



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA URBANISMO Y ARTES**  
**-SECCION DE POST GRADO-**



**COMPONENTES  
ESTRUCTURALES  
CON TIERRA  
CRUDA (CET)**

**-Tesis-**  
**para optar al Grado de  
Maestro en Arquitectura**  
**(MENCION DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS)**

**JORGE LUIS DE OLARTE TRISTAN**

**LIMA • PERU**

**ABRIL • 1991**

---

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Ingeniería -Sección de Post Grado-, al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres Naturales (CISMID), a la Agencia Española de Cooperación Internacional y a la Comisión Quinto Centenario; sin cuyo apoyo y confianza no hubiera sido posible el desarrollo del presente estudio. Asimismo quiero agradecer al Ing. Roberto Machicao Relis por sus enseñanzas y amistad.

---

El presente trabajo está  
dedicado a todas aquellas  
personas sin hogar así  
como a las miles de  
familias que siguen  
construyendo sus viviendas  
con tierra; para que su  
propio esfuerzo se  
convierta en un habitat  
digno y seguro.



# CONTENIDO

## COMPONENTES ESTRUCTURALES CON TIERRA CRUDA

---

Introducción

### PARTE PRIMERA

\* La vivienda en el Perú: Algo más que un problema de déficit. 8

**CAP. 1. Los Sistemas Constructivos autóctonos en el marco histórico y geográfico peruano.** 10

1.1. Materiales y sistemas tradicionales. Respuesta actual al problema de vivienda popular. 13

1.2. Edificaciones de tierra 15

### PARTE SEGUNDA

\* ¿Cómo debe ser un Sistema Constructivo alternativo? 19

\* Lineamientos metodológicos de la investigación.

**CAP. 2. Primera aproximación teórica: Propuesta de un sistema mixto de tapial y quincha.** 23

2.1. Aspectos generales del sistema CET 27

2.2. ¿Cómo son los Componentes Estructurales con Tierra cruda? (CET). 29

- Dimensionamiento y Modulación.
- Uso de tramas.
- Forma de los Componentes

<b>CAP. 3. Análisis del Sistema CET en laboratorio.</b>	36
3.1. Elementos de análisis estructural.	40
3.2. Fabricación de los especímenes de ensayo.	45
3.3. Análisis de los ensayos.	50
- Equipo de experimentación	
- Descripción de los métodos de ensayo.	
- Ejecución de ensayos.	
- Componentes.	
- Módulos.	
- Especímenes varios.	

#### PARTE TERCERA

\* Proyecto Inicial del Sistema CET.

<b>CAP. 4. Diseño y Construcción Sistemática en base al Sistema CET.</b>	78
4.1. Diseño Sistemático con el Sistema CET.	79
4.2. Características constructivas del Sistema CET.	82
4.3. El futuro: Entre la construcción artesanal y la construcción en serie.	89
- Anexo.	
- Conclusiones.	
- Bibliografía.	

---

## INTRODUCCION

En el curso del siglo XX la construcción con tierra como material fundamental se ha desarrollado en muchas partes del mundo, especialmente en los países en vías de desarrollo. La edificación con tierra es un hecho evidente la cual se desarrolla bajo múltiples aspectos, a saber los sociales, técnicos, económicos, culturales, etc; y en los países donde históricamente ha prevalecido la tecnología de construir con este material, se percibe un arraigo a sus antiguas técnicas vernáculas; por ello creemos que sólo a través de la reutilización y recreación de nuestras tecnologías constructivas autóctonas podremos dar inicio al proceso de transformación hacia un tipo de arquitectura propia.

La presente tesis trata de recoger el desafío de proponer un sis-

tema que aplique innovaciones capaces de concordar con la tendencia de la época industrializada actual, es así que con esta propuesta creemos que se puede llegar a realizar fácilmente la construcción masiva de viviendas a menores costos, de tal suerte que se hallen al alcance de las familias con menores recursos económicos.

En la primera parte del presente trabajo tratamos de exponer brevemente la importancia de la construcción con tierra sintetizando sus aspectos más relevantes.

La práctica de una tecnología como la que proponemos permitirá a las comunidades incorporar ciertas modificaciones a sus propias formas de construir, de manera que se incrementen las posibilidades de reaplicación futura con el consiguiente efecto multiplicador que pueda obtenerse en relación a la capacidad de empleo que pueda promover, la maquinaria básica a ser utilizada, los materiales -algunos de ellos semi industrializados-, el tiempo empleado en el proceso y muchos factores más.

En la segunda parte centramos nuestro estudio en la propuesta teórica del sistema **CET**, es decir la definición de las pautas que consideramos necesarias para el diseño del sistema constructivo en base a Componentes Estructurales

con Tierra cruda. Uno de los propósitos del estudio es presentar como alternativa la propuesta de un sistema mixto para la construcción de viviendas de dos pisos en zonas sísmicas; hasta el presente a nivel internacional los proyectos de investigación relacionados con este material sólo enfocan edificaciones de un solo piso, pero la realidad nos muestra la tendencia de construir las casas de más de un nivel, llegando muchas de ellas a tres y aun cuatro pisos. Ello nos llevó a definir una serie de criterios como son la superposición de técnicas diferentes en un mismo edificio (tapial en el primer nivel y quincha en el segundo), de manera que se reduzca el peso y se incrementen las características de ductibilidad y resistencia; también la posibilidad de presentar al poblador no soluciones de edificaciones específicas o diseños particulares a ser repetidos, sino mas bien un enfoque que permita ser conceptualmente captado y consecuentemente aplicado en la proyectación y construcción de su vivienda.

Es difícil no caer en el tópico cuando se pretende abarcar un investigación tan compleja como es la propuesta de un sistema con el cual se pueda construir (o autoconstruir) viviendas acogedoras, de bajo costo e incluso en programas de edificación a gran escala. Es por este motivo que con las premisas, planteamientos y condicionantes que definimos previo al análisis específico de modelos nos

propusimos desarrollar el presente trabajo; para ello, dadas las cualidades del sistema, debíamos realizar una serie de ensayos de laboratorio y recoger los datos de la experimentación desarrollada en diversos niveles de análisis para poder determinar sus características constructivas. Paralelamente y mediante una metodología analítico-sintética, se analizaron las diferentes partes constitutivas de la vivienda y se hicieron propuestas para modificar los sistemas vernáculos y así llegar al sistema CET dentro de un encaminamiento analítico, es decir utilizando un sistema de experimentación que consistía en pruebas de laboratorio de especímenes y módulos a distinta escala y un análisis basado en la teoría de modelos. En base a este profundo estudio realizado se habría comprobado la validez del sistema bajo un procedimiento de síntesis. Creemos así mismo que este estudio es parte de un proceso de investigación más complejo, por este motivo queremos resaltar que el trabajo tiene un carácter preliminar que trata de exponer los lineamientos básicos del sistema constructivo CET y que requerirá complementarse con ulteriores investigaciones específicas; tarea en la cual seguimos encaminados.

En la parte final se realiza una propuesta a manera de síntesis del sistema, es decir se plantean sus características fundamentales respecto al manejo sistemático del diseño y la construcción.

# **PARTE I**

## **LA VIVIENDA EN EL PERU: Algo más que un problema de déficit**

**Cap. 1. Los sistemas constructivos autóctonos en el medio geográfico peruano.**

1.1. Materiales y sistemas tradicionales. Respuesta actual al problema de vivienda popular.

1.2. Edificaciones de tierra...

---

## LA VIVIENDA EN EL PERÚ: Algo más que un problema de déficit.

Cuando formulábamos el proyecto previo a la presente investigación, reflexionábamos acerca de lo difícil que era desarrollar este estudio sin que previamente sea enmarcado en el contexto de la problemática habitacional no sólo del Perú, sino también de los países en vías de desarrollo. En efecto, las cifras que nos hace conocer el déficit de viviendas son alarmantes, "podemos decir que de aquí al año dos mil, será necesario construir 500 millones de casas para alojar a los habitantes de estos países. Este déficit crece continuamente: en la mayoría de las ciudades del Tercer Mundo por lo menos el 25% de la población (y a veces el 50%) vive en tugurios, "chabolas", "barriadas" o "refugios improvisados" (PNUD/UNESCO, 1983, P. 10). Por su parte en el Perú se prevé que el déficit para el mismo año alcance a 1'550.000 viviendas, es decir existirá la necesidad de construir un promedio anual de 155.000 viviendas durante este mismo período.

Existen tres aspectos que no pueden pa-

sar inadvertidos en el análisis de las necesidades y demanda de vivienda, el primero se refiere a la economía del país, es decir estamos conscientes de que el Perú carece de recursos económicos capaces de subsidiar la ejecución de obras de vivienda; el segundo, referente a la restricción e inestabilidad del ingreso familiar generalizado en los niveles socio-económicos medio y bajo y que no es un fenómeno circunstancial susceptible a ser modificado de un momento a otro, sinó que por el contrario la demora será de mucho tiempo antes de que el propio usuario tenga la suficiente capacidad financiera como para asumir en un tiempo razonable (2 a 3 años) el costo total de su vivienda; y el tercer aspecto se refiere a la falta de alternativas viables de sistemas constructivos para la edificación o la autoconstrucción de viviendas así como la carencia de materiales económicos, esto debido-entre otras razones- a que la capacidad instalada para la producción de algunos materiales como el acero, cemento, ladrillos, madera, etc., también es deficitaria; es así que con la capacidad instalada para producir acero al año 2.000 sólo podríamos construir el 10% de las viviendas; lo mismo ocurre con el cemento que cubriría el 8%, los ladrillos del 10% al 15% y la madera solamente el 20%; es decir que ni aún sumando la utilización de todos los materiales posibles para la construcción de viviendas, alcanzamos a cubrir este déficit.

Sin ahondar en estimaciones estadísticas y ante la necesidad de conocer la incidencia de la escasez de materiales en el incremento incontrolado de los precios, es necesario mencionar que en los últimos tres meses muchos de estos sufrieron un aumento de precios entre el 700% y 800% ; basta citar un

sólo ejemplo, el fierro estructural de 5/8" (varilla) costaba en el mes de junio 512,142 intis y en el mes de agosto su costo se incrementó a 4'082,000 intis (1/2 de construcción N° s. 44-46). Es evidente que la construcción con materiales tales como el acero, cemento, ladrillos, etc., se hace cada vez más complicada; difícilmente podrá constituirse en una alternativa viable para la fabricación de viviendas de bajo costo y creemos que en un período máximo de 10 años serán difícilmente utilizados en programas de construcción masiva de viviendas económicas.

La solución para muchos lugares, especialmente para las zonas urbano - marginales, semi urbanas y rurales será la de recurrir a otras formas de construir de manera que sean utilizadas para que las familias menos favorecidas de nuestros países edifiquen su hábitat de la manera más sencilla posible. Evidentemente que estos sistemas deberán emplear también otro tipo de materiales los cuales tendrán que ser baratos, fáciles de usar y de disponibilidad inmediata.

"La estimación de las necesidades futuras de vivienda deberán relacionarse directamente con las reales posibilidades de la población demandante, factor clave que permite estimar el tipo de vivienda que se requerirá en los próximos años" (AID, 1985, P. 13-14). En este documento de la Agencia para el Desarrollo Internacional también se menciona que de los informes del Banco Mundial y Naciones Unidas, se desprende que aproximadamente las 3/4 partes de las poblaciones urbanas de los países en vías de desarrollo son poblaciones marginadas, es decir trabajadores pobres o individuos, cuyos escasísimos recursos no les permiten ser "sujetos de crédito" en los organismos formales de vivienda. En el Perú esta apreciación se cumple cabalmente; es decir si analizamos brevemente el funcionamiento de

bancos y mutuales de vivienda notaremos que para acceder a un determinado crédito los requisitos de garantía, intereses y cuotas regulares de pago se encuentran muy lejanas a las posibilidades reales del poblador. Consecuentemente la tarea que nos toca realizar es proponer una alternativa con la cual se puedan construir un mayor número de viviendas a un menor costo, de manera que el propio poblador pueda aportar el valor de su construcción sin mayores dificultades; de otro lado, con propuestas de este tipo, el Estado recién podrá afrontar e incentivar programas de construcción masiva de viviendas.

Para asumir este reto, en primer lugar debemos pensar en soluciones no sujetas al fácil sistema de construcción convencional que generalmente se aplican en sociedades sustancialmente diferentes a la nuestra, es decir con economías holgadas, mayores recursos materiales, tecnología apropiada, etc.; por el contrario, debemos encontrar una alternativa coherente que permita obtener el máximo beneficio posible de los recursos disponibles y que además tenga un efecto multiplicador dirigido a una mayor cantidad de familias; para ello será importante emplear, lo más que sea permitido, la mano de obra no especializada a través del resurgimiento del uso de sistemas así como de materiales tradicionales de construcción; evidentemente que estos cambios deberán estar sustentados en estudios técnicos. Al respecto vale la pena recordar lo expresado por el Arq° Eduardo Franco: "la solución del problema habitacional está, hoy como ayer, en manos del pueblo al que hay que ayudarlo con la ciencia actual a continuar utilizando los tradicionales y conocidos sistemas y materiales", sólo a través de ello se podrá mejorar notablemente la oferta de viviendas populares en beneficio de los menos favorecidos del país.

---

## Los Sistemas Constructivos autóctonos en el marco histórico y geográfico peruano.

10

*"La gente . . . insiste en esperar por un tejado de hojalata y 'tierra europea', es decir, cemento. Si hemos de progresar . . . tendremos que superar estos bloqueos mentales. . . La mayoría de la gente no cuenta con medios para comprar una casa de cemento. Por consiguiente, si no los ayudamos a construir una casa mejorada a partir de los materiales tradicionales. . . no habremos hecho nada por ayudarlos a vivir en una casa decente".*

Nyerere.

Capítulo 1

---

## Los Sistemas Constructivos autóctonos en el marco histórico y geográfico peruano.

Las particularidades que presenta cada uno de los Sistemas Constructivos está en directa relación al medio geográfico en el cual se desarrollan; por ejemplo la presencia de la Cordillera de los Andes en el Perú, ha originado la división del territorio en tres regiones naturales: la Costa, la región Andina y la Selva, cada una de ellas con singulares caracteres.

"Entre la región Andina y el Océano Pacífico se localiza la costa. Esta región se caracteriza por ser una franja estrecha, desértica y de terreno más o menos accidentado...; tiene una superficie territorial de 135,949 km<sup>2</sup> es decir 10.6% del total que tiene el Perú...; se puede encontrar climas como el semi tropical donde la Temp. mínima anual es de 24.3°C y 610 mm de lluvias al año, y el clima subtropical con temperaturas y precipitaciones menores, es decir con una T.M. anual de 16.9°C y 1.94 mm de lluvias al año." (De Olarte, 1987, P. 159). Este medio natural geográfico evidentemente ha influenciado en la

forma de vida de sus habitantes; es así que el clima, el tipo de vegetación predominante y los recursos naturales sumados a su acervo cultural han definido el uso de una determinada tecnología constructiva y consecuentemente una expresión arquitectónica también propia.

Los Sistemas Constructivos en base a tierra se utilizaron en la costa desde la época Pre-Incaica. La construcción con adobe fue ampliamente difundida por todas las civilizaciones que se asentaron a lo largo de más de 2,000 km de longitud que tiene esta región. En la actualidad con este sistema se sigue construyendo, especialmente en la zona rural y semi urbana. El caso del tapial es similar al del adobe, su empleo también data desde la época anterior al de los Incas y podemos apreciar algunos vestigios como es el caso de las ruinas de Puruchuco; actualmente este sistema es más utilizado en la región Andina. Por su parte la Quincha -como sistema mixto-, es un sistema desarrollado en el Perú bajo la influencia Hispánica y son varias las ciudades de la región costera las que se edificaron con este sistema. Podemos notar por ejemplo que en la ciudad de Lima muchas viviendas fueron construidas con quincha en combinación con el adobe, formando estructuras de varios niveles y que nos detendremos a analizarlas más adelante.

Por su parte la región Andina se desarrolla en sentido longitudinal del territorio peruano, entre la costa y la selva; se caracteriza por su relieve muy variado: alineamientos de montañas altas y otras bajas, extensos valles longitudinales, y transversalmente a las montañas, valles y quebradas menores, mesetas y altiplanos.

La región Andina tiene una extensión territorial de 393,320 km<sup>2</sup>, es decir el 30.1% del total de la superficie que tiene el Perú. La gran variedad de climas que posee se debe a la existencia de diferentes pisos altitudinales existentes en toda su superficie, variando el clima de temperatura elevada desde los 18° C a 24°C (temperatura media anual), hasta una T.M.A. menor de 3°C. Esta región tiene muy variados recursos naturales, que los grupos humanos que la han poblado los han explotado desde tiempos antiguos y consecuentemente los emplearon en la gran diversidad de procesos y sistemas constructivos vigentes hasta hoy. La tecnología de la construcción con adobe probablemente fué traída de la costa y la implantaron con ciertas modificaciones en la serranía ya que el medio geográfico les condicionaba a ello; fué así que la nueva tecnología tuvo mayor aceptación en las zonas donde las formas del relieve se asemejaban a las suaves montañas de la costa, es decir en los valles y zonas de mediana altura; mientras que en las zonas altas y muy accidentadas se utilizó la piedra como material principal en la construcción.

