

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

CONSTRUCCION DE VIVIENDAS CON TIERRA APISONADA  
(RECOMENDACIONES PARA SU HABITABILIDAD  
Y REDUCCION DEL RIESGO SISMICO).

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

MARIO LEONEL RAMIREZ TOLEDO

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 1.996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

08  
T(3619)  
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**CONSTRUCCION DE VIVIENDAS CON TIERRA APISONADA,  
(RECOMENDACIONES PARA SU HABITABILIDAD  
Y REDUCCION DEL RIESGO SISMICO).**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 4 de marzo de 1.994.

Mario Leonel Ramirez Toledo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO :                   ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK  
VOCAL PRIMERO:           ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA  
VOCAL SEGUNDO:          ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO  
VOCAL TERCERO:           ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ  
VOCAL CUARTO:           BR. FERNANDO WALDEMAR DE LEON CONTRERAS  
VOCAL QUINTO:           BR. PEDRO IGNACIO ESCALANTE PASTOR  
SECRETARIO:              ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO :                   ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK  
EXAMINADOR:              ING. JUAN MIGUEL RUBIO ROMERO  
EXAMINADOR:              ING. IRVIN BENJAMIN MARTINEZ QUEVEDO  
EXAMINADOR:              ING. ORLANDO ANTONIO HERRARTE CARRANZA  
SECRETARIO:              ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS - MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA



Guatemala, 27 de octubre de 1,995.

Ingeniero  
Javier Quiñonez de la Cruz  
Jefe del Area de Materiales  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Quiñonez:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis titulado "CONSTRUCCION DE VIVIENDAS CON TIERRA APISONADA. (RECOMENDACIONES PARA SU HABITABILIDAD Y REDUCCION DEL RIESGO SISMICO)", realizado por el estudiante universitario Mario Leonel Ramirez Toledo, para el cual, el suscrito fue nombrado asesor del mismo.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Ramirez Toledo es de especial importancia pues proporciona valiosa información técnica para la construcción segura de viviendas con tierra apisonada.

Después de la revisión del mismo considero que se ha cumplido con el proyecto de investigación programado, por lo que de mi parte, queda aprobado el presente trabajo de tesis para su impresión y publicación.

Atentamente,

  
Ing. Jorge Mario Morales G.  
ASESOR



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala.

23 de noviembre de 1995

Ingeniero Jack Douglas Ibarra.  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Civil.  
Facultad de Ingeniería.

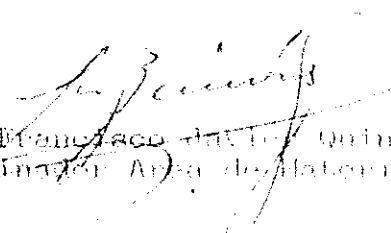
Señor Director:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis CONSTRUCCION DE VIVIENDAS CON TIERRA APISONADA (RECOMENDACIONES PARA SU HABITABILIDAD Y REDUCCION DEL RIESGO SISMICO), desarrollado por el estudiante universitario Mario Leonel Ramirez Toledo, quien contó con la asesoría del Ingeniero Jorge Mario Morales.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos para los cuales fué planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente.

"EDUCACION Y ENSEÑANZA A TODOS"

  
Ing. Francisco Javier Quinones  
Coordinador Área de Materiales



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Jorge Mario Morales González y del Coordinador del Area de Materiales Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, sobre el trabajo de tesis del estudiante Mario Leonel Ramirez Toledo, titulado CONSTRUCCION DE VIVIENDAS CON TIERRA APISONADA (RECOMENDACIONES PARA SU HABITABILIDAD Y REDUCCION DEL RIESGO SISMICO), da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, enero de 1,996.

JDIS/hbdeb.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis CONSTRUCCION DE VIVIENDAS CON TIERRA APISONADA (RECOMENDACIONES PARA SU HABITABILIDAD Y REDUCCION DEL RIESGO SISMICO), del estudiante Mario Leonel Ramirez Toledo, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podeszueck  
DECANO



Guatemala, enero de 1, 1996

/s/decab.

**ACTO QUE DEDICO A:**

VIRGEN SANTISIMA

MIS PADRES

Olidia y Leonel

MIS HERMANOS

Allen, Odette y Carlos

MIS ABUELOS

Virginia y Benedicto  
Juventina y Mariano

MI FAMILIA

Tias, Tíos, Primas, Primos

MIS AMIGOS

Por el apoyo que me han  
brindado

**AGRADECIMIENTO A:**

DIOS

El Ingeniero Jorge Mario Morales González.

El Ingeniero Javier Quiñónez de la Cruz.

La Facultad de Ingeniería.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.



## INDICE

INTRODUCCION .....	I
OBJETIVOS .....	II
ANTECEDENTES .....	III
JUSTIFICACION .....	V

### CAPITULO 1

#### TECNICAS DE CONSTRUCCION CON TIERRA APISONADA

1.1 Suelo compactado .....	1
1.1.1 Muros compactados dinamicamente por impacto .....	1
1.1.2 Muros compactados dinamicamente por vibración .....	1
1.1.3 Bloques compactados dinamicamente por impacto .....	2
1.1.4 Bloques compactados dinamicamente por vibración .....	2
1.1.5 Bloques compactados estaticamente .....	2

### CAPITULO 2

#### REQUISITOS ESTRUCTURALES DE DISEÑO

2.1 Origen de los sismos .....	3
2.2 Características de acción sísmica .....	4
2.3 Decálogo sismoresistente .....	7
2.3.1 Ubicación adecuada .....	7
2.3.2 Material resistente .....	7
2.3.3 Construcción ligera .....	7
2.3.4 Estructura simple, simétrica y regular .....	8
2.3.5 Rigidez inicial, tenacidad .....	10
2.3.6 Distribución uniforme de rigidez, resistencia y ductilidad .....	10
2.3.7 Estructura redundante, sistemas de defensa .....	11
2.3.8 Detalles constructivos apropiados .....	13
2.3.9 Equilibrio adecuado de rigidez y resistencia entre elementos y conexiones .....	14
2.3.10 Cimentación compatible .....	14

### CAPITULO 3

#### MATERIALES RECOMENDADOS

3.1 La preparación de tierra apisonada .....	15
3.1.1 La preparación del suelo .....	15
3.1.2 La excavación del suelo .....	15
A.1 Manual .....	15
B.1 Mecánica .....	16
3.1.3 Tamizado .....	16
3.1.4 La pulverización .....	16
3.1.5 Mezcla .....	16
3.1.6 El transporte .....	16
3.2 Descripción de análisis de material .....	17
3.2.1 Ensayos de laboratorio .....	17
3.2.2 Ensayos de campo .....	18

CAPITULO 4  
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

4.1	Formaletas .....	23
4.1.1	Formaleta horizontalmente deslizable .....	23
4.1.2	Formaleta verticalmente deslizable .....	23
4.1.3	Formaleta integral horizontal .....	23
4.1.4	Formaleta integral vertical .....	24
4.1.5	El movimiento de la formaleta .....	24
4.1.6	Armadura formaleta .....	24
4.1.7	Formaleta con rodillos .....	24
4.2	Formaleta deslizable .....	24
4.2.1	Formaleta para esquinas .....	25
4.2.2	Formaleta base .....	25
4.3	Formaleta no modular .....	25
4.3.1	Formaleta modular .....	25
4.3.2	Esquina integral .....	25
4.4	Formaleta típica elaborada con tecnología nacional ..	25
4.5	Apisonadores .....	31
4.5.1	Apisonadores convencionales .....	32
4.5.2	Máquina - ayuda de apisonado .....	32
4.6	Aspectos de normalización .....	33
4.6.1	Dimensiones y superficies mínimas de ambientes ..	33
4.6.1.1	Requerimientos sobre la vivienda .....	34
4.6.1.2	Iluminación .....	37
4.6.1.3	Orientación por vientos .....	38
4.6.1.4	Ventilación .....	39

CAPITULO 5  
CONDICIONES DE HABITABILIDAD DE LA VIVIENDA

5.1	Orientación .....	41
5.1.1	Generalidades de sistema Tierra-Sol .....	41
5.1.2	Aspectos climáticos de Guatemala .....	43
5.1.3	La carta solar y el transportador de ángulos de sombra .....	43
5.2	Confort térmico .....	47
5.2.1	El confort ambiental .....	47
5.2.2	Transmisión térmica de los materiales de construcción .....	49
5.3	Impermeabilidad .....	51
5.3.1	Protección contra la humedad .....	51
5.3.2	Materiales impermeabilizantes .....	53
5.3.2.1	Repellos .....	53
5.4	Salubridad .....	54
5.4.1	Uso de la letrina .....	54
5.4.2	Uso de estufa .....	57

**CAPITULO 6**  
**DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PROTOTIPO DE VIVIENDA**

6.1	Consideraciones generales .....	58
6.2	Propiedades de la caña .....	59
6.2.1	Esfuerzos de tensión .....	59
6.2.2	Efectos de la humedad .....	59
6.3	Uso de la caña en muros .....	60
6.3.1	Refuerzo a corte .....	60
6.3.2	Refuerzo a flexión .....	61
6.4	Detalles de anclajes .....	62
6.5	Análisis de la planta en estudio .....	65
6.6	Planteo del prototipo .....	70
6.6.1	Planificación de la vivienda .....	70
6.6.2	Distribución y uso del área .....	70
6.6.3	Orientación de la vivienda .....	70
6.6.4	Detalles constructivos .....	71
6.6.5	Recomendaciones higiénicas .....	71

**CAPITULO 7**  
**SISTEMA CONSTRUCTIVO**

7.1	Limpieza de terreno .....	74
7.2	Nivelación .....	74
7.3	Replanteo .....	76
7.4	Excavación .....	76
7.5	Cimentación .....	76
7.6	Muros .....	77
7.6.1	Proceso constructivo con suelo estabilizante ....	78
7.6.1.1	Antes de la construcción .....	78
7.6.1.2	En construcción .....	78
7.6.1.3	Despues de la construcción .....	79
7.7	Techo .....	79
7.7.1	Colocación del techo .....	80

CONCLUSIONES .....	VI
RECOMENDACIONES .....	VII
REFERENCIAS .....	VIII
BIBLIOGRAFIA .....	IX

## GLOSARIO

### Adherencia:

Resistencia a la separación o al deslizamiento en la superficie de contacto de dos materiales.

### Cohesión:

Fuerza que mantiene unida entre sí partículas que constituyen una masa.

### Desencofrar:

Acción de quitar el molde (formaleta) al muro o estructura apisonada de suelo más estabilizante.

### Estabilidad:

Propiedad de los cuerpos de conservar su posición de equilibrio, aunque obren fuerzas sobre ellos.

### Formaleta:

Molde con el cual se logra darle la forma deseada al suelo estabilizado.

### Muro apisonado:

Son muros elaborados dentro de una formaleta y que son levantados por capas sucesivas de apisonado. La formaleta le proporciona la verticalidad que debe poseer el muro terminado y ayuda en el confinamiento del material provocado por el proceso de levantado. El material a apisonar puede ser un suelo en estado natural o un suelo estabilizado.

### Estabilización suelo-Cal:

Manera de mejorar la composición físico-mecánica de un suelo por medio de la cal, con el propósito de obtener material resistente a las cargas de servicio a que se le someterá.

### Suelo-Cemento:

Es un ejemplo de suelo estabilizado; un suelo con las características adecuadas ha sido alterado en su composición con cemento portland, que viene a constituir el estabilizador; de acuerdo a la composición del suelo, se le añade la cantidad de cemento que necesita para que se obtenga un material suficientemente fuerte para resistir las cargas de servicio a que se le someterá, así como las cualidades necesarias para impedir la absorción de humedad y los consiguientes cambios de volumen.

### Esfuerzo de tensión:

Es el esfuerzo normal que produce tensión o tracción en la superficie de una sección transversal.

Esfuerzo de trabajo ( $f'm$ ):

Es el esfuerzo obtenido como resultado de dividir la fuerza aplicada entre el área transversal real correspondiente que una probeta tiene en el mismo instante en que se aplica la fuerza y es llamado también, esfuerzo real.

Límite de fluencia ( $f_y$ ):

es el punto hasta el cual los valores experimentales de esfuerzos versus deformación están esencialmente en una línea recta y después del cual, el material sufre una deformación permanente.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

## INTRODUCCION

La mayoría de viviendas que se construyen en el área rural, se realizan con recursos que la naturaleza les proporciona, siguiendo los procedimientos constructivos que les fueron inculcados por sus ancestros, sin ninguna tecnología adecuada que permita resistir los embates de los fenómenos naturales. Así mismo no se toman en cuenta otros aspectos tales como orientar la vivienda según sea la región y el clima para poder obtener un confort adecuado de la misma durante las distintas épocas del año.

El presente estudio es una recopilación de información sobre el uso de la tierra apisonada en la construcción de viviendas, que pueda servir para dar una orientación adecuada a personas que emplean la tierra como material de construcción de viviendas económicas, así como dar una guía para obtener los mayores beneficios en lo que se refiere a la orientación de la vivienda dando confort, iluminación adecuada, ventilación y sobre todo seguridad.

Se planteó un modelo de vivienda empleando las medidas recomendadas para su ejecución siguiendo un estudio realizado en investigaciones anteriores sobre el tema, empleando distintos materiales y estabilizantes, para obtener un mejor funcionamiento del sistema en estudio.

## OBJETIVOS

Que el estudio realizado sirva de guía al estudiante y al profesional, de cómo elaborar este tipo de vivienda para tener un control determinado de lo que están realizando en determinado proyecto, empleando la construcción de viviendas con tierra apisonada.

Recopilar información utilizada en la construcción de viviendas de bajo costo, segura y confiable; observando aspectos técnicos, de diseño y normalización, así como las recomendaciones sobre requisitos mínimos de diseño y métodos constructivos para obtener una vivienda adecuada.

## ANTECEDENTES

El 30% de la población mundial vive en una casa de tierra no cocida. Aproximadamente el 50% de dichos porcentajes corresponden a países en vías de desarrollo. Ha sido observado por ejemplo, que en el Perú el 60% de las casas son construidas con adobe o tierra apisonada. En Kigali, la capital de Ruanda, el 38% de la vivienda es construida con tierra no cocida, mientras que en la India, el censo hecho en 1971 muestra que el 72% de todas las edificaciones son hechas con tierra, en Africa se puede ver que la gran mayoría de estructuras rurales y aún urbanas son hechas con técnicas tales como banco, thobe, daga y leuh. Esta inentendible diversidad de nombres refleja la gran variedad de técnicas de construcción y el conocimiento bastante refinado de las cualidades ingenieriles de construcción ofrecidas por la tierra, las cuales han sido conocidas por el hombre desde tiempos antiguos.

La arquitectura e ingeniería de tierra también tiene profundas raíces en el Medio Este: Irán, en el corazón de la antigua Persia; Irak, cuna de la civilización Sumeria; Afganistan; Yemen del Norte y del Sur. Las Técnicas del arco-cañon (bóveda) y del domo, fueron perfeccionadas en Irán en los antiguos centros de Bam, Yazd y Seojan los cuales sirven de testimonio, donde hay construcciones de más de 10 pisos. En China, en la ciudades de Henan, Shanxi y Gansu, más de 10 millones de personas viven en casas cavadas directamente en estratos de corteza terrestre. En el interior de Mongolia, en hebei y jilin; en sichuan y hunan, las viviendas rurales, en su mayor parte, están construidas con tierra apisonada, adobe y entramado.

En Europa las viviendas de tierra continúan siendo una característica de las campiñas de varios países que incluye Suecia, Dinamarca, Alemania, Inglaterra, España y Portugal. En Francia, el 15% de la población (la mayor parte rural) vive en casas construidas con adobe, tierra apisonada o entramado.

Los países industrializados, que han confrontado una doble crisis: económica y energética, han comenzado a darle a la tierra un lugar preponderante como material de construcción, y están desarrollando programas de investigación y aplicación de construcciones de tierra. Los Estados Unidos oficialmente han reconocido el uso del adobe y tierra apisonada y han integrado estas técnicas de construcción a las normas regionales y nacionales. La inversión en programas de investigación sobre las características físicas y térmicas de la tierra son de varios millones de dólares.



En los países en vías de desarrollo, la construcción con tierra parece ser un medio más efectivo para la construcción de viviendas en un corto periodo de tiempo, de modo que el mayor número de personas puedan vivir en una casa, lo cual a su vez, anima y desafía a hacer uso de materiales locales. La demanda por viviendas en los países en desarrollo actualmente es inmensa. Estudios realizados indican que la población afectada por falta de vivienda no tiene otra opción que hacer uso de materiales locales y en la mayoría de los casos, significa hacer uso de la tierra. En síntesis, parece ser que el uso universal de construcción con tierra continuará como figura importante en el futuro.

## JUSTIFICACION

Debido a la falta de recursos en nuestro medio para la obtención de materiales de construcción convencionales, especialmente en el área rural, se debe recurrir al empleo de materiales locales para la elaboración de viviendas de bajo costo. La seguridad y durabilidad de las mismas, nunca han significado una garantía debido a los métodos artesanales y empíricos que se han empleado ancestralmente. Por tal razón se propone la construcción de viviendas con tierra apisonada como una solución económica y al alcance de la población de escasos recursos, pero tomando en consideración aspectos técnicos, de diseño, de construcción, normas, así como también condiciones adecuadas de habitabilidad y requisitos sísmicos, de manera que las mismas proporcionen confort dentro de un ambiente adecuado para su uso. Que se pueda emplear como guía, a disposición del estudiante como consultas y elaboración de futuros proyectos, empleando este tipo de construcción.

## CAPITULO 1

### TECNICAS DE CONSTRUCCION CON TIERRA APISONADA

#### 1.1 Suelo compactado.

La tierra, de naturaleza permeable y porosa, es extremadamente vulnerable al agua. Una vez penetra a los vacíos de este material, causa daños tremendos. Esta vulnerabilidad al agua puede ser disminuida y su resistencia incrementada al reducir sus vacíos. Esto puede ser logrado compactando el suelo, así se aumenta su densidad y se disminuyen los vacíos.

##### 1.1.1 Muros compactados dinámicamente por impacto.

Esta técnica ha hecho uso de la tierra mezclada con cierta cantidad de piedras, no se usa ningún material fibroso, comprimida en el interior de un encofrado (alrededor de 3 metros de largo por 90 centímetros de alto, variando según las diferentes regiones) con la ayuda de un pisón. El levantamiento del muro se realiza por series sucesivas de 90 centímetros de altura, dando vueltas al edificio, rompiendo las juntas y colocándolas alternadas en los segundos 90 centímetros de muro.

Con esta técnica se tiene la ventaja que el muro es homogéneo así como también se tiene un gran espesor en una sola operación. Otras ventajas que se tienen son: ningún parásito en los muros, ninguna contracción en el secado, ningún pudrimiento de fibras, uso de poca madera y buena respuesta frente a incendios.

Entre las desventajas se tienen: la erosión bajo inclemencias del tiempo como viento y lluvia, se necesita un revoque de cal y arena y se requiere protección contra la lluvia durante el período de secado.

##### 1.1.2 Muros compactados dinámicamente por vibración.

La compactación vibratoria ha sido aplicada a la tierra compactada dando resultados satisfactorios. La máquina que se utiliza para el efecto, tiene la forma de un pequeño vibrador eléctrico que contiene un peso que rota excéntricamente, el cual produce la vibración al rotar de arriba hacia abajo dentro de la máquina. El movimiento de la máquina de un lado al otro (el punto de partida) es controlado por un interruptor. Este sistema representa un considerable ahorro de mano de obra. El rango de tales máquinas en el mercado, hoy día, es bastante extenso.

### 1.1.3 Bloques compactados dinámicamente por impacto.

La producción manual de bloques por compactación del suelo, en moldes de madera o metal con pisones, es una técnica muy vieja; requiere de un trabajo esmerado y el rendimiento es bajo. Aparte de ello es difícil controlar el espesor de los bloques, de modo que sean uniformes. Varios intentos de mecanización han sido realizados utilizando este tipo de compactación por impacto, sin embargo, no han dado los resultados esperados debido a los problemas presentados en cuanto a la lentitud de operación, control de grosor y densidad de los elementos fabricados.

### 1.1.4 Bloques compactados dinámicamente por vibración.

Esta técnica se ha utilizado para producir bloques de tierra dando resultados favorables. Bloques huecos pueden ser construidos usando compactación por vibración. Debido a que este sistema es mecanizado representa un ahorro considerable de esfuerzo, además de que se uniformizan las características de los elementos.

### 1.1.5 Bloques compactados estáticamente.

La producción de bloques de tierra puede asegurarse gracias a la utilización de una prensa manual o automática, que permite una compresión elevada de la tierra en el molde. Una vez secos, los bloques alcanzan una solidez bastante considerable. Las máquinas manuales están compuestas de un molde cuya parte superior es móvil y está accionada por un brazo, de un émbolo que constituye el fondo del molde y que vuelve a subir por la acción del brazo y comprime la tierra contenida en el molde. Entre éstas máquinas están la CINVA-RAM (Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento Universidad Nacional de Colombia.), diseñada por el ingeniero chileno Raúl Ramírez; y la CETA-RAM diseñada por el ingeniero Guatemalteco Roberto Lou Ma, siendo ésta última máquina una modificación de la primera. Los bloques producidos por esta máquina tienen una resistencia a la compresión de aproximadamente 35 kg/cm<sup>2</sup> y rendimiento entre 800 y 1,000 unidades en 8 horas de trabajo.

## CAPITULO 2

### REQUISITOS ESTRUCTURALES DE DISEÑO

#### 2.1 Origen de los sismos

Desde épocas remotas, los hombres han achacado los movimientos del suelo a las mas diversas teorías, en las que normalmente divinidades de turno se repartían la carga y la responsabilidad de los sismos según las diferentes culturas. Hoy día se conoce suficientemente que los temblores de tierra son debidos a la propia estructura del planeta en que vivimos y a la súbita liberación de la energía que se ha ido acumulando paulatinamente y por diversas formas causadas sobre la superficie o corteza terrestre.

El hundimiento de cavernas con estructuras de tipo Karst o la rotura de diapiros son aspectos de este fenómeno, así como aquellos que tienen su origen en la actividad volcánica o en deslizamiento del terreno. Sin embargo los terremotos realmente peligrosos son los de origen tectónico. Como es sabido, el análisis de la propagación de las ondas sísmicas, por la tierra, hace pensar que ésta puede dividirse básicamente en tres capas concéntricas principales:

**La corteza** que es una capa rígida, es más delgada sobre los océanos que por los continentes, está constituida por un material frágil, y su espesor varia entre los 20 y los 100 kilómetros.

**El manto** es una capa constituida por rocas en estado viscoso o plástico, sometido a una presión y temperatura alta, pudiendo alcanzar cerca de los 3000 kilómetros de profundidad.

**El nucleo** que se encuentra en el interior, a continuación del manto, y que puede subdividirse en núcleo interno y externo en función del tipo de material de que está constituido.

De acuerdo con las teorías de Wegener, la litósfera, constituida por la corteza terrestre y la parte superior del manto, con un espesor medio de unos 1000 km, flotan de forma continua sobre la parte interna del manto (astenosfera) estando dividida, en una quincena de placas rígidas, resistentes mecánicamente pero, frágiles y con un comportamiento más o menos elástico. Estas placas, debido a las corrientes internas de convección, pueden desplazarse lentamente, lo que origina la acumulación de tensión en los bordes de las placas que chocan entre sí, así como la aparición de dorsales en las zonas donde las placas se separan.

Los movimientos sísmicos se producen tanto en las zonas de rozamiento entre las placas que chocan, como en las zonas donde las placas se separan, coincidiendo estas últimas normalmente con zonas internas de los grandes mares u océanos. Cuando dos placas chocan entre si, con el paso del tiempo los materiales que las conforman van entrando paulatinamente en carga hasta que en algún punto supera la resistencia límite del material, produciéndose una rotura que, debido a la modificación del estado tensional en su entorno, se propagan con gran rigidez por la roca provocando una falla normalmente interna, pero que en ocasiones puede dejarse ver al exterior.

La energía que se libera en el momento de la rotura provoca un movimiento sísmico que se propaga por la corteza en forma de ondas sísmicas. La transmisión de las ondas se realiza fundamentalmente por la roca, a la vez que se va amortiguando, pudiendo alcanzar la superficie terrestre con suficiente energía como para provocar el movimiento de las obras que el hombre ha construido sobre ésta, llegando incluso a producir grandes destrozos por efectos inerciales y afectando tanto a las estructuras realizadas con tecnologías modernas con un alto nivel de ingeniería y de cálculo, así como a las realizadas con métodos tradicionales.

El movimiento consta de seis componentes, tres de desplazamiento y tres de rotación, sin embargo su caracterización cinemática se efectúa normalmente sólo con una o, todo lo más, dos componentes: el desplazamiento horizontal en una dirección y del desplazamiento vertical. En la figura 1, se representan básicamente las tres componentes traslacionales del mismo. Los parámetros que definen el movimiento sísmico tiene una gran aleatoriedad y, además, la base estadística registrada es aún muy escasa, por lo que normalmente esta acción se suele definir por medio de los denominados espectros de respuestas. (1)

## 2.2 Características de la acción sísmica

Los parámetros básicos para la caracterización de un movimiento sísmico son la aceleración, la velocidad, el desplazamiento y el contenido frecuencial. Lógicamente otro factor imprescindible en su definición es la caracterización probabilística. Dada la escasez de registros existentes, para definir mecánicamente la acción sísmica es necesario recurrir a los espectros de respuesta.

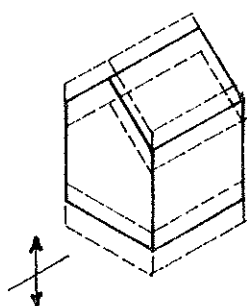
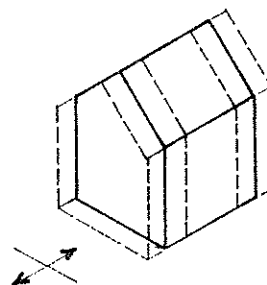
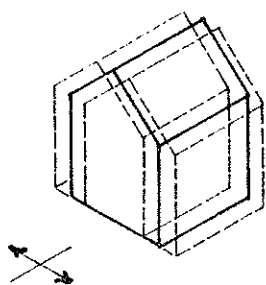
En el supuesto de que un movimiento sísmico alcance a un oscilador simple la ecuación del movimiento resultante de éste estará gobernada por la ecuación diferencial fundamental del problema dinámico:  $M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = -My_s$  donde  $y_s$  representa la aceleración del suelo producida por el movimiento sísmico,  $y$  es el desplazamiento relativo de la masa  $M$  respecto al suelo,  $\dot{y}$  es la velocidad relativa,  $K$  es la rigidez lateral del oscilador y  $C$  representa el amortiguamiento del sistema.

Resolviendo esta ecuación diferencial por un proceso oportuno, podría obtenerse como resultado el valor de la aceleración máxima  $A_{max}$ , la velocidad máxima  $V_{max}$  y el desplazamiento  $D_{max}$  que sufrirá la masa  $M$  del oscilador al sufrir un sismo dado. Con estos valores se habría caracterizado, de forma escueta, el movimiento sísmico para el periodo de vibración propio del oscilador simple que se ha utilizado y en definitiva, podría aproximarse cuantitativamente el efecto del sismo sobre la estructura que el oscilador representa. (1)

Si se dispusiera de múltiples osciladores simples con periodos  $T$  diferentes, en vez de uno sólo, y se procediera con cada uno de ellos de la misma manera, se obtendrán los valores de  $A_{max}$ ,  $V_{max}$ , y  $D_{max}$  para una multitud de periodos propios de la vibración de una curva (espectro de respuesta) para las aceleraciones, otra para las velocidades  $y$ , finalmente, una más para los desplazamientos. De esta forma se puede caracterizar un movimiento sísmico en función de las repuestas máximas de diversos parámetros que se considere, así como determinar curvas diferentes según distintos niveles de amortiguamiento. (Ver figura 2).

Así pues, partiendo del espectro de respuesta en aceleraciones, por ejemplo, se puede determinar de manera directa, cual habría sido la repuesta máxima de aceleraciones que hubiera tenido que soportar un sistema mecánico cuyo período propio de vibración fuera uno de los definidos en el espectro, al sufrir los efectos de un movimiento sísmico determinado. Dependiendo del riesgo sísmico de la zona en cuestión podría caracterizarse probabilísticamente el valor de la aceleración máxima que puede esperarse en esa zona con un periodo de retorno determinado.

Existen zonas sísmicas donde la forma de los espectros de repuesta es bastante diferente, si bien se trata de zonas limitadas con suelo de características muy particulares en definitiva, en principio resulta imprescindible adoptar medidas de diseño sismoresistente al construir estructuras de adobe en zonas sísmicas de alto riesgo.



OSCILACIONES SISMICAS

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = -M\ddot{y}_s$$

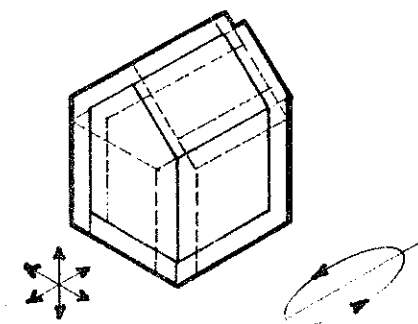
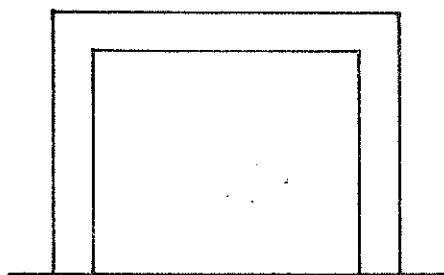
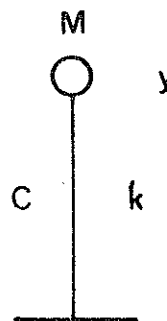


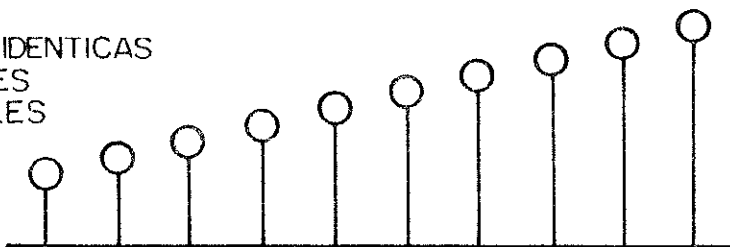
FIGURA No. 1



OSCILADOR SIMPLE



MASAS IDENTICAS  
RIGIDECES  
VARIABLES



MULTIPLES OSCILADORES SIMPLES

FIGURA No. 2



## 2.3 Decálogo sismoresistente

### 2.3.1 Ubicación adecuada

En primer lugar, la estructura deberá estar ubicada en un lugar apropiado, sobre un terreno estable y resistente en condiciones sísmicas. De poco sirve proyectar y construir una estructura sismoresistente si luego va a estar ubicada en terrenos colapsables.

