mortero cemento arena con relación 1:5.

Para el caso del adobe tradicional hecho a base de paja y que en algunas ocasiones las personas le agregan cierta cantidad de cemento para dar más resistencia, también se da el costo si este material es elaborado por la misma

gente que desea construir o por si paga a diferentes personas para su elaboración. Los muros construidos con este material deben de ser repellados con un mortero ( cemento arena, cal arena), ya que debido a su baja compacidad es muy vulnerable al intemperismo (principalmente a la lluvia).

### COSTOS POR M<sup>2</sup> DE LOS DIFERENTES MATERIALES.

CONCEPTO	COSTO POR M <sup>2</sup> (\$)	PORCENTAJE (%) (3)	DIFERENCIA EN % (4)
Tabique rojo recocido de 7 x 14 x 24 cm.	95.00	100	0
Tabicón pesado de 7 x 12 x 24 cm.	95.00	100	0
Block pesado de 10 x 20 x 40 cm.	80.00	84.21	-15.79
Panel W.	85.00	89.47	-10.53
Panel covintec.	80.00	84.21	-15.79
Adobe mejorado con 15% de cemento , vibrado y perforado de 10 x 20 x 40 cm. sin repellar.	92.00	96.84	-3.16
Adobe mejorado con 15% de cemento, vibrado y perforado de 10 x 20 x 40 cm. repeliado.	130.00	138.84	+ 36.84
Adobe mejorado terminado aparente de 10x14x30 cm. Sin repellar.	100.00	105.26	+ 5.26
Adobe mejorado terminado aparente de 10x14x30 cm. repeliado.	138.00	145.26	+ 45.26
Adobe a base de paja de 10 x 20 x 40 cm.*	90.00	94.74	- 5.26
Adobe a base da paja de 10 x 20 x 40 cm **	35.00	36.84	- 63.16

\* Adobe a base de paja y tierra que as comprado por la gente que construye.

\*\* Adobe a base de paja que es fabricado por la misma gente que construye.

En la columna 3 se da un porcentaje de los materiales tomando como base el precio del tabique rojo recocido.

En la columna 4 es una diferencia (tomando 100 - la columna 4 de cada material). Los signos negativos ( - ) significan en que porcentaje se reduce el costo y el positivo (+) lo que aumenta respecto a un m<sup>2</sup> de muro de tabique rojo recocido.

Como se ve el muro a base de adobe hecho con paja \*\* es 63.16 % más barato que un muro de tabique rojo recocido.

En cuanto a cimentación, castillos, dadas de cerramiento y en su caso losas, el costo viene siendo el mismo para una casa de adobe ( todas deben llevarlo) que para una de tabique, tabicón, block, etc, por tanto, únicamente se analizó la diferencia entre los muros.

En todos los análisis se determinó como precio unitario, donde incluye el costo directo (mano de obra, materiales, herramienta) y el costo indirecto más una utilidad sumando entre estos últimos un 25 % del costo directo. En esta forma de análisis no está incluido los muros de adobe hechos a base de paja, porque la misma gente lo elabora y únicamente estaría pagando la mano de obra para la fabricación de los muros.

<sup>q</sup> Miguel Medinavitea J., Carlos J. Mendoza Escobedo, **Estabilización de tierra para la construcción de viviendas**, F.I. UNAM.

<sup>p</sup> Catálogo de la exposición Expo CIHAC de la construcción, México 1991.

## CONCLUSIONES.

La economía del país, se encuentra en la más grave crisis de los últimos años, esto se refleja principalmente en dos aspectos fundamentales: la pérdida de empleos y el deterioro del medio rural, que tienen manifestaciones tanto en los aspectos productivos como en los sociales.

La tecnología de la construcción con tierra, ya sea el clásico tapial, los adobes hechos a base de paja, o bien las técnicas modernas de estabilización que van desde el suelo - cemento con prensa, o bien el suelo - asfalto que lo hace impermeable, representa una verdadera opción para la construcción de viviendas en pequeñas comunidades rurales y urbanas hacia un esquema de autosuficiencia y autonomía.

Por otra parte es conveniente considerar también los siguientes factores:

- a) Su fácil y amplia disponibilidad.
- b) Es idóneo en sitios donde abunda la mano de obra.
- c) Las técnicas constructivas son sencillas y no requieren equipo sofisticado.
- d) Las personas pueden manejarlos en sistemas de autoconstrucción.
- e) Es un material que climatológicamente resulta adecuado.
- f) La utilización de los materiales para la construcción consumen menos energéticos en su adaptación y aplicación que los materiales industrializados.
- g) Las construcciones resultan más económicas que con otros materiales, (tabicón, tabique rojo recocido, etc.)
- h) Son materiales que pueden reincorporarse fácilmente al medio natural, sin provocar contaminación.
- i) Poseen propiedades térmicas, acústicas y plásticas.
- j) Para mejorar su resistencia y apariencia requieren un mínimo de materiales tecnificados o industrializados.