Como ya lo dijimos anteriormente el uso del tapial en la zona andina ha sido muy importante y su tecnología aún hoy es muy utilizada para la construcción de viviendas en la zona rural. Este hecho quizá pueda indicarnos que este sistema tuvo sus orígenes en esta región. La construcción con tapial es considerada como la segunda en importancia después del adobe y su utilización fué profusa especialmente en aquellas zonas donde las condiciones climáticas no eran muy favorables, es decir con cambios bruscos de temperatura entre la noche y el día. La capacidad térmica de estas edificaciones (por el grosor de sus muros) hizo que este sistema se adecuara óptimamente a su medio natural.

Finalmente y a nivel referencial, mencionaremos que la selva es la más extensa de las tres regiones naturales del Perú y se halla situada al este de la región andina. Se distingue por ser una llanura de clima cálido y abundantes precipitaciones, condiciones éstas las que han permitido que su territorio esté cubierto por una exuberante vegetación.

Sin lugar a duda, los recursos forestales son los más importantes de la selva peruana. De 48'696,000 Ha. de suelos ocupados por bosques, la selva tiene 46'432,000 Ha., que representa el 95.4% del total nacional\*. Es evidente que las civilizaciones asentadas en este territorio utilizaron la madera como material de construcción fundamental. Los sistemas de fabricación de viviendas derivados de la madera se transmitían de generación en generación hasta hoy en que la capacidad innata para afrontar por sí mismo su problema de habitabilidad nos lleva a reflexionar acerca de la gran sabiduría que poseen estas comunidades autóctonas cuando mejoran, utilizan y simplifican al máximo las tecnologías heredadas para lograr en base a ellas, respuestas coherentes entre el habitante y su medio geográfico.

La reflexión asimismo es válida en los casos de la Costa y Sierra peruana por que pese a que en estos territorios se recibe con mayor fuerza la influencia de otros materiales y sistemas constructivos que muy poco tienen que ver con el medio natural circundante y que su implantación se constituye en soluciones alienantes de nuestra realidad, las tecnologías vernaculares han sabido prevalecer por encima de estos sistemas foráneos ya que se encuentran dentro de las posibilidades reales de la población demandante.

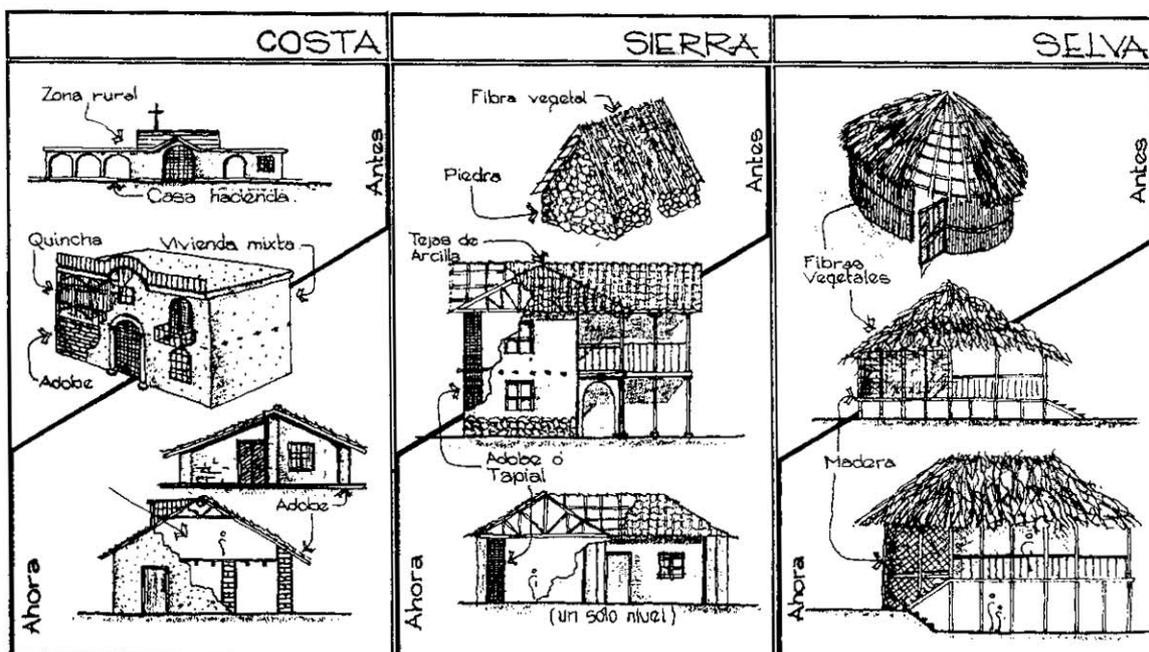
(\*) Dato de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1982).

## 1.1. MATERIALES Y SISTEMAS TRADICIONALES. Respuesta al problema de vivienda popular

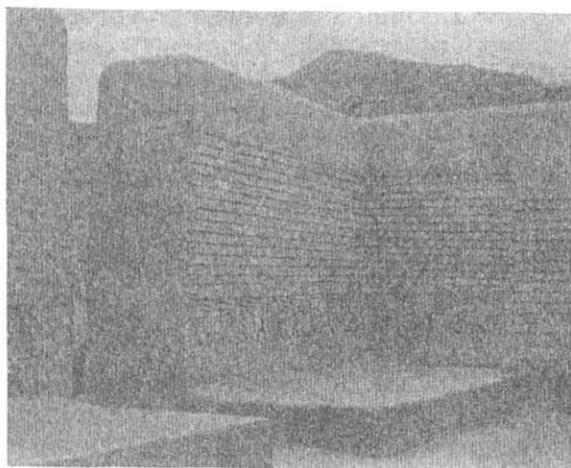
El uso de los recursos locales (materiales, mano de obra, tecnología, etc.) que se dispone para la construcción de viviendas, elimina la dependencia de los materiales y tecnologías foráneas y logra que la comunidad encuentre respuesta lógica a su medio ambiente natural y cultural; es así que la tierra, el carrizo, la madera, el bambú, la piedra, etc., son materiales que son perfectamente utilizados en distintas regiones geográficas del país de acuerdo a la existencia predominante de uno u otro material y a las condiciones climático ambientales de frío en la zona interandina y calor en la zona tropical.



vivienda mixta de adobe y quincha (Barranco).



Estos factores hicieron que con el transcurso del tiempo, el tipo de arquitectura resultante sufriera una evolución importante y se fuera "acomodando" a su entorno de manera que poco a poco iba adquiriendo características particulares; es así que luego de un proceso prolongado distinguimos en la costa algunos tipos de viviendas en base a tierra, caña y madera; es decir construcciones de adobe de un nivel, edificaciones mixtas de adobe y quincha de dos niveles y algunos tipos de viviendas de tapial. En cambio en la sierra las viviendas fueron edifi-



cadas básicamente con piedra en la zona altoandina y con tierra (adobe o tapial) en el resto de esta región; es preciso señalar que muchas de estas edificaciones fueron construidas de dos o incluso tres niveles, las cuales desafortunadamente son muy vulnerables a los sismos y por cuya razón los reglamentos de construcciones prohíben la construcción de estas edificaciones de más de un nivel. De otro lado las edificaciones tradicionales en la selva mantuvieron sus características esenciales ya que no soportaron con igual magnitud, que el caso de la costa y la selva, la influencia de otras tecnologías

constructivas, materiales y costumbres foráneas; es así que dichas construcciones son fabricadas hasta hoy con madera, caña, hojas y distintos tipos de fibras vegetales.



La foto de la izquierda muestra el detalle de un muro de las ruinas de CHAN CHAN.

En la foto de arriba se ve la construcción en adobe de las ruinas de Huaca Rajada (Trujillo).

"La tecnología de la construcción en el Perú actual esta aún fuertemente influenciada por la disponibilidad regional de los materiales. Pero dentro de este marco referencial común, las diferencias entre las tecnologías constructivas urbanas y rurales son pronunciadas. La construcción rural se ha mantenido casi inalterablemente autóctona, mientras que la urbana ha recorrido una evolución continuada". (Volker Hartkopf. 1985. P. 57). Consecuentemente y como resultado de este proceso natural, se logra obtener una expresión particular en base a un lenguaje puro que caracteriza a la arquitectura popular y que a su vez logra también una aceptación natural del poblador para con su vivienda ya que éste es partícipe en la búsqueda de su propio desarrollo habitacional.

---

## 1.2.- Edificaciones de tierra . . .

Desde hace más de 10.000 años que en distintas partes de nuestro planeta se viene utilizando la tierra cruda como material principal para la construcción de edificaciones destinadas al culto religioso, almacenes, palacios, viviendas, etc.

En la antigüedad fué utilizada tradicionalmente por muchas culturas, como nos explica André Stevens: "En Europa, África y el medio Oriente, las civilizaciones romanas y musulmanas construyeron con materiales a base de tierra, tal como lo hicieron en el Asia las civilizaciones del valle del Indo, los monjes budistas y los imperios de la china. Durante la Edad Media, aún se uso este material en Europa; los Indios lo utilizaron en Norteamérica, los Toltecas y Aztecas en México y los Mochicas en el Perú". (PNUD/UNESCO, 1983. P. 21).

En nuestra patria, ya hacia el período formativo inferior comprendido entre los años 2.000 - 1250 A.C., se encontraron vestigios de la utilización de adobes cónicos en el valle del Casma, Nepe y Moche, y de adobes paralelepípedos en el valle del Rimac, ambos tipos fabricados a mano y de diversas dimensiones. Fué a partir de la utilización de este material por los Mochicas para que en el Perú se inicie la evolución de las técnicas usadas en la fabricación de los adobes así como de los sistemas constructivos empleados; evolución que continúa desarrollándose hasta nuestros días y que retrospectivamente nos hace ver la forma como utilizaron racionalmente este material que fué aprovechado tomando en consideración sus particularidades para crear multiformes edificaciones de belleza arquitectónica inigualable.

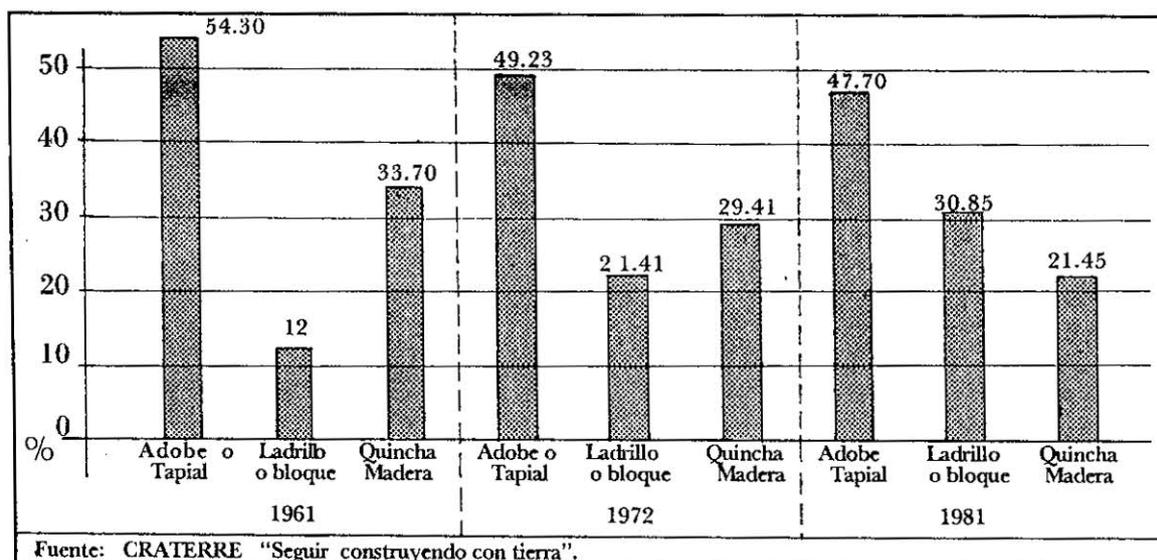
Hoy en día en la generalidad de los países en vías de desarrollo aproximadamente el 50% de la población vive en casas construidas con tierra y son varios miles los que edifican anualmente con este material. En el Perú aproximadamente un 65% de la población rural y un 35% de la urbana vive en viviendas construidas con tierra cruda. Estos pobladores utilizan las técnicas vernaculares que son transmitidas de padres a hijos ya que se constituyen en soluciones no sólo naturales y económicas sino también factibles frente a los requerimientos actuales de vivienda.

En el libro "seguir construyendo con tierra", editado por el CRATerre, aparece un análisis de las tendencias que tienen los diferentes materiales de construcción utilizados en el Perú; en él se observa la importancia de la construcción con tierra tanto a nivel global nacional como urbano y rural, tomando para dicho análisis los datos de los 3 últimos censos, correspondientes a los años 1967, 1972 y 1981.

En este gráfico podemos apreciar la mayor utilización del adobe y la tapia en la construcción de viviendas en el Perú, es así que en 1981 el 47.70% del total de estas edificaciones fueron fabricadas con estos sistemas.

De otro lado nos interesa conocer la cantidad de viviendas construidas con quincha ya que muchas edificaciones son fabricadas con este importante sistema que utiliza la tierra, madera y caña, e incluso combinados con el adobe en un tipo de edificaciones mixtas. La quincha no es considerada como un sistema constructivo de tierra, sin

MATERIAL PREDOMINANTE EN LA PARED (% total de viviendas en todo el Perú)

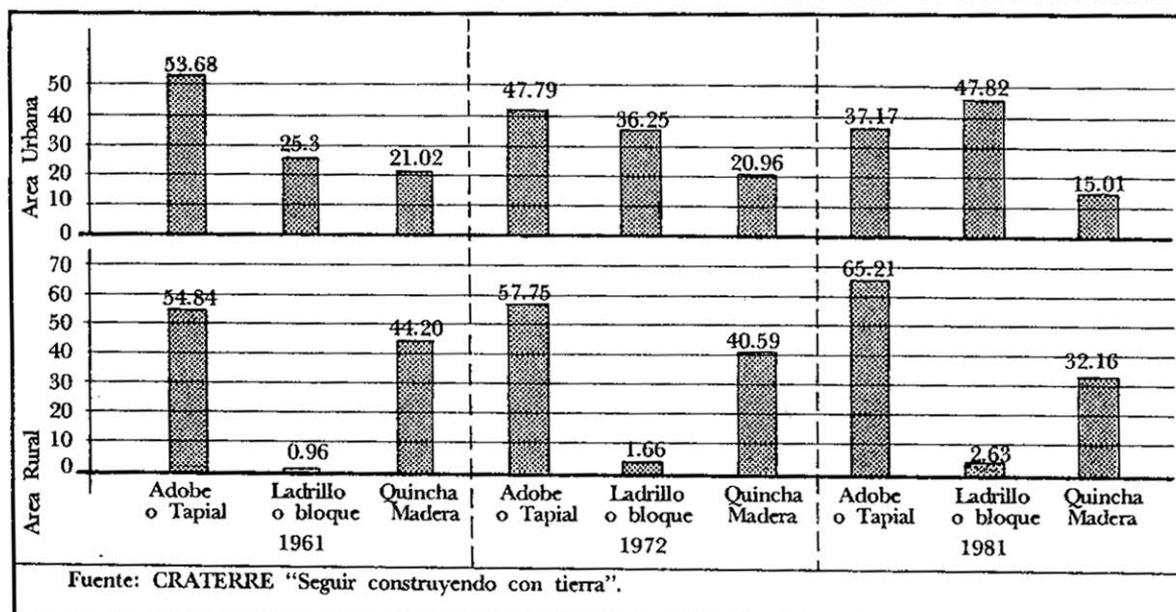


embargo en la mayoría de estas edificaciones se utiliza el suelo no como soporte estructural (muros), sino como revestimiento de muros y techo en una armazón de madera y caña. Para el año 1981 se aprecia un 6.93% de viviendas construidas con este material; si sumamos el 47.70% de aquellas construidas con tierra, tenemos un 54.63% de viviendas en las cuales interviene el suelo como material básico. Sin embargo, y como lo menciona Abelardo Vildoso y Flor de María Monzón, pese a la gran importancia que tiene la construcción con tierra en el Perú, se aprecia la pérdida del peso a nivel nacional, descendiendo a través de los años la participación de la tierra como material fundamental en el total de la construcción nacional.

De igual forma en el cuadro de la página siguiente cuadro se muestra porcentualmente el uso de la tierra para la construcción de viviendas tanto en la zona urbana como en la rural, también en las 3 últimas fechas censales.

Del cuadro siguiente podemos extraer fundamentalmente dos conclusiones: la primera es la gran importancia que tiene la construcción con tierra en la zona rural, es decir con adobe, tapial y quincha, se puede apreciar así mismo un crecimiento en la utilización de este material a lo largo del tiempo es así que en el año 1981 con el adobe y el tapial se tiene un 65.21% del viviendas construidas, sumadas al 10.82% con quincha nos arroja un 76.03% de viviendas construidas con tierra en esta zona. De otro lado, y esta es la segunda conclusión, en la zona urbana se aprecia una disminución en la utilización de este tipo de edificaciones pese a que en el año de 1961 tuvo una gran importancia. Evidentemente que esta tendencia se debe a muchos factores, entre los cuales los más importantes son el proceso de crecimiento de las ciudades de manera vertical y no horizontal (debido a la escasez de terrenos disponibles), también el gran auge de los materiales considerados "nobles" y que reflejan un "status" que la pobla-

CUADRO COMPARATIVO DE LA UTILIZACION DE LA TIERRA EN LA ZONA URBANA Y RURAL



ción urbana aspira y finalmente que a estas edificaciones se les atribuye una exagerada precariedad y fragilidad ante los sismos.