Esto, que resulta obvio para las construcciones normales posee una importancia especial cuando se refiera a las estructuras de tierra. Lo cierto es que en los tiempos actuales y, especialmente en las aglomeraciones urbanas, las viviendas elaboradas de tierra se ubican en los peores lugares, en los barrancos, en terrenos hechos, en pasos naturales del agua y, en general, allí donde la construcción de estructuras porticadas resulta menos rentable por estar los suelos en peores condiciones.

### 2.3.2 Material resistente

El material que se utiliza en la construcción de la estructura es muy importante. Para obtener un mejor comportamiento sísmico la resistencia y la rigidez por unidad de peso del material debe ser la mayor posible. Otras cualidades deseables son: poseer un factor de amortiguamiento elevado, mostrar un comportamiento estable ante cargas cíclicas alternadas y presentar una fácil adaptabilidad a las formas que se requieran.

De todas estas cualidades, el adobe no representa buenas condiciones, salvo en el aspecto de amortiguamiento propio. De hecho, tal como se muestra en la figura 3, la resistencia por unidad del material en comparación con otros materiales que se utilizan en la edificación, deja mucho que desear.

### 2.3.3 Construcción ligera. No masa innecesaria

Este aspecto posee una gran importancia en el diseño sismoresistente que debe ser reconocido desde el primer momento. Las fuerzas sísmicas son fuerzas reactivas (inerciales) y, como tales, dependen de la aceleración del movimiento y de la masa del objeto que se mueve. Es fácil comprender, por tanto, la importancia que posee el dar los pasos necesarios para reducir en lo posible las masas reactivas que existan ya que, cuanto menor sea la masa, menor será la fuerza sísmica presente.

En las construcciones en adobe, este material suele ser el único portante y resistente, es decir, es básicamente el único que se utiliza y, dada su baja resistencia, estas estructuras suelen ser pesadas, con muros de espesores considerables. La masa existente no suele ser innecesaria pero es, de todos modos, proporcionalmente muy elevada. Independientemente de esto, las estructuras además no deben tener que soportar masas innecesarias (depósitos de agua, techumbres excesivamente pesadas, etc.), si bien esto es de aplicación a todas las estructuras y no sólo a las construidas con tierra. (1)

#### 2.3.4 Estructura simple, simétrica y regular

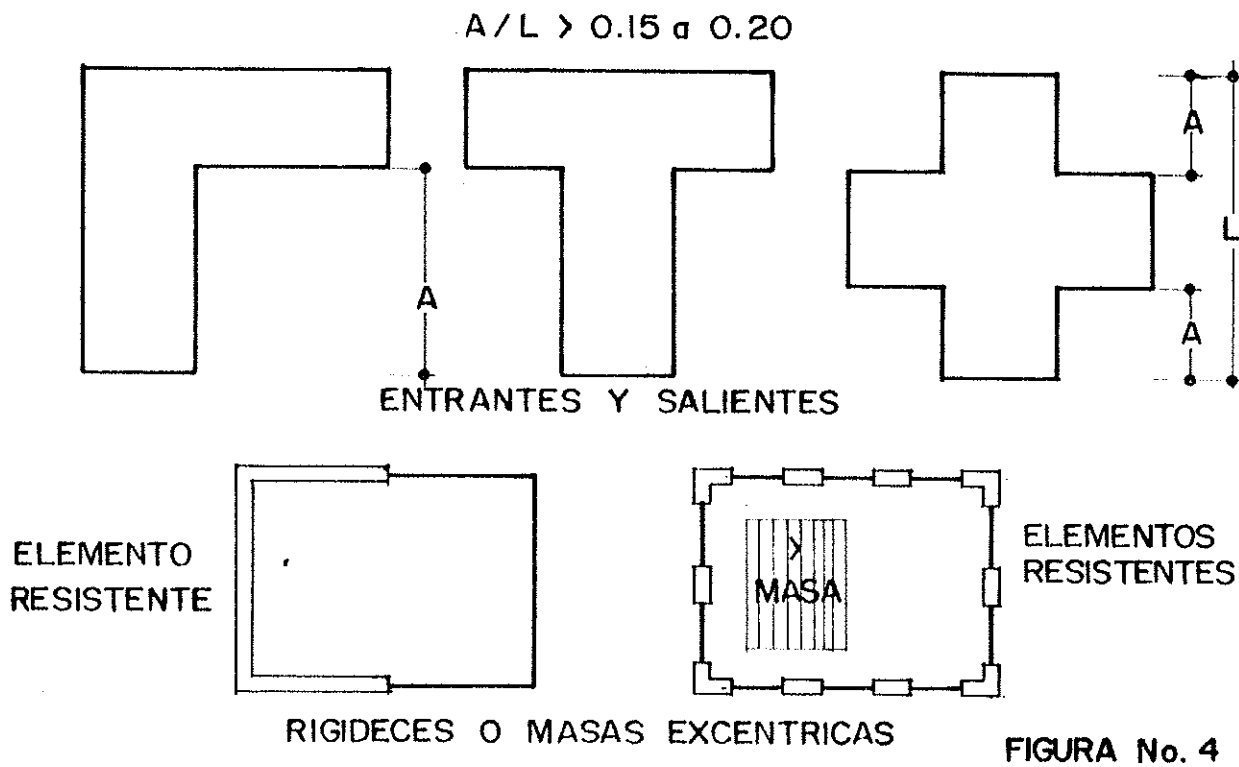
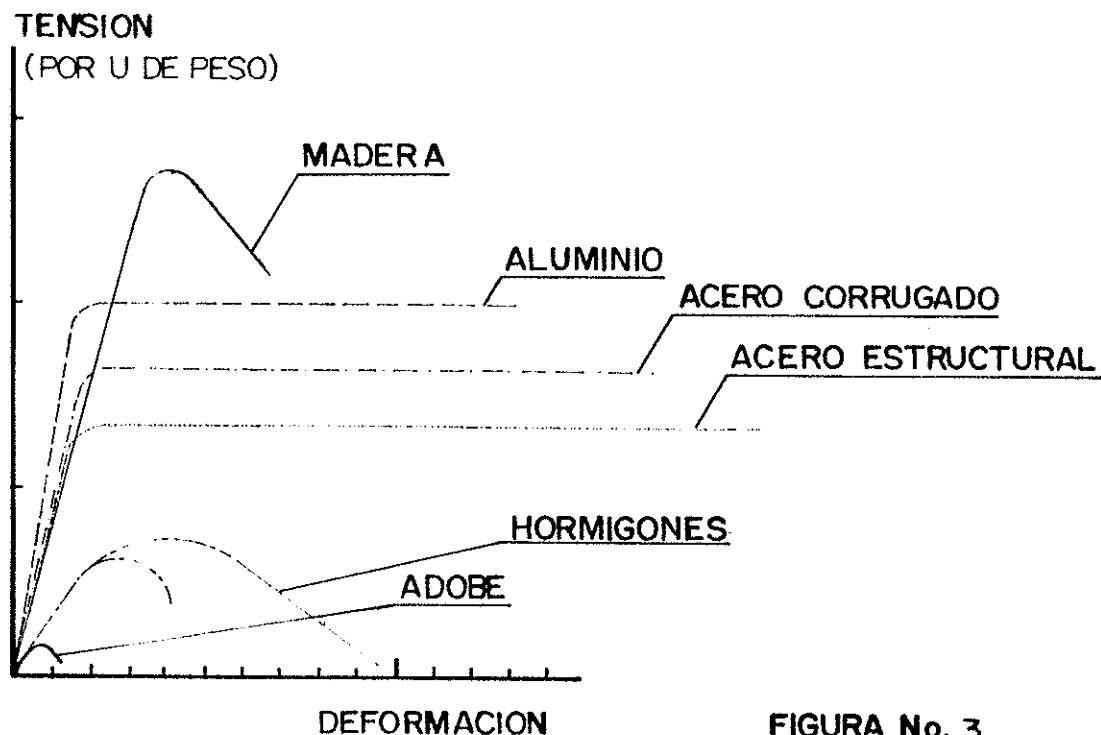
La simple inspección ocular de los daños producidos por un terremoto sobre las construcciones demuestra que, a igualdad de otros parámetros, cuanto más simple sea la obra mejor es su comportamiento sísmico.

Existen dos explicaciones para este hecho. En primer lugar es mucho más sencillo comprender cual es el comportamiento sísmico global de una estructura sencilla frente al de una más compleja. En segundo lugar, una obra simple es siempre más fácil de proyectar y construir. Por estos motivos es siempre deseable que las estructuras posean regularidad y simetría en planta y en alzado.

Si han de ser sismoresistentes, las construcciones de tierra no deben tener nunca más de una planta, pues con este material es muy difícil asegurar dicha condición. Este hecho está reconocido en la mayor parte de las normas para las construcciones sismoresistentes que admiten la construcción con adobe.

En cuanto a la forma de la planta, no son convenientes las formas en 'L', en 'H', en 'T' o en '+' (ver figura 4). Es difícil garantizar un buen comportamiento de una estructura de adobe cuando diversas partes de la misma vibran de una manera diferente. No debe ubicarse masas extrañas (depósitos p.ej.) de forma asimétrica sobre la estructura. (1)

La rigidez lateral de los muros debe ser lo más uniforme posible. Esto es también difícil de obtener en estructuras de adobe debido a la presencia de huecos para puertas y ventanas. La estructura debe ser simétrica en cuanto a la ubicación de masas y rigidez en dos direcciones perpendiculares. La aparición de torsiones puede resultar determinante en la destrucción de una estructura de adobe, pues estas acciones son muy difíciles de cuantificar y de resistir con el tipo de elementos de los que puede disponerse. La configuración ideal sería la planta circular.



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

Si ha de ser rectangular, cuanto más se aproxime al cuadrado mejores serán los resultados.

### 2.3.5 Rigidez inicial, tenacidad

Existen dos escuelas diferentes en cuanto a la forma más deseable de hacer frente a la acción sísmica. Algunos autores piensan que es mejor hacer que las estructuras sean flexibles y otros que las rígidas son más adecuadas. Lo cierto es que no se puede realizar una generalización total. Dependiendo del caso las estructuras deberán ser más o menos flexibles o rígidas.

En general parece claro que las estructuras rígidas defenderán mejor a la obra contra los daños en los denominados elementos no estructurales (tabiques, cerramientos, etc.) y además los efectos  $P - \Delta$  serán menores. (+)

Por otra parte, si la estructura es flexible y está ubicada en un terreno blando, existe el riesgo que los periodos de vibración del suelo y de la estructura sean parecidos y se produzca el fenómeno de amplificación por resonancia. Lo mismo puede ocurrir cuando se trata de estructuras rígidas sobre roca o suelos muy duros. Las estructuras de adobe son más rígidas y normalmente se ubican sobre suelos de características similares a los de la propia obra (la auto construcción no suele tomar los materiales de fuentes muy lejanas). Así pues en este aspecto tampoco pueden descartarse efectos negativos en este tipo de estructuras. Si bien el problema de los elementos no estructurales en este caso es más bien secundario, lo que debe pedirse de ellas es; que realmente sean todo lo rígidas que puedan ser ya que es difícil conseguir, con adobe, una estructura flexible y estable ante cargas cíclicas alternadas es decir, una estructura tenaz.

### 2.3.6 Distribución uniforme de rigidez, resistencia y ductilidad

Cuando una construcción sufre la acción de un sismo, éste será capaz de descubrir todos y cada uno de sus puntos estructurales débiles. Estos puntos débiles se originan normalmente por la existencia de cambios bruscos de resistencia, rigidez o ductilidad.

En la figura 5.1 puede apreciarse la diferencia entre un comportamiento puramente elástico y un comportamiento dúctil (elastoplástico en este caso) ante cargas cíclicas alternadas. Las zonas sombreadas representan la energía que toma la estructura. La energía disipada en la contenida en el ciclo de histéresis.

Según se comentó anteriormente, cuanto más simple y simétrica sea la estructura, más sencillo será conseguir que estos puntos de discontinuidad no existan, o que su número esté más limitado.

El muro resiste bastante bien las cargas contenidas en su plano, pudiendo presentar fallas por las uniones de mortero, más que por el adobe en sí, como muestra la rotura por deslizamiento de la figura 5.2. En cualquier caso es generalmente posible dimensionar los muros y hacerlos lo suficientemente grandes como para que la resistencia sísmica, en su plano, sea la adecuada. No obstante, para ello es necesario mejorar su comportamiento rigidizando los muros con marcos o cadenas, si bien esto complica la tecnología constructiva. (1)

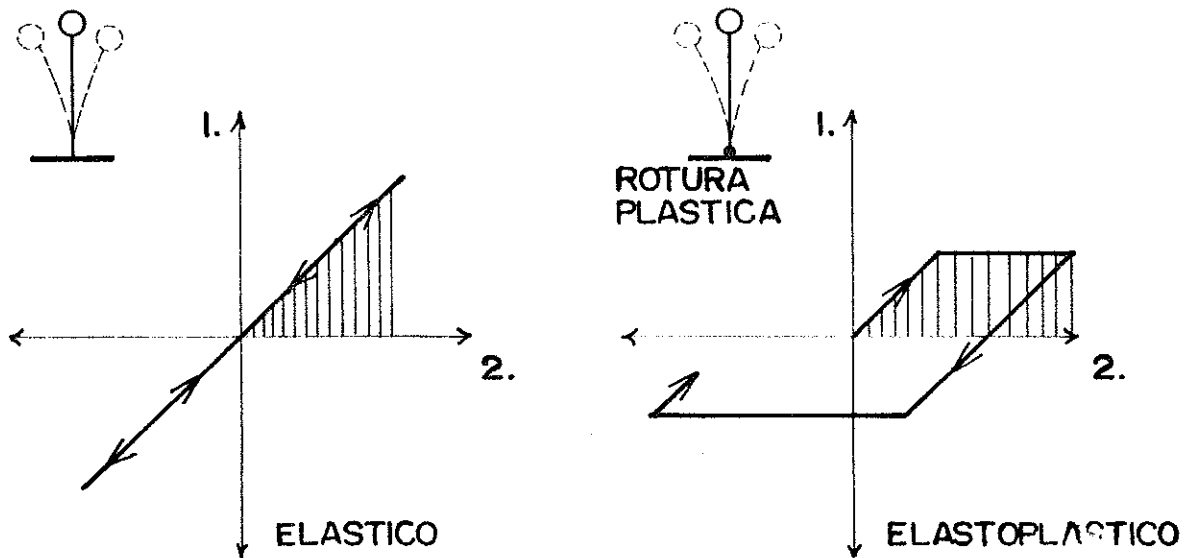
El problema básico del muro empieza, no obstante, cuando la acción sísmica actúa fuera de su plano. El problema se debe a la íntima resistencia a tracción del material por lo que, por ejemplo, en el muro que se presenta en la parte inferior de la figura 5.2, se producen fuertes tracciones en su parte inferior. El material sería, probablemente, incapaz de resistir dichas tracciones.

El muro no puede normalmente resistir con facilidad las cargas sísmicas perpendiculares a su plano incluso si existen elementos resistente en sus bordes. Para evitar este tipo de fallas existen tradicionalmente dos soluciones, apoyar y reforzar. Reforzar el adobe es difícil, caro y poco fiable, por lo que la solución lógica es apoyar.

La solución obvia implica disponer muros en dos direcciones convenientemente entrelazados entre sí y suficientemente próximos, de manera que no permitan la existencia de grandes luces horizontales en el muro. Los problemas de unión de muros no son simples de resolver. Se presentan en una esquina en la que no se ha tomado ningún tipo de precaución al construirla. El problema de la rotura de esquinas reside en que elimina la rigidización lateral que ejercen los muros transversales por lo que, después de la rotura, ambos muros se hallan en deficientes condiciones de resistencia ante cargas fuera de su plano.

### 2.3.7 Estructura redundante, sistemas de defensa

Para obtener una buena estructura sísmoresistente es importante que ésta sea lo más redundante posible. De esta manera si ocurriese una falla en una de sus partes, el resto de la estructura podría ser capaz de adaptarse a la nueva situación y seguir resistiendo.



1. CARGA LATERAL DE INERCIA  
2. DESPLAZAMIENTO LATERAL

FIGURA No. 5.1

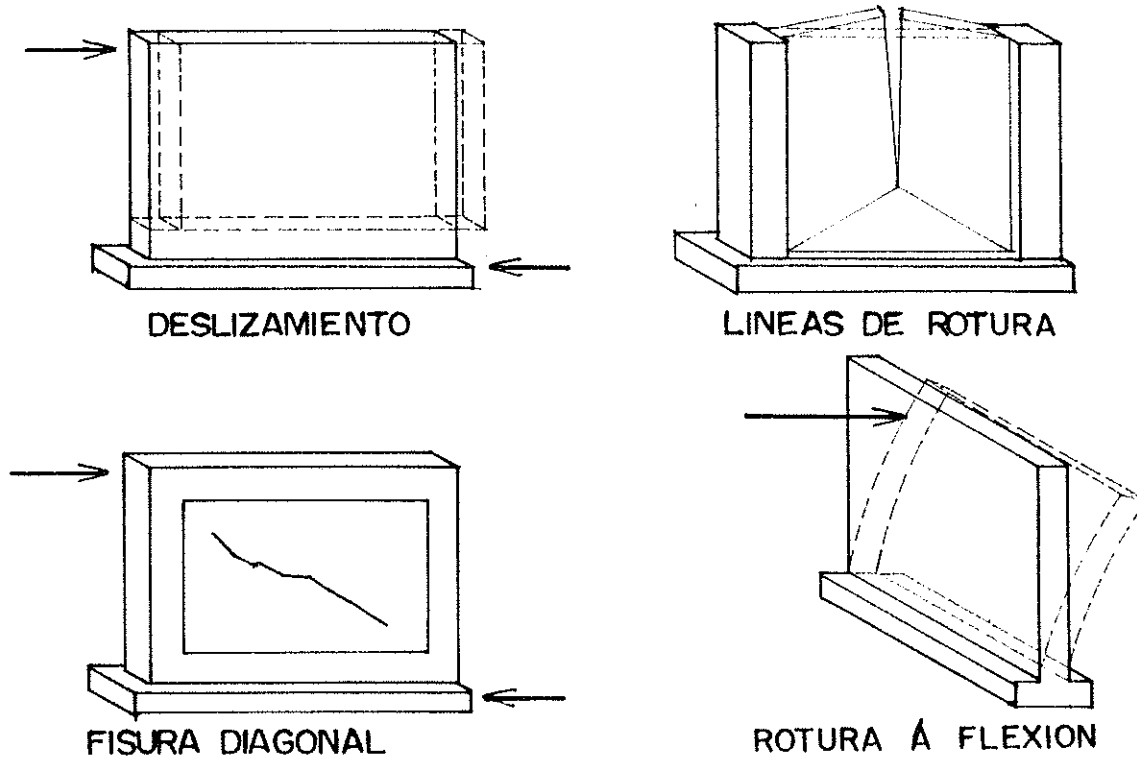


FIGURA No. 5.2

Sin embargo, el mero hecho de que una estructura sea altamente indeterminada estáticamente aunque siendo una propiedad muy interesante, no es suficiente. Se requiere además que posea un comportamiento dúctil, tenaz y estable ante cargas cíclicas alternadas.

Es conveniente que el proyectista establezca un número de líneas de defensa frente al sismo, de manera que, conforme la acción sísmica a resistir va siendo mayor, la estructura pueda desarrollar zonas plásticas con disipación de energía y comportamiento estable y, posiblemente, hace entrar en carga otros sistemas resistentes. En el caso de las estructuras de tierra, una solución para obtener redundancia en el comportamiento de éstas es, como se ha mencionado, la rigidización de la estructura por su techo. Los techos pueden ser rígidos a flexibles.

Un techo flexible será, con toda probabilidad, más ligero que un rígido, lo que implica menos masa y menos acciones inerciales. Sin embargo, no asegurará el comportamiento de la estructura como un todo. Es necesario que la estructura trabaje de una forma global lo más compacta posible pues ésta es la única manera de asegurar que si se produce un fallo local en alguna parte de la estructura, el resto de la misma sea capaz de auxiliar a la zona dañada.

La solución más lógica es, aparentemente, conseguir una integración perfecta entre el techo, los muros laterales y las frontales. La integración de los muros en el techo implicaría un funcionamiento de la estructura como una caja con lo que su comportamiento sismoresistente sería probablemente muy superior. No obstante otra solución racional es hacer uso de un techo flexible y ligero pero engarzar los muros con un encadenado superior o cadena de coronación. (4)

#### 2.3.8 Detalles constructivos apropiados

La estructura debe realizarse con los detalles constructivos adecuados para su correcto funcionamiento según el comportamiento sísmico previsto. En el caso que el proyectista decida que la estructura ha de ser capaz de disipar energía por medio de un comportamiento inelástico, deberá realizar un diseño expreso de las zonas en las que se habrá de producir tal tipo de comportamiento y garantizar que se formen los mecanismos plásticos previstos.

No es factible garantizar el comportamiento dúctil adecuado del adobe, al menos con la fiabilidad con la que puede realizarse con otros materiales. Para conseguir un funcionamiento de la estructura de tierra como una caja es necesario asegurar un buen comportamiento de las trabas y uniones, y esto es muy difícil de conseguir, especialmente en la unión entre muro y techo.

### 2.3.9 Equilibrio adecuado de rigidez y resistencia entre elementos y conexiones

Una cadena se rompe siempre por el eslabón más débil, por lo tanto es inútil utilizar elementos estructurales dúctiles o resistentes si la conexión entre ellos es deficiente. La falla de anclaje y de buenas uniones de los muros entre sí y con el techo suele ser la causa primaria de los fallos de estas estructuras frente a sismos.

Por otra parte, es evidente que la resistencia sísmica de la estructura debe existir en todos los sentidos, sin que existan direcciones más desfavorables. Este problema se plantea con cierta frecuencia en las estructuras de adobe debido a la presencia de puertas y ventanas y, en general, de huecos en los muros.

### 2.3.10 Cimentación compatible

Para obtener un diseño sismoresistente eficiente es esencial que exista un comportamiento integral y compatible entre la cimentación y la estructura mientras dura el movimiento sísmico y una compatibilidad en rigidez y resistencia entre ambas. (1)

En el caso del adobe posee especial importancia el encontrar una forma de unión adecuada entre los muros y el suelo para evitar deslizamiento de aquellos. La posibilidad de deslizamiento es ciertamente elevada debido a la masa y rigidez del sistema y a la baja resistencia al esfuerzo cortante del material. Las estructuras en adobe poseen además otro defecto en este aspecto, que es su fácil erosionabilidad por las aguas de escorrentía.

Las aguas de lluvia pueden socavar los muros o disminuir su sección justo en la base de éstos, haciendo que sea precisamente esa sección la parte más débil del conjunto y facilitando la desconexión entre la cimentación y la estructura. Además, si la cimentación no es suficientemente impermeable, el agua puede penetrar fácilmente, por capilaridad, en los muros de adobe, reduciendo notablemente su resistencia mecánica.



## CAPITULO 3

### MATERIALES RECOMENDADOS

#### 3.1 La preparación de tierra apisonada.

##### 3.1.1 La preparación del suelo.

El suelo utilizado para la construcción a base de tierra apisonada está caracterizado por su cohesión variable en el estado natural. La producción puede facilitarse o complicarse por la cohesividad del material. Mientras el adobe o la tecnología del bloque comprimido puede tolerar alguna variación en la calidad del suelo, las cuales pueden estar compensadas por las medidas apropiadas tomadas en la fase de producción para garantizar la calidad de la estructura, la tecnología de la tierra apisonada es menos flexible. (2)

La calidad de un casa construida con tierra apisonada depende en gran parte del suelo, que este contenga una consistencia de alta calidad. La materia prima excavada debe tener como requisito una calidad más uniforme. Las construcciones de tierra apisonada no estabilizadas, tienen que garantizar que la tierra que utilizan satisface los criterios de selección, y ésta en particular respecto a su textura y contenido de humedad.

Este simplifica el proceso de producción completo, aunque este no es el caso cuando otras etapas como tamizar, pulverizar, secar, mojar y mezclar son necesarias. Demasiado alejados de la curva de distribución del grano tiene, entre otras cosas, un efecto muy dañino en el costo de producción, así como en productividad y en la calidad del producto.

##### 3.1.2 La excavación del suelo.

###### A.1 Manual.

Esta operación hace uso de herramientas manuales simples. Estas son generalmente las mismas que se utilizan en la agricultura, minería o construcción de caminos e incluyen picos, palas, descalzadores, rastrillos, azadones, etc. La excavación manual requiere gran cantidad de fuerza humana.

## A.2 Mecánica.

Diversos dispositivos mecánicos puede ser utilizados. La pala mecánica puede estar adaptada para concordar con el trabajo: como un cargador alto, excavador de concha de almeja. Un buldozer con cuchilla, un patrol pueden ser utilizados en la excavación horizontal de volúmenes de tierra.

### 3.1.3 Tamizado.

Frecuentemente es necesario tamizar la tierra para ser utilizada en la construcción de tierra apisonada. Esto puede realizarse retirando las mayores piedras manualmente, y aquellas que tengan un diámetro mayor de 50 mm. Los tamices estáticos puede ser utilizados con igual éxito. Estos se pueden adaptar horizontalmente u oblicuamente en el tamaño de malla que corresponde al tamaño de grano deseado. Como suelo apropiado para apisonado se aconseja un material pulverizado. La mayoría de los tamices o arneros vibratorios son eminentemente apropiados para éste proceso. (2)

### 3.1.4 La pulverización.

Si la tierra es para ser apisonada, debe estar pulverizada. Esto se aplica para la tierra arcillosa que contiene grumos duros, debe añadirse una fracción de arena. Es aconsejable agrupar las operaciones pulverización, tamizado y mezclado. En cuanto al suelo arcilloso, se mejora con arena, mezclando fracciones de arcilla y un componente arenoso en el pulverizador de forma alternativa resultará una premescla de razonable calidad. El pulverizador tiene que ser una máquina capaz de manipular material pedregoso y suelo arenoso, pudiendo arrojar la tierra una cierta distancia para garantizar una buena ventilación para una premezcla adecuada.

### 3.1.5 Mezcla.

La mezcla es aconsejable cuando el suelo requiere homogeneidad o cuando se desea añadir un estabilizador. La forma más apropiada para esta operación es una mezcla manual ya que se obtienen buenos resultados.

### 3.1.6 El transporte.

Este es uno de los problemas mayores de la tecnología de tierra apisonada. Enormes cantidades de tierra son requeridas en el proceso de construcción. El material tiene que ser transportado horizontalmente del lugar de préstamo al sitio de construcción, y tiene que ser transportado verticalmente también al nivel requerido.

Tradicionalmente, trabajadores que construyen con tierra apisonada lo realizan manualmente, usando para llevar la tierra desde el suelo cestos u otros receptáculos del lugar de préstamo al sitio de construcción. El material puede ser subido através de una escalera o andamio al lugar donde se necesita. (2)

### 3.2 Descripción de análisis de material

Los suelos se distinguen por las propiedades de los granos y las de los agregados. En los granos mayores: gravas, arenas y limos interesa su tamaño y forma; en los menores: arcillas y su constitución mineral o química. (Figura 6). En los agregados sin cohesión interesa la densidad relativa y en los cohesivos, la consistencia.

La densidad relativa depende del tamaño y la forma. Así una distribución continua de tamaños en el agregado produce una densidad relativa mayor. Lo mismo resulta si los granos son predominantemente esféricos al disminuir el volumen de huecos.

La consistencia es función del contenido de agua: consistencia líquida, plástica, seca; la constitución química de las arcillas: kaoliniticas, ilíticas, montmorilloníticas, ordenadas de menos a más activas.

El terreno cohesivo está formado, en realidad, por tres elementos: los granos, el agua entre ellos y el agua de contacto o interfase, que tiene propiedades de sólido o de fluido de alta viscosidad según su menor o mayor distancia a la superficie del grano y la actividad, carga eléctrica negativa, de este. Si los granos son muy pequeños este material de interfase se constituye un porcentaje importante del peso del suelo y determina sus propiedades de origen "coloidal".

La arcilla es ávida de agua. Si se le permite absorberla, los granos se dispersan y la cohesión desaparece cuando el contenido de agua excede del límite líquido. Por el contrario, si pierde agua por debajo del límite plástico, la plasticidad, la más importante de las propiedades coloidales para nuestro interés desaparece y la arcilla se solidifica. Estos cambios del contenido de agua se acompañan de fuertes cambios de volumen. (3)

#### 3.2.1 Ensayos de laboratorio

##### Granulometría

Se mide por tamizado progresivo de los granos mayores que 0.1 mm de diámetro y por sedimentación de los menores. El resultado permite trazar en papel semilogarítmico una curva que representa el porcentaje

acumulativo, en peso, de los granos mayores o menores de cada tamaño dado. En la figura 6 se muestra la curva óptima y las curvas límites para ciertas aplicaciones constructivas.

### Consistencia

El ensayo anterior dice poco de las arcillas y sus propiedades coloidales. Para ellas interesa determinar los límites normalizados de Atterberg, que separan los estados de consistencia. El límite líquido, separa los estados líquido y plásticos; el límite plástico, separa los estados plásticos y sólido seco. También interesa definir el 'índice de plasticidad',  $I_p = L.L - L.P$ , que permite apreciar el rango en que el suelo posee plasticidad: el rango plástico. (3)

En propiedad, la consistencia de un suelo cohesivo se cuantifica por ensayos de compresión no confinada y la llamada 'sensibilidad' de los mismos es la relación con la resistencia del suelo natural no perturbado y del remoldeado.

### Contenido de humedad óptima

Es el que permite obtener la mayor densidad relativa para un molde y energía de compactación dado. El valor normalizado se obtiene con el ensayo Proctor. El interés constructivo es evidente: los suelos más densos tienen mayor resistencia mecánica. Los suelos con un contenido de agua óptimo (C.A.O) menor de 17% son más fáciles de estabilizar. La figura 7 aclara la definición. La figura 8 muestra la influencia de la energía de compactación y de la continuidad o discontinuidad de la granulometría en el C.A.O a mayor energía y continuidad corresponden contenidos menores y mejor definidos. (3)

### 3.2.2 Ensayos de terreno

#### Examen directo

**Olor:** permite desechar los terrenos con contenidos orgánicos, que huelen a moho y fermentos. El olor se acentúa con humedad y calor.