Para la selección de la tierra destinada a la elaboración del adobe, se deben tomar en cuenta las recomendaciones que se mencionan en este trabajo, referente al contenido de arena, arcilla, humedad óptima, plasticidad, contenidos en las normas BS y ASTM. Un aspecto muy importante es la contracción lineal que pueda tener la tierra y que no debe ser mayor a 10% de su longitud original al hacer el ensaye.

En habitaciones de un solo nivel, para darle mayor seguridad y que se construyeron sin la supervisión de personal calificado se puede hacer lo siguiente: rigidizar los techos, que puede ser con una viga de concreto en el extremo superior del muro; también debe existir liga de los muros entre sí y con el techo. Para darle mayor resistencia a la flexión a los muros, se reducen las longitudes libres y sus alturas de estos, con una mayor subdivisión del espacio interior o con elementos de refuerzo horizontal de acero o madera.

Para proporcionar mayor ductilidad, se puede obtener con elementos de concreto que confinen los muros en todo su perímetro o con refuerzo vertical y horizontal, anclándolos adecuadamente al adobe. Algo no menos importante es la protección contra la intemperización, para evitarlo se debe de colocar un recubrimiento o por medio de aleros en los techos y de zoclos de piedra en la base. Si este efecto es muy fuerte se puede colocar una malla de gallinero anclada al muro, para posteriormente repellarlo con un mortero cemento - arena u otro.

El adobe es un material pesado, por tanto, se recomienda que las construcciones se desplanten sobre un terreno firme, en caso contrario se encarecería la construcción por la cimentación que debe ser más robusta y lo que se persigue en una construcción es la economía, sin sacrificar la calidad claro esta.

Dentro de este tema se siguen llevando a cabo investigaciones en diferentes instituciones a cerca de este trascendental material, que de alguna manera pueden modificar algunas inciertos (empíricos) en los resultados sobre este material. Pero sin embargo la intención es que este trabajo sirva como guía a las personas que están relacionadas con la industria de la construcción, tanto en el medio rural como en zonas urbanas.

## BIBLIOGRAFIA.

- a) Juárez Badillo, **Mecánica de Suelos Vol. I**, Editorial Limusa, México.
- b) Secretaría de Desarrollo Social, **Cartilla para la Autoconstrucción de una Vivienda de Adobe**, México.
- c) IMCYC, **Fabricación de ladrillos con mezclas de suelo - cemento**, México.
- d) Tercer Simposio CIB/RILEM, **Machibloque de tierra comprimida estabilizada**, México 1989.
- e) Comisión Nacional del Agua, IMTA, **Mecánica de Suelos, Instructivo para ensayos de suelos**, México 1990.
- f) IMCYC, **Tierra, técnicas de construcción**, México.
- g) Miguel Medinavieja J., Carlos J. Mendoza Escobedo, **Estabilización de tierra para la construcción de viviendas**, F.I. UNAM.
- h) Quispe de Alcalá Francisco, **Técnica para la construcción de muros hechos con bloques de suelo - cemento**, Revista IMCYC, México. Vol. 8, No. 47, noviembre - diciembre. 1970.
- i) Carlos Escalante Portas, Claudio C. Merrifield Castro, **Casas de adobe antisísmicas**, Revista Ingeniería Civil, CICM, noviembre - diciembre 1977.
- j) Secretaría de desarrollo Social, **Alternativas en materiales para la construcción de la vivienda**, México.
- k) González Torres Biviano, **Tierra sin cocer en la construcción**, Tesis profesional, UNAM, CAMPUS ARAGON, México 1995.
- m) Mario Cesar Olvera Martínez, **Una solución a construcciones rurales: Tierra Mejorada**, Tesis profesional, Universidad Anahuac, Escuela de Ingeniería, México 1990.
- n) Información proporcionada por la empresa ITAL - MEXICANA S.A., alta tecnología en maquinaria.
- o) International Workshop on Earthen Buildings in Seismic Areas, Vol. 1 y II, Albuquerque, New Mexico, mayo 24 - 28, 1981.
- p) Catálogo de la exposición Expo CIHAC de la construcción, México 1991.