Desafortunadamente "la construcción con tierra parecería encontrarse cuestionada, pues su aceptabilidad social no parece muy clara. El proceso de urbanización que ha vivido el país, los moldes culturales en boga definen un tipo de casa al que debiera aspirarse, muy lejano a la casa de adobe o tapial. Hasta cierto punto, y especialmente a nivel urbano, la casa de tierra se considera cosa del pasado. Este proceso puede incidir en la evolución de la construcción con tierra, pues puede desincentivarla; de hecho ya lo está haciendo en algunos lugares, donde la aspiración es poseer una casa de ladrillo, cuando más al alcance está una casa de tierra". (CRATERRE, 1984, P. 15).

La tarea que nos toca realizar es revalorar

este importante material. En este sentido coincido con Sylvio Mutal cuando dice que ya es hora de que los planificadores de la vivienda cesen de alabar los materiales -y tecnologías- tradicionales de construcción y se dispongan a usarlos, de esta manera podremos lograr cambiar las actitudes que existen frente a las viviendas de tierra.

Los sistemas constructivos vernaculares de tierra se constituyen en soluciones necesarias frente a la gran demanda de viviendas, haciéndose imprescindible su incorporación al conocimiento sistemático de manera que se encuentre en ellos la fuente de inspiración y los principios conceptuales para poder plantear innovadoras técnicas más eficientes, de esta forma lograremos aumentar la producción de viviendas económicas a través de la directa participación de la comunidad.

# **PARTE *II***

## **¿Cómo debe ser un sistema constructivo alternativo?**

### **Cap.2.- Primera Aproximación teórica**

- 2.1 Aspectos generales del Sistema CET.
- 2.2 ¿Cómo son los Componentes Estructurales con Tierra cruda? (CET).

### **Cap. 3.- Análisis del sistema CET en laboratorio.**

- 3.1 Elementos de análisis estructural.
- 3.2 Fabricación de los especímenes de ensayo.
- 3.3 Análisis de los ensayos.

## ¿Cómo debe ser un sistema constructivo alternativo?

Si tomamos en cuenta los aspectos socio culturales y técnicos que devienen de las tecnologías autóctonas y los aplicamos en la propuesta de un sistema constructivo contemporáneo, lograremos una alternativa equilibrada y coherente con nuestro pasado histórico y a la vez comprometida con las condiciones actuales y futuras de nuestras comunidades.

Hoy en día es admitido que la tierra como material fundamental en la construcción ha sido usada eficazmente en el Perú, continúa empleándose profusamente en muchos lugares y seguirá siendo importante en el futuro durante muchos años; es por ello que no sólo es conveniente que se realicen investigaciones para encontrar nuevas aplicaciones de este material a la construcción, sino básicamente que se recuperen en lo posible los conocimientos que sobre las tecnologías de tierra tienen los pobladores.

Para proponer una alternativa que con-

temple los factores mencionados, previamente deberá considerarse algunas características muy específicas; si nos referimos por ejemplo a la utilización de la tierra como material principal, este sistema deberá lograr que la edificación tienda a reducir su masa de manera que coadyuve en la disminución de la densidad de trabajo y consecuentemente en el ahorro de tiempo.

Uno de los aspectos más importantes del sistema será el ahorro de energía. Es sabido que cada vez es más difícil implementar programas de construcción que utilicen gran cantidad de energía, no sólo por el costo cada vez más elevado especialmente de los carburantes, sino también por los efectos de contaminación ambiental que provocan. El ahorro no deberá ser sólo al momento de la construcción, es decir racionalizando todo el proceso de edificación sino también a lo largo de la vida útil del edificio. Para ello se deberá contemplar un diseño bioclimático en base al principio de que la arquitectura es un todo y debe cumplir varias funciones, entre ellas la de captación, almacenamiento y distribución del calor solar utilizando como medio los mismos elementos arquitectónicos.

Dadas las características sociales y económicas del Perú y en general de los países en vías de desarrollo, este sistema deberá utilizar la mayor cantidad de mano de obra no calificada que sea posible. Para lograr esto, este sistema deberá proponer una simplificación del proceso constructivo evitando el empleo de mano de obra muy especializada. Consecuentemente la propuesta deberá contemplar fundamentalmente aquellos métodos de autoconstrucción mediante la directa participación de la comunidad de manera que puedan lograr su propio desarrollo y bienestar; todo ello a

través de formas de ayuda mutua como son la minka, ayni, etc., así como de la producción artesanal (industrialización) de aquellos elementos componentes tanto principales como secundarios como son las puertas, ventanas, pisos y acabados los cuales deberán estar coordinados dimensionalmente y fabricados en base a la utilización de equipo y herramientas simples. De otro lado se pretenderá fortalecer la autogestión y el uso de recursos locales que se disponen para la construcción eliminando de esta forma la dependencia de los materiales foráneos y en consecuencia también la dependencia tecnológica que al final sólo logran encarecer de manera significativa la obra.

Respecto al diseño, deberá simplificarse al máximo y será llevado a efecto por etapas sucesivas, en los cuales el usuario tendrá

directa participación en la concepción de su vivienda; de esta manera podremos realizar una propuesta habitacional acorde a sus reales necesidades. En esta fase el arquitecto tendrá una función importante al orientar y canalizar las ideas preliminares del usuario y volcarlas en un proyecto arquitectónico bien concebido y racional. El diseño expresado de esta manera adicionalmente coadyuvará a reducir los costos finales de la obra, así como también el tiempo empleado en la construcción y montaje de la vivienda.

Todos estos conceptos contemplados en la proyectación de viviendas económicas sumados a otros tales como la sistematización, racionalización, coordinación modular, dimensiones preferenciales y estandarización; lograrán converger en una propuesta integral y coherente con nuestra realidad.

---

## Lineamientos metodológicos de la Investigación.

Existen varios aspectos que intervienen en el desarrollo de la presente investigación. Por una parte el análisis de los sistemas constructivos vernaculares que serán aplicados con ciertas modificaciones al presente sistema; también la evaluación de los diferentes programas de investigación desarrollados hasta ahora y que de una manera u otra puede servirnos como referencia para el estudio que nos proponemos. De manera tangencial también incidirá en el presente estudio el criterio de participación directa del poblador en el desarrollo de su habitat (autoconstrucción); y finalmente los aspectos económicos, los cuales incidirán de

manera directa en el hecho arquitectónico final. Paralelamente y mediante una metodología **analítico-sintética** analizaremos las partes constitutivas de la vivienda para luego someterlas a experimentación en el laboratorio de estructuras.

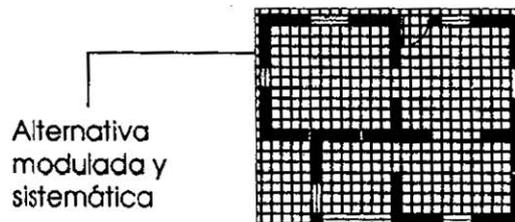
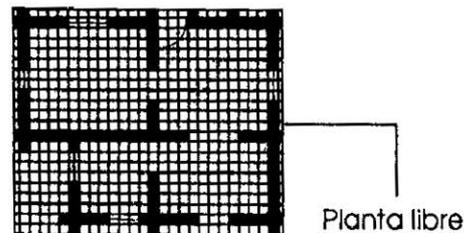
Respecto a los programas de investigación relacionados a la construcción con tierra para zonas sísmicas realizadas hasta hoy, debemos decir que han estado referidos al estudio del comportamiento de módulos de edificación en ensayos estáticos y dinámicos, muchos de ellos con valiosos resultados y en donde las diferentes universidades como son La Católica, la de Ingeniería y la de San Antonio Abad del Cusco, desarrollaron importantes estudios que desembocaron básicamente en distintas propuestas para la construcción con adobe. Paralelamente el

Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI) desarrolló también programas de Investigación sobre diferentes sistemas constructivos como son el adobe, el tapial y la quincha, también con significativos resultados. Es preciso señalar que la mayoría de los referidos estudios contemplaron una serie de conceptos que intervienen simultáneamente en el diseño de edificaciones para zonas sísmicas y abordaron dichas investigaciones a partir de un análisis de unidades modulares tipo o habitaciones a escala natural que con diversos tipos de refuerzo logran tener un buen comportamiento sísmico.

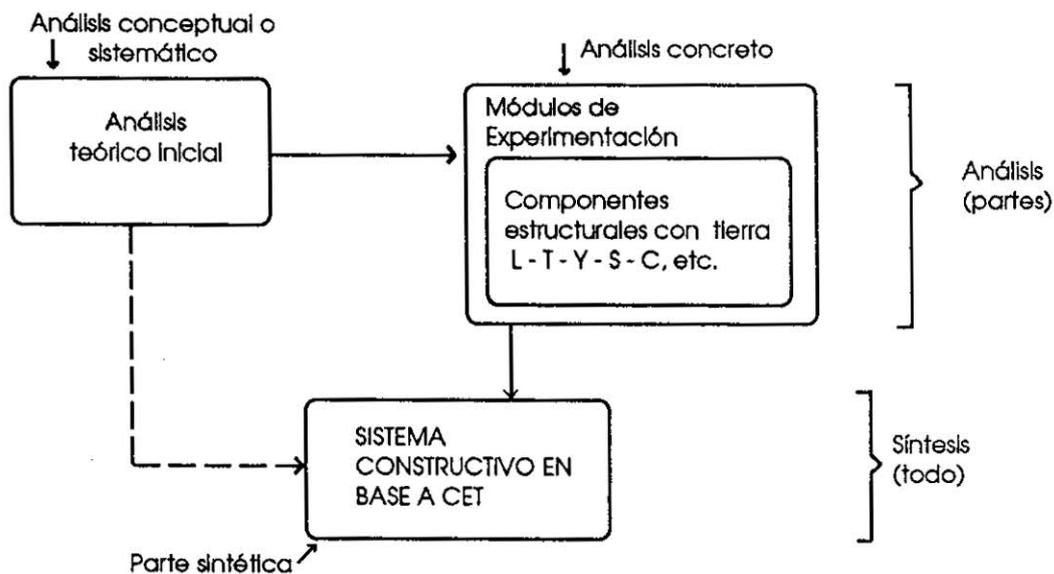
Creemos que el mayor inconveniente que pueden presentar la mayoría de estas investigaciones, es que dichos módulos tipo (que en muchos casos se constituyen en sistemas constructivos), son confundidos "como arquitectura", pudiendo resultar al final -como configuración arquitectónica- una suma de pequeños espacios (estructuralmente óptimos), pero con una insuficiente calidad arquitectónica.

Este hecho no sólo nos llevó a reflexionar acerca de la importancia de proponer un tipo de estructura simple, pero a la vez muy resistente a los movimientos sísmicos, sino fundamentalmente nos obligó a diseñar un sistema que esté compuesto por elementos los más pequeños posibles, con los cuales de una manera sistemática se puedan obtener una máxima variedad de configuraciones capaces de solucionar cualquier problema arquitectónico planteado. Consecuentemente la metodología de investigación que hemos diseñado para nuestro estudio difiere de las metodologías empleadas hasta ahora y se refiere básicamente a distintos niveles de análisis de diferentes unidades modulares que a su vez son elementos constitutivos de la edificación. Los elementos más importantes

a ser estudiados son aquellos que llamamos "COMPONENTES ESTRUCTURALES CON TIERRA CRUDA" (CET) los cuales son extraídos de distintas partes de la edificación: de las esquinas de las habitaciones (muros en L), de los encuentros de dos habitaciones (muros en T ó S), etc.



Para alcanzar los objetivos de la presente investigación se ha seguido una metodología encaminada lo más rigurosamente posible, mediante el desarrollo de un razonamiento analítico sintético. En el aspecto analítico se ha efectuado por una parte el análisis teórico de algunas partes componentes del sistema constructivo del tapial así como de la quincha y de otro lado el análisis del sistema constructivo mixto; todo ello a través de un conocimiento integral de los sistemas tradicionales así como de una fase experimental en laboratorio y en donde se analizaron los diferentes elementos constitutivos de la vivienda, a saber los cimientos, muros, entrepisos, techos, etc.



La comprobación de los aspectos positivos del sistema se realizó mediante el sometimiento del estudio teórico a procedimientos rigurosos de experimentación; es decir en primer lugar un análisis teórico inicial del sistema, posteriormente un análisis concreto mediante una etapa de experimentación de módulos en laboratorio; y finalmente la aplicación práctica del sistema en la construcción de una edificación, con lo cual se logró obtener -mediante un proceso de experimentación de campo- una aproximación mucho más cercana del sistema planteado.

El análisis teórico, obviamente con base conceptual y sistemática, se ha desarrollado siguiendo las pautas teóricas que han nacido de las experiencias e investigaciones desarrolladas a lo largo de la presente investigación.

Nos hemos encontrado con que los resultados de las investigaciones anteriores no concuerdan con los planteamientos de la presente investigación, especialmente en lo que se refiere a la modificación que plantea-

mos del sistema vernacular del tapial hacia un sistema de tapial pero sistemático. Esta fué justamente la parte que necesitó de un análisis más profundo y en donde se realizaron variados ensayos de laboratorio con la finalidad de comprobar su validez.

En el esquema metodológico que mostramos se nota básicamente las dos partes constitutivas de la investigación: el estudio de las partes del sistema y la síntesis traducida en el sistema CET.

El proceso metodológico planteado nos permite llegar a la comprobación de que las edificaciones derivadas de este sistema en base a componentes estructurales con tierra cruda tienen la validez que el trabajo pretende. Finalmente, consideramos que el análisis del sistema propuesto así como su respectiva verificación experimental nos llevará a comprobar el valor de los muros componentes así como de los módulos en el presente trabajo, con la finalidad de contar con un sistema seguro y factible frente a los requerimientos de vivienda económica para las familias de menores recursos.

**Primera aproximación teórica:  
Propuesta de un sistema mixto de  
tapial y quincha.**

23

... "En el arte como en la naturaleza, un organismo es un conjunto de partes interdependientes cuya estructura determina la función y cuya forma expresa la estructura"

Philip Steadman

**Capítulo 2**

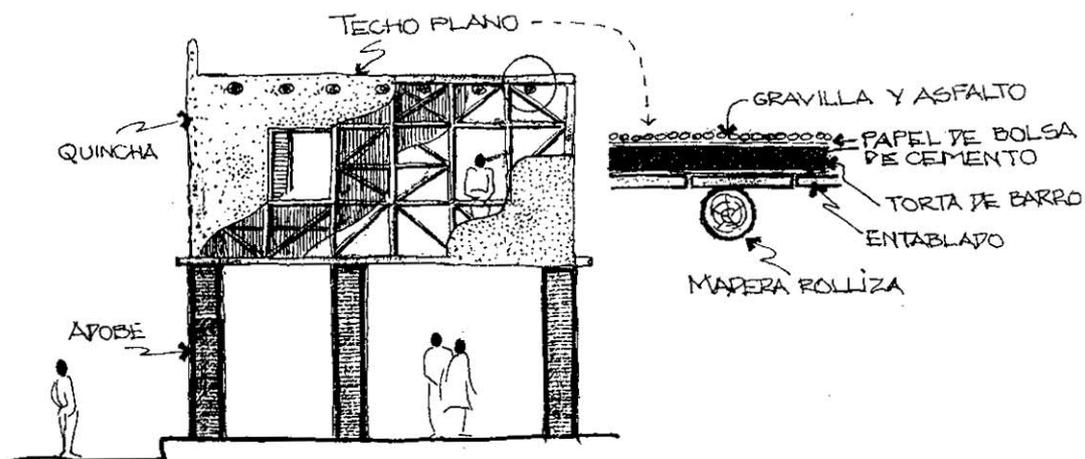
## Primera aproximación teórica: Propuesta de un sistema mixto de tapial y quincha.

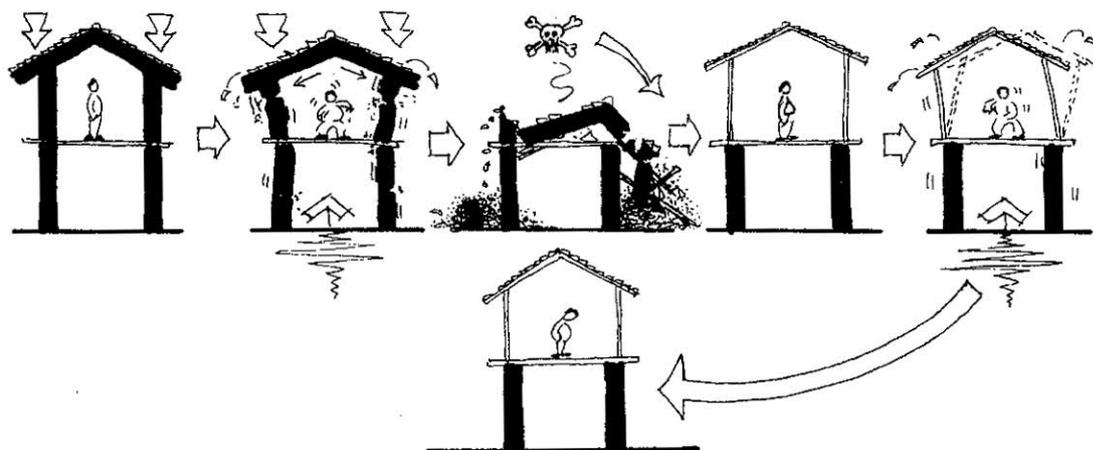
Este sistema constructivo se inició en el Perú en el tiempo de la colonia y sin lugar a dudas - en el campo de la construcción-, es uno de los mayores logros alcanzados en el proceso de colonización ya que en este tipo de edificaciones convergen una serie de aspectos técnicos y culturales que demuestran de manera tangible la **integración** de dos mundos, de dos culturas: la cultura Inca y la Hispánica.