**Mordedura:** los suelos arenosos crujen; los limosos menos; y las arcillas, nada. Además se pegan a la lengua.

**Brillo:** al cortar una bolita de suelo con un cuchillo la arcilla brilla y el limo se muestra opaco.

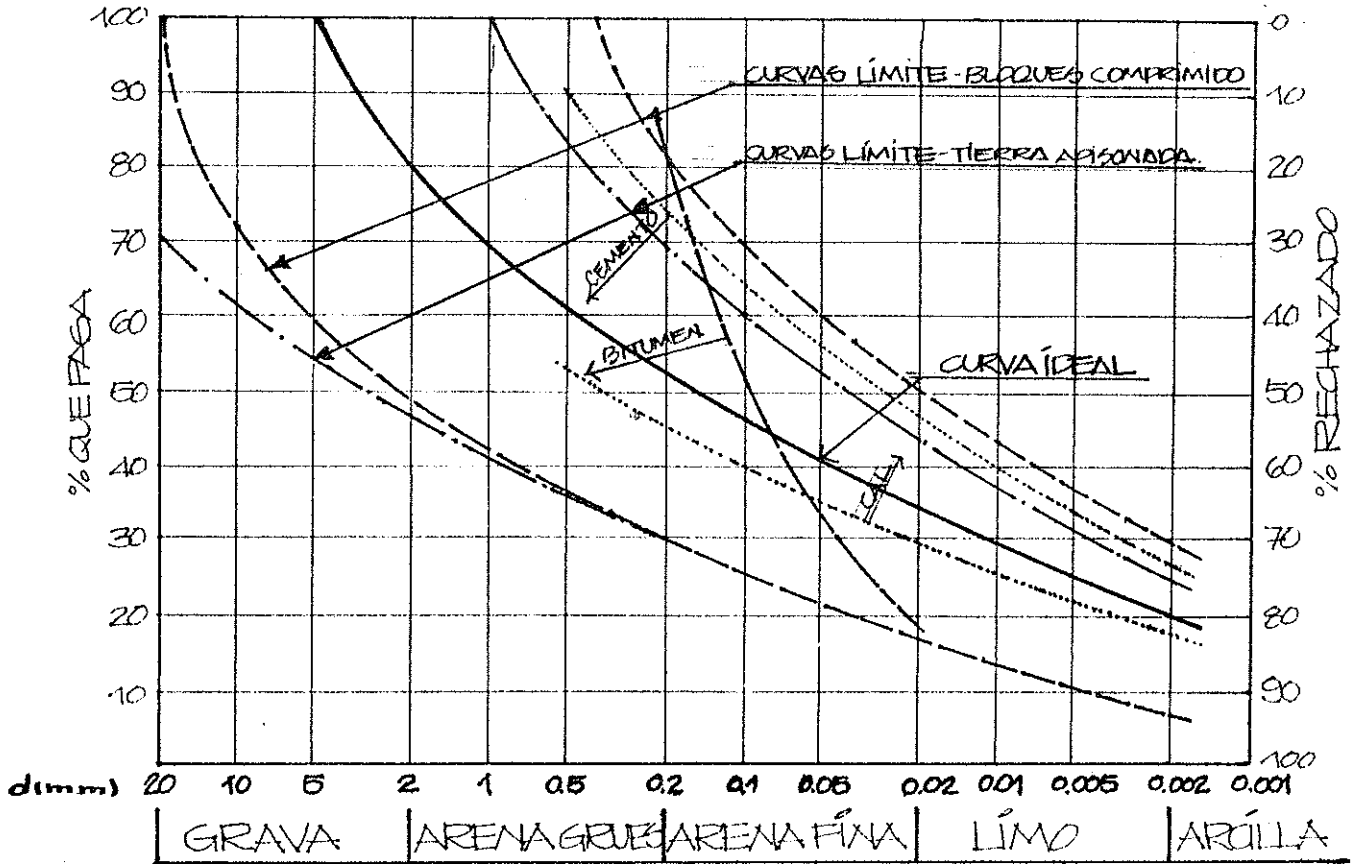


FIG. 6 GRANULOMETRIA IDEAL Y LIMITE. ZONA DE UTILIZACIÓN DE ESTABILIZANTE

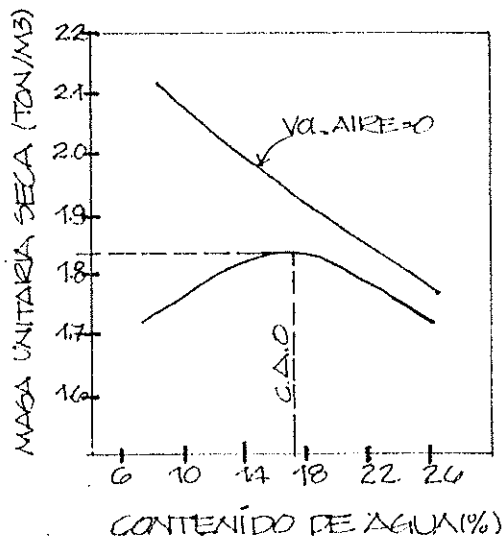


FIG. 7 PROCTOR CONTENIDO DE AGUA OPTIMO

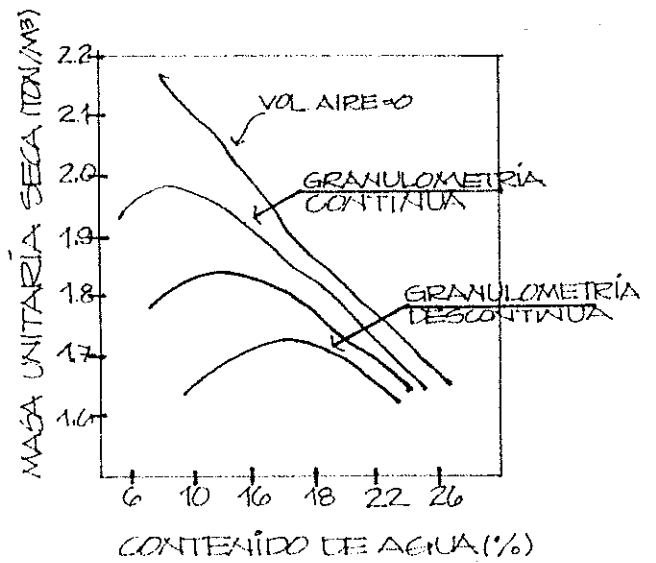


FIG. 8 PROCTOR GRANULOMETRIA - ENERGIA

Tacto: la arena es áspera; el limo áspero cuando está seco pero suave cuando está húmedo. La arcilla seca se dificulta triturarla con los dedos. El suelo arenolimoso triturado cerca de la oreja produce un sonido audible.

Lavado de manos: haciendo del suelo un 'jabón', la arcilla se siente untuosa y es difícil de enjuagar; el limo, pulvurento, se enjuaga más fácilmente; la arena, con gran facilidad.

#### Sedimentación simplificada

En un tubo cilíndrico de fondo plano se pone una parte de suelo por tres de agua. Se agita y deja reposar por una hora para volver a agitar. A los 45 minutos se ha sedimentado la arena y los limos. A las ocho horas también han sedimentado las arcillas. El espesor de las capas, distinguibles a simple vista, se puede medir. (3)

#### Ensayos sobre los finos

Son ensayos cuyos resultados permiten individualizar los suelos, decidir sus propiedades de utilización y escoger la estabilización adecuada se resumen en el cuadro que se acompaña. (3)

#### Los ensayos sobre finos.

Sacudidas (1): una bola de suficiente plasticidad, pero que no se pegue a la palma de la mano que sostiene, se golpea repentinamente con el canto de la otra mano.

R = reacción rápida: 5 o 10 golpes hace salir agua a la superficie.

L = reacción lenta: se necesitan 20 a 30 golpes.

ML o N = reacción muy lenta o nula. Mientras más arcillosa es un suelo, más lento reacciona.

Resistencia en seco (2): se preparan pastillas secadas al sol y, posteriormente al horno.

G = gran resistencia; difícil de quebrar, no se puede pulverizar. Es arcilla casi pura.

M = resistencia media; no es difícil de quebrar, se puede pulverizar.

D = resistencia débil; se quiebra y pulveriza fácilmente, muy poca arcilla.

N = resistencia nula.

Cordón (3): no hacer si (1) ha resultado R. Se forma un cordón que se rompa justamente al alcanzar los 3 mm de diámetro, es decir, que tenga el contenido de agua que define el límite plástico. Si se ha conseguido, se remoldea una bola que tratará de romperse con los dedos.  
(3)

d = duro; difícil de partir y desmigajar. Demasiada arcilla.

sd = semiduro; se parte y desmigaja.

f = frágil; casi no puede moldearse.

e = esponjoso y muelle; orgánico, no sirve.

Cinta (4): muestra en el límite plástico, como la anterior. Formar un cilindro de 12 mm de diámetro que se sostendrá en la mano para, cuidadosamente, ir construyendo una cinta de 3 a 6 mm de espesor, entre pulgar e índice, tratando de obtener el largo máximo.

l = cinta larga de 25 a 30 cm demasiada arcilla.

c = cinta corta, de 5 a 10 cm suelo semejante al (3) sd o f adecuado.

n = nula, puede formarse una cinta. Bueno para apisonado.

Cuadro resumen de los ensayos sobre los finos.  
Tipo de suelo                      Ensayos

	(1)	(2)	(3)	(4)
A)	R-L	D-N	f	c-n
B)	L-N	D-M	sd-f	c
C)	ML-N	D-M	sd	c-l
D)	N	G	d	l
E)	L	D-M	f.e	c-n
F)	ML-N	M-G	f-sd.e	c.e
G)	R	D-N	f	n
H)	ML-L	M	sd	c-(1)
I)	R	D-N	f	n
J)	ML-L	M	sd	c-(1)

Explicación

Terreno A) Arenas muy finas, arenas limosas y arcillosas finas, limos arcillosos. Conviene para todos los tipos de utilización, especialmente para adobe siempre que se estabilicen. El cemento es lo más adecuado.

- Terreno B) Limos. No usar en lo posible o agregar mucho estabilizante. Cemento: bitumen en emulsión si el suelo no es pegajoso. Hidrófugos.
- Terreno C) Arcillas ripiosas, limosas o arenosas, adecuadas pra tierra apisonada y prensada. Agregar arena. Frecuentemente necesitan estabilizante: cal, hidrófugos.
- Terreno D) Arcillas y arcillas grasas. No se deben utilizar.
- Terreno E) Limos y arcillas limosas con materiales orgánicos. No utilizar jamás.
- Terreno F) Arcillas con materiales orgánicos. No utilizar.
- Terreno G) Gravás limosas; mezcla de gravas, arenas y limos. Covienen en general. Pueden utilizarse adición de finos. Necesitan estabilizar. Cemento, también emulsiones e hidrófugos.
- Terreno H) Gravás arcillosas; mezcla de gravas, arenas y arcillas. Convienen para todas las formas de uso, pueden necesitar finos, cal, también cemento e hidrófugos.
- Terreno I) Arenas limosas. Adecuadas en general, pero estabilizadas. Cemento, bitumen, hidrófugos.
- Terreno J) Arenas arcillosas. Muy bueno en general para todos uso. Cal, cemento, hidrófugos.



## CAPITULO 4

### SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

#### 4.1 Formaletas.

La experiencia sobre formaleta indica que es más efectiva cuando es pequeña y simplemente diseñada. Tiene que ser sólida, estable para resistir la presión y vibraciones resultantes del apisonado o compactado. Tiene que ser fácil de administrar, liviana y fácil de ensamblar y desmantelar, fácil de poner vertical (ponerla a plomo), accesible, asegurarse fácilmente. Finalmente y muy importante, la formaleta tiene que ser perfectamente capaz de acomodar cambios de altura, longitud y espesor de las paredes. Un rango amplio de materiales puede ser utilizado para las formaletas como madera en Marruecos, aluminio en Francia, acero en Argelia, y fibra de vidrio.

(2)

##### 4.1.1 Formaleta horizontalmente deslizable.

Este sistema ha estado tradicionalmente adoptado para la construcción de tierra apisonada. Este tipo de sistema de formaleta estuvo desarrollado por artesanos y difiere ampliamente. Es un sistema rápido que sigue los principios mencionados anteriormente y tuvo las siguientes ventajas: ligera, maniobrabilidad del equipo y adaptabilidad a la construcción.

##### 4.1.2 Formaleta verticalmente deslizable.

Este sistema es idealmente apropiado para la construcción de tierra apisonada de muros de entrepaño. Facilita y acelera grandemente el izaje de las estructuras, pero la formaleta debe estar diseñada cuidadosamente. Los elementos verticales que sostienen la formaleta en su posición, pueden ser formaletas de fondo, postes de construcción o marcos externos.

##### 4.1.3 Formaleta integral horizontal.

Un anillo de formaleta es movido verticalmente. Para un buen funcionamiento los elementos deben ser livianos y el ensamblado y desmantelado deben ser fácil y rápido. Los principales obstáculos son las uniones entre los tableros, alineación horizontal y el mantenimiento de la verticalidad o plomada de la formaleta.

#### 4.1.4 Formaleta integral vertical.

Este tipo de formaleta se presta para la construcción de largos entrepaños, conteniendo la formaleta su altura completa. Para facilitar su apisonado, solamente un lado de la formaleta es levantada completamente, la segunda se levanta conforme se va construyendo el muro.

#### 4.1.5 El movimiento de la formaleta.

El movimiento de la formaleta, provoca un problema serio para los trabajadores cuando son colocadas en una altura de más de 2.50 m con un espesor de muro de 40 cm de tierra apisonada. La protección o seguridad del trabajador es esencial. Como regla general, la formaleta debe ser ligera y maniobrable, de manera que ayude a garantizar la seguridad a los operarios.

#### 4.1.6 Armadura formaleta.

Esta técnica es la más apropiada para construcción de entrepaños de muros o secciones de muros. La formaleta es ligera, constituida por tablonés simples, paneles de madera terciada o tablas emparejadas, que mantengan en posición por sostenes rústicos conducidos dentro del suelo y garantiza que la parte superior esté asegurada. Este sistema se ha reintroducido en Kassel envolviendo un trozo de bizagrado como armazón, asegurado con varillas. (2)

#### 4.1.7 Formaleta con rodillos.

El concepto de una formaleta movable utilizando como base el uso de cilindros, estuvo originado por el Australiano C.F. Middleton, por el año 1952. Este sistema es apropiado para la construcción en línea recta, pero requiere estacionar la formaleta en esquinas y particiones de muros. (2)

#### 4.2 Formaleta deslizable.

Diversos intentos han estado realizándose para adaptar las formas deslizables utilizadas en las construcción de concreto. Hasta el momento las diversas realizaciones han sido asuntos algo laboriosos aunque trabajan bastante bien.

#### 4.2.1 Formaleta para esquinas.

En la construcción de tierra apisonada las paredes llegan a unirse en puntos donde se requiere el uso especial de formaletas. El juego permitido para secciones de muros perpendiculares a los muros puede resultar inadecuadas, si no se presta la debida atención a las esquinas. Estas pueden estar formado de una sola pieza o suplida por una tablero perpendicular al borde. Con la utilización de borde acanalados reduce la erosión fuera de las esquinas. El sistema T para paredes de partición supone los mismos principios que se aplicaron en las esquinas.

#### 4.2.2 Esquina base.

Esta puede ser construida en concreto o de cualquier otro material, antes o después de construidos los muros de tierra apisonada. Las esquinas pueden ser construidas de piedra o ladrillo, pero deberán estar dentadas para tener un enlace con el muro. (2)

#### 4.3 Formaleta no modular.

Cada esquina construida usando un elemento especial adoptando las condiciones particulares, lleva al uso de formaletas modulares.

##### 4.3.1 Formaleta modular.

En este sistema de esquina está constituida de una pieza única, acoplamiento de los paneles interiores y utilizando una formleta modular en la parte exterior. El diseño y dimensión externa tiene que ser muy precisa.

##### 4.3.2 Esquina integral.

Este sistema puede establecer la formaleta esquina como base para construcción de muros, ya que de esta forma cuida los problemas tediosos de ajuste y plomada.

#### 4.4 Formaleta típica elaborada con tecnología nacional

Cuando se requiere que determinado material adquiera una forma al cabo de un proceso de endurecimiento, se introduce dentro del instrumento hueco al que por tal razón se denomina formaleta. En el caso específico de la tierra apisonada aplicada a la construcción de muros, se utilizan dos tipos: el primero llamado molde, se utiliza para producir bloques a mano y a base de tierra, el segundo es denominado formaleta, permite la erección de

los muros apisonados, de una mezcla de tierra sola o con adición de paja o algún refuerzo como la caña de castilla.

Dos factores importantes rigen la longitud: un bloque largo de tierra apisonada, está propenso a agrietarse en mayor grado que uno corto, mientras más larga sea la formaleta que se use, será más pesada con lo que se hace más difícil su cambio de lugar. Por lo que es preferible una corta, aunque se tenga que mover frecuentemente.

Es imprescindible que la madera esté completamente seca ya que estará sujeta a que la humedad de la mezcla, así como a los rayos del sol que la pandeen y la vuelvan inservible. Es conveniente que mientras no se esté utilizando la formaleta, se mantenga en un lugar cubierto y aplicarle periódicamente una capa de aceite quemado como impermeabilizante, para evitar en lo posible que sucedan dos cosas: que la madera, al absorber humedad le reste a la ya calculada para el suelo, y además de que esa humedad absorbida cause cambios volumétricos en la madera, lo cual es completamente indeseable.

Para una mayor eficiencia se sugiere el uso de una formaleta de madera de pino capaz de fundir un muro de 3.00 m de largo por 2.40 m de alto y 0.30 m de espesor. En tres etapas. Para lo cual la formaleta está diseñada de cuatro partes iguales; compuestas cada una de 4 tablas de 25 cm de ancho, una pulgada de espesor con 1.60 m de largo; dando una formaleta de 1.60 m por 1.00 m unidas entre sí por 4 reglas de 1" \* 2" y un metro de alto colocadas a cada 0.50 m, para poder asir la formaleta en mejor forma, se coloca en cada una de las 4 partes, una regla de 1" \* 2" cm de largo, con el objeto de maniobrar de mejor forma. Debe colocarse como se indica en la fig. 9, tal y como se indica en el estudio de los ingenieros Alfaro Costa y Gonzalez Salguero. (4)

Para proporcionar verticalidad a la formaleta y rigidez aun más, utiliza 8 paralelos de 3" \* 3" \* 11' de pino rústico, figura 10. Se emplean 2 topes de 0.30 m de ancho y 1 m de alto y una pulgada de espesor, de pino cepillado en la cara interior, los cuales se sujetaran a la formaleta con 3 pernos de 3/8 plg de diámetro y 0.40 m de longitud (detalle figura 9).

Para mantener el ancho constante del muro, se utilizan separadores de madera de pino rústico de 1 plg de espesor, colocándose estos en los lugares requeridos, (figura 9). (4)

Para la fijación de las partes constitutivas de la formaleta se requieren, 22 pernos de acero de 3/8" de diámetro de los cuales 4 son de 63 cm de largo, con 10 cm de rosca en cada extremo, para sujetar los cuatro paralelos por la parte superior, 12 pernos son de 60 cm

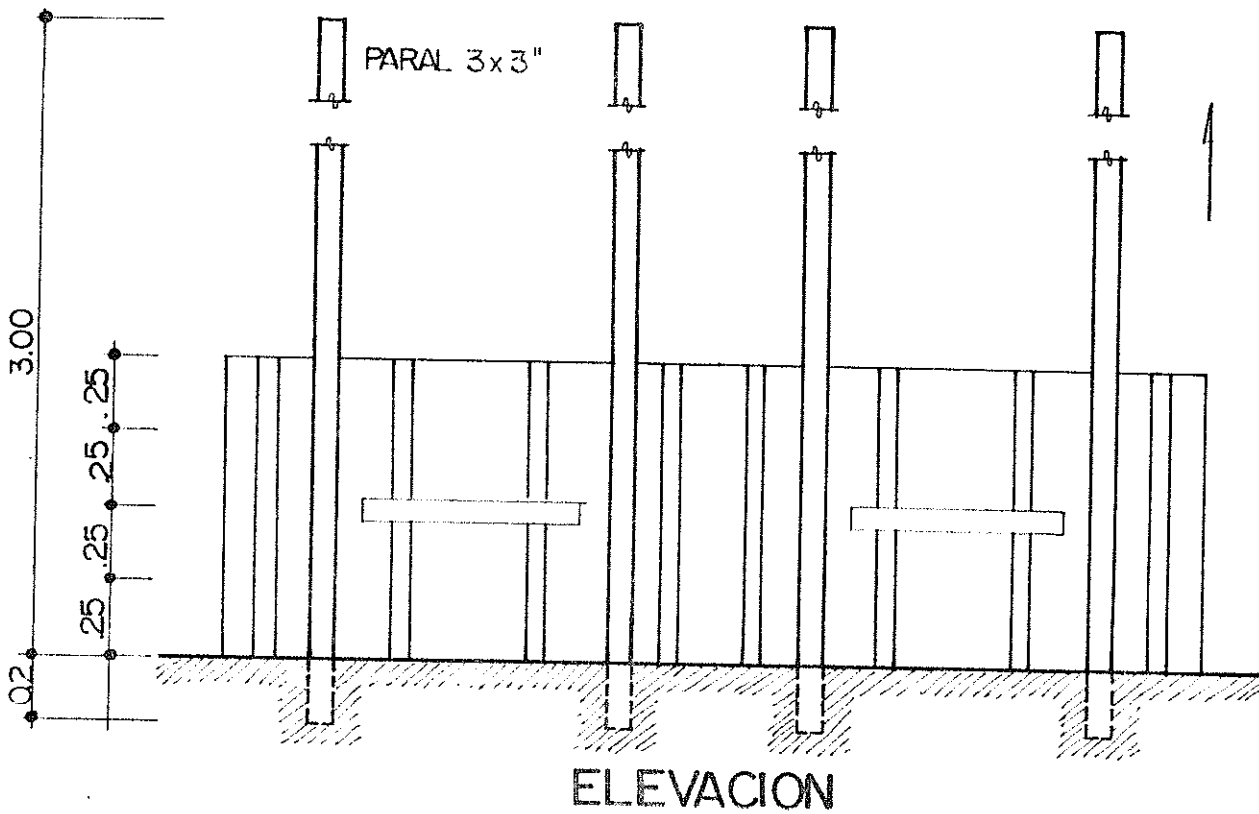
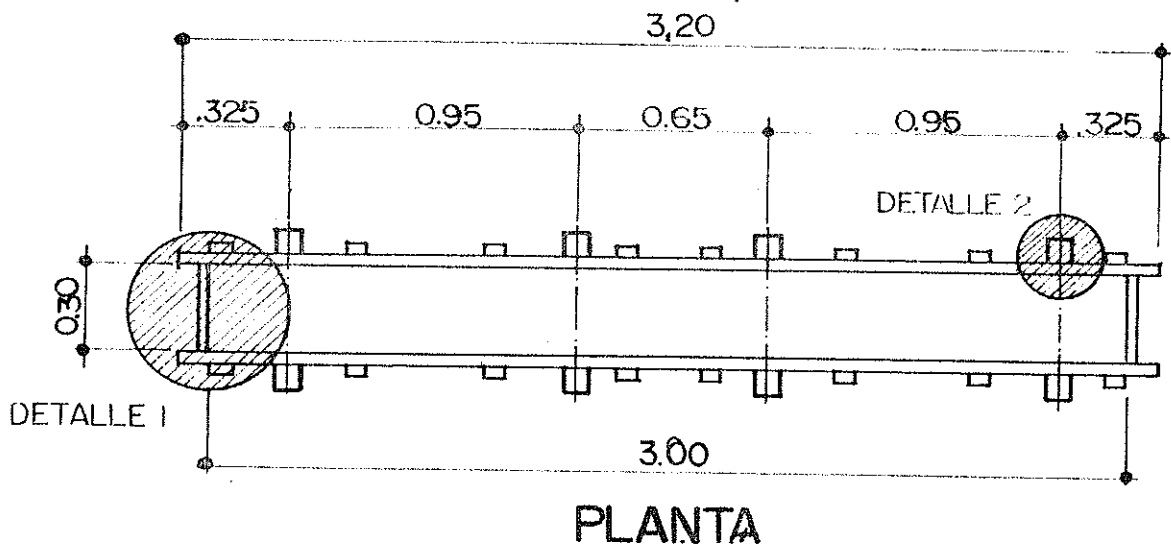
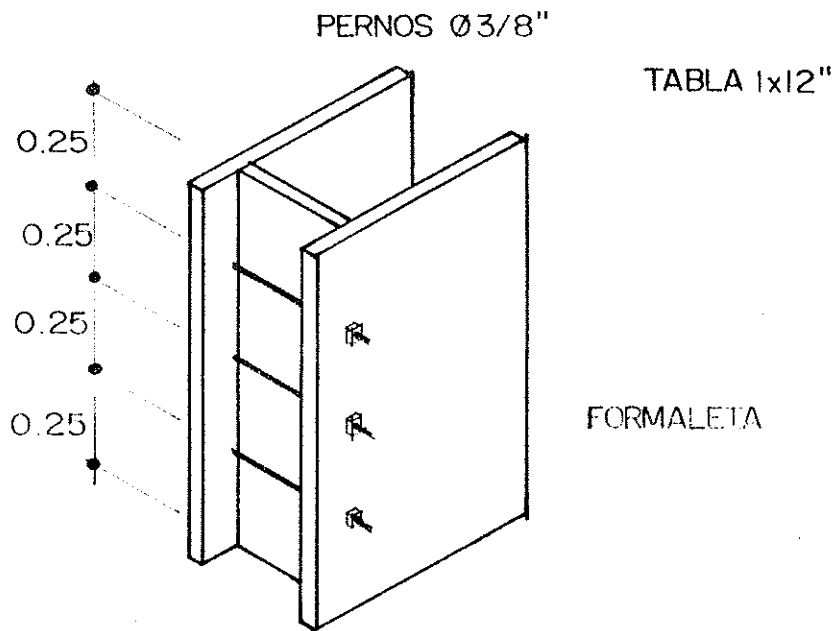


FIGURA No. 9

# COLOCACION DE FORMALETAS Y PARALES

DIMENSIONES EN METROS

ESCALA 1:25



**DETALLE 1**

ESC: 1:20

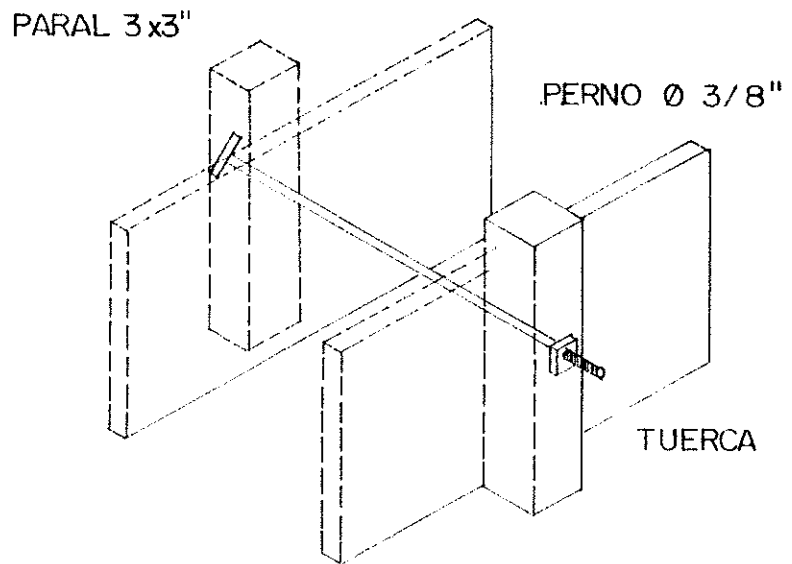


FIGURA No. 9

**DETALLE 2**

ESC: 1:10

# ISOMETRICO FORMALETA

SEPARADORES

ESC : 1:25

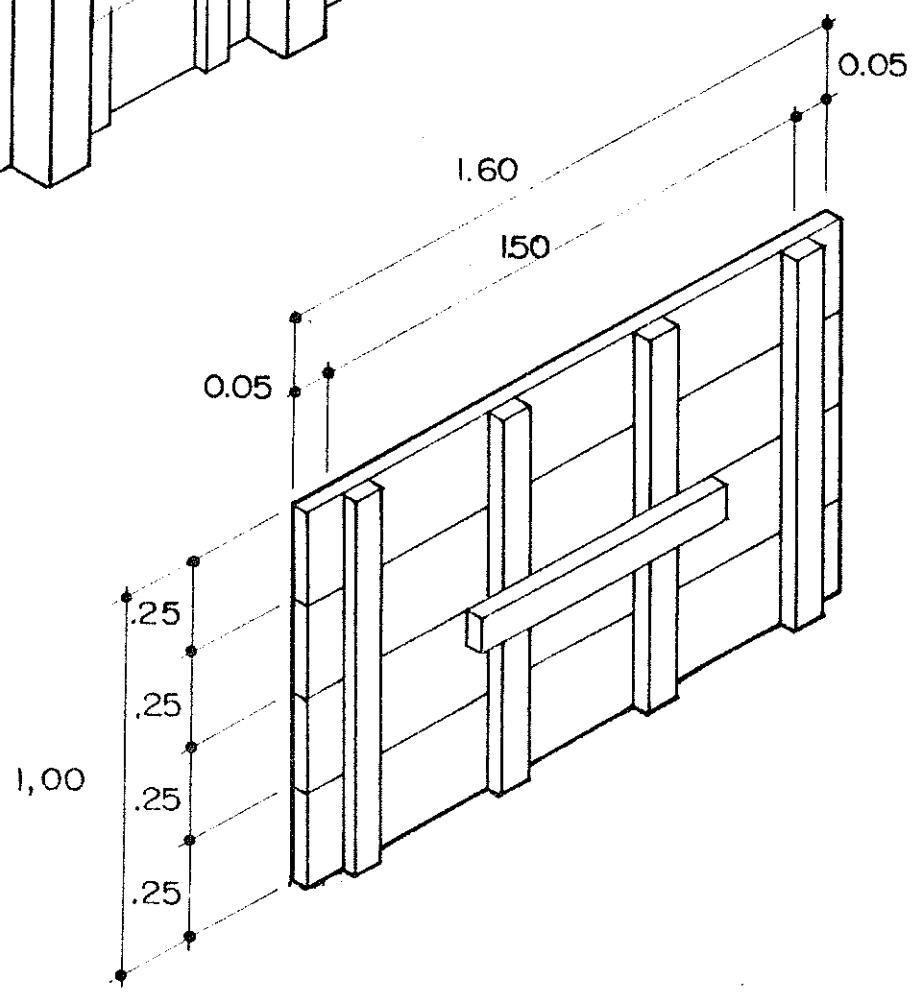


FIGURA No. 10

**FORMALETA**  
DIMENSIONES EN METROS

ESCALA 1:20

de largo con 8 cm de rosca en un extremo y soldado en otro, formando una T, un pedazo de 10 cm de largo de varilla de acero del mismo diámetro, para hacerle tope; los 12 pernos atraviezan los parales, la formaleta y los muros. Además se utiliza 65 pernos para sostener los topes, 3 de cada lado, los cuales son de 40 cm de largo, con 8 cm de rosca en un extremo y soldado en el otro extremo, para hacerle tope, un pedazo de varilla de acero de 3/8" de diámetro y de 10 cm de largo. (Figura 9, detalle 2).