Fundamentalmente las construcciones mixtas se caracterizaron por estar compuestas de dos sistemas constructivos cuyo comportamiento estructural es de manera homogénea. Generalmente se utilizó este sistema para la construcción de algunas Iglesias y viviendas especialmente en la costa.

Por regla general el primer nivel era construido con adobe, pesado y rígido y el segundo piso era muy liviano y algo flexible construido con quincha.

## Antecedentes históricos





Jorge Basadre en su libro "Historia de la República del Perú", menciona que en los primeros 20 años de la república, Lima tenía casas construidas de adobe y de 2 pisos; luego esta ciudad empezó a cambiar su fisonomía a consecuencia de los numerosos temblores que destruyeron muchas viviendas. Las edificaciones mixtas fueron resultado de un largo proceso en el cual las primeras viviendas construidas íntegramente de adobe colapsaron cuando ocurrieron dichos sismos, sufriendo mayor daño los pisos superiores. Lo lógico -y así lo hicieron- era construir un tipo de edificación más liviana en los pisos superiores de manera que toda la edificación tuviera un comportamiento más dúctil y de mayor resistencia a los esfuerzos de flexión; fué así que utilizaron un sistema de quincha y/o bahareque.

A nivel referencial es necesario mencionar que en el Perú el sistema constructivo de la quincha data desde antes de la conquista española. En las obras del Padre Bernabé Cobo (s. XVII) aparecen algunas citas acerca de la utilización de variados sistemas en distintas zonas geográficas del Perú: "Las viviendas se hacían, por lo general, de pirca

en la sierra y de adobe, quincha o esteras en la costa, materiales que no dejan ruinas importantes" pero que son fácilmente reconocibles por sus grandes basurales, haciéndonos presumir la gran cantidad de población en estos asentamientos.

Cobo dice que la manera de construir estas casas era muy particular: "Aquellas tienen por paredes y cerca un encañado muy cerrado y tejido a modo de zarzo, el cual hacen hincando en el suelo un orden de cañas bravas o de varas muy juntas las cuales atraviezan con otras (3 ó 4). . . con las cuales van cruzando y entretejiendo con las que suben derechas, así queda hecha la pared de dos estados de alto poco más o menos, que los naturales del lugar no llaman sino "quencha". Unos embarran este bahareque o cañizo y otros no". (Cobo, B. 1956, P. 241).

En la época colonial la construcción con quincha alcanzó el más alto nivel de desarrollo; hacia el siglo XVII se observa una interacción de dos técnicas constructivas importantes; por una parte la técnica de la "quencha", como la llama Cobo, fué utilizada en el Perú

desde tiempos antiguos especialmente para la construcción de edificaciones temporales de grupos de pescadores; este sistema constructivo fué asimilado por los españoles y contrastado con la técnica del bahareque que consistía en un sistema a base de madera, tierra y/o piedras. Es importante destacar que el mayor logro alcanzado bajo influencia hispánica fue precisamente la obtención de una 'simbiosis' entre estos dos sistemas constructivos y su aplicación en aquellas edificaciones mixtas de adobe y quincha y cuya utilización de manera profusa en muchas ciudades, especialmente de la costa, nos demuestra que después de muchos años lograron proponer un sistema que responde de manera óptima a las condiciones naturales del medio, así como a las necesidades socio-culturales de los pobladores.

---

### Propuesta del sistema

Previo al análisis de las características estructurales del sistema mixto, debemos mencionar algunas razones por las cuales hemos elegido los sistemas constructivos del tapial y la quincha como elementos constitutivos de la presente propuesta.

En primer término creemos conveniente resaltar que el tapial reúne mayores ventajas en comparación con las construcciones de adobe, especialmente en lo que se refiere a la simplicidad del sistema y por ende a la mayor rapidez del proceso constructivo, reduciendo aproximadamente en tres veces el costo total de la edificación (tal como lo explicamos páginas atrás).

De otro lado, es importante mencionar

las construcciones con tierra (adobe o tapial) de más de un piso, tienen serias restricciones especialmente en zonas sísmicas así como en aquellos lugares donde las condiciones climáticas y del suelo son desfavorables (terrenos en ladera, suelos de relleno, peligro de inundaciones, etc.), en consecuencia creemos que la mejor alternativa es la utilización de un sistema más liviano, que tenga un comportamiento más dúctil frente a sollicitaciones sísmicas y que adicionalmente contrarreste los factores climático-ambientales que impiden una buena propuesta formal y de confort.

Con relación a las construcciones mixtas existentes en nuestro medio es preciso mencionar que todas ellas están compuestas por sistemas constructivos de adobe y quincha, mas no tenemos referencia alguna de la existencia de este tipo de construcciones en las cuales se emplee el tapial.

La forma de construir tradicionalmente estas edificaciones reúnen una serie de características constructivas apropiadas para su época, pero en las condiciones actuales donde el espacio para edificar es cada vez más reducido y la mayor densidad poblacional obliga a que las viviendas sean de más de un piso, se hace necesario realizar una propuesta con ciertas modificaciones de los sistemas vernaculares de manera que puedan aplicarse a la construcción de viviendas con menores restricciones y bajo un contexto contemporáneo; todo ello para lograr a través de ellas, respuestas apropiadas entre el habitante y su medio ambiente natural y cultural. Consecuentemente creemos que para la concepción de este sistema se deberá pensar en estructuras sísmo resistentes, en edificaciones fácilmente diseñables, en la auto-construcción y en la fabricación de herramientas pensadas en función del poblador.

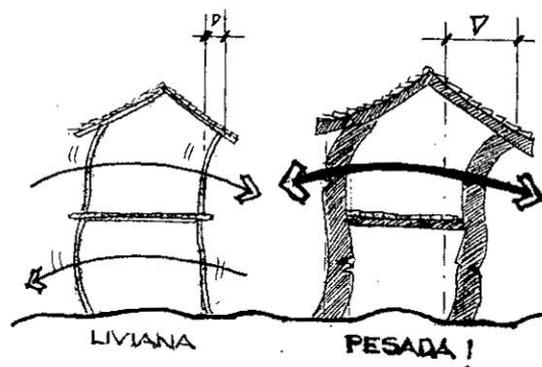
## 2.1.- Aspectos generales del sistema CET.

Para lograr avanzar en la investigación de edificaciones con tierra, es importante tomar en cuenta la gran riqueza de tecnologías constructivas autóctonas en tierra que posee el Perú, de manera que -en base a ellas- podamos hallar alternativas constructivas contemporáneas que utilicen además aquellos recursos naturales propios de cada zona.

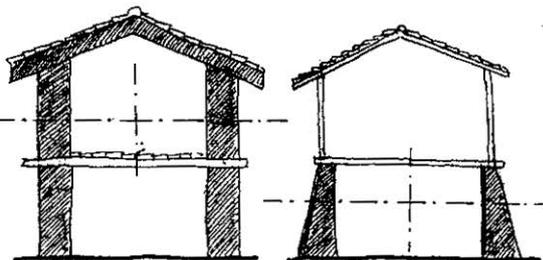
Uno de los aspectos determinantes de la presente investigación es el diseño sísmico de las estructuras de tierra.

El Perú y en general los países andinos por estar ubicados en una de las regiones con mayor cantidad de terremotos, se convierten en zonas con un alto riesgo sísmico y con una gran probabilidad de que puedan ser afectados por movimientos sísmicos severos. Las estructuras que proponemos necesariamente fueron analizadas en laboratorio y bajo la más rigurosa secuencia de ensayos dinámicos y estáticos. En este sentido el presente estudio considera el planteamiento de una estructura con características constructivas distintas a las tradicionales, pero a la vez tomando en consideración el comportamiento estructural de edificios de tierra, no sólo frente a solicitaciones sísmicas, sino también frente a las condiciones climático-ambientales. Estas edificaciones deberán tener características tales como:

Ser livianas, es decir tratar de disminuir al máximo la masa; consecuentemente también las fuerzas de inercia al interior de la estructura. A menor peso de la edificación, menores serán las deformaciones de la estructura.

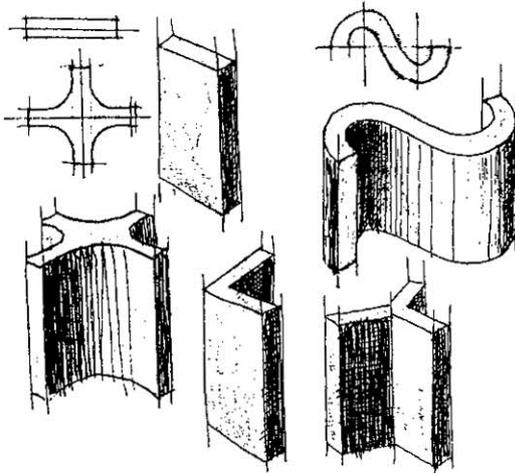


- Tratar de que el centro de gravedad de la edificación se encuentre lo más bajo posible con la finalidad de que la estructura mantenga un equilibrio constante.

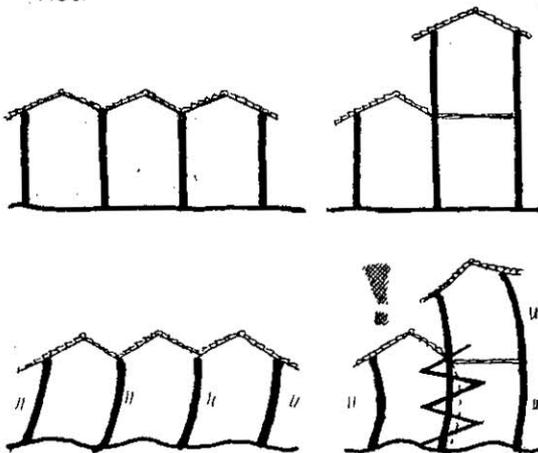


- Los muros de tapial deberán tener una forma con la cual se logre incremen-

tar la resistencia de la edificación.



- No tener puntos críticos de concentración de esfuerzos. En gran medida esto se obtiene definiendo las características arquitectónicas y estructurales de la edificación, es decir:
  - a) Distribución lo más simétrica posible de los elementos de muro.
  - b) Lograr que la edificación tenga una densidad de muros y elementos lo más equilibrado posible.
  - c) Reducir al mínimo el peso del techo.
  - d) Continuidad del tamaño de los volúmenes.



- e) Resistencia suficiente para soportar los esfuerzos, especialmente de compresión, tracción y corte.
- f) Lograr que la edificación tenga una capacidad de deformación controlada, utilizando arriostres.

- Efectuar un buen diseño de las conexiones especialmente entre el primer nivel (componentes de tapial) y el segundo (quincha), así como entre los componentes de muro de manera que pueda garantizarse un comportamiento homogéneo de toda la edificación.
- Utilizar entrepisos -y en lo posible techos- diafragmados con los cuales se logrará minimizar los movimientos desordenados de los muros en un sismo.
- Las edificaciones derivadas del sistema CET por estar fabricadas en base a tierra pueden ser seriamente afectadas por el medio ambiente, en especial por la humedad. Estas construcciones pueden llegar al colapso si se dejan expuestas directamente al agua ya que por capilaridad los muros pueden llegar a humedecerse. Se deberán tomar algunas precauciones, como:
  - a. Evitar el contacto de la lluvia con los muros; para ello estas edificaciones deberán tener aleros no menores de 50 cm.
  - b. Estas edificaciones necesariamente deberán tener sobrecimientos de por lo menos 20 cm.
  - c. Las instalaciones de agua y desagüe deberán tener ductos especiales. De ninguna manera las tuberías se empotrarán en los muros.

Estos aspectos nos permitirá orientar el proceso de experimentación en laboratorio así como de diseño de cada uno de los elementos componentes del sistema CET.

---

## 2.2.- ¿Cómo son los componentes estructurales con tierra cruda? (CET).

### *Dimensionamiento y modulación*

Si nos detenemos a hablar acerca de los componentes en el diseño sistemático de edificaciones con tierra, en primer lugar nos referiremos a un sistema constructivo que tenderá a ser industrializado en mayor o menor grado; en consecuencia el uso de componentes dentro del sistema constructivo conllevará a cumplir una función importante tanto en la concepción arquitectónica como en el proceso constructivo en sí.

Los muros componentes (CET) intervendrán en la construcción combinándolos de manera que se puedan obtener configuraciones muy variadas capaces de proporcionar un gran número de soluciones a cualquier problema arquitectónico planteado. El sistema que se propone será más eficaz en la medida en que nos permita desarrollar la máxima variedad de diseños a partir de un número reducido de partes.

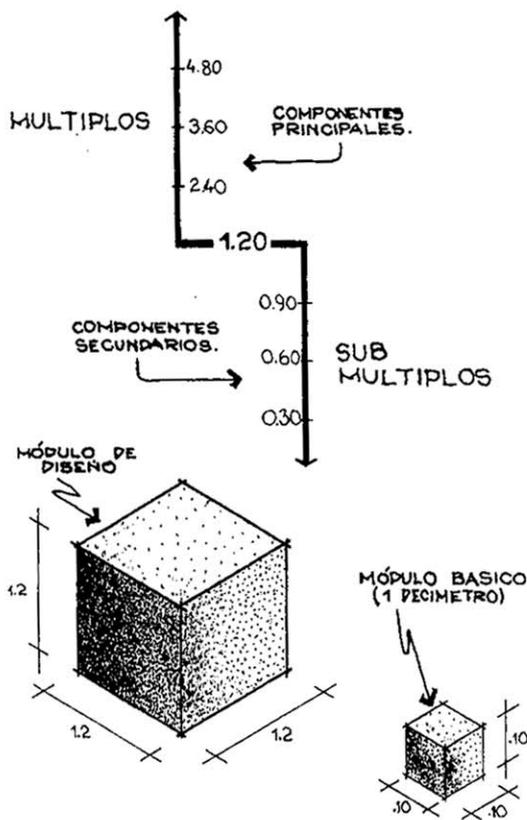
El valor del sistema planteado, yace en las características de sus elementos, es decir deberán ser compatibles entre sí dentro del sistema y considerará el diseño de los ensamblajes, juntas, montaje, transporte de algunos componentes complementarios, así como también las operaciones que se realizarán para su fabricación 'in situ' y/o en planta y que deberán simplificarse al máximo, de tal suerte que puedan ser utilizados fácilmente incluso por el propio usuario. Consecuentemente este sistema será bueno y si todos sus componentes constructivos se encuentran coordinados tanto dimensional como fisi-

camente. No obstante si este proceso no se aplica con inteligencia y no se cuidan los diseños, se puede condicionar al arquitecto a tomar un "obligado" partido arquitectónico con el indudable desmedro de la calidad.

La industrialización de la construcción con tierra parecería ser una utopía ya que las construcciones derivadas de estos sistemas no nos dan la posibilidad de coordinar dimensionalmente todos los elementos constitutivos de estas edificaciones, ya que se las construyen íntegramente 'in situ'. La idea se sustenta en que se vayan disminuyendo progresivamente el número de elementos constructivos que se realizan en obra y aparezcan paralelamente algunos otros producidos industrialmente como son los módulos de ventanas, puertas, escaleras, muebles, etc. que incluso pueden ser producidos inicialmente de manera artesanal. En este caso la fabricación de los muros de tierra, básicamente deberá ser llevada a cabo bajo un sistema de componentes modulares los cuales se encontrarán coordinados y sistematizados.

Es conveniente resaltar el hecho de que para que sea óptimo el uso de los componentes en estas edificaciones, el diseño deberá ser realizado tomando en cuenta el uso de una trama modular tridimensional, en la cual los múltiplos nos proporcionarán las posibles dimensiones de los componentes principales así como de los espacios; y los

sub múltiplos se utilizarán para el diseño y fabricación de los elementos secundarios, de tal suerte que podamos diseñar la vivienda (incluso el propio usuario) tomando en cuenta la coordinación modular y dimensional existente entre las diferentes piezas componentes.



Muchos estudios coinciden en que 1.20 m. se constituye en una dimensión adecuada al uso en edificación ya que con ella se puede obtener (ya sea con múltiplos o sub múltiplos) una variada combinación de dimensiones capaces de satisfacer las necesidades tanto antropométricas y de espa-

cios (múltiplos), así como de fabricación de los componentes secundarios como son los acabados, pisos, ventanas, coberturas, etc; y finalmente su montaje en obra.

Evidentemente que con el uso de una adecuada coordinación dimensional se obtienen muchas ventajas: (JUNAC 1980. P. 15-2)

- Facilitar la fabricación y ensamble, mejorando la productividad.
- Organizar la producción en serie.
- Facilitar el control de calidad.
- Reducir los costos de construcción.
- Reducir considerablemente los desperdicios, etc.

La aplicación de la coordinación en el sistema CET será fundamental para que funcione como tal, ya que por tratarse de un sistema mixto que utiliza un material amorfo como es la tierra, se hace necesaria la existencia de un lenguaje común que a la vez se constituya en un ordenador del sistema.

En el caso de la quincha existe un estudio importante realizado por el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI), en el cual se propone un sistema de fabricación y construcción con quincha pre-fabricada, es decir en base a componentes modulares o paneles de 1.20 y 0.60 de ancho; y que recogen las características constructivas tradicionales de la quincha; estudios como estos, por estar basados en criterios modulares, pueden ser asumidos como concepto en la propuesta de sistemas livianos derivados de otros materiales igualmente importantes y que perfectamente pueden ser utilizados combinados con los componentes de tapial; es el caso por ejemplo de la madera o aquellos sistemas derivados de paneles de fibra cemento los cuales deberán ser analizados en laboratorio para comprobar su optimidad.

## Uso de tramas

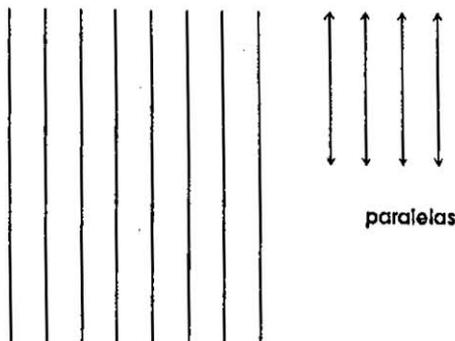
Las tramas se constituyen en redes ordenadoras las cuales contienen las dimensiones modulares del sistema. Estas tramas pueden estar en un plano (planimétricas) o en tres planos (volumétricas).

Existen varios tipos de tramas las cuales sirven para distribuir los elementos componentes de una manera ordenada y así formar los distintos espacios de la edificación. De acuerdo a las características de estas tramas obtendremos espacios triangulares, exagonales, cuadrados, octogonales o resultantes de una integración de dos o más tramas.

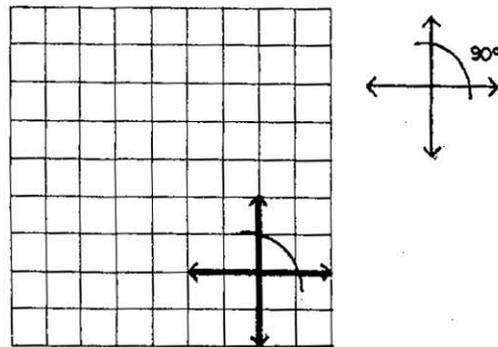
En relación al sistema CET, necesariamente se deberá utilizar una o más tramas modulares puesto que en base a ellas podremos determinar las características formales de los elementos componentes (muros en L - T - Y, etc.), además de proporcionarnos las dimensiones óptimas del sistema.

Son muchas las redes que pueden adecuarse al sistema, entre ellas las más comunes son:

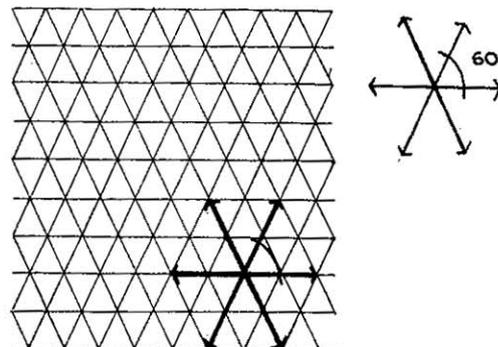
### Trama básica



1.- Trama Bidireccional (en un plano), la cual está formada por líneas que se entrecruzan a  $90^\circ$

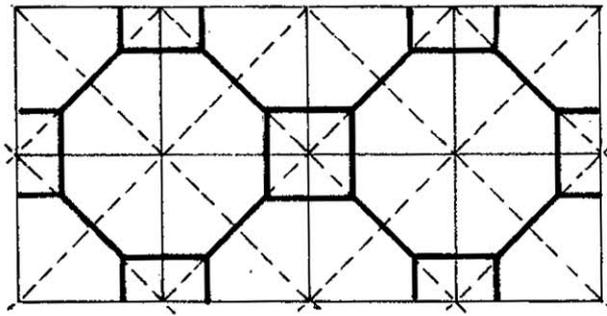
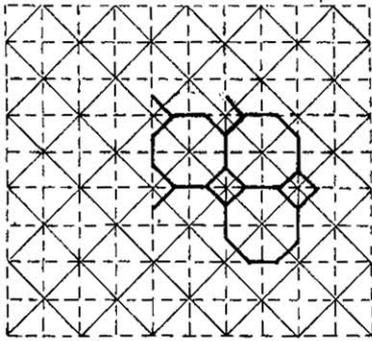


2.- Trama Tridireccional (en un plano), con líneas que se entrecruzan a  $60^\circ$ , formando una trama en base a triángulos equiláteros. Esta trama nos permitirá obtener espacios exagonales.



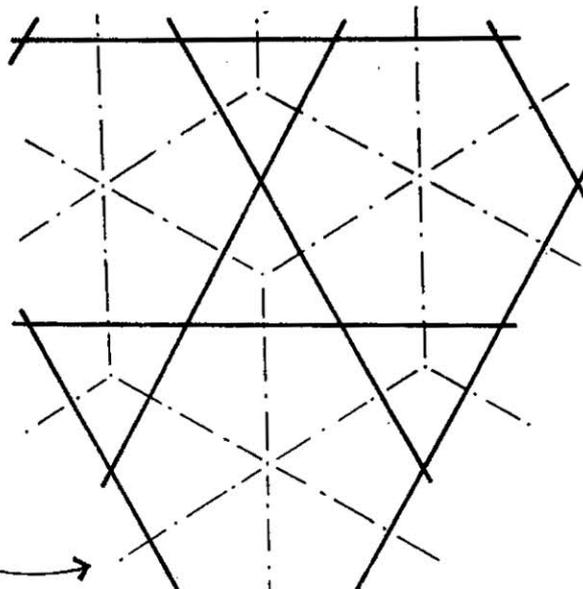
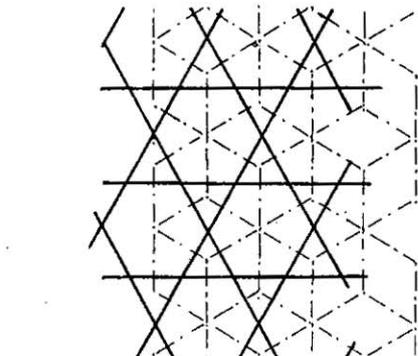
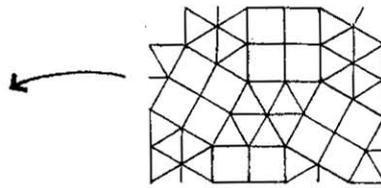
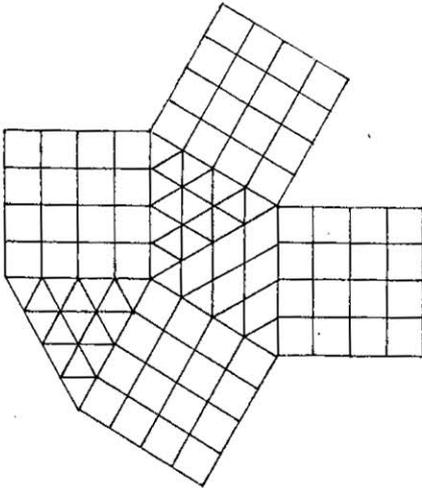
3.- Trama Cuatridireccional (en un plano), es aquella que está formada por dos tramas bidireccionales que se entrecru-

zan a 45°. Con esta trama se pueden obtener espacios octogonales.



También se desarrollan otras formas de redes y la mayoría de ellas se derivan de las anteriores, o de las combinaciones de—

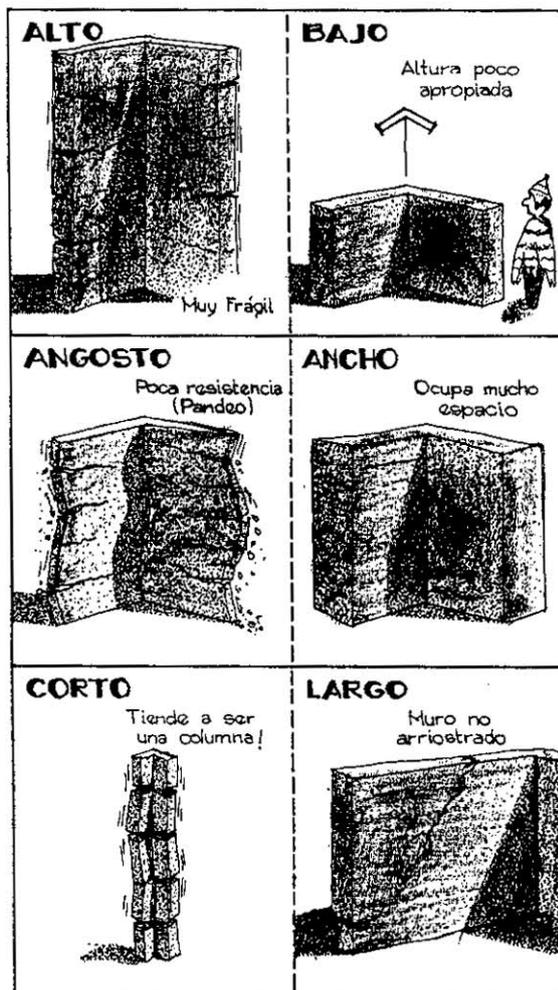
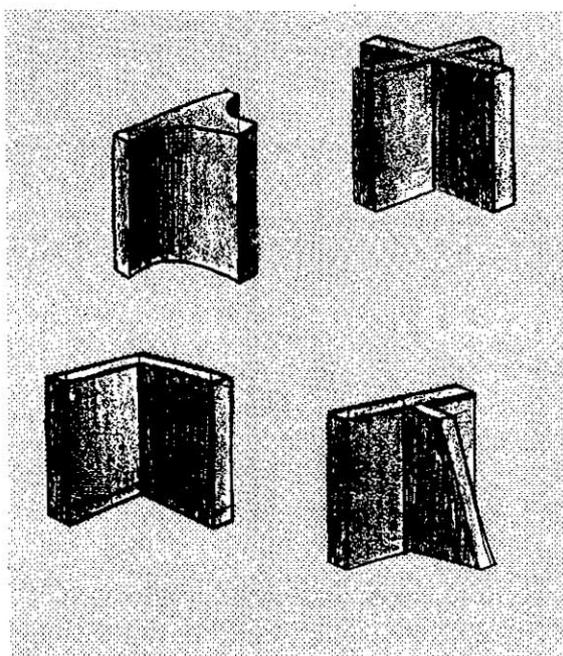
dos o más tramas básicas, como por ejemplo:



## Forma de los componentes

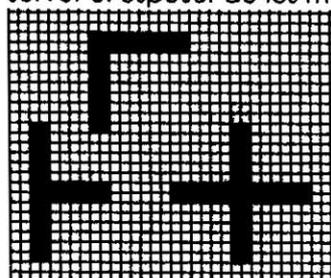
De acuerdo a los diferentes tipos de tramas, obtendremos también distintas formas de muros componentes. La elección y determinación de dichas formas no sólo se realiza por que creemos que nos facilitan su organización sistemática, sino también por que en el presente trabajo de investigación intentamos demostrar que el aumento de la capacidad de resistencia de los elementos componentes de tierra a través de la FORMA, es varias veces más eficiente que a través del mejoramiento del material. De esta manera las formas óptimas (L-T-Y, etc.) determinarán el sistema óptimo constructivo, que a su vez generará una nueva concepción arquitectónica así como un nuevo carácter tipológico de las edificaciones con tierra derivado de este sistema.

Para poder determinar las formas óptimas se propone ensayar en el laboratorio de estructuras los distintos tipos de componentes que sean representativos, es decir muy rígidos (C), bastante rígidos (Y), medianamente rígidos (L) y poco rígidos (L abierta); así como sus dimensiones llevadas a los extremos (alto - bajo, ancho - delgado, corto - largo).

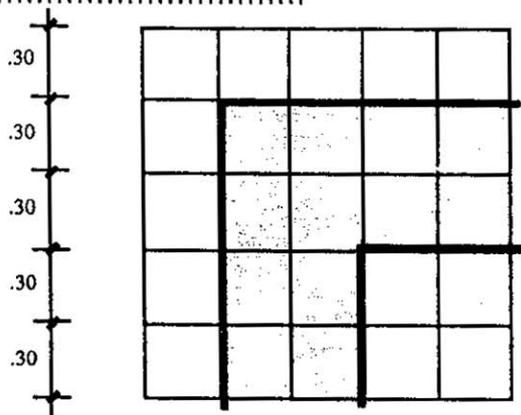


Si partimos de que la forma coadyuvará a incrementar la resistencia del muro de tierra, entonces podremos deducir que el espesor de dichos componentes también podrán ser reducidos.

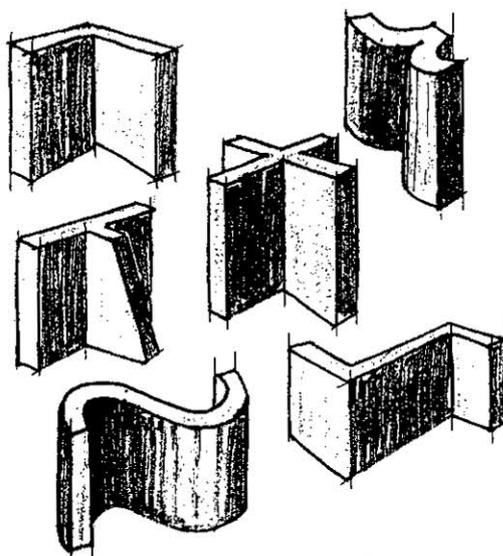
La propuesta inicial es que dichos componentes tengan un espesor de muro de 30 cm; este planteamiento se sustenta tanto en las condiciones reglamentarias para edificaciones de tierra (ININVI, 1987) es decir que para dicho espesor de muro se puede alcanzar una altura de 2.50 m. siempre y cuando se encuentre debidamente arriostrado, así como en las posibilidades de organización modular en base a las tramas, para ello las líneas de estas redes deberán espaciarse cada 30 cm. de manera que puedan absorber el espesor de los muros.



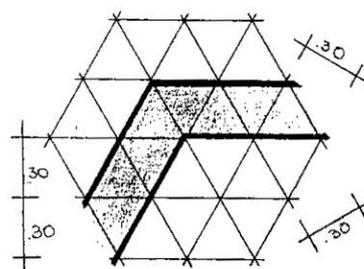
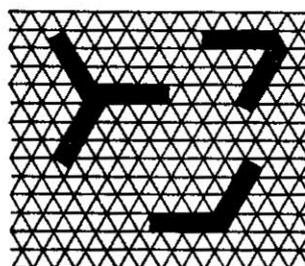
Trama Bidireccional (90°)



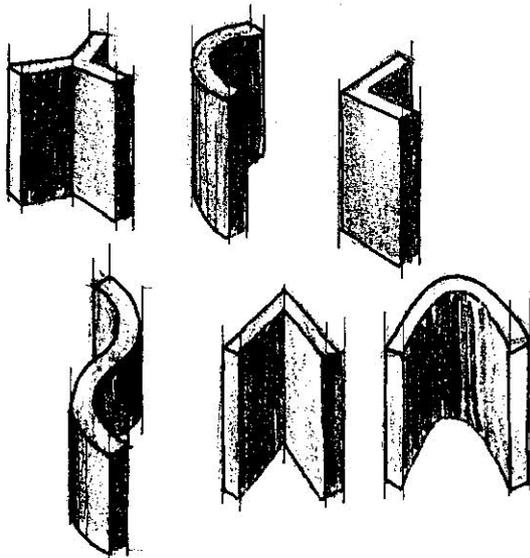
De acuerdo a este tipo de trama se pueden obtener componentes ortogonales y de distintas formas:



De la misma manera algunas formas de muros pueden extraerse de tramas tridireccionales:

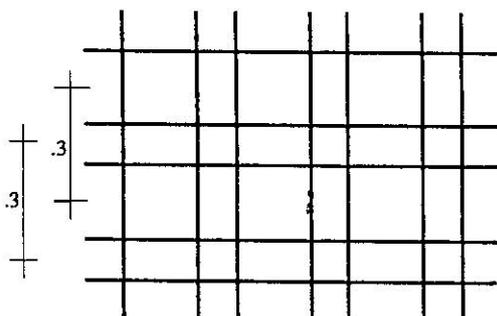


De otro lado se pueden obtener distintas formas de muros derivadas de esta trama; como por ejemplo:

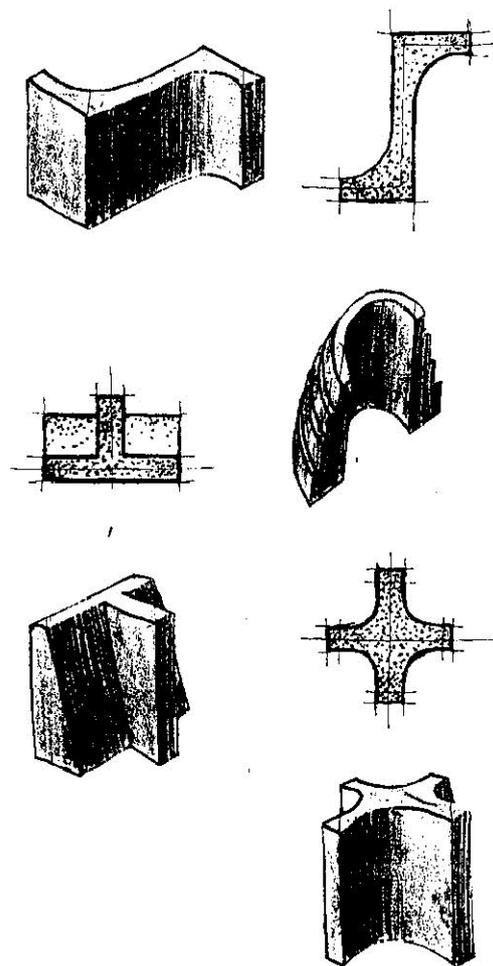


Es preciso señalar que la dimensión modular de 30 cm. no sólo es ampliamente aceptado en el Perú, sino que también es profusamente utilizado en Europa para distribuir los espacios en las viviendas.