Para cada rosca de los pernos se utiliza un juego de una tuerca y una roldana, exceptuando los pernos de 63 cm, los cuales se utilizaron 2 juegos por rosca; un juego en la parte interior del paral y el otro en la parte exterior del mismo.

Se aprecian los cambios que se realizaron en la formaleta para la elaboración de los 3 tipos de muro; consistiendo éstos únicamente en la colocación de topes interiores.

Las dimensiones y características de la formaleta la hacen: práctica, liviana y de fácil manejo.

#### Procedimiento de colocación de la formaleta.

a) Antes de realizar el encofrado del muro, se debe aplicar una capa de aceite quemado sobre la superficie de la madera previamente cepillada de la formaleta, por las siguientes razones:

-Actúa como lubricante, haciendo que el apisonador se deslice con facilidad sobre la superficie de la madera, evitando que la formaleta se deteriore por los golpes del apisonado.

--Actúa como impermeabilizante, evitando que la madera pueda absorber agua de la mezcla y sufrir cambios volumétricos.

-Facilita el desencofrado.

b) El proceso de apisonado provoca vibraciones, originando movimientos horizontales y verticales a la formaleta. Para evitar estos desplazamientos, la formaleta debe estar a plomo, entranquillada; y anclada antes de comenzar el apisonado, asegurándose de esta manera, que los muros puedan desplomarse o sufrir cualquier fractura.



c) Se ejecuta el proceso de llenado de tierra suelta y a continuación el de apisonado por capas hasta obtener el primer tramo del muro.

d) Para el desencofrado o remoción de la formaleta son necesarias las siguientes maniobras:

-Se suprime el entranquillado y los anclajes, si los hay.

-Simultáneamente, se aflojan parcialmente los pernos de fijación superiores e inferiores.

-Se quitan totalmente los pernos de fijación.

-Se sujeta la placa por la parte superior y se le jala deslizándose hacia arriba.

-En ninguna maniobra de desencofrado se le aplican cargas laterales.

-La formaleta debe mantenerse limpia y bajo techo si no se está empleando.

#### 4.5 Apisonadores

En investigaciones precedentes se empezó utilizando apisonadores con cabezas de concreto y mango de tubo galvanizado; con peso de 6 kg con un área plana de 15 \* 7.5 cm, con una altura de cabeza de 15 cm y un largo de 1.00 m. Al inicio se obtuvieron buenos resultados ya que se obtenía un apisonado parejo y enérgico con sólo dejar caer el apisonador desde una altura de 0.30 a 0.60 m. Al irse avanzando en la investigación, el uso prolongado fué deteriorando las orillas de la parte inferior de la cabeza con lo que se notaba un deficiente apisonado, en los extremos del muro, por lo que debía corregirse por medio del uso de reglas de 2 \* 2 plg provocando pérdida de tiempo, por ello se dispuso sustituir a este tipo de apisonadores.

Se diseñó un tipo de apisonador que fuera lo suficientemente fuerte para soportar la fuerza del apisonado, y así conservara su integridad para llevar a cabo un apisonado parejo; los nuevos apisonadores se diseñaron con planchas de acero soldada a un tubo de hierro. El empleo de estos apisonadores dio gran resultado y ahorro de tiempo, el apisonado se efectuó en forma óptima, se tiene la ventaja que se puede aumentar el peso soldando otra parte o fundirle concreto en la parte superior de la plancha.

Es importante que se tomen en cuenta estos factores debido a que en el momento de construir una vivienda con

este sistema, los apisonadores constituyen parte esencial ya que de ellos depende en gran parte el éxito que se desea obtener.

Se recomienda el uso de apisonadores de metal de un peso de 6 kilogramos, la cabeza es una plancha de 15 \* 7.5 cm por 1/2 pulgada de espesor y adherida a un tubo de 3/4 de pulgada de hierro galvanizado con una longitud de 110 cm que sirve de mango, se usa este tipo de apisonador cuando el muro no utiliza ningún tipo de refuerzo. En el caso de que el muro se encuentre reforzado, por ejemplo con caña de castilla se utilizará el mismo apisonador con el único cambio del área de contacto, que será de 100 centímetros cuadrados con dimensiones recomendadas de 20 \* 5 cm y otro de 7.1 \* 14 cm, ambos con peso de 6.5 kilogramos, se aconseja ya que el espacio que existe entre la formaleta y la armadura es muy pequeño.

#### 4.5.1 Apisonadores convencionales.

Estos están diseñados para un apisonado manual de la tierra y consisten en una masa de madera o metal adaptado con un asa pesada. La diversidad de diseños de la herramienta, es grande ya que se pueden emplear unas planas y otras en forma de cuñas.

#### 4.5.2 Máquina-ayuda de apisonado.

##### i) Apisonado por impacto.

Apisonado neumático: éstas han sido directamente copiadas de la industria de la fundición, donde están acostumbrados a establecer arena en moldes. Su modo imita funciones a la de un atacador manual pero son capaces de una mucho más alta frecuencia de impacto (hasta 700 golpes por minuto), de todos los apisonadores neumáticos disponibles, solamente los atacadores de suelo son efectivos, del cual hay numerosos tipos comerciales. Los apisonadores neumáticos no tienen que ser demasiado pesados (15 kg máximo) ni demasiado poderosos.

Martillo deslizante: la idea de transformar unos martillos neumáticos, adaptándolos como que fuera un especial apisonador de placa ha estado ya en uso. Estas herramientas son, sin embargo, demasiado poderosas y pueden provocar vibraciones de resonancia dentro de las paredes, aplastando el material.

ii) Apisonado por vibración.

Placas de vibración: este método estuvo desarrollado por CHSK en Kassel. En el motor con una masa de rotación excéntrica, transmite las vibraciones a la placa, esta es la causa de que la máquina se mueva. Un interruptor permite el movimiento de operador, entonces la máquina funciona automáticamente. La razón entre el peso y la frecuencia de vibración de la máquina es difícil de establecer.

Apisonadores vibradores: Las versiones de estas máquinas suministradas por potencia de motores de combustión o electromotores están disponibles en el mercado. Han sido el objeto de numerosas pruebas obteniendo malos resultados y constructores muy modestos, aconsejan no utilizarlos.

4.6 Aspectos de normalización.

Todas las obras de construcción de viviendas, deberán ajustarse a las leyes; reglamentos y regulaciones municipales vigentes aplicables al caso, y que tengan por objeto el logro de la seguridad e higiene en las edificaciones.

Estas normas contienen requisitos mínimos que sólo tienen el objeto de prevenir o evitar riesgos o construcciones defectuosas, sin que necesariamente representen las condiciones más adecuadas, desde el punto de vista de conveniencia y eficacia.

4.6.1 Dimensiones y superficies mínimas de ambientes.

El objetivo de establecer mínimos para las dimensiones y áreas de diferentes partes de una vivienda, es el siguiente:

- Garantizar que cada vivienda esté provista de todas aquellas facilidades que se consideren indispensables para un hogar permanente.
- Garantizar que la dimensión de las habitaciones permita la colocación de muebles, sin menoscabo de una fácil circulación y de los espacios de acomodamientos adecuados.

#### 4.6.1.1 Requerimientos sobre la vivienda

Antes de proceder a la elaboración de los planos de una casa, el diseñador debe tener muy en cuenta las costumbres y formas de vivir de las personas que la van a habitar, cuanto más sepa el diseñador sobre la forma de uso que las personas le darán a la vivienda en mejores condiciones estará él, en la creación del diseño; el producto del conocimiento y análisis de estos factores determinantes darán como resultado una casa funcional y agradable para las personas que la habitarán. (5)

Después de haber planeado la distribución de las habitaciones, el constructor debe observar las recomendaciones siguientes para escoger el tipo de construcción económica y construir una casa cómoda y agradable:

1. Orientar adecuadamente la vivienda.
2. Usar de preferencia material regional y señalar claramente los muros de carga y tabiques.
3. Adoptar un tipo de construcción empleando materiales que aseguren aislamiento térmico para proteger a la vivienda de los rigores de las temperaturas extremas propias de la región en que esté emplazada. (5)
4. Indicar el tipo de materiales a emplear en la construcción como piedra, madera, ladrillo, etc.
5. Usar repellos y cernidos en muros de tierra debido a que éstos son de escasa resistencia al clima, deteriorándose fácilmente por escorrentías o lluvias intensas.
6. Hacer una correcta distribución en ventanas y puertas para lograr con ello, buena ventilación e iluminación y una aceptable circulación.
7. Prescindir lo más que se pueda del color y utilizar realmente el color natural de los materiales.
8. Tener una idea de cómo quedan las fachadas y explotar la misma para dejar paños lo suficientemente amplios para utilizarlos como colocación de muebles.
9. Clasificar a los materiales que por sus características indican su correcta aplicación, por ejemplo materiales pesados y resistentes como la piedra, funcionan perfectamente en: muros de carga, cimientos y columnas; la madera, el bambú se pueden utilizar en muchas formas. (5)

10. Incluir en los ambientes de la vivienda, el servicio sanitario, siempre y cuando se cuente con drenajes para aguas negras, en caso contrario éste deber hacerse separado de la casa.
11. Tener en cuenta los suministros de agua, desagües y energía eléctrica.
12. Las habitaciones deben ser independientes entre si, es decir; que ninguna utilice como paso un dormitorio ni sirva a su vez de paso al baño.
13. Toda habitación debe tener ventilación e iluminación directa al exterior y las dimensiones mínimas son las siguientes: (5)

Dormitorio de una cama	6.00 m <sup>2</sup>
Dormitorio de dos camas	10.00 "
Sala, comedor o estancia	10.00 "
Cocina	5.00 "
Baño	2.50 "
Ancho de pasillos un mínimo de	0.80 m

14. La altura conveniente para estas habitaciones es de 2.60 metros como mínimo y en casos especiales se puede bajar a 2.30 metros pero ampliando proporcionalmente la superficie.
15. Con relación al clima se pueden usar convenientemente las siguientes alturas:

Clima frío	2.60 m
Clima medio	2.80 "
Clima caliente	3.00 "

Para fijar las alturas, se ha tenido en cuenta el mínimo permitido para obtener con ello suficiente volumen de aire para las personas que habitan los distintos ambientes, logrando las mayor comodidad en cuanto a ventilación e iluminación.

En climas cálidos se establece una altura de 3.00 metros, a pesar de que estos se hacen generalmente techos muy elevados ya que en la ventilación de una pieza no es factor decisivo la altura de dinteles de la ventanas.

A continuación se detallarán gráficamente la forma adecuada de lograr un mayor y mejor confort, orientación y ventilación de la vivienda. (Figura 10)

# DISEÑO SEGUN EL CLIMA

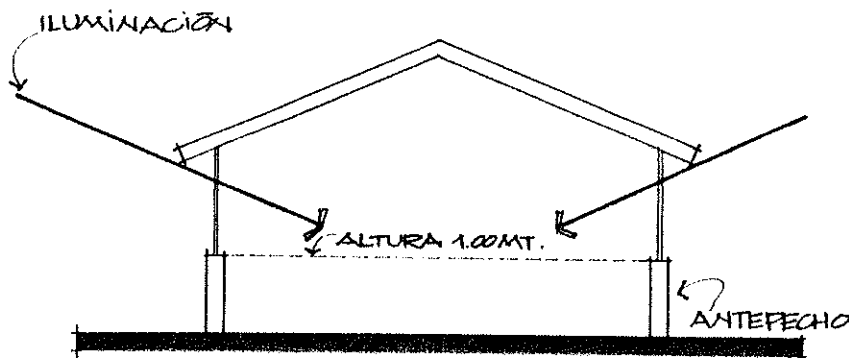
FIGURA No. II

	CALIDO HUMEDO		SABANA TROPICAL	CALIDO DESIERTO		ALTIPLANO FRIO		TEMPLADO O SUBTROPICAL
	ISLA TROP.	COSTA ECUAT.		ARIDO SEMIDESERTO MARITIMO INTERIOR.	TROPICAL	ECUATORIAL		
VENTILACION								
LUVIA								AGUAVIENTO  NIEVE EN INVIERNO
SOMBRAS								AGUAVIENTO  NIEVE EN INVIERNO
ABOLEAMIENTO								SE NECESITA CONTROL DE ASOLEAMIENTO EN VERANO
ORIENTACION								ES IMPORTANTE CAPTACION DE SOL EN INVIERNO Y SU EXCLUSION EN VERANO.

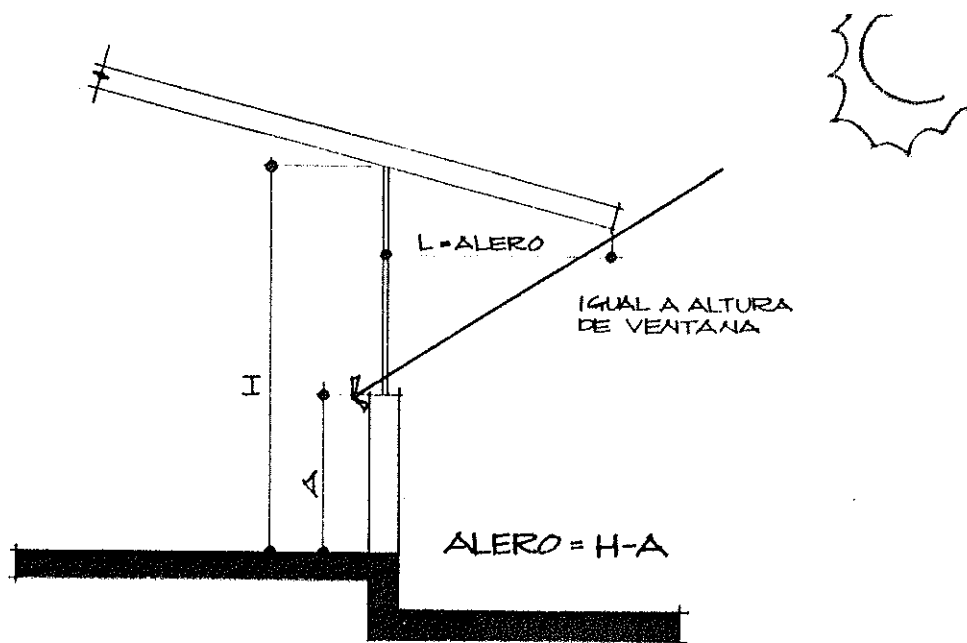
#### 4.6.1.2 Iluminación.

La iluminación natural es importante para tener ambientes cómodos e higiénicos. La ventanería permite la entrada de la luz solar y se ahorra en el uso de energía eléctrica.

- Antepechos a la altura del plano de trabajo. (1.00 o 1.10 metros de altura).
- Ventanas de 1.00 m sobre el piso y que el vano sea un 15% de la superficie.

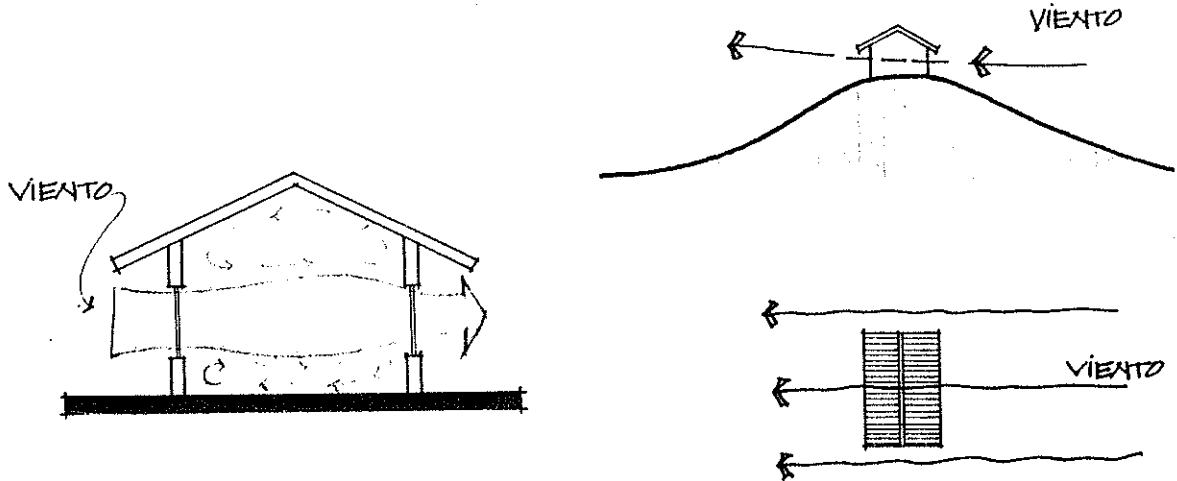


Los aleros al sol deberán calcularse en cada caso, sin embargo como regla general aceptable puede calcularse en función directa a la altura de las ventanas, es decir; altura (H) menos antepechos (A).

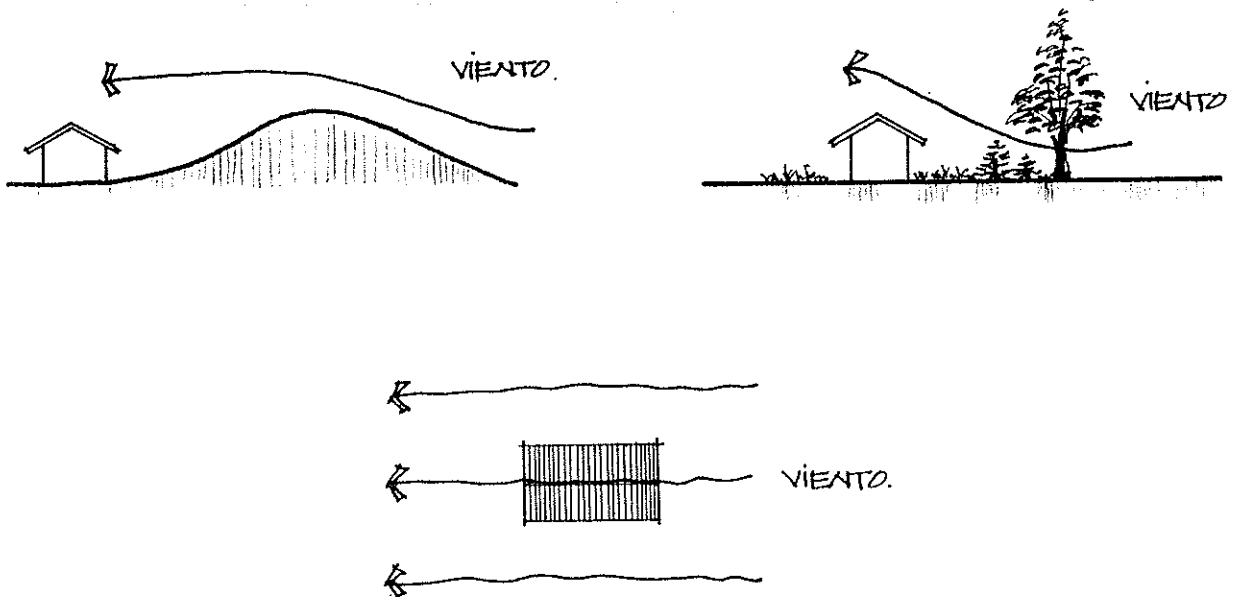


#### 4.6.1.3 Orientación por vientos.

En clima cálido debe existir ventilación suficiente en ambos lados. Deben aprovecharse al máximo la dirección del viento, respecto al terreno.



En clima frío debe protegerse la vivienda del viento dominante y así su ubicación respecto al terreno.

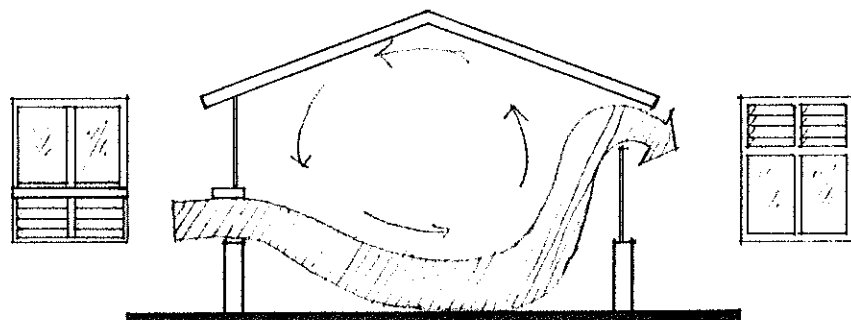
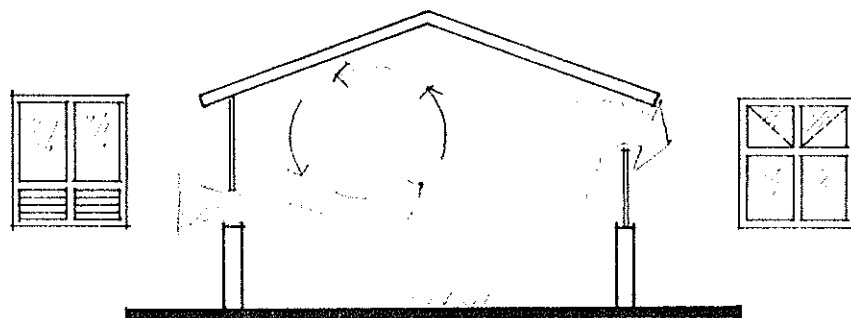
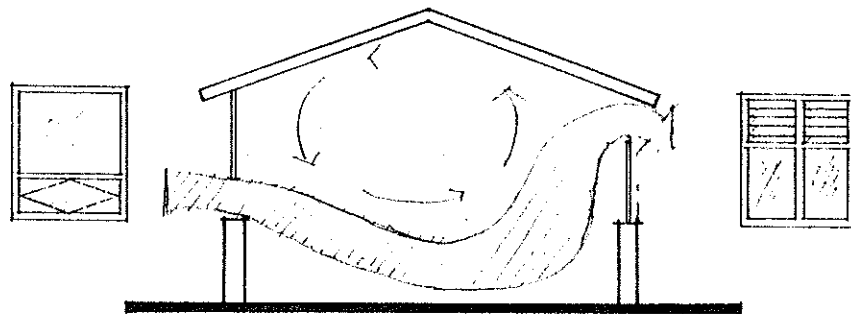
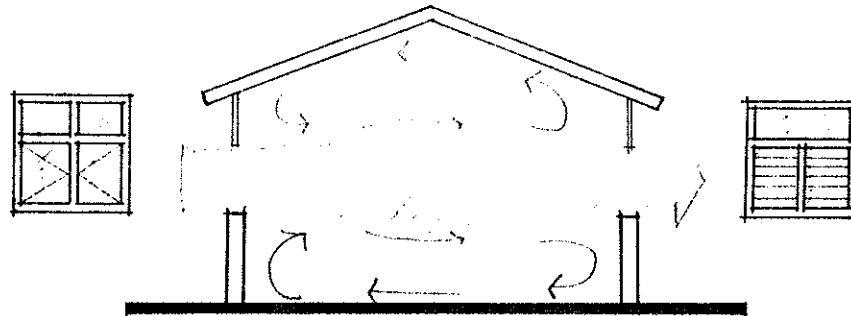




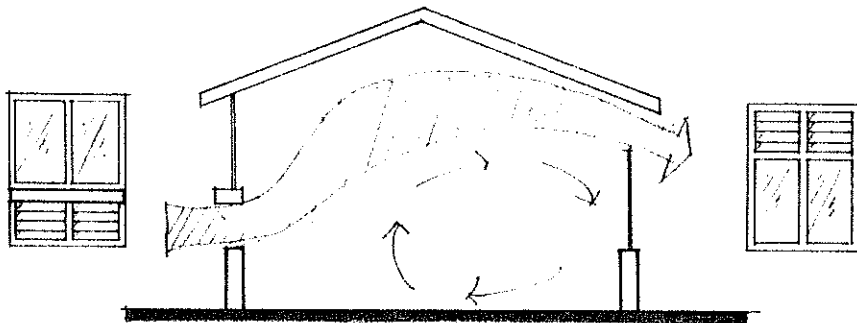
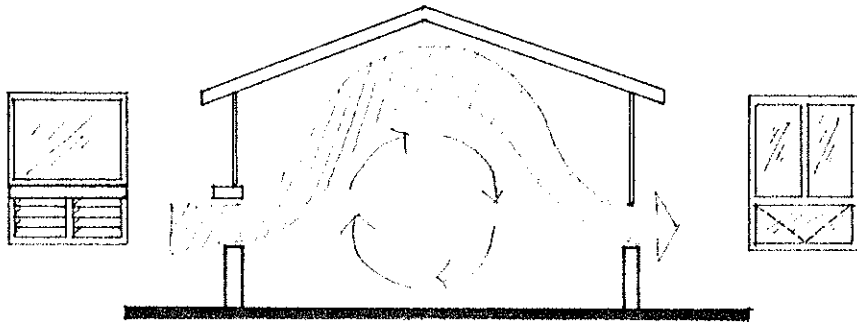
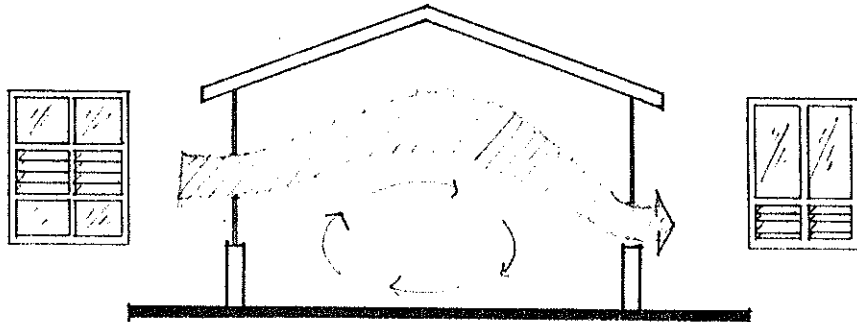
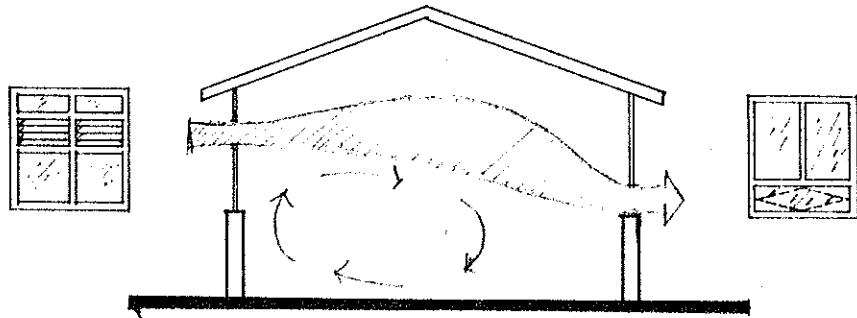
#### 4.6.1.4 Ventilación.

Para clima cálido: húmedo, árido, en la sabana, y climas templado o subtropical.

Ventilación cruzada baja. Area total de ventilación igual a un 1/5 como mínimo de la superficie del piso.



Para clima frío e Inviernos: en la sabanas y en climas templado o subtropical.  
Altura media interior mínima 2.80-3.00 m.



## CAPITULO 5

### CONDICIONES DE HABITABILIDAD DE LA VIVIENDA

#### 5.1 Orientación

##### 5.1.1 Generalidades del sistema tierra sol.

El sol es la fuente de energía sobre la Tierra, la radiación solar en su totalidad posee una intensidad de 1,000,000 de billones de kw/h pero únicamente un 40% penetra a la tierra, en la cual da la vida a personas, animales y plantas.

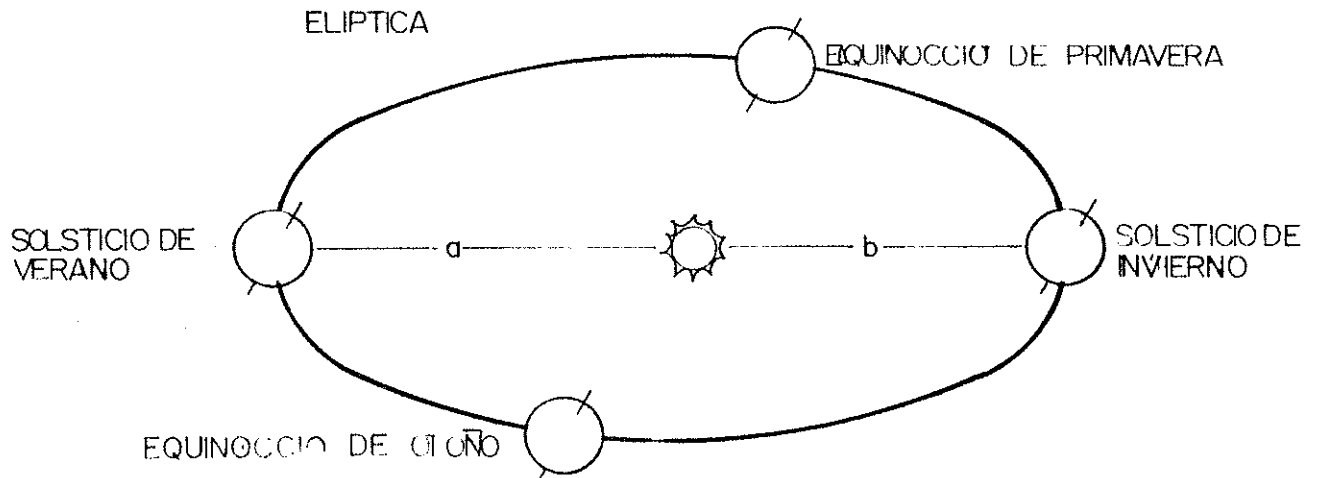
El Ecuador de la Tierra es el círculo máximo equidistante de los polos y forma un ángulo de  $23^{\circ} 27'$  con el plano que contiene la curva elíptica recorrida por la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del sol, esta trayectoria es la máxima distancia recorrida por la Tierra, con esto se puede comprender que la Tierra recibe los rayos un año entre  $+23^{\circ} 27'$  y  $-23^{\circ} 27'$ . (Ver figura 12-13).