N.J. Habraken en su libro "El diseño de Soportes" analiza un tipo de malla tartán de 10/20 cm. tanto en sentido vertical como horizontal, "Esta malla se constituye reemplazando en una malla regular de 30 cm. las líneas por bandas de 10 cm. de ancho. Las distancias entre las bandas estrechas, medidas desde centro a centro de bandas, será de 30 cm. y las bandas anchas también estarán separados 30 cm. de centro a centro. Así pues, hay un modulaje de 30 cm. bajo la malla tartán de 10/20". ( P. 91).



Muros de distinta forma derivados de los módulos básicos.



Los componentes tanto del primer nivel (tapial) como del segundo nivel (quincha) se pueden organizar en base a esta trama, los cuales podrán ubicarse tanto en las bandas estrechas como en las anchas, consecuentemente podremos decir que los espacios ordenados de esta manera tendrán un dimensionamiento modular múltiplo de 30 cm.

# Análisis del Sistema CET en laboratorio

36

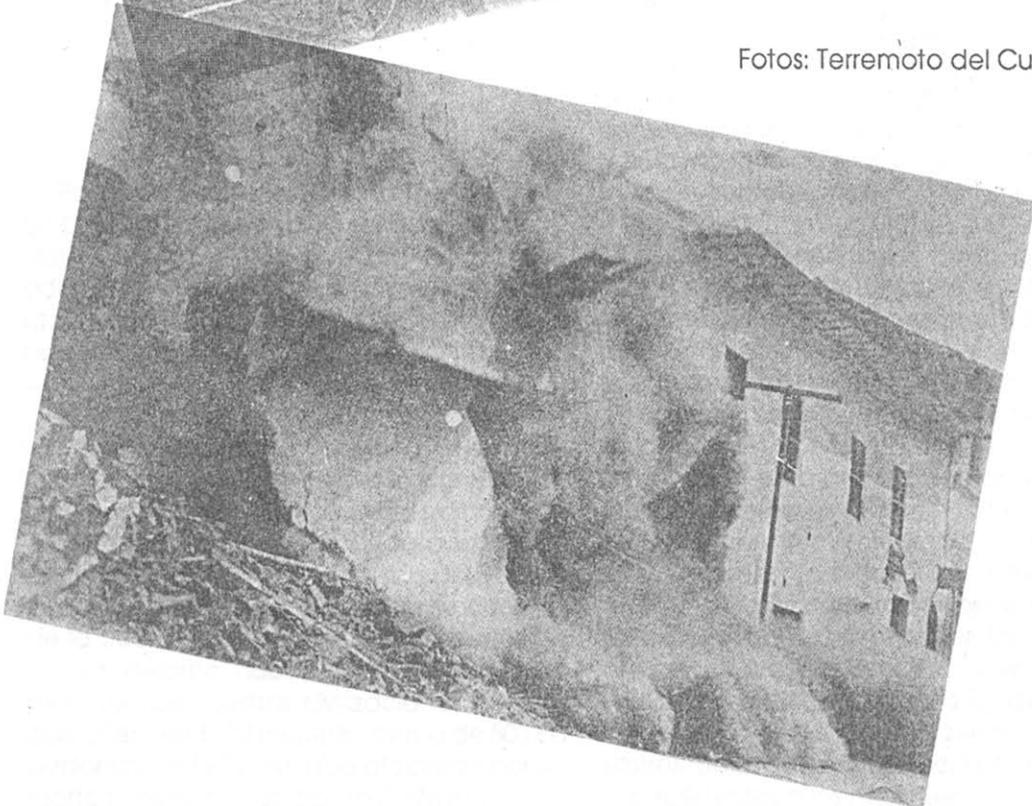
" Puede que mientras que Ud. lee el presente libro se presente el mayor sismo que haya ocurrido en el Perú. Puede que mientras que Ud. viva no se produzca ningún terremoto. Nada se puede asegurar al respecto excepto que por estar situado el Perú en una zona altamente sísmica, un sismo puede ocurrir".

Fernando Oshiro.

**Capítulo 3**



Fotos: Terremoto del Cuzco, 1950.



---

## Análisis del Sistema CET en laboratorio.

Para el análisis del Sistema Constructivo en base a componentes estructurales con tierra cruda (CET), se tomaron en cuenta, además de los aspectos analizados páginas atrás, algunos criterios que intervienen en un buen diseño sísmico.

El Perú se encuentra ubicado en una de las regiones más vulnerables a los movimientos sísmicos. Precisamente por estar situado en el cinturón de la costa pacífica de América del Sur es considerada sísmicamente como una de las más activas de nuestro planeta. Desde siempre se conoce de la ocurrencia de trágicos terremotos los cuales dejaron huellas imborrables en la memoria de nuestras civilizaciones. "En Ancash, Perú en 1970 murieron cerca de 50,000 personas. En 1974 Lima fué afectada por un fuerte terremoto que causó 2,578 muertos y

heridos. En 1983 le sucedió algo similar a la ciudad de Popayán en Colombia, en 1985 a Chile y así sucesivamente" (Maskrey-Romero, 1986, P. 9). En los últimos años el Perú ha soportado varios sismos de diversa intensidad, los cuales han ocasionado severos daños en los distintos tipos de edificaciones. En 1986 la ciudad del Cusco fué sacudida violentamente por un fuerte movimiento sísmico que afectó severamente las construcciones coloniales y contemporáneas de adobe. . . y cuando escribíamos estas líneas, el martes 29 de mayo, se produjo un violento sismo en la zona Nor-oriental del Perú, en las localidades de Rioja, Moyobamba y Soritor ( lugar de epicentro) en donde murieron más de una centena de personas, más de 1,000 resultaron heridas y el número de damnificados llegó a los 15,000, principalmente a consecuencia del desplome de sus viviendas, la mayoría de ellas construcciones antiguas de tapial y adobe.

Desafortunadamente sólo acontecimientos como estos nos permite aprender mucho acerca de cómo se producen los sismos y cómo se pueden prevenir los daños que generarían eventos de esta naturaleza en el futuro; consideramos sin embargo que no debemos esperar a que ocurran hechos tan trágicos para que recién hagamos propuestas inherentes al mejoramiento de las técnicas constructivas autóctonas; es por ello que creemos preciso que desde ya se realicen esfuerzos coordinados de investigación para poder determinar los tipos de daños que producen los sismos en los diversos tipos de edificaciones antiguas de tierra y así realizar acciones de prevención de desastres, además de proponer tipos de viviendas resistentes a los movimientos telúricos.

Se puede decir que la mayoría de los sismos ocurridos en el Perú son considerados como desastres, precisamente porque las ciudades que fueron muy afectadas habían sufrido un crecimiento desorganizado y muy acelerado, evidentemente con edificaciones sumamente precarias. Sin temor a equivocarnos podemos decir que la totalidad de las ciudades de nuestro país presentan características similares, haciéndolas vulnerables a los sismos y con una alta probabilidad de resultar dañadas muy severamente y en muchos casos ser totalmente destruidas.

"Entre las construcciones que más han sido afectadas por los terremotos pasados se encuentran las viviendas de adobe. Probablemente esto se debe a que muchas de las particularidades de las técnicas constructivas para este tipo de viviendas proceden de las técnicas españolas de la época del siglo XVI. La construcción de adobe con tales características es adecuada mientras no sea solicitada por acciones dinámicas, sin embargo, la naturaleza frágil de estas construcciones las hace susceptibles a ser destruidas por los sismos. ..." (Corzao y Bondet, 1973). Es preciso señalar que las características de fragilidad de estas edificaciones no sólo alcanzan a aquellas construidas con adobe, sino más bien se generaliza a todas las construcciones pesadas de tierra; es así que en el último sismo ocurrido en el Nor-orienté del Perú muchas de las edificaciones de tapial y adobe de dos niveles colapsaron básicamente por una falla de las esquinas que produjo el volteo de los muros y la consiguiente caída de las cubiertas.

La importancia que tiene el estudio de las edificaciones de tierra desde una perspectiva sísmica nos ha impulsado a realizar variados análisis del sistema en laboratorio. Feliz-

mente para este propósito contamos con el apoyo del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), cuyas instalaciones consideradas hoy como una de las más completas de este tipo, nos han sido facilitadas para el desarrollo de diversos ensayos tendientes a comprobar la validez del sistema CET.

La presente etapa de investigación tiene por finalidad determinar las características estructurales del sistema CET, para lo cual se hace un análisis de cada uno de los elementos componentes del sistema. Luego se procede a estudiar el comportamiento de las estructuras completas a nivel de módulos con la finalidad de optimizar el sistema en base a las técnicas y procesos constructivos tradicionales.

---

## Objetivos

El objetivo principal de la investigación en laboratorio consiste en demostrar la eficacia del sistema CET, es decir verificando las propuestas de mejoramiento de los sistemas vernaculares por medio de la introducción de variados tipos de refuerzos.

Para lograr cumplir con este objetivo se realizaron una serie de ensayos a distintos niveles de análisis: teóricos, ensayos de muros componentes, módulos, diversos tipos especímenes y finalmente un ensayo de campo con la construcción de una vivienda a escala natural.

### 3.1.- Elementos de análisis estructural

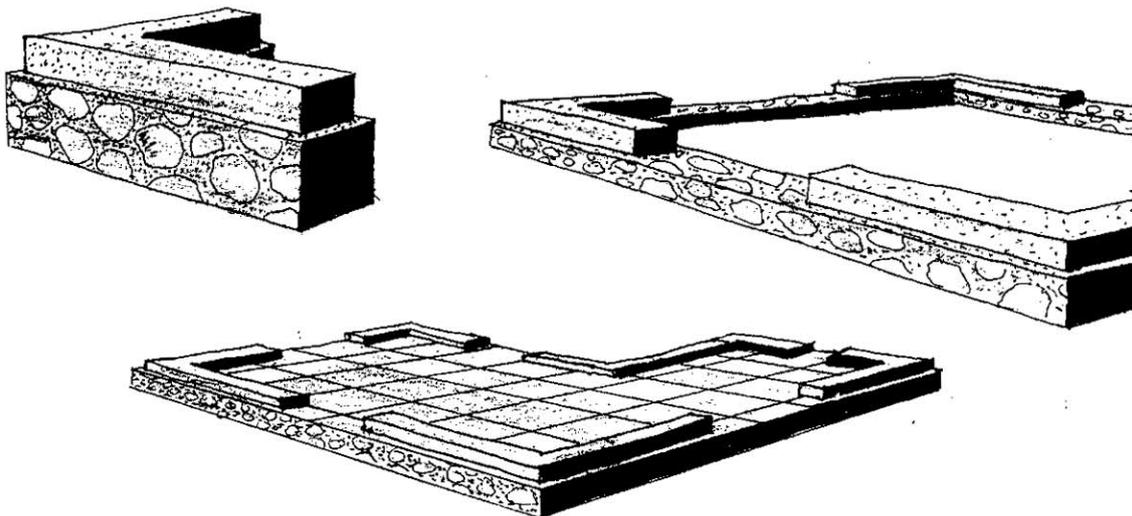
Previo al análisis del Sistema CET en laboratorio, hemos realizado una identificación de aquellos elementos constitutivos del sistema (cimientos, muros, entrepisos, techos, etc.) que merecerán ser estudiados con mayor profundidad; para ello se desarrollaron propuestas de modificación de los sistemas tradicionales en base a nuevos criterios estructurales para edificaciones con tierra, sin embargo dichos cambios serán realizados sin alterar fundamentalmente el proceso constructivo vernáculo.

#### Cimientos.

Los cimientos son elementos muy importantes para lograr la consolidación estructu-

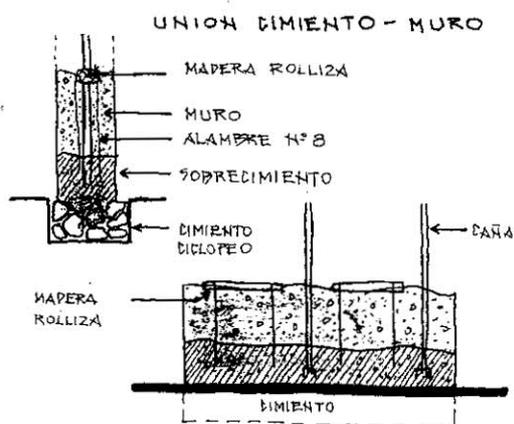
ral de toda la edificación; dependerá de que estos elementos estén bien diseñados para que se logre un incremento en la resistencia final de la estructura frente a requerimientos sísmicos.

Antes de iniciarse el proceso de experimentación se deberá tomar en cuenta los posibles tipos de suelo. A menudo la capacidad portante del suelo varía produciendo asentamientos diferenciales; en este caso -y según el grado de resistencia del suelo- se optará por elegir un tipo de cimentación que varía desde cimientos aislados (independientes), conectados o finalmente delgadas lozas de cimentación.

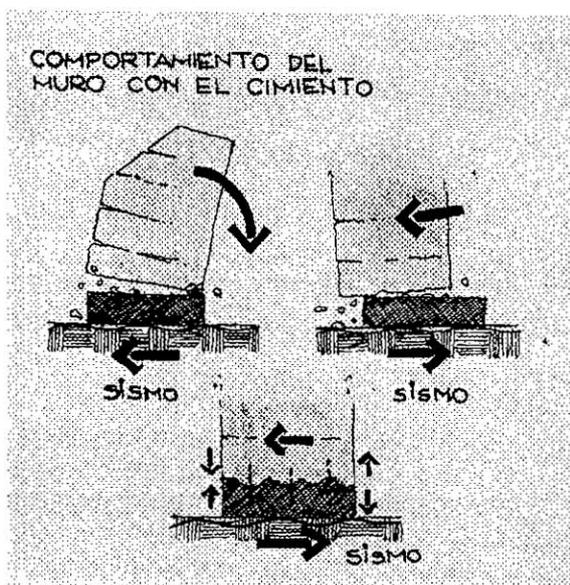


Se analizará así mismo el tipo de anclaje de los muros con el sobrecimiento mediante la utilización de elementos de unión vertical, es decir cañas, cuero, sogas o algún tipo de

tensores que nos aseguren un comportamiento integral de toda la edificación así como la correcta transmisión de las fuerzas (sismo) al suelo.



Análogamente a las construcciones Incas se deberá procurar que la superficie del bloque (sobrecimiento) sea irregular, de manera que el ensamble con el muro tenga un mejor comportamiento frente a los desplazamientos horizontales.