La inclinación que posee la Tierra respecto a la trayectoria elíptica es la causa de las variaciones de climas que se encuentran en el globo terrestre y de la sucesión de estaciones en cada una de ellas, producen además una variación de la inclinación de los rayos solares sobre la superficie terrestre. Por tal motivo la Tierra no se ilumina en forma uniforme lo que provoca variaciones en la exposición solar diaria, excepto en el Ecuador donde los días y las noches duran constantemente 12 horas. Por lo tanto, el Ecuador siempre está más caluroso y los polos más fríos, esto por la cantidad de rayos solares que reciben y del ángulo de penetración. (e)

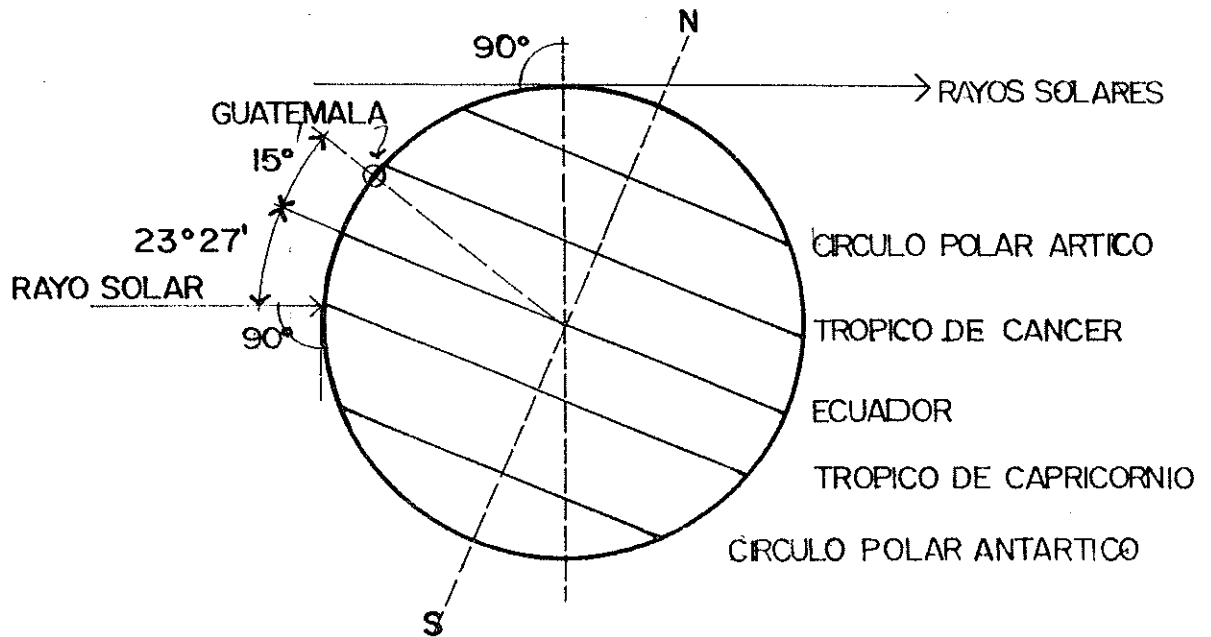
En su trayectoria de traslación la Tierra posee cuatro posiciones alrededor del Sol, los equinoccios y los solsticios. En los equinoccios la Tierra se encuentra en una posición más próxima al sol, estas posiciones se efectúan dos veces al año; el 21 de marzo y el 21 de septiembre, en esta época como el sol se encuentra dirigiendo sus rayos hacia el Ecuador los días tienen igual duración que las noches; en toda la tierra se les conoce como equinoccios de primavera y de otoño.

Los solsticios son los puntos donde la tierra se encuentra más alejada del sol, esto también se efectúan dos veces por año; el 21 de junio se presenta el solsticio de verano y el 21 de diciembre el solsticio de invierno. Como la tierra está dividida en hemisferio norte y hemisferio sur, el solsticio de invierno es el 21 de diciembre y el solsticio de verano es el 21 de junio para el hemisferio norte. El solsticio de invierno es el 21 de junio y el solsticio de verano es el 21 de diciembre para el hemisferio sur.

**FIGURA No. 12**  
**TRAYECTORIA Y POSICIONES DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL.**



**FIGURA No. 13**  
**POSICION DE LA TIERRA CON RELACION AL SOL EN EL 21 DE DIC.**



En estos días el recorrido aparente del sol está representado por dos círculos paralelos al ecuador, distantes de éste  $23^{\circ} 27'$  llamados trópicos, éstos están en el lugar exacto donde los rayos del sol llegan perpendiculares a la tierra, cuando el sol presenta su máxima declinación.

### 5.1.2 Aspectos climaticos de Guatemala

Guatemala esta situada en una zona intertropical; se encuentra en el hemisferio norte entre el Ecuador y el trópico de Cáncer, con latitudes entre  $14^{\circ}$  a  $18^{\circ}$  norte y longitudes de  $88^{\circ}$  y  $92^{\circ}$  oeste, sus características climáticas son sumamente variadas, ya que lo microclimas de las diferentes regiones presentan variantes y se clasifican en zonas homogéneas de estudio. Para poder determinar el clima de determinada región es importante conocer los elementos fundamentales que lo determinan, como: la temperatura, lluvia, humedad, viento, presión atmosférica, incidencia solar, y también es importante mencionar los factores geográficos como la latitud, la altitud, el mar, la vegetación y las corrientes marinas.

### 5.1.3 La carta solar y el transportador de ángulos de sombra.

La radiación solar es bien recibida cuando el tiempo es frío pero no cuando hace calor. Por tal motivo es necesario proteger las viviendas, en general las aberturas contra la radiación solar directa favorece la penetración del sol cuando sea necesario calentar el interior de la vivienda. La posición del Sol en su recorrido aparente por el cielo se puede representar por medio de un mapa de la esfera celeste, el diagrama consiste en un círculo cuya periferia representa el horizonte de la vertical. (ver figura 14).

Para la localización de una posición en la esfera celeste se necesitan dos coordenadas, denominadas azimut; se presenta en una escala angular de  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  grados alrededor del círculo, se mide a partir del norte y en sentido de las agujas del reloj. La altura de la posición del sol se indica por una serie de anillos concéntricos, y se mide hacia arriba, desde el horizonte que es  $0^{\circ}$  grados hasta el cenit que es  $90^{\circ}$  grados. (Ver figura 15).

La trayectoria del sol en el horizonte comienza cuando sale en el este y termina cuando se oculta en el oeste, además su posición sobre la Tierra varía en el transcurso del año, la línea más ondulada representa la trayectoria solar del 21 de junio (solsticios de verano) y la línea más horizontal representa la trayectoria del

y la línea más horizontal representa la trayectoria del sol del 21 de diciembre (solsticio de invierno) (ver figura 16-17).

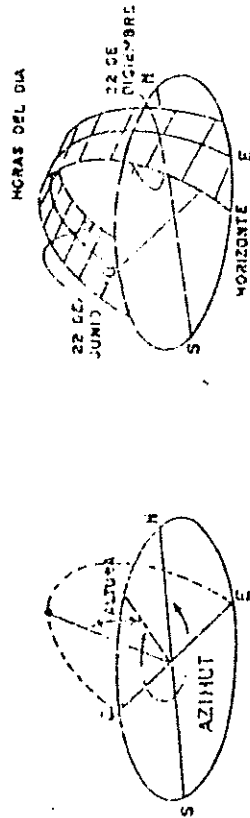
Las líneas entre ambas representan la trayectoria solar en el transcurso del año a intervalos iguales. Cada línea representa la trayectoria solar en dos días del año, uno durante el período de Enero a Junio, cuando la trayectoria solar va desplazándose cada día más hacia el Norte, y el segundo durante el período de Junio a Diciembre cuando la trayectoria solar se va volviendo hacia el sur. La trayectoria solar también se pueden representar por horas provisión del Sol por medio de líneas cortas que cruzan la trayectoria. Estas líneas cortas que muestran al sol saliendo hacia las 6 de la mañana, cruza directamente la línea Norte-Sur a medio día, se pone por la tarde hacia las seis. Estas horas pueden variar ligeramente respecto a las horas locales oficiales (figura 18). Para poder tener en cuenta los datos relativos a sol si hace uso de instrumentos básicos como son la carta solar y el transportador de ángulos de sombra. (←)

La carta solar está formada por un círculo cuya periferia representa el horizonte y el centro representa el cenit. El azimut de fachada se representa en una escala de  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  grados representados alrededor del círculo, estos grados se miden a partir del norte en el sentido de las agujas del reloj. La altitud de la posición del sol se indica por una serie de círculos concéntricos, se miden desde el borde  $0^{\circ}$  grados hacia el centro o cenit o sea  $90^{\circ}$  grados ( figura 19). Por medio de la carta solar se puede determinar la posición del sol en diferentes horas y días así como en diferentes épocas del año en una latitud dada.

El transportador de ángulos de sombra se utiliza para hallar las dimensiones de las proyecciones verticales y horizontales que se precisan para impedir que penetre el sol en las viviendas cuando éste no sea necesario ( figura 20 ). La primera serie de líneas son curvas e indican los ángulos verticales de sombra, la segunda serie de líneas, que irradian del centro, indican los ángulos horizontales de sombra, el diámetro del transportador se le denomina línea base. La incidencia de los rayos solares sobre una fachada depende en gran parte de la orientación de las aberturas, a continuación se hace un análisis de la incidencia solar.

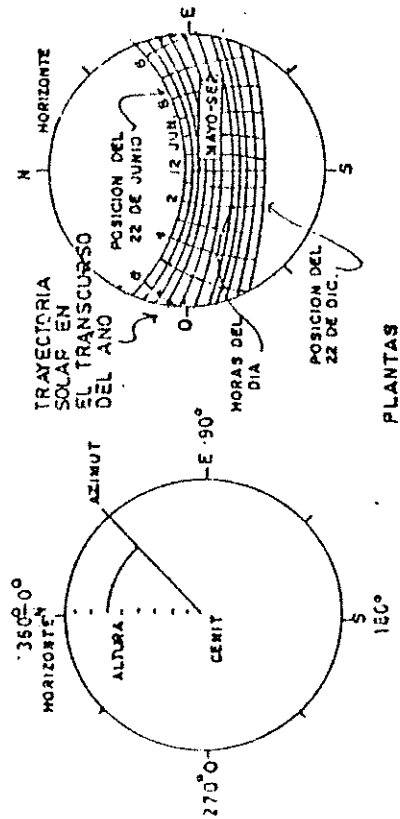
Una fachada que posea norte franco, es afectado por los rayos solares únicamente por tres meses y medio (mayo, junio, julio y mitad de agosto) por lo tanto poseerá ocho meses y medio de sombra. El día más crítico es el 22 de junio. Una fachada orientada hacia el sur franco, recibirá ocho meses y medio de sol y únicamente tres meses y medio de sombra, siendo el día más crítico de soleamiento el 22 de diciembre.

TRAYECTORIA SOLAR EN LA ESFERA CELESTE



ISOMETRICOS

FIGURA No. 14 y 16

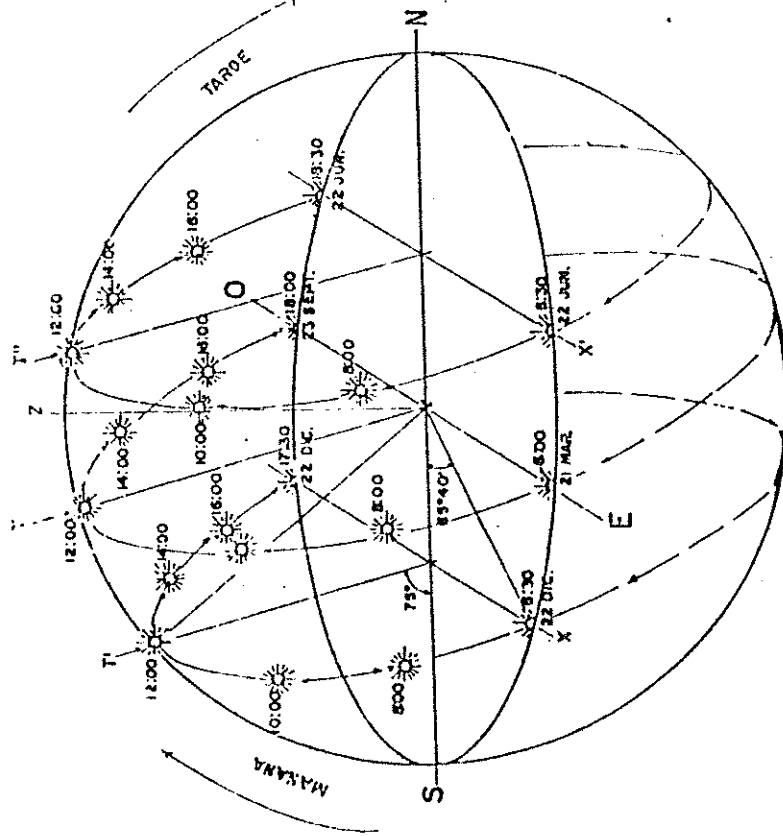


FIGURAS No. 15 y 17

FUENTE: Naciones Unidas., op. cit., p.67.

FIGURA No. 18

TRAYECTORIA APARENTE DIARIA DEL SOL PARA LA LATITUD DE 15° NORTE EN DIFERENTES FECHAS (GRAFICA ESTIMATIVA)

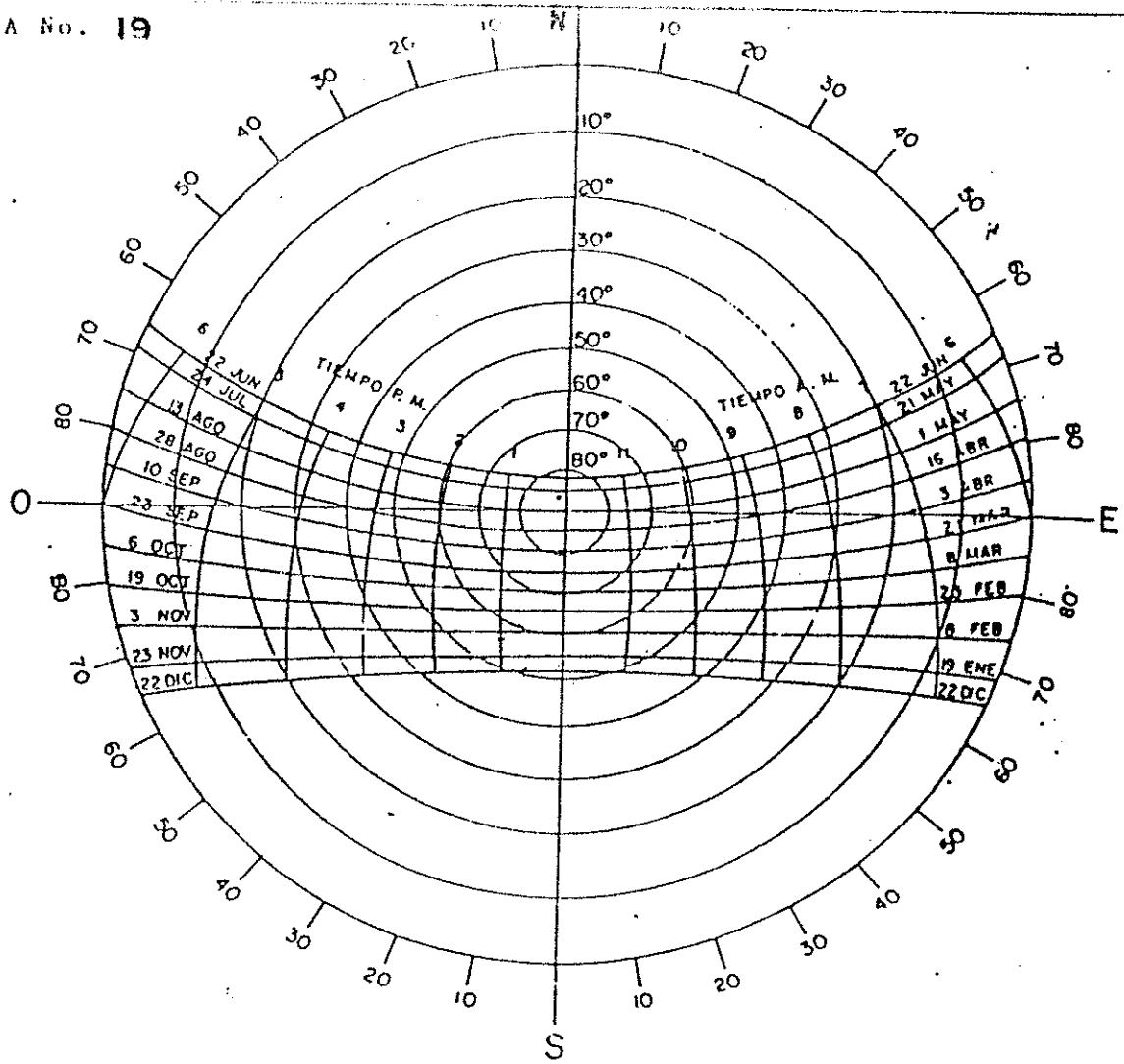


POSICIONES DEL SOL:

- X T' Y: SOLSTICIO DE INVIERNO (22 DE DICIEMBRE)
- E T' O: EQUINOCCIOS (21 DE MARZO Y 23 DE SEPTIEMBRE)
- X T' Y: SOLSTICIO DE VERANO (22 DE JUNIO)

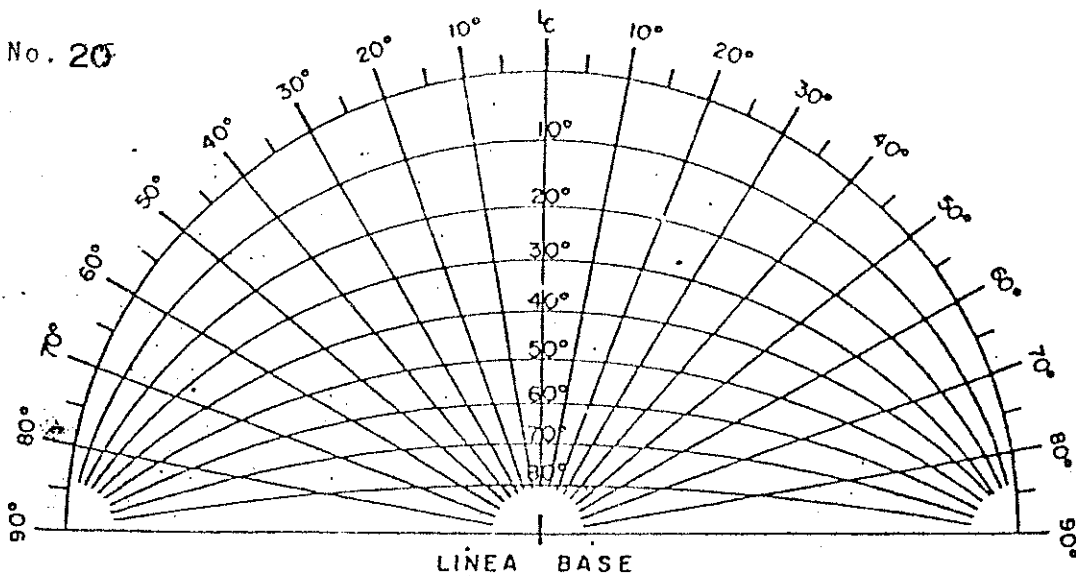
FUENTE: Memorias del Curso Latino Americano, Actualización sobre el aprovechamiento de la energía.

FIGURA No. 19



CARTA SOLAR LATITUD 15° NORTE

FIGURA No. 20



TRANSPORTADOR DE ANGULOS DE SOMBRA



1  
2  
3  
4  
5  
6

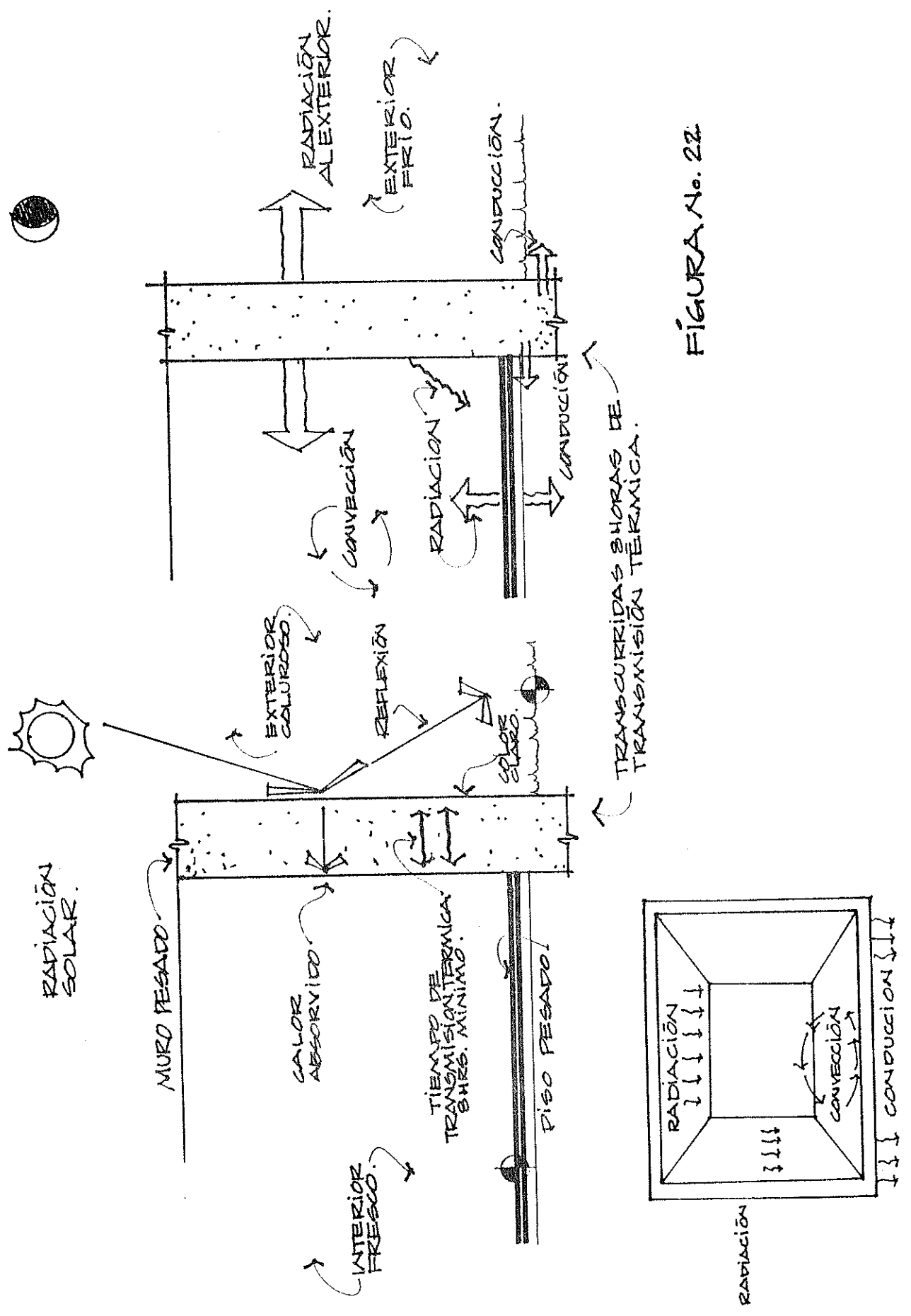


FIGURA No. 22

Evaporacion:

involucra cambios de estado liquido a gas o viceversa, con absorción o emisión de calor. Ejemplo las cubiertas de lámina galvanizada, que durante las noches despejadas normalmente se enfrían alcanzando temperaturas menores a la del aire exterior, como resultado de la irradiación de calor hacia el espacio exterior. El aire caliente interior se enfría al ponerse en contacto con la cubierta, la condensación se manifiesta debajo, en forma de gotas de agua.

Las características térmicas de un muro o cubierta depende de un gran numero de variables que comprenden: la conductividad de la superficie, la conductividad térmica, el espesor y la densidad, la posición de las capas o cavidades aislantes dentro de la construcción solar, y la emisividad de la radiación a baja temperatura. Es posible combinar esos factores y reducirlos a tres variables principales, que pueden utilizarse para especificar el comportamiento térmico de un muro o cubierta requerido en condiciones determinadas en un clima dado.

La tres variables son:

- a.- Valor 'U' (transmisión térmica, aire-aire)
- b.- Factor de calor solar: proporción de calor radiante transmitido
- c.- Tiempo de transmisión térmica: respuesta al cambio de temperatura.

### 5.3 Impermeabilidad.

#### 5.3.1 Protección contra la humedad.

La mayor parte de los desperfectos que se producen en las construcciones, son atribuibles a la acción nociva de la humedad, la cual perjudica la buena conservación de las partes y elementos de las obras y disminuye su protección térmica.

La protección contra las humedad, por consiguiente, consiste en preservar las obras del contacto de las humedad o impedir efecto nocivo inmediato del agua, de la humedad sobre las parte de dichas obras o los materiales que las integran y en completar y aumentar la protección térmica.

### 1. Humedad del terreno

En el terreno casi siempre hay humedad, las aguas pluviales infiltradas, las aguas procedentes de las capas subterráneas que asciendan por aspiración o capilaridad y que la fuerza de adhesión, mantienen junto a los elementos de una construcción o en él exista presión alguna del agua contra ellos. (7)

En la mayoría de los casos no puede evitarse que el suelo sea húmedo. Pero el suelo puede estar saturado o no de humedad, es decir, que los poros pueden o no estar llenos de agua líquida. Una gran parte del suelo siempre está saturado de agua, formándose la capa de agua subálvea o freática cuyo nivel superior corresponde al nivel de agua en los pozos.

2. Humedad procedente de precipitaciones  
Lluvia que cae directamente sobre la obra.

3. Agua superficial  
Las procedentes de lluvias y otras precipitaciones, que escurre por la superficie del suelo, o brota del mismo por haberse infiltrado.

En la antigüedad los salones de robustos edificios, contruidos con muros fuertes y suelos grávidos reunían las tres propiedades básicas con suficiente eficacia, buena iluminación, excelente ventilación y excentos de ruidos, eran secos, calientes en invierno, frescos en verano. En las edificaciones actuales, el uso de métodos más exactos de cálculo y conocimiento más profundo de los materiales, requieren de menores volúmenes de elementos sustentantes, como paredes y suelos. Sin embargo, requieren de especiales medidas de protección contra la humedad, las temperaturas y el ruido.

Las edificaciones son consideradas favorables a la salud, si reúnen las tres condiciones básicas antes mencionadas, si están secos y moderadamente templados y excentos de ruido. La nocividad de la humedad, es también perjudicial para la mayor parte de los materiales de construcción y de las instalaciones caseras.

Al helarse el agua dentro de los poros de los muros estallan, se deslavan los ingredientes solubles de morteros, esto provoca la proliferación de hongos que pudren la madera. De ahí que la meta fundamental de las edificaciones se establece en la protección tanto a los elementos constructivos como en la misma edificación contra la humedad.

### 5.3.2 Materiales impermeabilizantes

La definición que se atribuye a estos materiales, es de tener la cualidad fundamental de impedir el paso de agua a través de las películas que forman. Sin embargo, esta no debe ser la única característica, pues también deben ser dúctiles, tener cierta elasticidad y plasticidad, ser resistente al envejecimiento o a la intemperie y algunas veces al tránsito, no debe escurrir a temperaturas ambiente máximo, su instalación debe ser fácil, también debe tener buena adherencia sobre los sustratos.

Además de las características antes mencionadas, existen las normas de calidad realizadas por la ASTM, normas que rigen para todos estos materiales. Estas otras normas, se han establecido para determinar la calidad de los materiales impermeabilizantes, con el objeto de que el constructor tenga parámetros de comparación, para solicitar determinado producto a los proveedores. Al solicitar impermeabilizantes que cubran especificaciones determinadas, se tendrán mejores impermeabilizaciones, y las fallas que se originen, no serán imputables a la calidad de material.

#### 5.3.2.1 Repellos.

La finalidad del repello es proporcionar a los parámetros exteriores protección contra la humedad y agentes atmosféricos y, mejorar el aspecto exterior.

Se empieza pañeando con una regla para observarlas desigualdades de la superficie; esto dará idea para determinar el saliente del canto de las reglas que se fijan a plomo en las aristas de esquinas y mochetas de vanos. Para facilitar la adherencia del mortero, se eliminan los salientes y polvo, y se riega el muro; hecho esto, se comienza aplicando con paleta un salpicado (o tendido a llana) de mortero bastante líquido sin preocuparse grandemente de su acabado, porque solamente va a servir como capa de enganche para una buena adherencia de la segunda que, al admitir más grueso el mortero, se habrá dado tiempo a que endurezca y así, al aplicar la segunda capa, se evita el desprendimiento.

Esta segunda capa se aplica, igualmente, proyectando el mortero y guiándose simplemente a ojo sobre el paño que se va repellando. Terminada la segunda capa, se procede a dar pasadas de regla para igualar y aplanar la superficie.

El espesor del repello está en función de la rugosidad o imperfecciones superficiales del soporte que cubre, pero normalmente suele ser de uno a dos centímetros.

Los repellos se realizan generalmente por lanzamiento o proyección sucesiva de tres capas de mortero debidamente dosificado.

La efectividad del repello depende de:

- de su ligazón con la pared
- de su homogeneidad

La formación normal del mortero es a base de cal o cemento, arena y agua. La arena interviene como material inerte para dar solidez a la masa desada y evitar el desquebrajamiento que se produciría si se empleara el aglomerante (cal o cemento solo).

Mortero de cal: está formado de cal, arena y agua.

Mortero de cemento: está formado de cemento, arena y agua.

Mortero bastardo: está formado de cemento, cal, arena y agua.

MORTERO	PROP	Kg. CEMENTO	APLICACION
CEMENTO	1:3	380	MUROS MAMPOSTERIA
CEMENTO	1:4	370	MUROS POCO CARGADO
CAL HID	1:3	-	MUROS MAMPOSTERIA
CAL HID	1:4	-	MUROS MAMPOSTERIA

#### 5.4 Salubridad

##### 5.4.1 Uso de la letrina

Antes de hacer una letrina, se debe investigar si hay fuentes de suministros de agua, ya sea en el terreno donde construiremos o en vecinales; y así, conservar las distancias siguientes:

- 1.- Distancia minima horizontal entre la letrina y la fuente de suministro..... 15.00 m
- 2.- Distancia vertical (parte inferior del pozo de la letrina al nivel freatico ..... 1.50 m
- 3.- Distancia con respecto a la vivienda .... 10.00 m

Lo que se debe hacer si el terreno está en pendiente, se debe colocar la letrina abajo del lugar donde se encuentra el suministro de agua. Lo que no se debe hacer es construir la letrina antes que la fuente de suministro de agua con respecto al sentido de las aguas freáticas, pues si lo hace, contaminara el agua del subsuelo y por consiguiente el agua de la fuente de abastecimiento. (Figura 23).