## Muros.

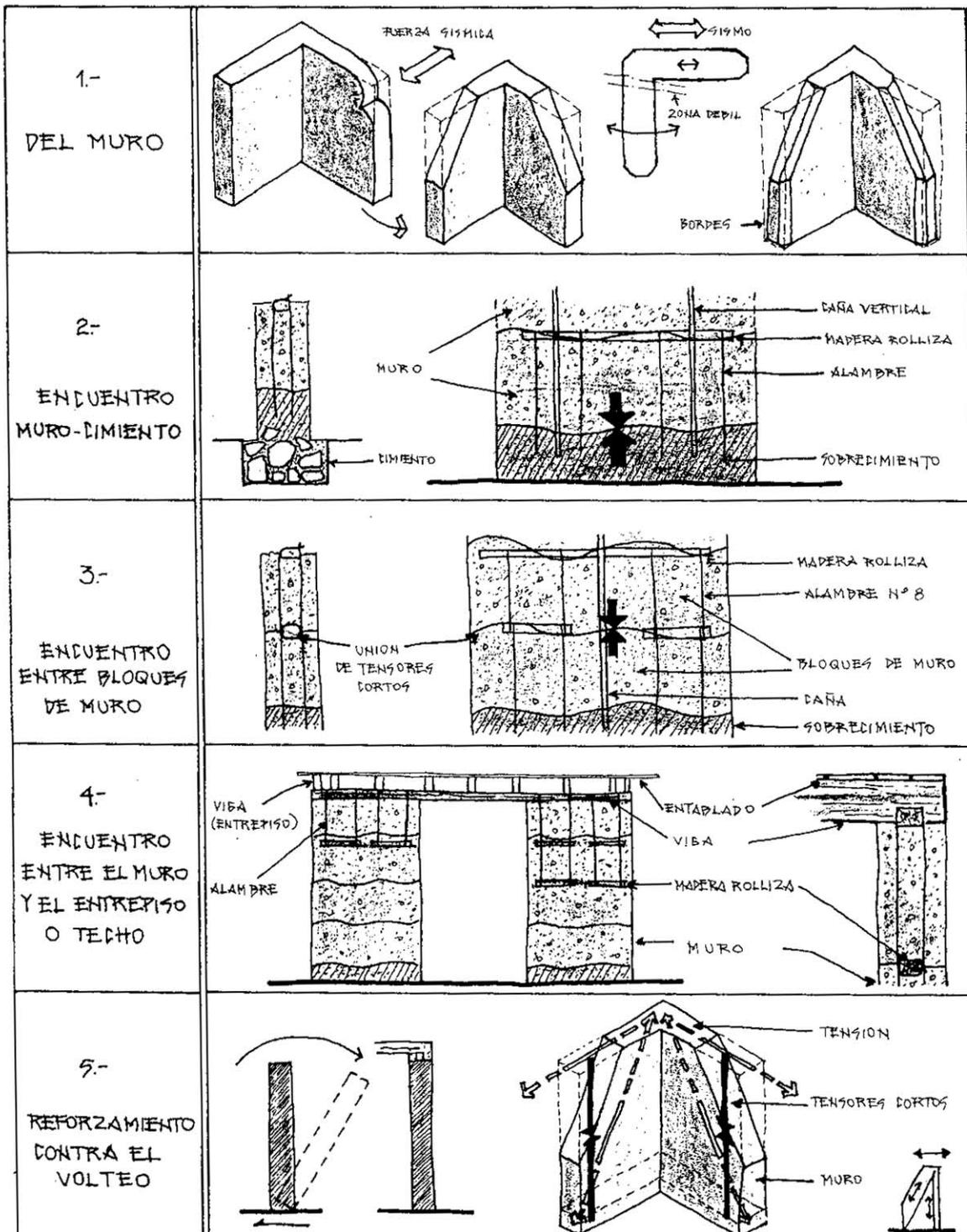
Se propone un tipo de edificación en base a componentes estructurales fabricados con el sistema constructivo del tapial en el primer nivel y con el sistema de la quincha en el segundo.

Como ya lo dijimos anteriormente, las edificaciones derivadas de este sistema estarán compuestas por una gama de elementos estructurales-constructivos de distintas formas, las cuales responderán de mejor manera a los sismos. Con estos elementos se puede llegar a desarrollar diseños y procesos constructivos de manera sistemática, como lo veremos más adelante.

Los componentes de muro serán fabricados en base a una superposición de capas de barro comprimido y que se moldean en encofrados (gaberas) los cuales pueden ser de madera o metálicos. Estas gaberas tienen distintas formas (L, T, Y, etc.) y que al final nos proporcionarán los muros.

Si analizamos uno de estos componentes de muro, notaremos algunas partes débiles que necesariamente deberán ser reforzadas o modificadas tal como se aprecia en la página siguiente; los criterios utilizados se derivan principalmente de:

- 1.- El propio muro.
- 2.- Los encuentros entre el muro y el cimiento.
- 3.- Los encuentros entre los bloques de muro
- 4.- Los encuentros entre los muros y el entrepiso o techo.
- 5.- Reforzamiento contra el volteo.

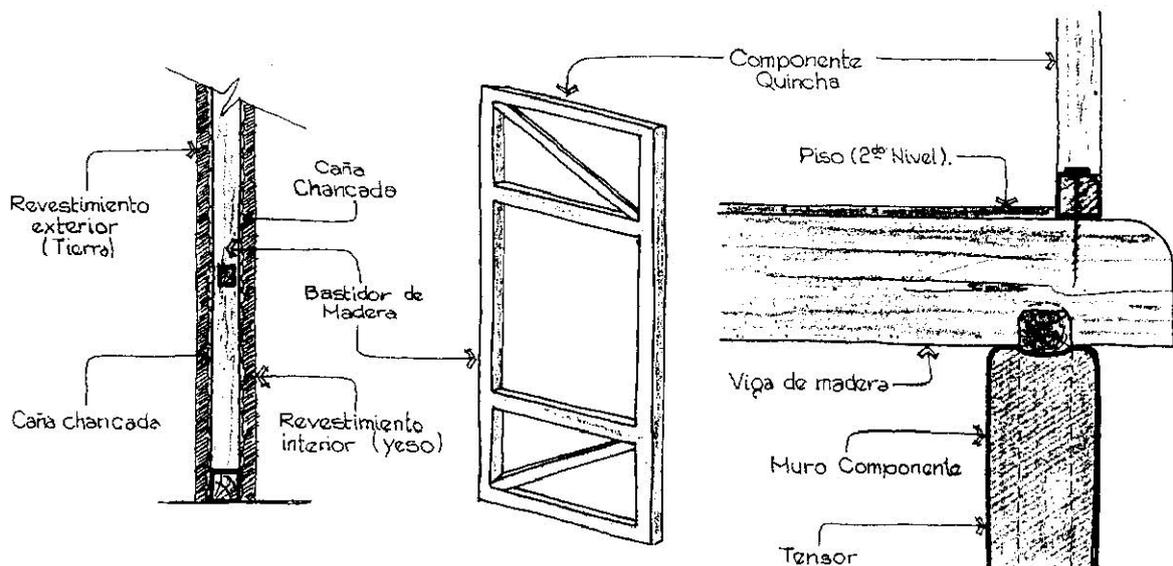


En las edificaciones comunes de tierra, generalmente se presentan fallas de diferentes características, esto debido -entre otras causas- a que tienen vibraciones desordenadas a causa de la gran cantidad de formas y dimensiones de los muros que hace que se produzcan esfuerzos de flexión y corte y que generalmente se concentran en los encuentros de los muros; es por esta razón que es importante proveer a estos componentes no sólo refuerzos verticales sino también horizontales, de tal suerte que aseguren un mejor comportamiento frente a los esfuerzos concentrados en las esquinas.

Las características autosuficientes de los componentes de muro reducirán estos problemas y coadyuvará a que la edificación resista mejor a la flexión; también logrará

reducir al mínimo las fisuras de corte de tipo diagonal que básicamente se dan por la presencia de vanos en los paños de muro, consecuentemente se deberá **eliminar la presencia del alfeizar** como parte componente del muro, mas si se contempla la presencia del alfeizar en el diseño, éstos necesariamente deberán ser construídos independientemente.

Con relación a los muros del segundo nivel (construidos con quincha), éstos necesariamente deberán ser arriostrados diagonalmente y se deberá evitar el uso excesivo de vanos tanto de puertas como de ventanas, en los paños de muro; esto ayudará a que se reduzcan las deformaciones que usualmente se producen en este tipo de edificaciones.



La organización de los elementos componentes de quincha también se llevará a cabo mediante la utilización de la trama modular empleada en el primer nivel. El armado de los componentes de quincha, se realizará utilizando madera aserrada o rolliza para los bastidores. Estos muros deberán

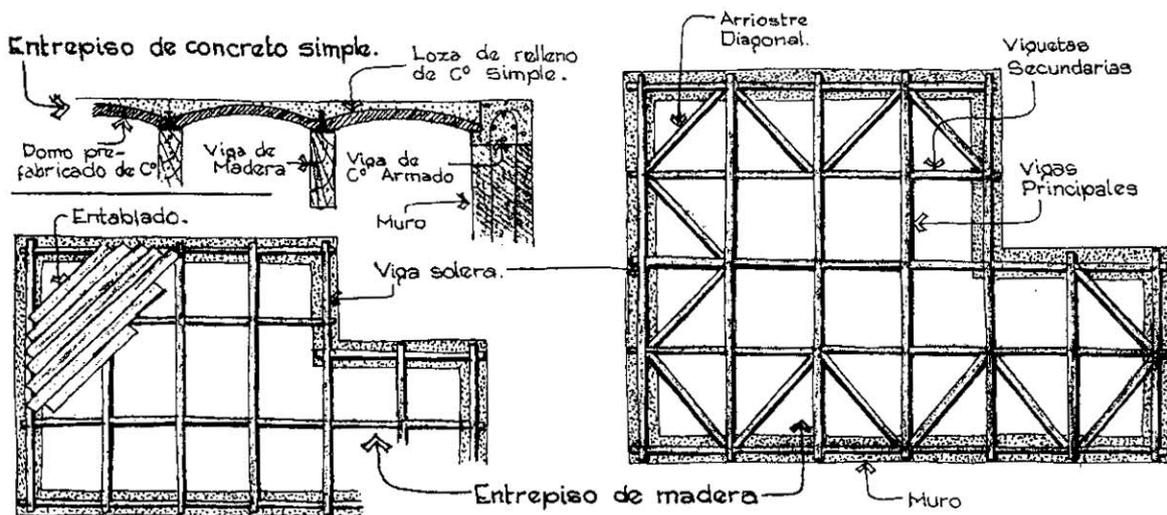
anclarse al entrepiso, el cual a su vez se encuentra unido a la viga solera del muro de tapial; de esta manera el primer y segundo piso trabajarán conjuntamente y podrán resistir de mejor forma a la flexión de la construcción compuesta.

43

### Entrepisos.

El entrepiso cumplirá una función de amarre, ayudando a que toda la edificación tenga un comportamiento estructural homogéneo. Creemos que necesariamen-

te este entrepiso se deberá diseñar como un **diafragma** pues sólo de esta manera se podrán evitar los excesivos movimientos desordenados de los componentes de muro.



### Techos

En términos generales las características formales de los techos estarán de acuerdo a las condiciones climáticas de cada zona (cantidad de lluvia, fuerza de los vientos, temperatura, etc.). De otro lado el ángulo de pendiente y la forma de la cubierta no sólo dependerán de estos factores sino también de la disponibilidad de los materiales para el recubrimiento.

En zonas lluviosas se deberá tomar algunas precauciones puesto que los muros de tierra son muy vulnerables a la lluvia, es por ello que estas edificaciones deberán tener cubiertas con aleros no menores de 50 cm., asimismo es recomendable incluir canaletas y tubos de bajada de las aguas pluviales; y en lo posible se les deberán dotar de drenes para evacuar las aguas lejos de la edificación.

Una de las zonas más críticas en este tipo de edificaciones con tierra es el encuentro entre los muros y el techo. Sabemos que el peso de las cubiertas concentran empujes horizontales en la parte superior de los muros en el momento que ocurre un sismo, esto generalmente produce fallas parciales o volteo de los muros que a su vez puede ocasionar la caída de los techos. Para contrarrestar estos efectos, se deberá lograr que los techos ayuden a consolidar la rigidez de la edificación, es decir su comportamiento también deberá ser similar a la de un diafragma.

No se recomienda la utilización de **cubiertas muy pesadas** y el apoyo del techo en los muros deberá ser continuo; finalmente se deberá prevér el uso de algún tipo de arriostre lateral que ayude a consolidar un comportamiento integral del techo con los muros de quincha.

### 3.2.- Fabricación de los especímenes de ensayo

La fabricación de los especímenes se ejecutó en base a tres etapas de análisis.

a) La primera etapa estaba referida al análisis de muros componentes a escala 1/5 los cuales fueron fabricados con tierra apisonada en moldes metálicos a manera de tapial. Fueron dos los elementos analizados en esta etapa.

- Componente de muro 1 - L (sin refuerzo)
- Componente de muro 1 - C (con refuerzo de caña horizontal y vertical).

b) En la segunda etapa se analizaron los componentes desde una perspectiva distinta, es decir como elementos constitutivos de módulos mixtos de dos niveles (componentes de tapial en el primer nivel y quincha en el segundo). Se estudiaron:

- Módulo 1 LT (un nivel y Sobrecarga).
- Módulo 2 2T - 2L - C (dos Niveles y s/c).
- Módulo 3 Y - 3L (dos Niveles y s/c).

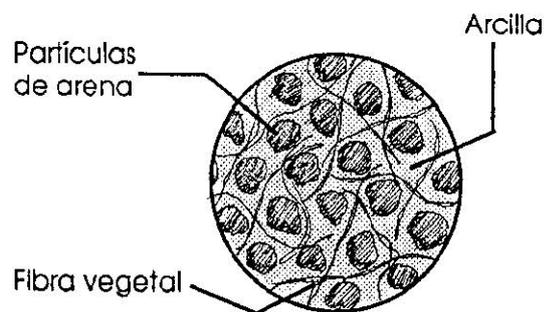
c) La tercera etapa consistía en el análisis de especímenes representativos tanto de los muros de tapial como de quincha los cuales fueron sometidos a ensayos de compresión, tracción y corte.

Antes de explicar más detenidamente la forma de fabricación de los especímenes, nos referiremos al tipo de suelo empleado para su construcción.

El suelo del CISMID corresponde a un tipo de arcilla de mediana plasticidad el cual aparte de servirnos para la fabricación de los especímenes, nos sirvió para realizar una

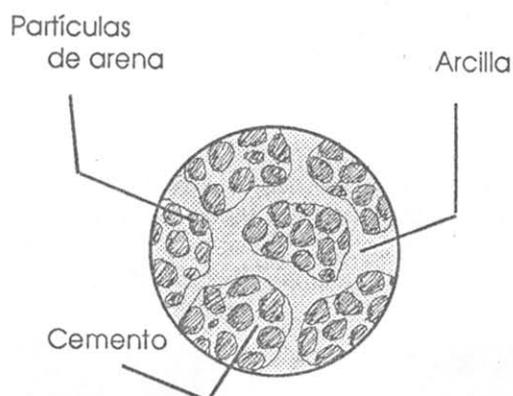
serie de ensayos relativos a la determinación de las proporciones granulométricas y de composición del suelo versus algún tipo de estabilizante. En términos generales existen dos tipos de suelos: aquel que tiene una mayor proporción de arcilla y el otro en el que predomina la arena.

El suelo muy arcilloso absorbe una mayor cantidad de agua y adquiere una forma plástica el cual una vez moldeado tiende a eliminar el exceso de agua produciendo muchas fisuras las cuales evidentemente debilitan la estructura. Para este tipo de suelo el estabilizante que se debe utilizar es la fibra vegetal o paja las cuales van a reducir notablemente las retracciones bruscas "amarrando" la estructura interna del suelo. El incremento de resistencia varía desde 50% en suelos arenosos hasta 300% en los suelos más plásticos.



Por el contrario cuando el suelo es arenoso, la cantidad de arcilla es insuficiente para lograr la cohesión de las partículas de arena, consecuentemente si no se dispone de suelo arcillosos para realizar una mezcla, se deberá adicionar a este suelo una cantidad proporcional de cemento el cual tendrá la

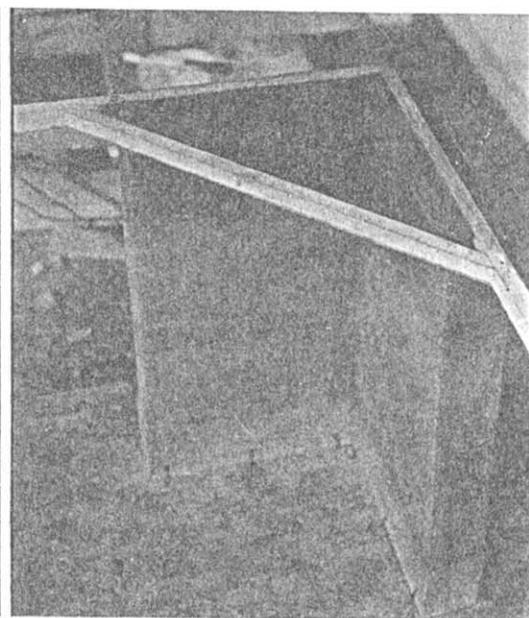
función de cohesionar varias partículas de arena y de esta forma reducir el área de contacto con la arcilla. Sólo de esta manera la arcilla podrá cumplir la función de ligante en la mezcla.



Sin embargo, debemos mencionar que para la fabricación de los especímenes se ha utilizado el suelo del campus del CISMID sin ningún tipo de aditivo asfáltico ni tampoco cemento. El fin consistía en realizar ensayos de un tipo de edificación que utilice lo más que se pueda los métodos de fabricación tradicionales del tapial y la quincha. A continuación explicaremos el proceso de fabricación de cada uno de los especímenes del presente estudio.

#### - Componente de muro 1 - L

Este primer componente fué fabricado siguiendo los métodos autóctonos y la finalidad era saber cuales serían las fallas del muro en el supuesto de construir edificaciones sin mayores refuerzos horizontales ni verticales (tal como comúnmente se cons-



Muro componente 1-L sin refuerzo de ningún tipo en el interior.

truye). Asimismo buscábamos conocer cual sería el comportamiento del tapial tradicional como muro componente en forma de L

Las dimensiones de este primer espécimen fueron de 6 cm. de espesor, 48 cm. de alto y 30 cm. de longitud, correspondiente a 30 cm. de espesor, 2.40 m. de altura y 1.50 m. de longitud de un muro a escala natural.