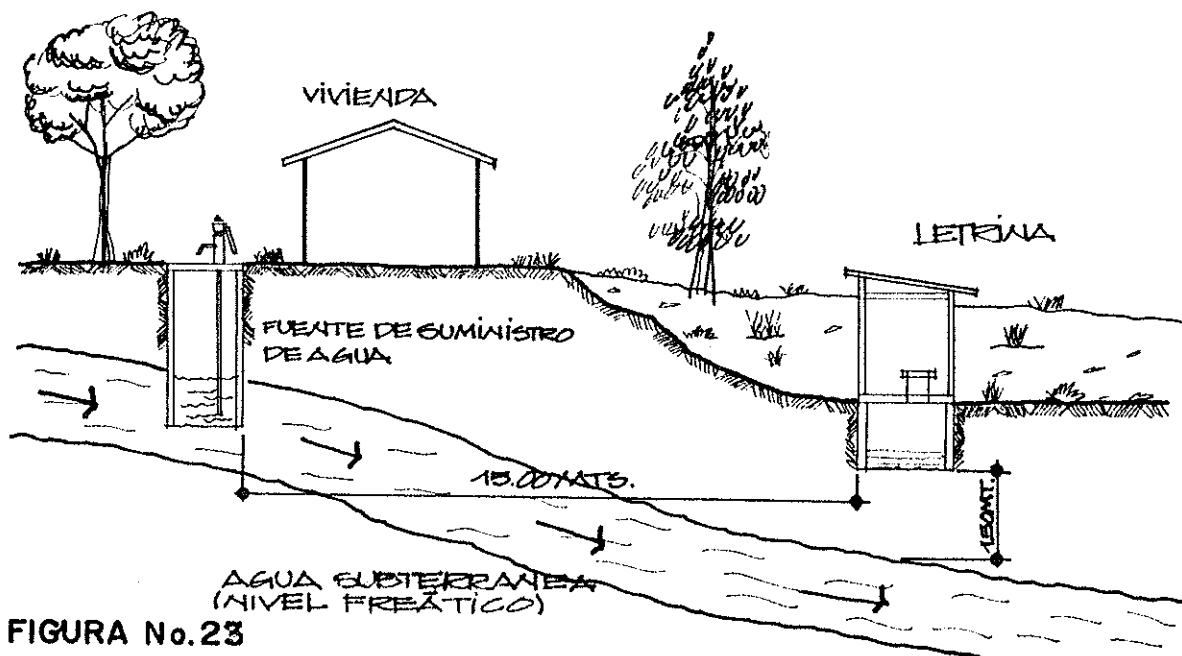


FIGURA No.23

Cuando se usa letrina se debe tomar en cuenta que...

- 1.- Una vez llena la fosa hasta el nivel permisible, se debe construir otra, localizando para ello un lugar apropiado a 3.00 o 5.00 m de distancia de la fosa llenada.
- 2.- Si es posible, la construcción de la caseta debe estar a la base de concreto que soporta la taza sanitaria, para que al ser trasladada a otra fosa nueva sea rápida y fácil su instalación.

Se utiliza la letrina abonera seca cuando en la región donde se va a construir, el nivel de aguas freáticas están casi a flor de tierra: con cierta regularidad deben extraerse los desechos por lo cual se hace una tapa en la parte posterior para facilitar la tarea. Además, se deben hacer un orificio para el tubo de ventilación en la losa de concreto.

Está formada por 2 cámaras o compartimientos separados por un tabique central, con un agujero al centro de cada compartimiento, donde se colocan los asientos de la letrina. (Figura 24)

El uso de la letrina se hace una vez que llena un agujero se tapa y se utiliza el otro para obtener abono aproximadamente a los seis meses de llenarlo. Los muros para formar los compartimientos pueden ser de materiales locales como: piedra, bajareque, adobe, tapial, etc.

Las compuertas que van en la parte de atrás, sirven para evacuar el abono en el transcurso del tiempo necesario. La dimensiones de los compartimientos pueden variar, sin embargo, las medidas mencionadas son suficientes para la letrina familiar.

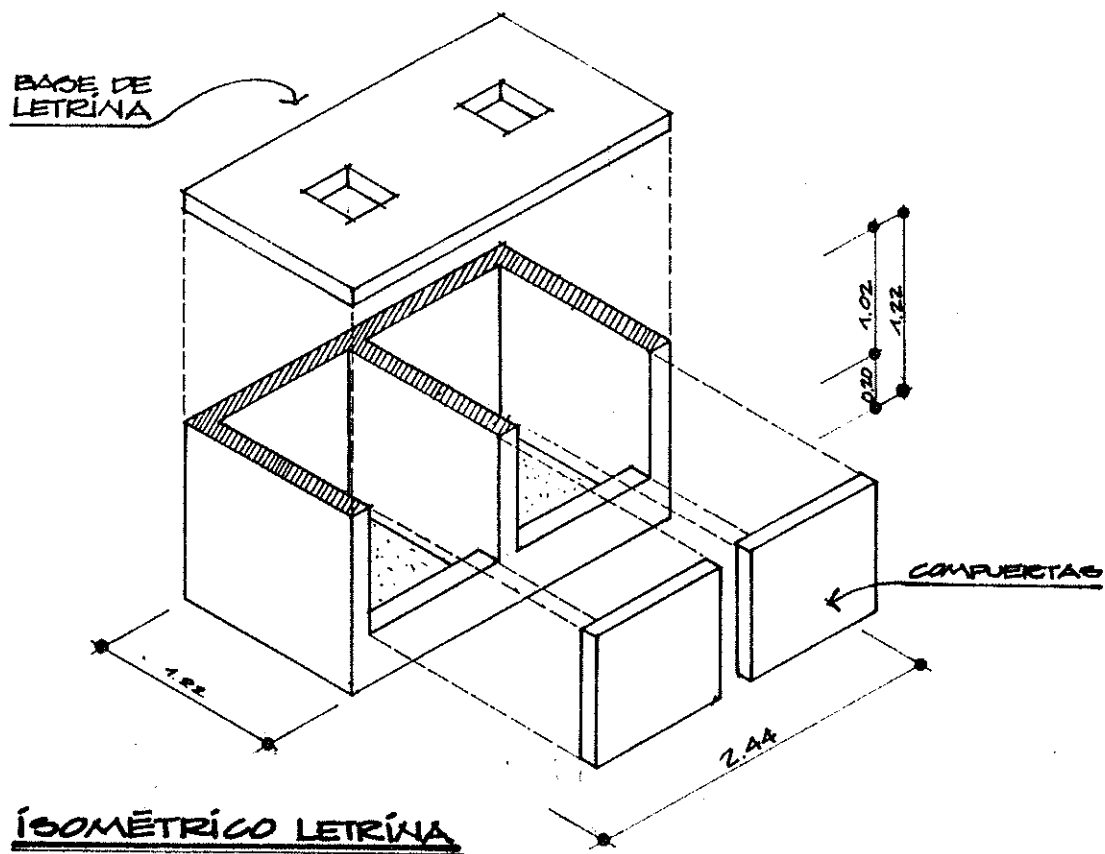
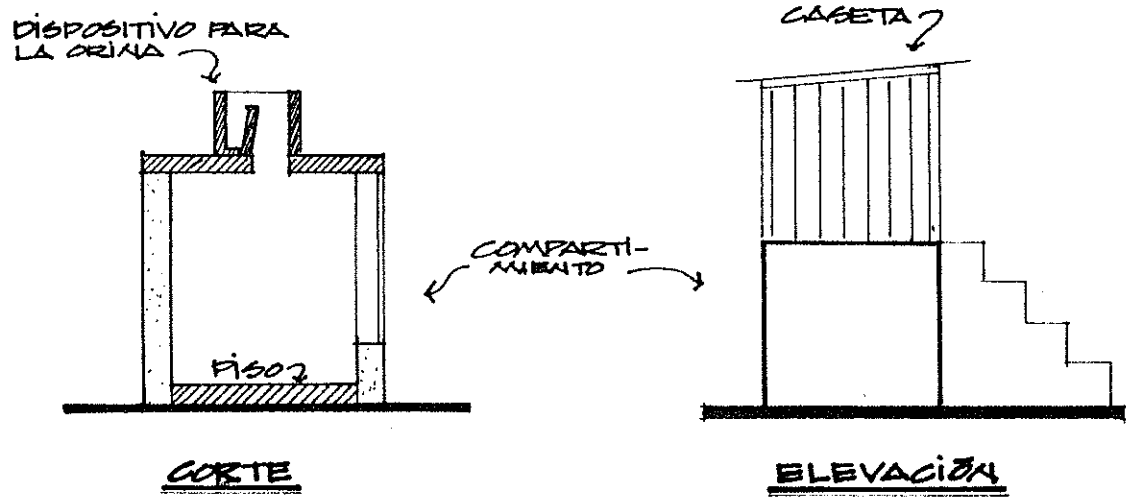


FIGURA No. 24





### 5.4.2 Uso de estufa.

La cocción de los alimentos en el área rural generalmente se realiza sobre el suelo, siendo el medio de combustión más utilizado el de la leña. Esto ocasiona contaminación en los alimentos y mayor consumo de combustible para la cocción. El evitar el contacto de los alimentos con el suelo y su contaminación excesiva, permitirá condiciones aceptables de higiene de los mismos, lo que se logrará con la construcción de un poyo o estufa "Lorena".

Este tipo de estufa debe su nombre a los materiales con que se fabrica, ya que originalmente se empleaba una mezcla de lodo y arena. Esta estufa es caracterizada por una economía en el consumo de leña, siendo muy fácil su construcción.

Se construye una base de 1.00 x 1.00 m con materiales locales, adobe, piedra, etc., sobre esta base se coloca una formaleta para compactar material areno-arcilloso hasta 30 centímetros. Se selecciona el material al utilizar en este caso arena y arcilla, la mitad de cada material. Si no es posible obtener la mitad de arena y otra mitad de arcilla, puede utilizarse un poco más de arena.

El material se va compactando por capas y debe tener poca humedad para mejores resultados. Al día siguiente de finalizar la capa superior se procede a excavar los agujeros del tamaño de los utensilios que utilice. Posteriormente se abren conductos o túneles para comunicar los agujeros entre sí. Los conductos deben ser del tamaño de la mano empuñada. (Figura 25).

Al perforar los túneles no debe ser muy cerca de la superficie porque puede fracturar la estufa e inutilizarse. A las cuatro semanas de construida la estufa se puede poner a funcionar.

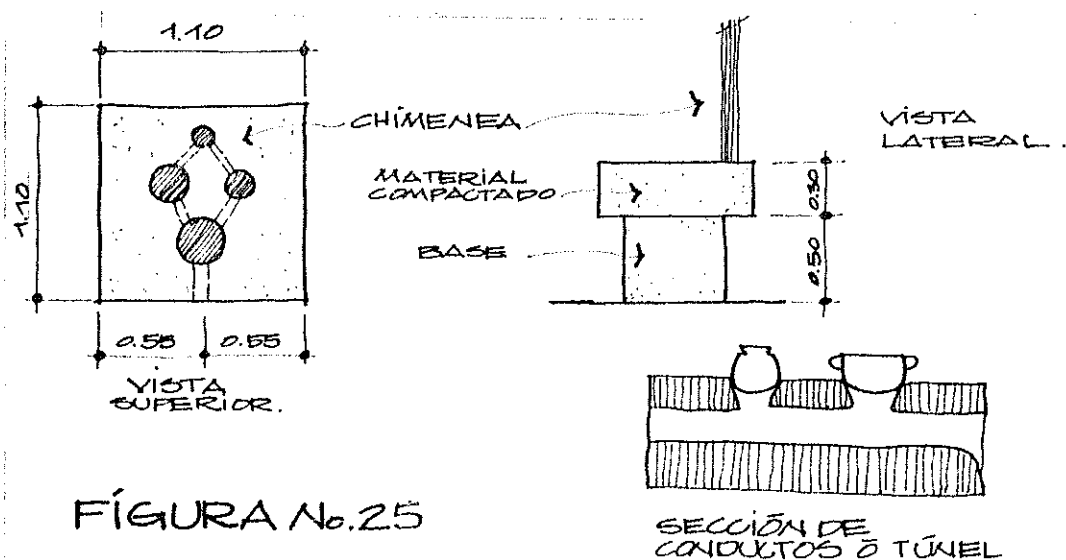


FIGURA No.25

## CAPITULO 6

### DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PROTOTIPO DE VIVIENDA

#### 6.1 Consideraciones generales.

Se ha determinado para muros de suelo-cal apisonado, reforzados con caña de castilla. De acuerdo a estudios realizados por el ingeniero Montufar Marroquín y los ingenieros Alfaro Acosta y González Salguero, quienes realizaron varias pruebas con muros a escala, y otros a tamaño natural sometidos a ensayos de corte. Obteniendo información sobre los muros ensayados, presentan fallas dúctiles, lo que da un margen de seguridad al momento de producirse un sismo, la adherencia caña y muro es adecuada, estos hace comporten monolíticamente según lo determinado. Pero no se ha realizado un trabajo sobre la forma adecuada de cómo reforzarlos con la caña en cuanto a distribución, área.

Debido a que la procedencia de la caña de castilla, es muy variable, ya que ésta se encuentra en muchas regiones del país, su resistencia a la tensión y algunas otras características propias de la misma, podrían variar, aunque esto no se ha comprobado. Se ha determinado que la elaboración de suelo compactado varía, en cuanto a técnicas y proporción de los materiales que componen la mezcla de suelo más estabilizante, aunque ya algunos trabajos de investigación han sugerido al respecto, como el estudio de " Muros de suelo cemento apisonados, reforzados con fibras, sometidos a compresión y corte ", por el Ingeniero Godoy Cobar, el cual incluye información sobre los materiales, proporciones y técnicas recomendadas, también sobre el uso de la formaleta, para el levantado de muros de tierra apisonada. Este estudio recomienda el uso de capas de apisonado que oscilen entre 17 cm, hasta 20 cm como máximo de espesor, cuando el caso lo amerite. Siempre que cumpla con un apisonado eficiente, un control de proporciones de la mezcla suficientemente estricto, para obtener óptimos resultados.

Otro estudio realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería titulado " Muros de suelo cal apisonados, sometidos a ensayos de corte y compresión". por el Ingeniero López Xicara, recomienda el uso de suelo-cal dando las proporciones adecuadas a emplear, siendo las siguientes un 65% de arena pómez, 35% de talpetate y 5% de cal con 16.50 litros de agua, teniendo un control sobre la humedad en cada uno de los materiales que integran la mezcla. Recomendando un espesor de capa de 18 cm de material suelto para obtener una capa de 11 cm de material compactado, con un mínimo de golpes de 75 por cada capa, con humedades entre 10% y 14% por arriba de la humedad óptima de la prueba de proctor.

## 6.2 Propiedades de la caña.

Los aspectos que intervienen en la construcción de cualquier vivienda, son diversos, pero, de acuerdo con los requisitos que debe cumplir la misma como los de habitabilidad, también tiene que resistir el embate de los fenómenos naturales, que en el país son muy frecuentes, por lo que debiera ponerse atención a un estudio sobre las propiedades físico-mecánicas de la caña de castilla, que; son las que rigen junto con el suelo apisonado, el diseño estructural, de los muros componentes en la construcción de la vivienda.

### 6.2.1 Esfuerzos a tensión.

Según estudio realizado por el ingeniero Chajo Hernández titulado " Uso de caña de castilla como refuerzo en mampostería de adobe", se realizaron ensayos de laboratorio, en donde se elaboraron probetas de caña de castilla, para obtener la información técnica necesaria de la misma. El estudio determinó pruebas a caña de uno, dos y tres años de edad. Las probetas fueron sometidas a la prueba de tensión en la máquina Tipo Universal del laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería obteniendo los siguientes resultados:

Esfuerzo de tensión para caña de 1 año : 691 kg/cm<sup>2</sup>  
Esfuerzo de tensión para caña de 2 años : 939 kg/cm<sup>2</sup>  
Esfuerzo de tensión para caña de 3 años : 849 kg/cm<sup>2</sup>

Como se puede observar, se determinó que la caña de castilla aumenta su resistencia a tensión a medida que aumenta la edad, pero llega a su límite, luego desciende según va envejeciendo. Su máximo valor se obtiene cuando tiene alrededor de dos años desde que fue plantada.

### 6.2.2 Efectos de la humedad.

La caña es un material que por su naturaleza, posee cierto grado de humedad, se ha comprobado que lleva alrededor de dos meses para que seque totalmente bajo sombra. Debido a que la caña de castilla seca absorbe humedad del material, se debe tener cuidado con ello, ya que será la que resista fuerzas de flexión que la tierra apisonada no soportará por sí sola. La humedad es la que permitirá la maniobrabilidad de ésta, en la hechuras de anclajes entre elementos estructurales que componen la vivienda: muros, cimientos, anclajes, etc., y se ha podido determinar que se requieren aproximadamente 36 horas continuas para que la caña adquiera la humedad suficiente, que le permita ser trabajable, y así unir los elementos estructurales. La humedad se logra dejando totalmente sumergida en agua la caña que antes ha de ser cortada por lo menos en dos partes en dirección de la fibra, es decir longitudinalmente.

### 6.3 Uso de la caña en muros.

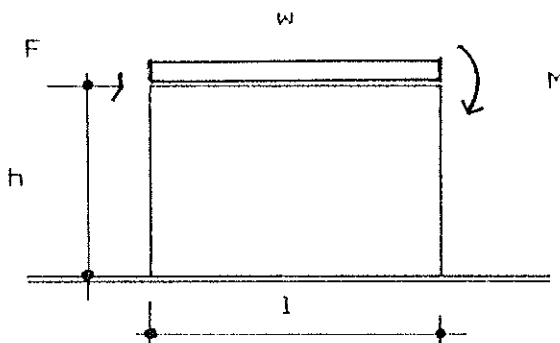
Se ha determinado que en la mayoría de la viviendas construidas de tierra como lo son las de adobe y las de tierra apisonada estabilizadas, se observan fracturas abruptas debido a la carencia de refuerzos tanto horizontal como vertical, así como la fragilidad de la tierra apisonada ante el embate de fenómenos sísmicos. Ello implica el empleo de elementos que resistan, y den a los muros una ductilidad adecuada.

#### 6.3.1 Refuerzo a corte.

Para determinar el área de la caña de castilla que necesitará un muro de tierra apisonada, considerando  $f'm = 21.64 \text{ kg/cm}^2$  que es el valor que utilizará ya que es el mayor que se ha obtenido en estudios anteriores sobre el empleo de tierra apisonada y estabilizada con cal,  $f_y = 660 \text{ kg/cm}^2$  que es un valor 20% más bajo del valor promedio del resultado de esfuerzos, a tensión de las tres edades de la caña. Considerando un material muy similar a la madera, se considerará un Módulo de Elasticidad igual al de ésta última, o sea,  $0.5 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ .

Para la determinación de cargas a que está sometido un muro del prototipo, se emplearán los datos del análisis de la planta realizada más adelante a través del método simplificado para estructuras de mampostería. Como se podrá observar en la sección de análisis de una planta.

- F = 3960 kg
- w = 1494 kg/m
- M = 14727 kg-m
- l = 6.20 m
- h = 2.40 m
- t = 0.30 m
- $f'm = 21.64 \text{ kg/cm}^2$
- $f_y = 660 \text{ kg/cm}^2$



#### Refuerzo a compresión.

$$f_a = w/100t = 1494 \text{ kg/m} / (100 \text{ cm/m} * (30 \text{ cm})) = 0.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_a = 0.20 * f'm (1 - (h/40t)^3)$$

$$= 0.20 * 21.64 * (1 - (2.4 / (40 * 30))^3) = 4.33 \text{ kg/cm}^2$$

Dado que  $F_a > f_a$ , el refuerzo es el mínimo.

Refuerzo a corte.

$$f_v = 1.5F / (100t l) = 1.5 * 3960 \text{ kg} / (100 \text{ cm/m} * 30 \text{ cm} * 6.20 \text{ m})$$

$$= 0.31 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_v = 0.20 f' m = 0.2 * (21.64)$$

$$= 4.33 \text{ kg/cm}^2$$

Dado que  $F_v > f_v$ , debe reforzarse la sección.

$$V = A_v * f_s * d / S$$

$$A_v / S = V / (f_s * d)$$

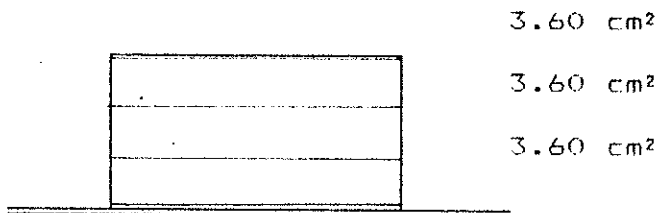
Considerando  $f_s = 0.50$ ,  $f_y = 0.50 * 660 = 330 \text{ kg/cm}^2$   
 $d = 5.90 \text{ m}$

$$V = 1.5 * 3960 = 5940 \text{ kg}$$

$$A_v / S = 5940 / (330 * 590) = 0.030$$

$$A_v = 0.030 * S$$

Si  $S = 1.20 \text{ m}$ , (120 cm) entonces  $A_v = 3.60 \text{ cm}^2$



6.3.2 Refuerzo a flexión.

$$f_b = 6 * M / (t * l^2) = 6 * 1472700 / (30 * 620^2)$$

$$= 0.77 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_b = 0.33 * f' m = 0.33 * (21.64)$$

$$= 7.14 \text{ kg/cm}^2$$

Dado que  $F_b > f_b$ , el refuerzo es el mínimo.

El refuerzo vertical mínimo se calculará conforme a las especificaciones del Código UBC para muros de mampostería, el cual recomienda un valor de  $R_o \text{ min}$  de 0.0007 tanto para refuerzo vertical como para refuerzo horizontal. Se obtendrán :

$$R_o \text{ min} = 0.0007$$

$$A_s \text{ min} = R_o \text{ min} * b * d$$

$$A_s \text{ min} = 0.0007 * b * d$$

$$A_s \text{ min} = 0.0007 * 30 * 590$$

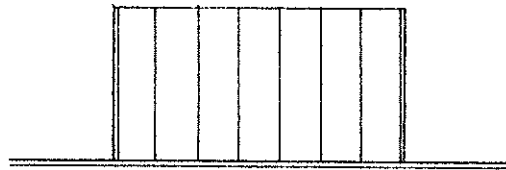
$$A_s \text{ min} = 12.39 \text{ cm}^2 \text{ a lo largo del muro.}$$

Considerando un espaciamento de 0.93 m es decir en total de 7 refuerzos.

$$\text{Aso (caña vertical al centro muro)} = \text{As min}/7$$
$$\text{Aso} = 12.39 / 7 = 1.77 \text{ cm}^2$$

De acuerdo al cálculo realizado, con las condiciones presentadas para un muro lleno sin vanos de ventanas y puertas, su diseño final será de la siguiente manera:

1.77 cm<sup>2</sup>



#### 6.4 Detalles y anclajes.

Un cálculo estructural es indispensable para la construcción de una vivienda o de cualquier tipo de estructura. Sin embargo, el tipo de detalles y anclajes proporcionan una garantía del buen funcionamiento de dichos refuerzos. A continuación se sugieren algunos anclajes básicos empleados en la caña de castilla.

La caña de castilla debe anclarse dentro del cimiento, para poder dar a la estructura la solidez necesaria. La caña ha de estar empotrada una altura (h), dependiendo de la altura del cimiento, esperando que no sea menor de 25 cm, en tanto el doblés (L) se recomienda dejarlo no menor de 30 cm, debido a que el punto exacto donde se hace el doblés, podría representar zona crítica de falla, se recomienda dejar completa la sección de la caña justo donde se dobla, mientras que el segundo sugiere reforzar la zona con una pequeña mitad adicional de caña, para lo cual se recomienda amarrar con alambre de amarre protegiendo la caña con esta tira, tal como se muestra en la figura 26.

Debe tomarse en cuenta que antes de realizar los dobleces, la caña de castilla, debe humedecerse previamente, de lo contrario se quebrará en vez de doblarse.

El detalle mostrado en la figura 27, es el que representa el tipo de traslapes para evitar que el alambre de amarre corte la caña utilizada como refuerzo, reduciendo su sección transversal y produciendo una zona crítica de falla. Debe evitarse que los traslape queden en el mismo punto, es recomendable espaciarlos. Estos traslapes no deberán ser menores de 40 cm.

Se recomienda doblar la caña de castilla en las esquinas de los muros, dejando que las cañas que van en la parte externa de un muro, se doblen de tal forma que siga en la parte interna que continúa, tal como se observa en la figura 28. En ésta se muestra un posible detalle horizontal de armado en las esquinas de muros, donde el refuerzo horizontal deja suficiente espacio para dejar pasar el refuerzo vertical. En los detalles mostrados se ha representado la caña partida, por lo menos en dos partes en sentido logitudinal, con el fin de indicar que es la forma de lograr mayor adherencia entre ambos materiales.

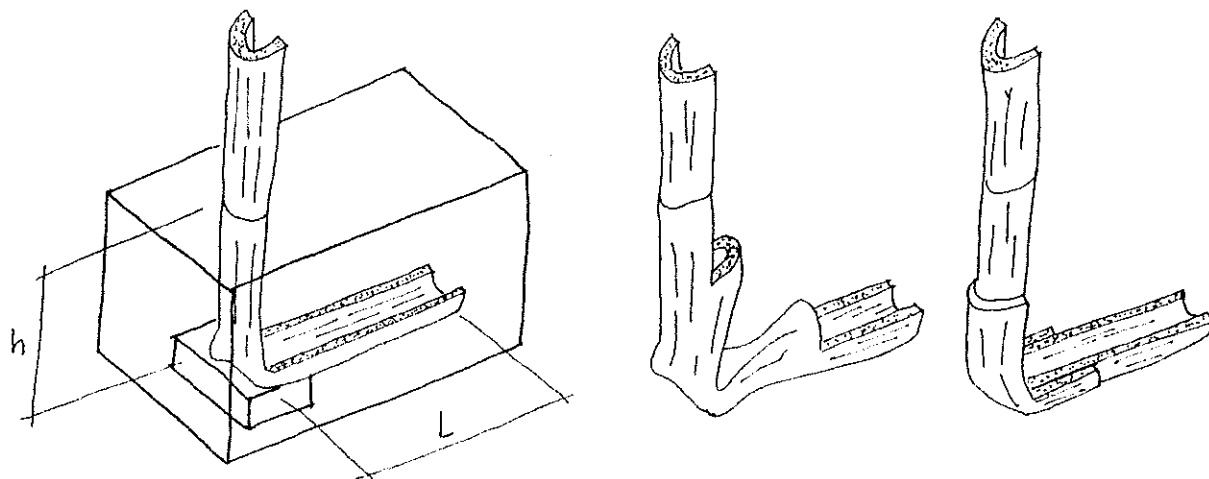


FIGURA No. 26

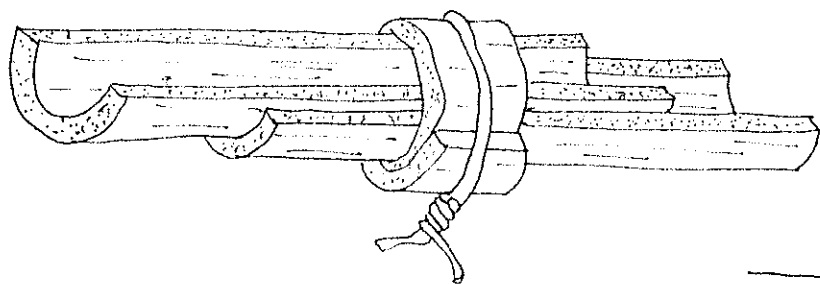
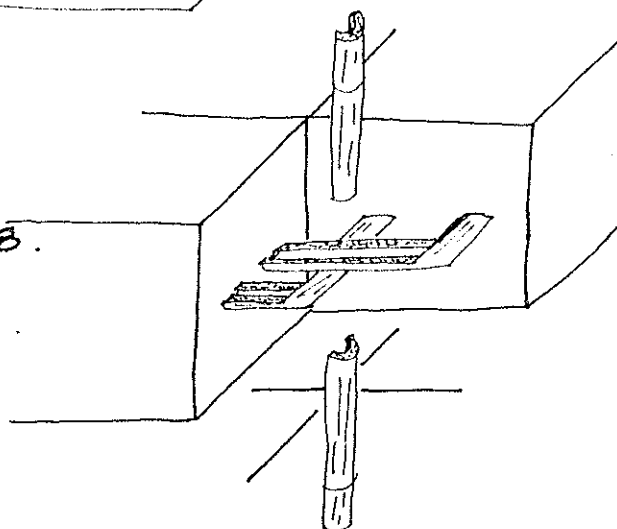
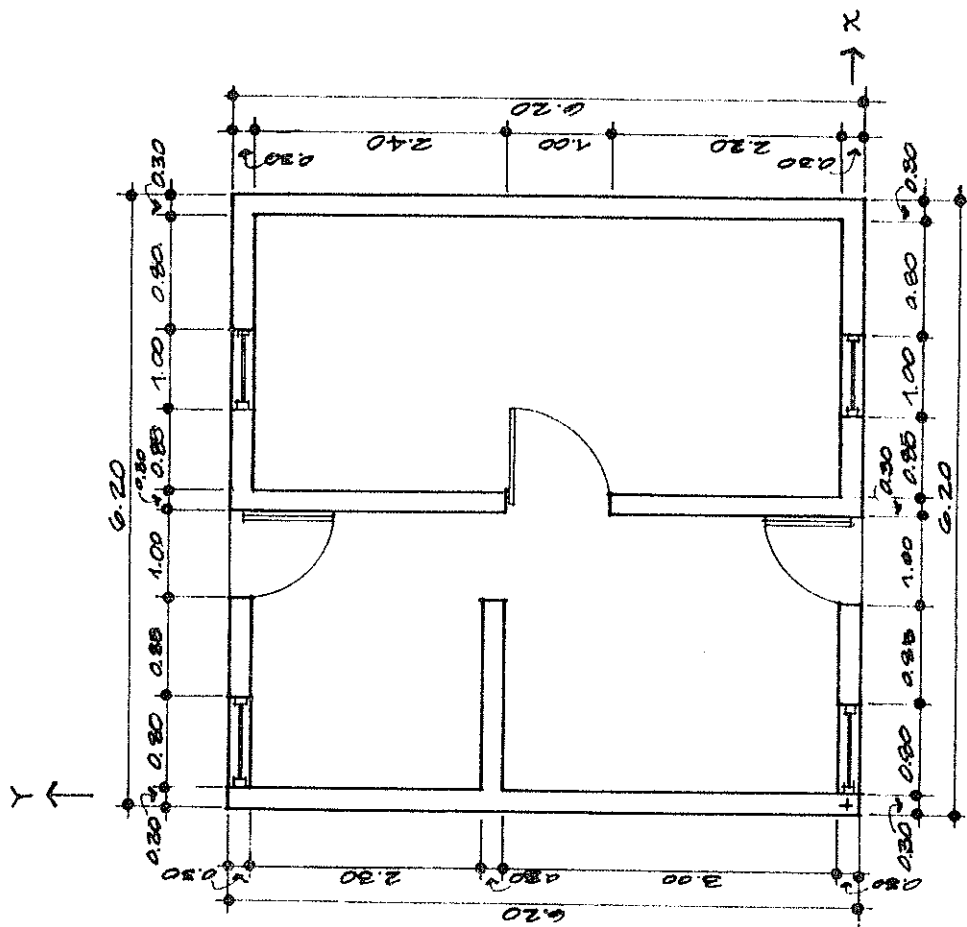


FIGURA No. 27

FIGURA No. 28.





PLANTA

ESCALA 1/75

FIGURA 29



## 6.5 ANÁLISIS DE LA PLANTA POR EL MÉTODO SIMPLIFICADO.

ASUME QUE SOLAMENTE LOS MUROS PARALELOS A LA DIRECCIÓN DEL SISMO CONTRIBUYEN EN LA RESISTENCIA, DESPRECIANDO LA CONTRIBUCIÓN DE LOS MUROS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE LA FUERZA APLICADA.

1.- CALCULAR LA RIGIDEZ DE CADA MURO.  $h=2.40\text{ m}$   $t=0.30\text{ m}$

$$R = \frac{t \times E}{(h/l)^3 + 3(h/l)}$$

MURO	l	h/l	t	R x E
1	6.20		0.30	0.151
2	6.20		0.30	0.246
3	6.20		0.30	0.227
4	3.00		0.30	0.088
5	6.20		0.30	0.151
6	6.20		0.30	0.246

2.- CALCULAR EL CENTRO DE CORTE DE MUROS. EN SENTIDOS X E Y EMPLEANDO LA GRAFICA No. 29.

EN SENTIDO X				EN SENTIDO Y			
MURO	RxE	Yi	Yi x R	MURO	RxE	Xi	Xi x R
1	0.151	0	0	2	0.246	5.90	1.451
4	0.088	3.30	0.294	3	0.227	2.95	0.670
5	<u>0.151</u>	<u>5.90</u>	<u>0.891</u>	6	<u>0.246</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	0.390		1.185		0.719		2.121

$$\bar{Y}_{ccm} = \frac{1.185}{0.390} = 3.04 \text{ m}$$

$$\bar{X}_{ccm} = \frac{2.121}{0.719} = 2.95 \text{ m}$$

3.- CALCULAR CENTRO DE MASAS  
 3.1 CENTRO DE MASA DE MUROS

MURO	L	Xi	Yi	XL	YL
1	6.20	2.95	0	18.29	0
2	6.20	5.90	2.95	36.58	18.29
3	6.20	2.95	2.95	18.29	18.29
4	3.00	1.48	3.30	4.44	9.90
5	6.20	2.95	5.90	18.29	36.58
6	<u>6.20</u>	<u>0</u>	<u>2.95</u>	<u>0</u>	<u>18.29</u>
	34.00			95.89	101.35

$$X_{cmm} = \frac{95.89}{34.00} = 2.82 \text{ m.}$$

$$Y_{cmm} = \frac{101.35}{34.00} = 2.98 \text{ m.}$$

### 3.2 CENTRO DE MASA DE TECHO.

ASUMIR CENTRO GEOMÉTRICO.

$$X_{cmT} = 2.95 \text{ m} \quad Y_{cmT} = 2.95 \text{ m}$$

### 3.3 CENTRO DE MASA TECHO-MUROS

$$\text{PESO ARMADURA} : 136 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{PESO LÁMINA} : \underline{75} \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{CARGA MUERTA} = 211 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{CARGA VIVA} = 100 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{PESO TECHO: } 211 + 0.30(100) = 241 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{PESO TECHO: } 241 \text{ Kg/m}^2 \times 6.80 \times 6.20 = 10161 \text{ Kg}$$

$$\text{PESO MUROS: } 334 \text{ Kg/m}^2 \times 2.40 \times 34 = 27254 \text{ Kg}$$

$$W_T = 37415 \text{ Kg.}$$

$$X_{cmT-M} = \frac{2.82(27254) + 2.95(10161)}{37415} = 2.86 \text{ m}$$

$$Y_{cmT-M} = \frac{2.98(27254) + 2.95(10161)}{37415} = 2.97 \text{ m}$$

### 4.- CARGA LATERAL. POR STANFORD.

$$P_x = P_y = (0.30)(0.33)(2.00)(1.30)W_T = 0.26 W_T$$

$$P = 0.26(37415) = 9728 \text{ Kg.}$$

$$M_v = P \times h = 9728 \text{ Kg} \times 2.40 \text{ m} = 23347 \text{ Kg-m}$$

EXCENTRICIDADES DE LA CARGA LATERAL  
CON SISMO EN X

$$e'y = Y_{cm} - Y_{ccm} = 2.97 - 3.04 = 0.07 \text{ m}$$

$$e_{\min} = 0.05 \times 6.20 = 0.31 \text{ m}$$

$$T_{px} = 9728 \times 0.31 = 3016 \text{ Kg-m}$$

CON SISMO EN Y

$$e'x = X_{cm} - X_{ccm} = 2.86 - 2.95 = 0.09 \text{ m}$$

$$e_{\min} = 0.05 \times 6.20 = 0.31 \text{ m}$$

$$T_{py} = 9728 \times 0.31 = 3016 \text{ Kg-m}$$

$$M_{vx} = M_{vy} = 9728 \times 2.40 = 23347 \text{ Kg-m}$$

5.- DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA LATERAL

$$P_x = P_y = 9728 \text{ Kg} \quad T_{px} = T_{py} = 3016 \text{ Kg-m}$$

SENTIDO MURO	R <sub>y</sub>	X <sub>cc</sub>	Y <sub>cc</sub>	R <sub>y</sub> x X <sup>2</sup>	$\frac{R_y}{\sum R_y} \times P_y$	$\frac{X_{cc} R_y}{J_p} \times T_p$	F <sub>i</sub>
Y	2	0.246	2.86	2.01	3328	+307	3635
	3	0.227	0.24	0.01	3071	+24	3095
	6	<u>0.246</u>	3.04	<u>2.27</u>	3328	+326	3654
		0.719		4.29			

SENTIDO MURO	R <sub>x</sub>	X <sub>cc</sub>	Y <sub>cc</sub>	R <sub>x</sub> x Y <sup>2</sup>	$\frac{R_x}{\sum R_x} \times P_x$	$\frac{Y_{cc} R_x}{J_p} \times T_p$	F <sub>i</sub>
X	1	0.151	2.95	1.31	3766	+194	3960
	4	0.088	0.35	0.01	2195	+13	2208
	5	<u>0.151</u>	2.95	<u>1.31</u>	3766	+194	3960
		0.390		2.63			

$$J_p = \sum R_x Y^2 + \sum R_y X^2$$

$$J_p = 4.29 + 2.63 = 6.92$$

### 6- DISTRIBUCIÓN DEL MOMENTO DE VOLTEO.

SENTIDO X		$M_v = 23347 \text{ Kg-m}$	
MURO	$R_x$	$M_i \text{ (Kg-m)}$	$M_i = \frac{K_i}{\sum K_i} \times M_v.$
1	0.151	4463	
4	0.088	2601	
5	0.151	4463	
	<u>0.790</u>		

SENTIDO Y		$M_v = 23347 \text{ Kg-m}$	
MURO	$R_y$	$M_i$	
2	0.246	14727	
3	0.227	13589	
6	<u>0.246</u>	14727	
	0.390		

### RESULTADOS FINALES DE ANÁLISIS

MURO	CORTE (Kg)	MOMENTO (Kg-m)
1	3960	4463
2	3635	14727
3	3095	13589
4	2208	2601
5	3960	4463
6	3654	14727

## 6.6 Planteo del prototipo.

### 6.6.1 Planificación de la vivienda

En la construcción de una vivienda deben tomarse las siguientes recomendaciones:

- Cuantos espacios o cuartos son necesarios para la familia.
- De acuerdo a las posibilidades económicas divide la ampliación de la vivienda en varias etapas.
- Si ya tiene una parte de la vivienda construida, puede hacer ampliación sin afectar la parte existente.

Si realizará construcción futura debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones que deben adoptarse para no afectar la primera:

- Las ventanas que se construyan no sean afectadas por la ampliación.
- Determinar adecuadamente la forma en que se continuará con el techo en las otras etapas.

### 6.6.2 Distribución y uso del área.

Si el área a construir es pequeña debe tener doble función:

- En actividades sociales. (Platicar, comer)
- En actividades privadas. (Dormir) (Figura 30A)

Debe tomarse en cuenta la circulación de personas para aprovechar el espacio.

### 6.6.3 Orientación de la vivienda.

Para la orientación de la vivienda se tomará en cuenta la región donde se encuentra, la topografía del terreno, la ubicación dentro del mismo, la humedad, la precipitación, etc.

Los vientos predominantes sobre el territorio son del Norte-noreste al Sur sureste: es decir, que siguen las características normales de los Alisios. Sin embargo, en varias regiones del país se registran vientos en direcciones diferentes a lo indicado, pero se debe únicamente a condiciones locales o provocadas por la topografía misma del lugar.

Se planteará una solución para una vivienda ubicada en el altiplano occidental, la orientación se observa en la figura 30B. Allí se puede observar la ubicación respecto al Norte; como es un clima frío la vivienda tendrá la ventanería hacia el este y oeste, para ganar calor. En este tipo de regiones debe protegerse la vivienda del viento dominante.

#### 6.6.4 Detalles constructivos.

Los módulos de la vivienda serán rectangulares, pero cuanto más se aproxime a una forma cuadrada trabajaran mejor ante un sismo. Al conservar la simetría facilita la labor constructiva.

El objeto de conservar la simetría es para distribuir mejor el peso de la estructura de techo. El peso de la cubierta deberá distribuirse en muros, no es recomendable apoyar viga o dinteles sobre dinteles de puertas o ventanas.

La estructura de techo no debe ir sobre puesta, se fijará correctamente a los muros según su material. Si los muros son de tierra, debe anclarse adecuadamente a collarín o las piezas de amarre superior con tornillo o clavos.

Las piezas para las tijeras o armaduras que forman parte estructural del techo, se emplean para los tensores portante piezas sobrepuestas en ambos lados de 4" \* 6", las piezas que cargan la estructura se utilizan de 4" \* 6" y para la costaneras 3" \* 4". Se utilizaran lámina de zinc, con una pendientes 17°. (Figura 30C)

#### 6.6.5 Recomendaciones higienicas.

La ubicación de la letrina será como mínimo a 10 metros de la vivienda, de forma tal que el viento no lleve los olores. Deberá estar a 15 metros de pozos de agua. Dependerá de la topografía del terreno en la ubicación relación al pozo. Debido a que en el medio rural no existen las condiciones adecuadas se hace necesario el empleo de la letrina para obtener un lugar específico dentro de la vivienda para el depósito de desechos naturales. ( Figura 30)

El uso del poyo lorena es una forma de obtener mejores condiciones de higiene en la cocción de los alimentos ya que en el medio rural hace generalmente en el suelo, y el consumo de combustible es muy alto, provocando con ello que la deforestación aumente. Ubicación del poyo dentro de la vivienda se observa en la figura 30A.

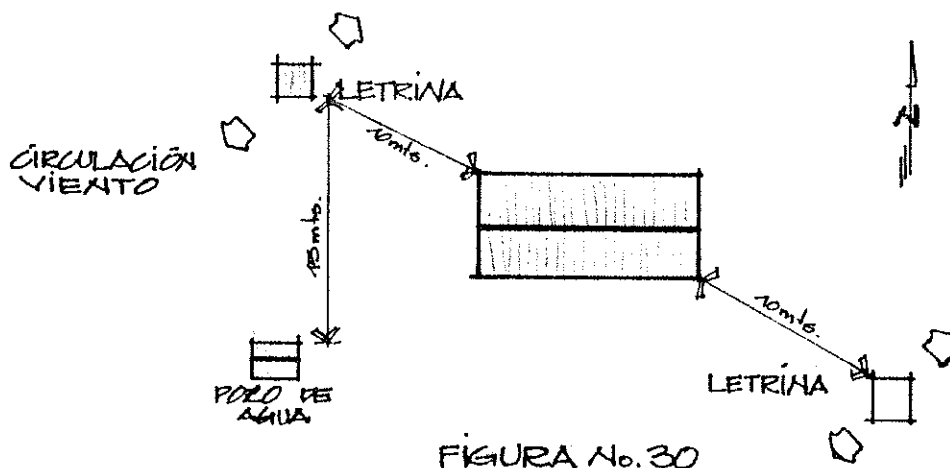
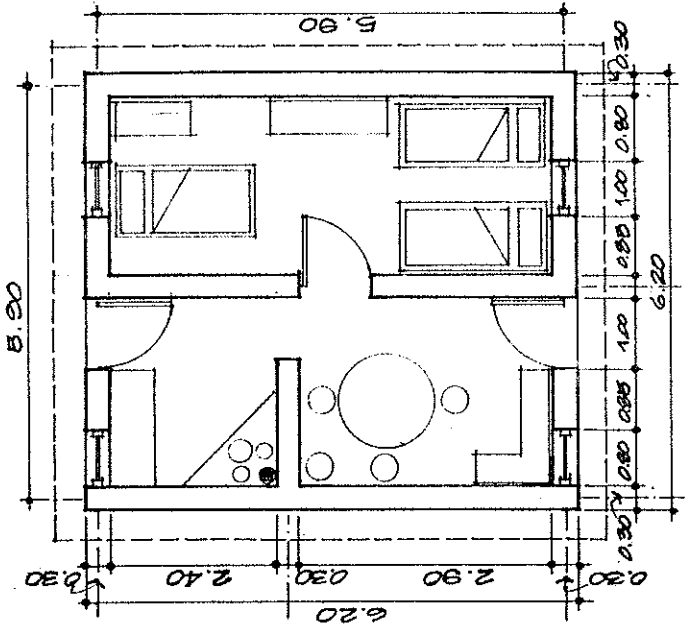
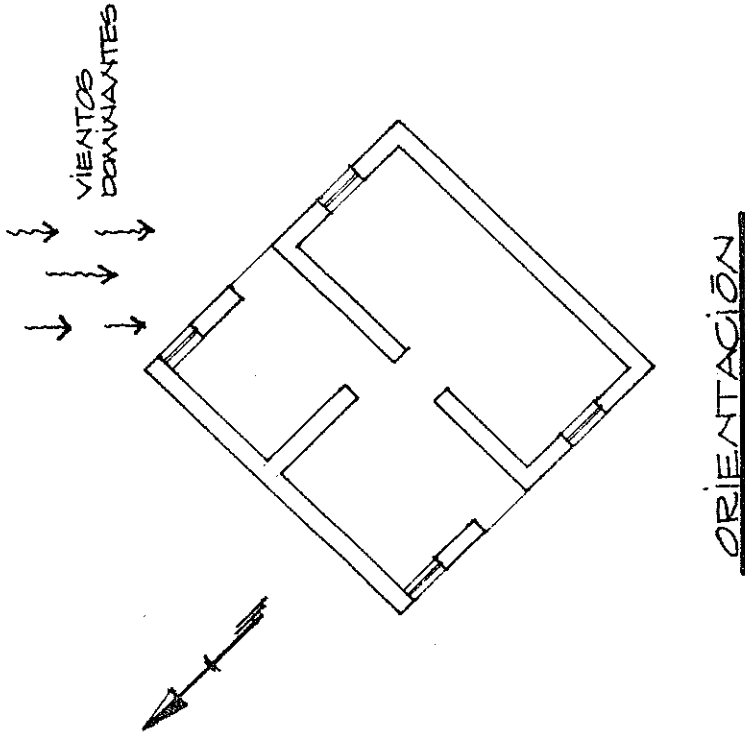


FIGURA No. 30



DISTRIBUCIÓN AMBIENTES

FIGURA 30A

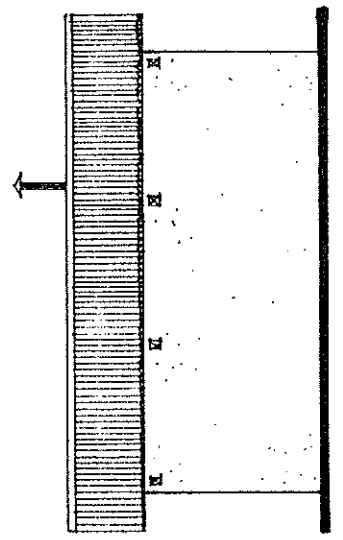
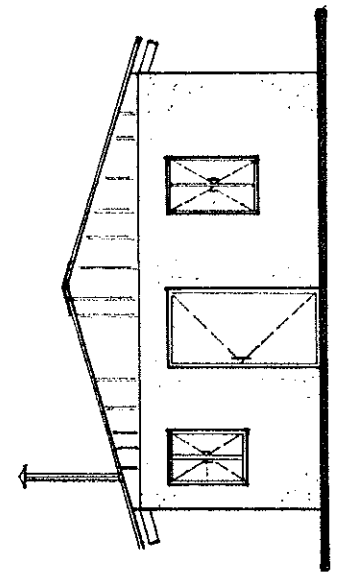
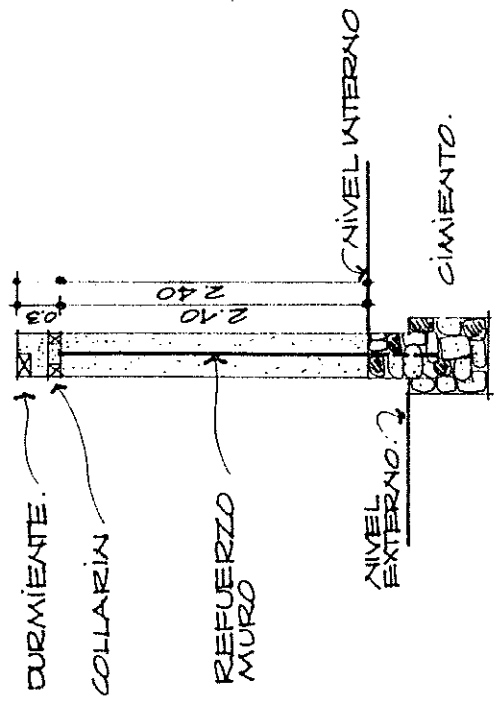


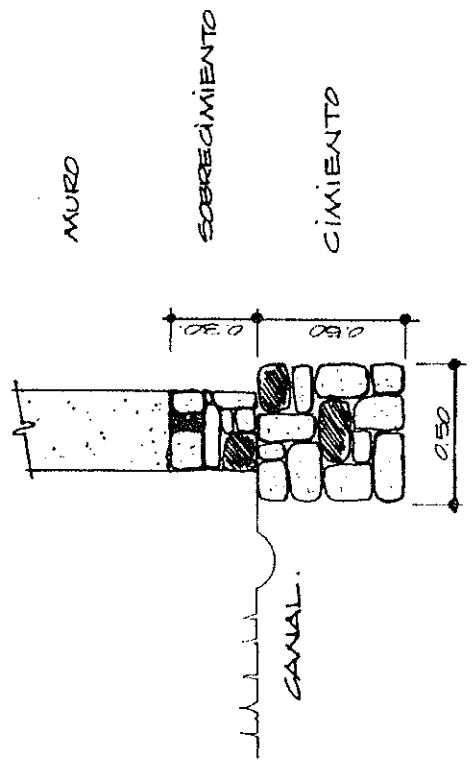
FIGURA 30B

ELEVACIÓN LATERAL



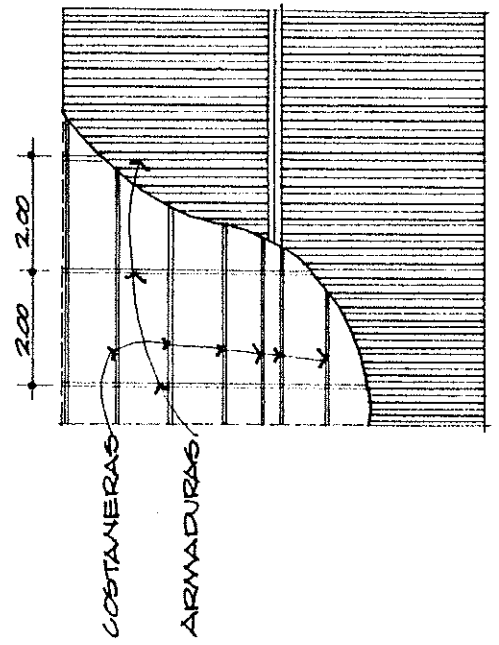


DETALLE DE MUROS

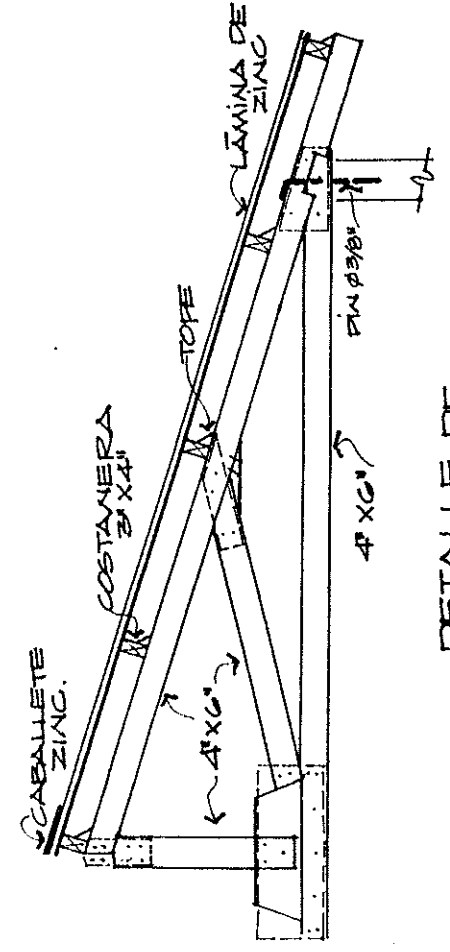


DETALLE DE CIMENTOS

FIGURA 30C



PLANTA DE TECHOS



DETALLE DE ARMADURA

## CAPITULO 7

### SISTEMA CONSTRUCTIVO

#### 7.1 Limpieza del terreno

Consiste en la eliminación de todo arbusto, matas y árboles que obstaculicen el desarrollo de la construcción, a través de chapeo, limpiar el terreno de todo material que impida el trazo que precede al zanjeo, como: piedras, terrones, o bien material en desecho de construcción que anteriormente existían. Transportar el material desechable en carretillas o por cualquier otro medio que agilice esta actividad, conducir dicho desecho a lugares que no dañen las propiedades vecinales despejando así el área de trabajo.

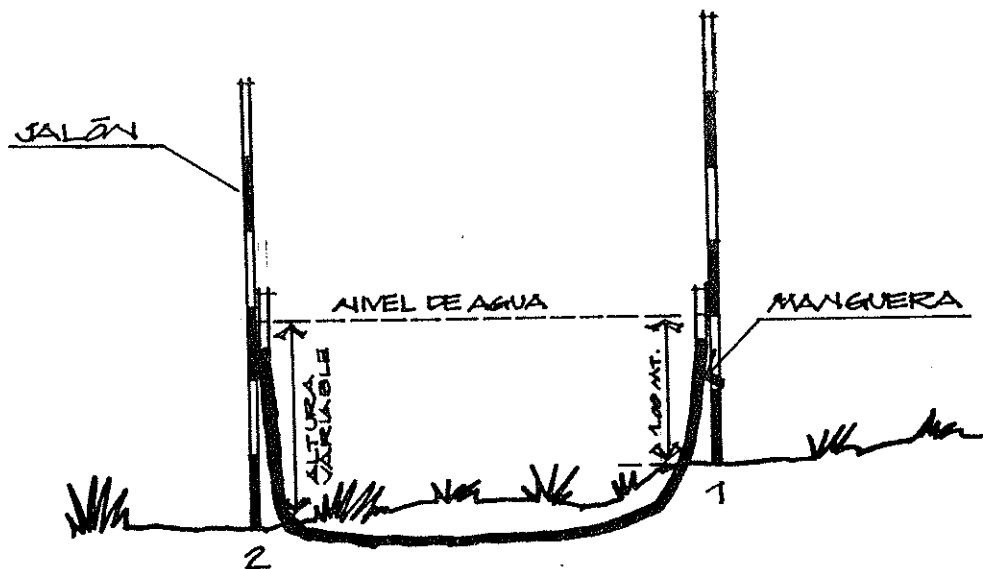
Herramienta que se puede utilizar en esta tarea preliminar a la nivelación: palas, machetes, azadones, picos, carretillas.

#### 7.2 Nivelación

Es la medición de las diferentes alturas entre dos puntos o más. La nivelación se puede realizar cuando en el terreno existen pendientes grandes, por lo que se necesita tener horizontal como una forma de resguardar la vivienda.

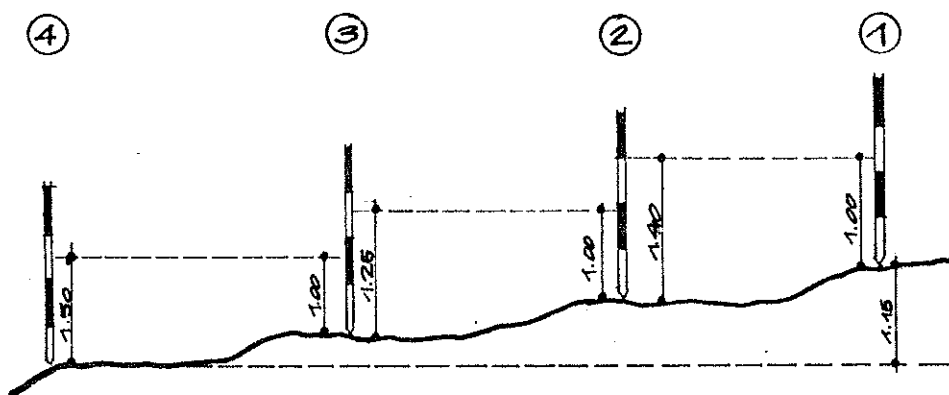
La forma más práctica para determinar el desnivel entre dos puntos, es a través del nivel de manguera, no importa que esta se encuentre recta o quebrada, puede estar según la conformación natural del terreno. Para la nivelación se necesitaran dos jalones o parales colocados en tramos limitados según el largo de la manguera y pendiente del terreno; si éste es muy accidentado los jalones se colocarán cerca uno del otro, en caso contrario estarán más alejados, en cada punto que se coloque cada jalón se marca un número progresivo para poder ir anotando en una libreta. (Figura 31).

Para determinar el desnivel en los puntos 1 y 2 en la gráfica, primero; se llena la manguera de agua hasta que ésta aparezca a la mitad de los tubos de vidrio colocados a los extremos de la misma o solo la manguera, a los jalones se les marca a la altura de 1.00 m para que el nivel del agua no sobrepase la marca fijada, se jugará con la distancia entre jalones a fin de lograrlo; luego la persona que sostiene el primer jalón deberá mantener el nivel de agua en la marca de 1.00 m en el jalón que sostiene el segundo realiza la operación de levantar o bajar la manguera cuando está en la marca del primero se realiza la marca en el segundo teniendo un nivel entre los dos puntos. Herramientas utilizadas en el proceso manguera, parales, crayón o lápiz para marcas.



NIVELACIÓN CON MANGUERA  
NIVELACIÓN ENTRE DOS PUNTOS.

FIGURA No. 31.



COTA PUNTO 1	100.00 MTS.
ALTURA DEL NIVEL DE AGUA EN PTO. 1	+ 1.00
	<hr/>
MENOS ALTURA DEL NIVEL DE AGUA EN 2	- 1.40
	<hr/>
COTA PUNTO 2	99.60 MTS.
ALTURA DEL NIVEL DE AGUA EN PTO. 2	+ 1.00
	<hr/>
MENOS ALTURA DEL NIVEL DE AGUA EN 3	- 1.25
	<hr/>
COTA PUNTO 3	99.35 MTS.
ALTURA DEL NIVEL DE AGUA EN PTO. 3	+ 1.00
	<hr/>
MENOS ALTURA DEL NIVEL DE AGUA EN 4	- 1.50
	<hr/>
COTA PUNTO 4	98.85 MTS.

DESNIVEL = 100.00 - 98.85 = 1.15 MTS.

NIVELACIÓN ENTRE VARIOS PUNTOS.

### 7.3 Replanteo

Consiste en trazar o señalar sobre el terreno por medio de estacas y cordeles, la disposición de las paredes y ancho de los cimientos de la construcción a ejecutar.

Para llevar a cabo el replanteo deben tomarse en cuenta los siguientes pasos:

- Leer y estudiar el plano de planta de la vivienda.
- Trazar el replanteo a escuadra
- Colocar las cruzetas, en lugares adecuados.
- Marcar con clavo los ejes sobre las cruzetas
- Verificar los siguiente: igualdad, longitud de los ejes, anchura del cimiento, verificar las medidas.

Herramientas a emplear en el replanteo: plomada, escuadra, metro, nivel de aire o burbuja, clavos, martillo, mazo y cordel de nylon ( Figura 32).

### 7.4 Excavación

Consiste en efectuar una cavidad debajo de la superficie del terreno, para la elaboración del cimiento, introducción de la tubería para aguas negras y potable.

Para la elaboración de las zanjas para el cimiento se emplea el paso antes mencionado siguiendo los trazos a través de marcas de cal o arena que se realizarón.

En esta actividad se utilizan los instrumentos piocha, azadón, pala, machete o mazo (si encuentran en el camino, raíces o rocodidades).

### 7.5 Cimentación

Este elemento estructural es el encargado de transmitir las cargas de muros y techos al suelo, por lo que no se debe realizar en terrenos sueltos, fangosos, así como en terrenos que estén constituidos por material orgánico y vegetal; éstos deben ser removidos hasta encontrar terreno firme.

Se aconseja el cimiento corrido ciclopeo, éste se elabora con piedra caliza o terrón de talpetate ligados con mortero de cal y arena amarilla o de arena de río y cemento; al construirse deberá tener sus caras verticales o con uno o dos taludes, no mayores de 60° pues así resultan más económicos y livianos.

La forma constructiva de este cimiento es la siguiente:

- Se humedece la superficie del fondo de la zanja para evitar que ésta absorba el agua del mortero.

- Se hecha una capa de mortero de unas 4 pulgadas de espesor, dejando caer las piedras y golpeandolas fuerte para que el mortero ocupe los espacios adyacentes.
- Se vuelve a hechar otra capa de mortero y se vibra con un tubo o una varilla.
- Se repite el proceso hasta llegar al sobrecimiento. Que servirá para proteger el muro de la humedad. (Un sobrecimiento)
- Los cimientos se deben hacer de preferencia de concreto ciclopeo: consta de una parte de cemento, cuatro partes de arena, seis partes de gravilla y diez partes de piedra. (Figura 33).

#### 7.6 Muros

El apisonado es utilizado para obtener muros monoliticos y de gran estabilidad. El proceso de apisonado es iniciado, colocando la formaleta sobre el cimiento, bien aplomada y nivelada. A continuación se coloca el material a granel dentro de la formaleta en capas uniformes de 15 cm. cada una de ellas deben ser compactada con un apisonador manual con placa de acero. Según el Ing. Ricardo Godoy se observó que adoptar un espesor de 17 cm sin apisonar es el más adecuado ya que proporciona mayor facilidad y rapidez en la construcción.

Antes de comenzar el apisonado se mide el espesor de cada capa. Luego de aplicar los 90 golpes, se obtiene un asentamiento, el cual también se mide con el objeto de conocer el porcentaje de dicho asentamiento. El apisonado a mano debe hacerse por medio de golpes suaves y rápidos. Y si se realiza entre varias personas deberá hacerse en una forma alterna. Una vez terminado el apisonado de una sección podrá moverse la formaleta sin ningún riesgo ya que, para entonces, será lo suficientemente resistente.

El factor económico es muy importante en la preparación de las mezclas de suelo-estabilizado. Por eso la mezcla debe prepararse de ser posible al pie de la obra, para evitar transportes innecesarios que aumentan el número de jornada de trabajo.

## 7.6.1 Proceso constructivo con suelo-estabilizante.

### 7.6.1.1 Antes de la construcción

Previo a elaborar el muro se debe realizar lo siguiente:

- Secado o curado de las cañas
- Elaborar el refuerzo ( armadura de caña)
- Haber tamizado la arena con el tamiz de 1/4" y el talpetate con el tamiz de 1/16".
- Poseer como mínimo las herramientas necesarias para el desempeño adecuado del trabajo.
- Que todas las piezas constituidas de la formaleta se encuentre en el punto de la fundición.

### 7.6.1.2 En construcción

- Aplicar aceite quemado a la cara interior de la formaleta.
- Ensamblar la formaleta: cerciorarse que los parales posean la verticalidad óptima.
- Colocar la armadura con caña o refuerzo al centro de la formaleta: sujetando los extremos a los parales con alambre de amarre.
- Llevar las carretillas de los materiales correspondientes del volumen a fundir.
- Agregar al material el porcentaje de cal correspondiente del volumen a fundir. revolver estos materiales hasta obtener un material completamente homogéneo.
- Agregar la cantidad de agua necesaria para que el material alcance su humedad óptima, se recomienda humedecerla de manera dosificada para que la mezcla posea la misma humedad.
- Con el objeto de obtener capas constantes de 18 cm de altura se debe contar el número de cubetadas necesarias para el efecto.
- El material debe vertirse a lo largo de toda la formaleta y se trata de obtener una superficie plana.
- Luego se procede a la compactación a lo largo de la formaleta, llevando el conteo de golpes, que puede ser realizado por dos personas, una de cada lado del refuerzo.
- 1/3 de muro requiere, aproximadamente, de 7 a 8 capas; dependiendo del grado de compactación, el cual varía.
- Al terminar de fundir el 1ro. y 2do. tercio del muro es necesario desencofrar el tercio fundido y apisonado y trasladar la formaleta al nivel superior con el fin de seguir fundiendo el tercio siguiente. El desencofrado del tercio fundido se puede relizar inmediatamente despues de haber terminado de apisonar la última capa.

- Al terminar el 1ro. y el 2do. tercio del muro se hace necesario hacer una junta de construcción ya que tiene que unir mezcla nueva con una cuyo período de curado ya empezó. Este está constituido por cuatro partes de talpetate y una de cal en volumen y su respectiva cantidad de agua, para su adecuada compactación.
- Variantes que sufren los muros: con puertas, o ventanas. La diferencia del proceso constructivo de esto con el anterior es básicamente en la colocación de topes interiores, los cuales darán las dimensiones de puerta o ventana, según sea el caso, como también en la colocación en la parte superior del vano de puerta o ventana un tablón de 2" de grosor, con un largo de el ancho de la puerta más el grosor del muro. Requiriendo cortarlos a la mitad (lado longitudinal), haciéndoles también, un bocado donde intersectan con el refuerzo (figura 34).
- Terminado de fundir el último tercio de muro, se quita la formaleta por completo, se limpia y se guarda en un lugar apropiado.
- Al llegar a la altura requerida en la parte superior de los muros debe colocar un refuerzo horizontal continuo o cadena de amarre, de ser posible hacerlo coincidir con los dinteles de puertas y ventanas, dejando encima de la cadena de amarre recubierta con material 30 cm más (Figura 35).

#### 7.6.1.3 Después de la construcción.

Para el curado de los muros luego de la construcción, se les debe de proteger de la pérdida rápida de la humedad de construcción, ya que la cal necesita de agua para realizar su hidratación y fraguado; esto se puede realizar cubriendo los muros con nylon, láminas, lonas, etc. por un período mínimo de 15 días.

#### 7.7 Techo

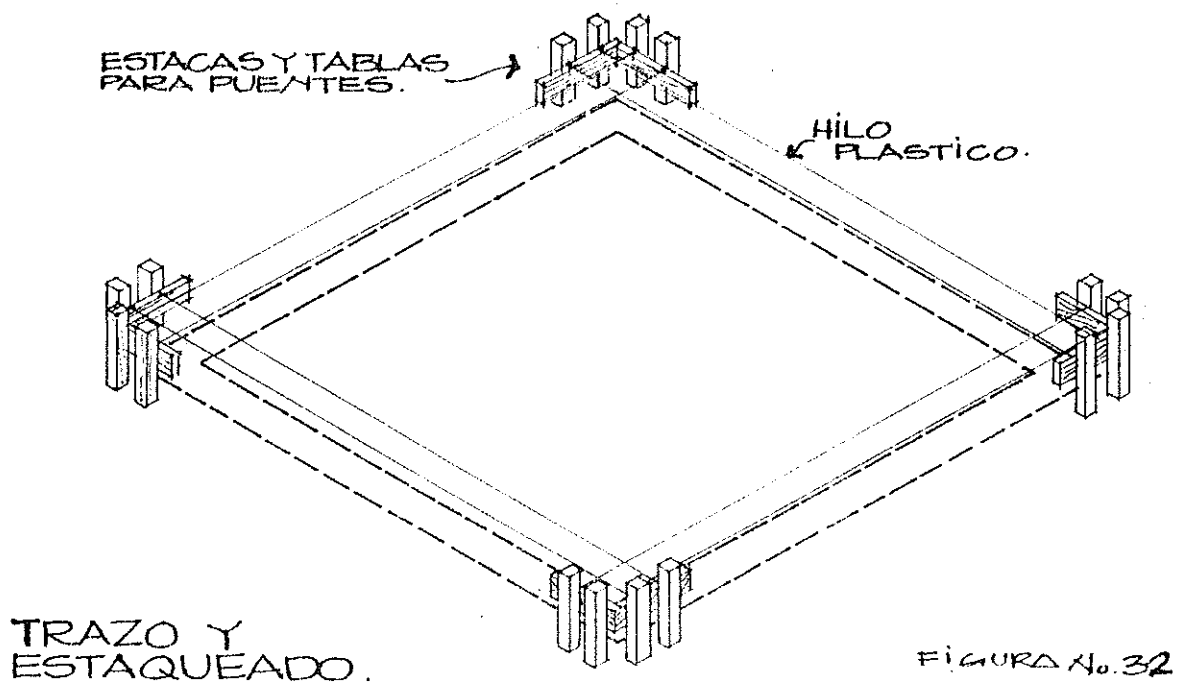
Techo o cubierta es el elemento de la construcción que como su nombre lo indica cubre toda el área de la vivienda, preservándola, de los fenómenos naturales que determinan los estados climáticos. Siendo así, este elemento estará acorde al lugar donde se construya, dándoles más carácter y regionalismo a la construcciones; pues podrá deducir si en ese lugar llueve con frecuencia, si hace calor o frío dependiendo de la inclinación empleada en las bajadas de agua y de los materiales usados, toda vez que éstos hallan sido seleccionados lógicamente.

Debido a las condiciones sísmicas de el país es aconsejable el uso de materiales livianos en la construcción de los techos.(figura 33).

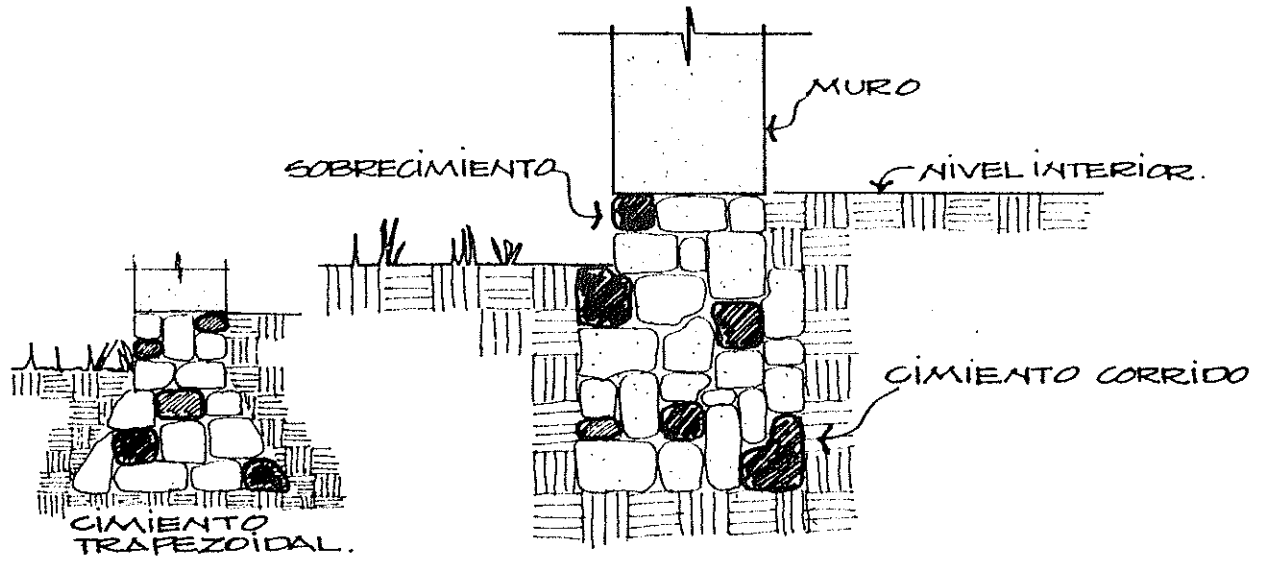
### 7.7.1 Colocación del techo

En la colación del techo deben cuidarse algunos detalles como el uso de un durmiente en la parte superior, para poder repartir la carga del techo sobre el muro. Se debe dejar un sistema de anclaje o amarre del muro con respecto a la estructura de las tijeras (Figura 36).

Cuando se usa lámina de zinc, es recomendable usar tapanco (especie de cámara que neutraliza bastante la radiación solar).







CIMIENTO.

FIGURA No.33

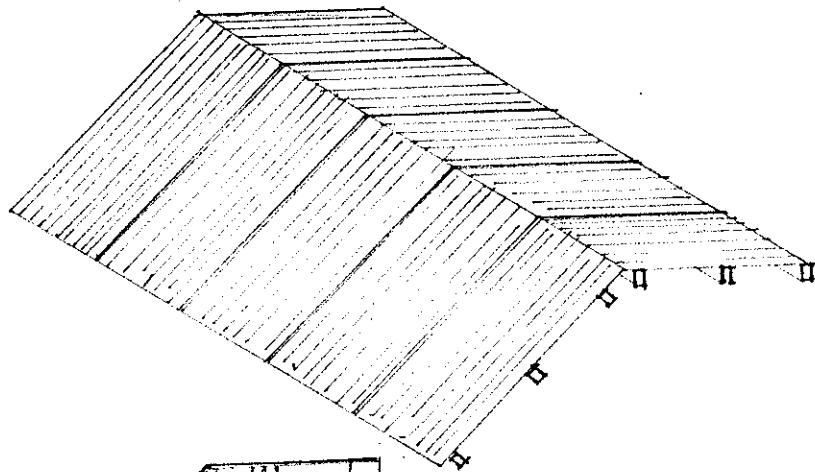
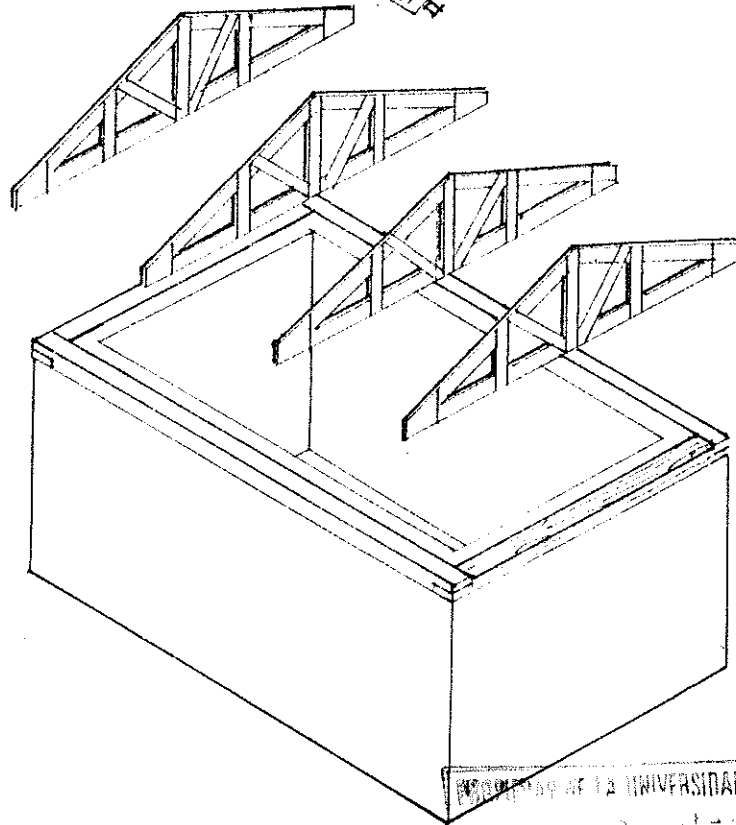
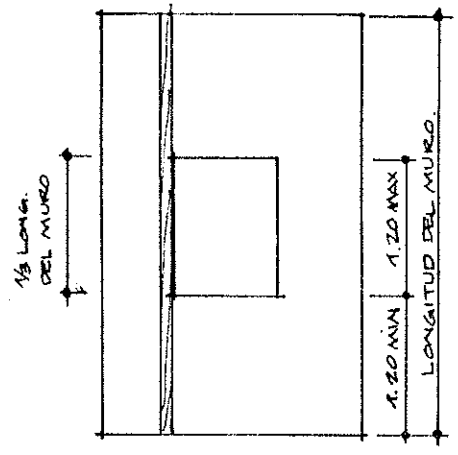


FIGURA No.36





→ EL VANO NO DEBE DE SER MAYOR DE 1.20 MTS. DE ANCHO. LA DISTANCIA ENTRE UNA ESQUINA Y EL VANO NO DEBE SER INFERIOR A 1.20 MTS. Y LA SUMA DE ANCHOS DE VANOS EN UNA PARED NO DEBE SER MAYOR QUE LA TERCERA PARTE DE SU LONGITUD.

→ EL EMPOTRAMIENTO DE UN DANTEL AISLADO NO DEBE SER INFERIOR A 50 CM.

→ EL TECHO DEBE SER LIVIANO Y SU PENDIENTE NO DEBE SER EXAGERADA. EN CASO DE QUE UNA VIGA DEL TECHO DESCANSE SOBRE UNA ABERTURA DE FUERTA, DEBERA REFORZARSE EL DANTEL.

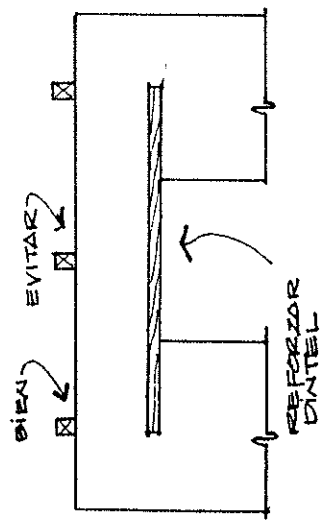
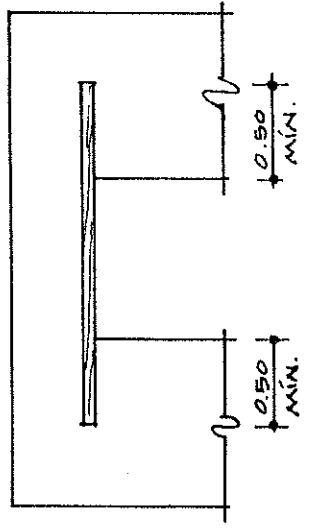
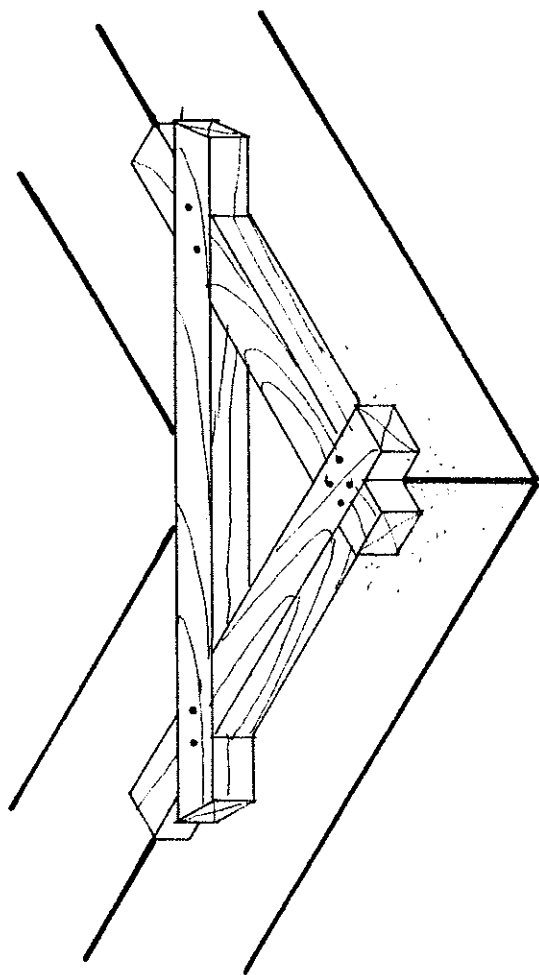
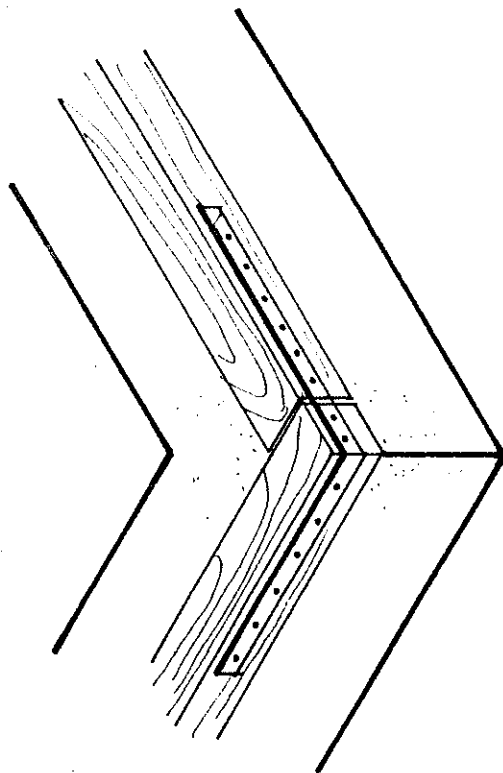
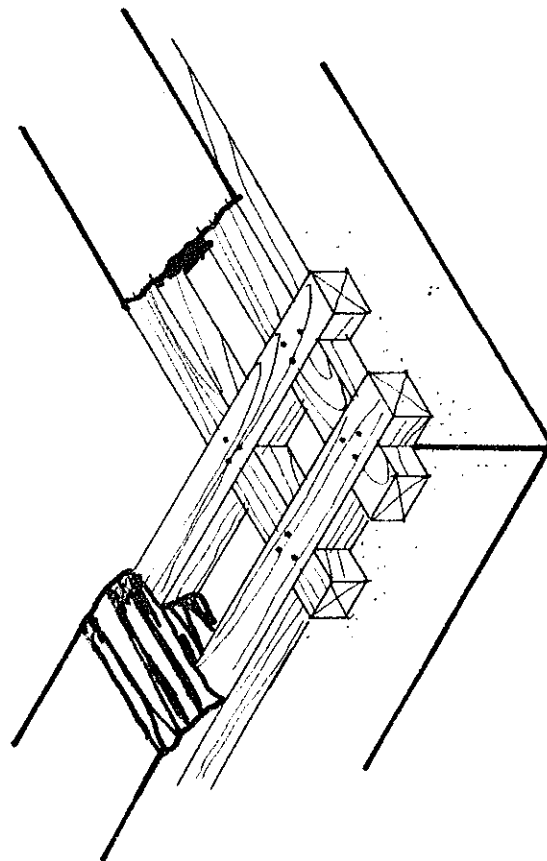


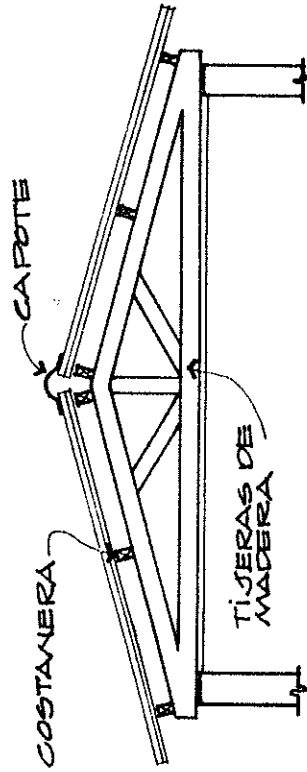
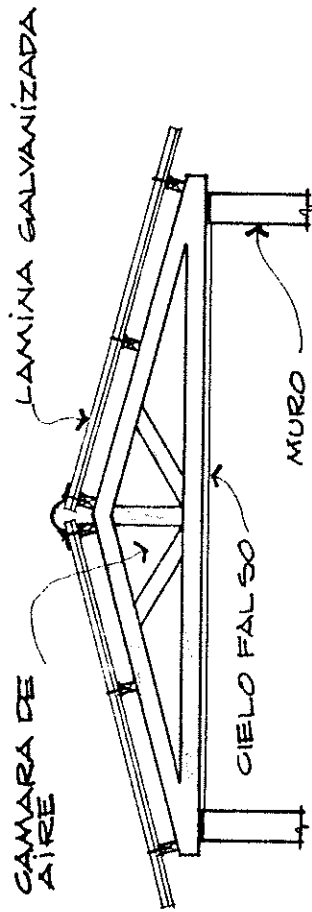
FIGURA No. 34.



FÍGURA No. 35.



# CUBIERTAS



SE RECOMIENDA EL USO DE CUBIERTAS INCLINADAS LIGERAS Y BIEN AISLADAS, CON SUPERFICIES REFLECTANTES Y CAMARA DE AIRE. LA CUBIERTA CON LAMINA METALICA GALVANIZADA, CON PENDIENTE DEL 25% (17°) CON CIELO FALSO DE DURO-PORT DE 1" DE ESPESOR.

LAS CUBIERTAS PUEDEN PROLONGARSE SOBRE LOS MUROS CON EL FIN DE PROTEGER LOS AMBIENTES O CORREDORES DE LA LLUVIA Y DEL SOLEAMIENTO DEL MEDIO DIA.

FIGURA N. 36.

## CONCLUSIONES

1. Para el trazo de la vivienda se debe tomar en cuenta la topografía, orientación correcta respecto a la salida del sol: recepción orientada de los rayos del sol sobre ambientes específicos, que permitirán mantener confortable la vivienda, según sea el clima predominante de la región.
2. Antes de proponer soluciones habitacionales se deben considerar varios factores naturales, sociales, políticos, costumbres, económicos en las distintas regiones del país.
3. La vivienda debiera contar con área específica para desarrollar las actividades sociales y privadas.
4. En relación al análisis y diseño realizado sobre la base de parámetros reales, para tierra apisonada reforzada con caña de castilla, en principio, es posible el utilizar viviendas de un piso con la estabilidad estructural necesaria para proveer de seguridad a sus habitantes.
5. El prototipo planteado, sirva de guía para una adecuada orientación sobre la construcción de vivienda rurales de este tipo ya que en nuestro medio la situación económica es muy baja, ello da la pauta de la utilización de materiales locales ya que los materiales de construcción son de un alto costo.
6. Siempre debe adoptarse en el diseño de una vivienda la obtención de muros simétricos ya que este tipo de estructuras de tierra no son sismorsistente. A si mismo debe utilizar el uso de la configuración cuadrada o a lo sumo el uso de el rectangulo.

## RECOMENDACIONES

1. Para el area rural se debe promover, la construccion de viviendas, area rural especialmente, con recursos locales y técnicas como la que aqui se recomienda, cuyo objetivo final sera proveer de un mejor y mas seguro albergue a la sociedad guatemalteca.
2. Se recomienda desarrollar tecnologia apropiada a nuestro pais, dirigida a la mayoria de la poblacion, debido a que los recursos economicos son bajos.
3. Se recomienda realizar posteriores investigaciones sobre el uso de las distintas clases de caña de castilla empleadas como refuerzos estructurales en los muros estabilizados y apisonados para viviendas.
4. Se recomienda la implementacion de condiciones sanitarias que permitan dar un ambiente adecuada a los habitantes, como lo es el uso de la letrina.
5. El sistema constructivo de los muros de tierra apisonada es un sistema monolitico, se puede obtener un mejor funcionamiento cuando en la parte superior de los muros se tiene un amarre que de mayor solidez a los mismos.
6. Se recomienda la elaboracion de un prototipo de vivienda empleando los refuerzos calculados para determinar su funcionamiento al momento de presentarse un sismo.
7. Al momento de realizarse la construccion de viviendas de este tipo se recomienda la estricta supervision por parte de técnicos o ingenieros concedores del sistema.
8. Se recomienda realizar una tecnologia referente al uso de la tierra apisonada como material de construccion dentro del area rural guatemalteca, determinando sus ventajas y desventajas en las distintas regiones del pais.

REFERENCIAS

1. Instituto Eduardo Torroja, Consejo Superior de Investigación Científica. LA TIERRA MATERIAL DE CONSTRUCCION. España. 1987.
2. United Nations Center for Human Settlementes (Habitat). MANUAL ON PRODUCCION OF RAMMED EARTH, ADOBE AND COMPRESSED SOIL BLOCKS. Nairobi. 1986.
3. Terzaghi-Peck John Wiley & Sons. SOIL MECHANICS IN ENGIENEERING PRACTICES. 1948.
4. Alfaro Acosta, Héctor Ariel y Gonzales Salguero, Guillermo Adolfo. MUROS A ESCALA NATURAL DE SUELO-CAL, APISONADOS, REFORZADOS CON CAÑA DE CASTILLA. ENSAYOS A CORTE. Tesis Ingeniero Civil, Univesidad de San Carlos de Guatemala. Ocrubre de 1,988.
5. Carlos Roberto Quan Morales. INTRODUCCION AL ESTUDIO DE SISTEMAS Y METODOS CONSTRUCTIVOS. Tesis Arquitecto. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1,980.
6. Beltranena Matheu E. CURSO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION, Guatemala, Facultad de Ingenieria, Universidad de San Carlos de Guaemala. 1982.

BIBLIOGRAFIA

1. López Xicara, Aparicio Francisco. MUROS DE SUELO-CAL APISONADOS, SOMETIDOS A ENSAYOS DE CORTE Y COMPRESION. Tesis Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. Octubre de 1,985.
2. Montúfar Marroquín, Mario Raúl. MUROS DE SUELO ESTABILIZADO CON CAL, APISONADOS, REFORZADOS CON CAÑA DE CASTILLA; ENSAYOS A CORTE. Tesis Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Abril de 1,975.
3. Alfaro Acosta, Héctor Ariel y Gonzales Salguero, Guillermo Adolfo. MUROS A ESCALA NATURAL DE SUELO-CAL, APISONADOS, REFORZADOS CON CAÑA DE CASTILLA, ENSAYOS A CORTE. Tesis Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. Octubre de 1,988.
4. Solares Diaz, Jorge Ovidio. METODOS DE ESTABILIZACION DE SUELOS. Tesis Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. Octubre de 1.978.
5. Godoy Cobar, Sergio Ricardo. MUROS DE SUELO-CEMENTO APISONADO REFORZADOS CON FIBRAS. SOMETIDOS A COMPRESION Y CORTE. Tesis Ingeniero Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Septiembre de 1,983.
6. Cáritas de Guatemala. MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS CON ADOBE. Folleto.
7. Federación Nacional de Cooperativas de Ahorro, Crédito y Servicios de Guatemala, R.L. (FENACOAC). COMO MEJORAR Y CONSTRUIR SU VIVIENDA.
8. Carlos Roberto Guan Morales. INTRODUCCION AL ESTUDIO DE SISTEMAS Y METODOS CONSTRUCCTIVOS. Tesis Arquitecto. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1,980.
9. Domingo Hernan, Gutierrez Puac. DISEÑO CLIMATICO PARA EDIFICACIONES ZONA DEL ALTIPLANO OCCIDENTAL DEL PAIS (QUETZALTENANGO Y TOTONICAPAN). Tesis Arquitecto. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1,990.
10. Instituto Eduardo Torroja, Consejo Superior de Investigación Científica. LA TIERRA MATERIAL DE CONSTRUCCION. 1,987.



11. Folleto. COMO HACER UNA CASA MAS SEGURA.
12. United Nations Center for Human Settlementes (Habitat). MANUAL ON PRODUCCION OF RAMMED EARTH, ADOBE AND COMPRESSED SOIL BLOCKS. Nairobi, 1986.
13. Agricultural Engineering Department, Agricultural Experiment Station. RAMMED EARTH WALLS. South Dakota. State College Brookings. 1959.
14. Clara Eugenia Sánchez, Clara Angel Espina. CONSTRUIR CON TIERRA. ARIT Arquitectura e Ingeniería en Tierra. Francia. 1988.
15. Arq. Alfonso Yurrita. ARQUITECTURA. Resumen mesa redonda. USO DE LA TIERRA EN LA CONSTRUCCION.
16. Chajón Hernandez, Cesar David. USO DE LA CASA DE CASTILLA COMO REFUERZO EN MAMPOSTERIA DE ADOBE. Tesis Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, septiembre de 1,994.