Tanto este componente como todos los construídos con este sistema tienen un sobrecimiento de concreto simple cuya superficie es rugosa para incrementar la adherencia con el muro. Su altura es de 8 cm.

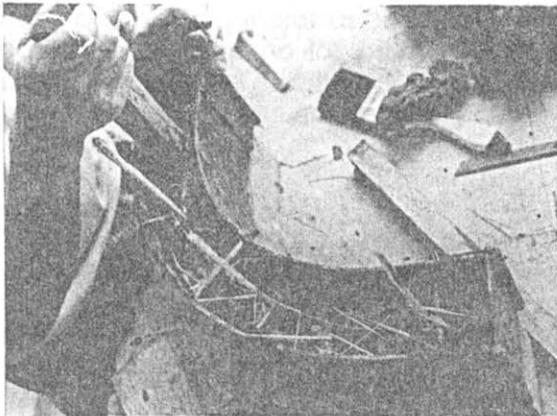
Encima de este sobrecimiento se superponen las hiladas de tierra comprimida de 8 cm. de alto cada una, en un total de 5 capas y hasta alcanzar los 48 cm. En la parte superior del muro se ha colocado una viga solera de madera.

### - Componente de muro 1 - C

El componente curvo **1 - C** fué fabricado de una manera similar al anterior. Las diferencias se encuentran básicamente en la introducción de refuerzos de caña tanto horizontales como verticales.

Las cañas verticales se encuentran ancladas en el sobrecimiento para asegurar de alguna manera una mayor adherencia del sobrecimiento con el muro.

De otro lado a este muro se le ha añadido piedras y fibras vegetales de manera que pueda reducirse los efectos de fisuración del muro a consecuencia de las contracciones del suelo al eliminar el agua, observadas en el primer espécimen.

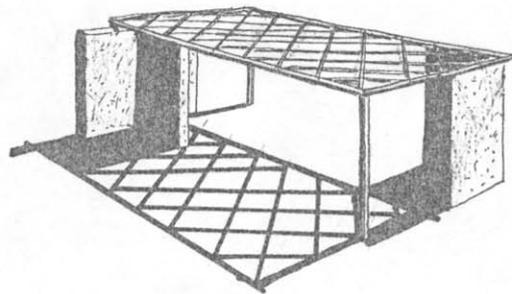


Fabricación del componente 1 C. Obsérvese el refuerzo horizontal y vertical de caña.

Al igual que el primer componente, a este muro se le ha ubicado en la parte superior una viga a manera de viga solera.

### - Módulo 1 L - T

Los módulos a diferencia de los anteriores componentes están compuestos de dos o más muros componentes y tienen un comportamiento unitario gracias a la presencia



de un elemento diafragado a manera de entrepiso o techo.

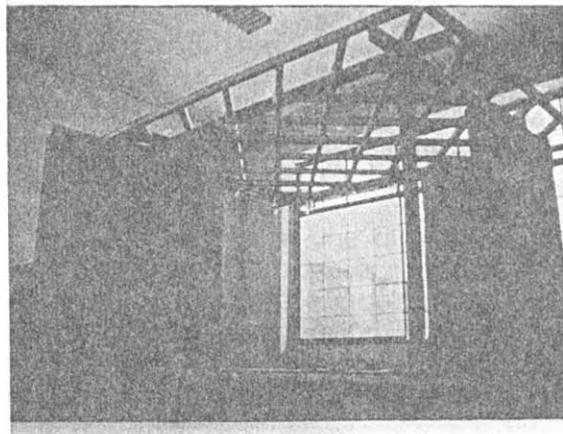
El módulo **1 L-T** esta compuesto de dos componentes uno en forma de "L" cuyas características dimensionales son similares al componente de muro 1 - L, y el otro en forma de "T" cuyas dimensiones están moduladas de acuerdo a una trama de 30 cm. a escala natural y son parecidas al módulo anterior. Ambos componentes se encuentran unidos por una viga solera la cual soporta un entrepiso diafragado; lográndose de esta manera un comportamiento más dútil y homogéneo de la estructura.

Respecto a la forma de construcción de los

---

Módulo 1 L-T compuesto de 2 componentes unidos por un piso diafragado.

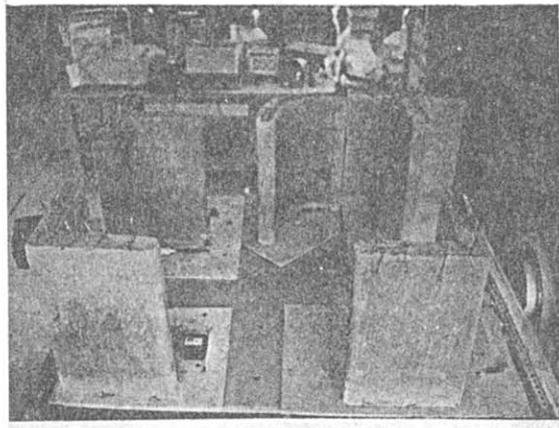
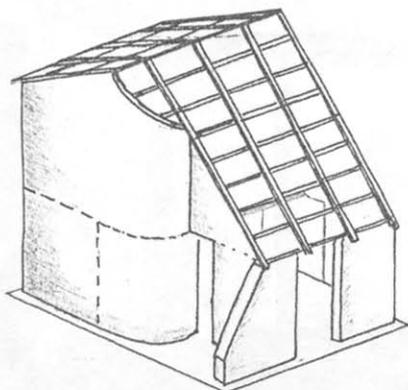
---



muros, el componente "T" fué fabricado de una manera similar al componente de muro 1 - C, es decir con refuerzos de caña tanto horizontales como verticales. Por su parte el componente "L" fué fabricado de una manera distinta, es decir la estructura del muro aparte de tener tierra apisonada y refuerzo de caña, se le introdujo un tipo de refuerzo en base a alambres a manera de tensores cortos que se ubicaron en el interior de los muros. La razón del porqué se optó por este tipo de refuerzo se sustenta en la necesidad que tienen las edificaciones de tierra de soportar los esfuerzos de tracción, es por ello que podemos decir que los tensores utilizados en los especímenes tuvieron un buen comportamiento frente a los movimientos dinámicos inducidos, notándose una mejor resistencia a las tracciones que originan las fuerzas sísmicas y que por lo general las construcciones comunes de tierra no las asumen. En los siguientes módulos este tipo de refuerzo se mantiene en la construcción de los componentes de muro.

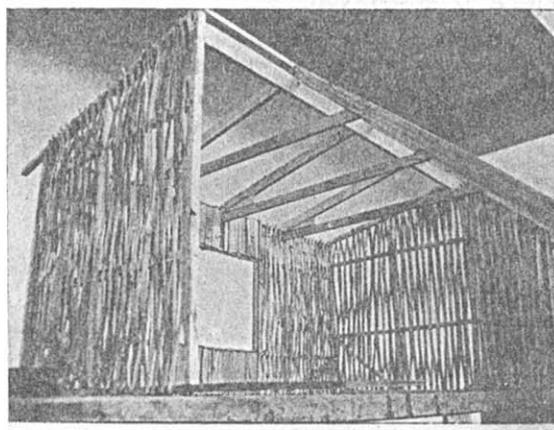
**- Módulo 2 2T - 2L - C**

El diseño del módulo 2 es mucho más complejo que el anterior. En primer término este módulo está compuesto de dos pisos: el primer nivel de tapial (5 componentes) y el segundo de quincha.



Arriba: Montaje de 5 muros componentes sobre la mesa vibradora.

Abajo: Armado del segundo nivel (quincha).



Se utilizaron moldes metálicos (a manera de gaberas) para fabricar los muros. El sistema constructivo es similar al empleado en la fabricación del muro "L" del módulo 1 L-T. Los cinco componentes tenían formas de L (2), de T (2) y un muro curvo C.

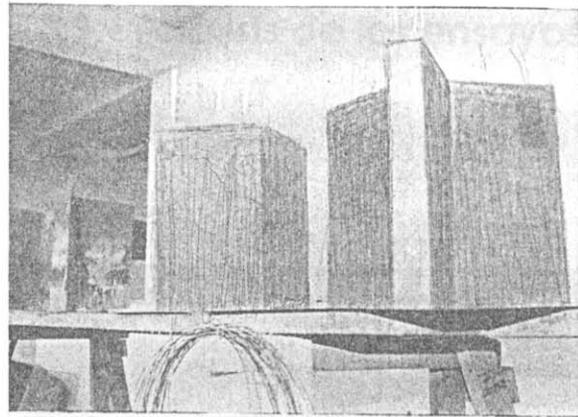
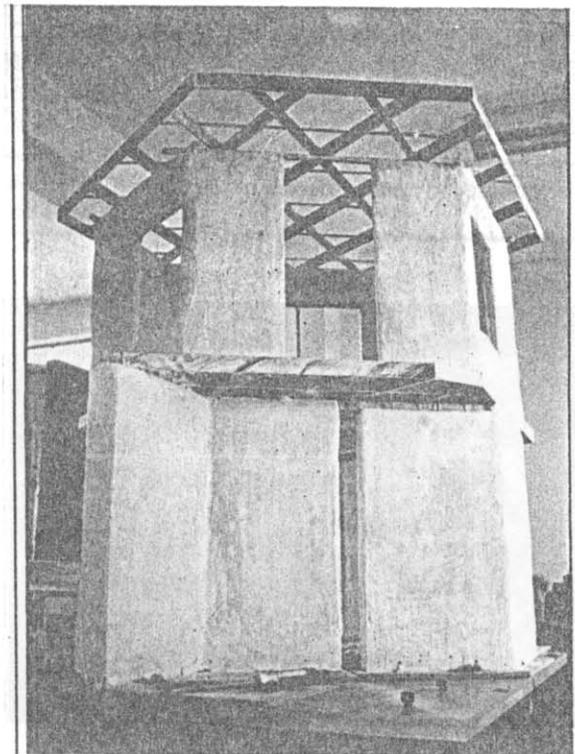
El segundo nivel se une al primero por medio de un entrepiso diafragmado de madera. La construcción de la quincha se realizó siguiendo las características constructivas tradicionales, es decir en base a un entramado de madera y caña. El revestimiento de

estos muros fueron hechos con barro. Finalmente para el acabado final tanto de los muros componentes como de la quincha, se preparó una mezcla de tierra, arena y cemento en una proporción 5x2x1 respectivamente, la cual se aplicó al espécimen en un espesor aproximado de 1 mm.

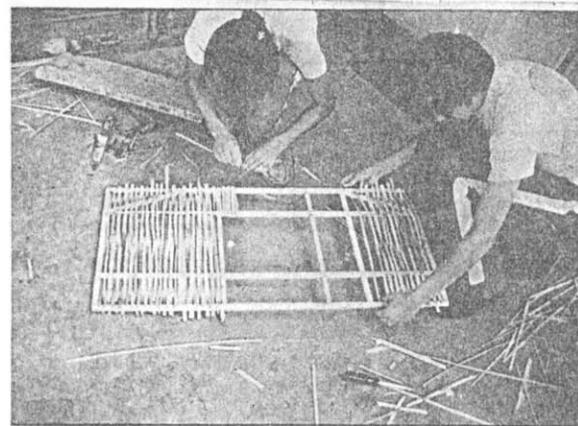
El techo estaba conformado por vigas de madera y una estructura similar al par y nudillo.

**- Módulo 3 Y - 3 L**

Este último módulo se fabricó de una manera similar al anterior, la diferencia fundamental estriba en la forma de los componentes; estos se derivan de una trama modular tridireccional y los ángulos de los elementos de muro son de 120°. La forma de los componentes son: 1 muro en forma de "Y"



Izquierda: Módulo mixto expedito para ser ensayado. Arriba: Muro componente del módulo Y-3L, una vez finalizada su fabricación. Abajo: Elaboración del segundo nivel (quincha).



y tres en forma de "L abierta".

El segundo nivel de quincha se diseñó de una manera tal que lograra someter la estructura a condiciones críticas, esto en relación a la rigidez de los muros; es por esta razón que se incluyó 4 vanos de ventana y uno de puerta para determinar los puntos críticos de fisura y así poder realizar las correspondientes recomendaciones de diseño y construcción posteriormente.

### 3.3.- Análisis de los ensayos

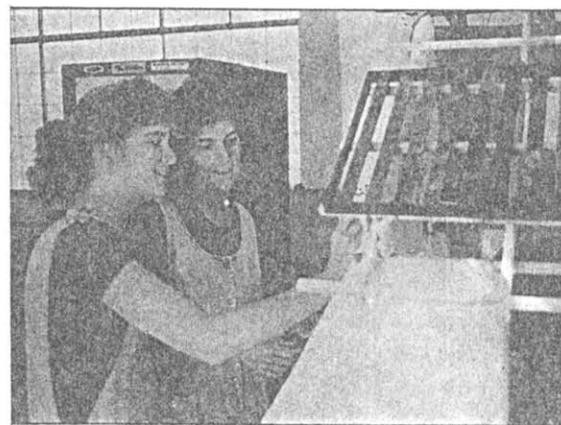
#### **Equipo de experimentación.**

El Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) es considerado como uno de los laboratorios más completos de Latino América y cuenta en el campo de estructuras con un equipo moderno y sofisticado, el cual fué utilizado para la ejecución de variados ensayos de especímenes.

Básicamente la serie de ensayos estuvo dividida en dos partes, las cuales también utilizaron distinto equipo:

a) La primera parte estuvo conformada por ensayos de componentes de muro y de módulos a escala 1/5 y se trataba de someter los especímenes a vibraciones o esfuer-

Preparación del equipo y coordinación de las técnicas de ensayo.

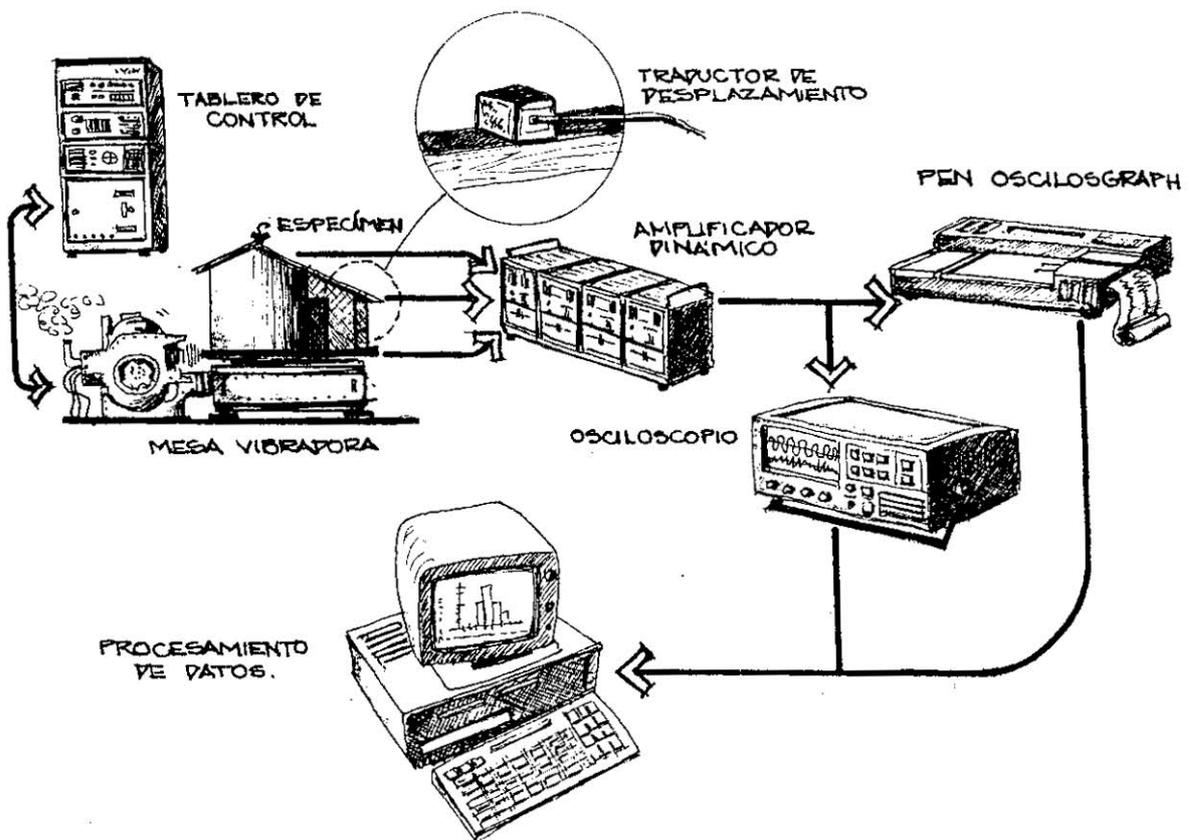


Un paso muy importante en la experimentación es ubicar y marcar el lugar de las fisuras que presenta el espécimen luego de ser sometido a esfuerzos.

zos dinámicos con la finalidad de determinar las características formales y constructivas de los modelos una vez ubicadas las zonas más débiles de la estructura.

El sistema básico para la técnica de experimentación está conformado por los siguientes equipos de medición y accesorios:

- 1.- Mesa vibradora y tablero de control.
- 2.- Amplificador dinámico.
- 3.- Osciloscopio y pen oscilograph.
- 4.- Centro de cómputo para el procesamiento de datos.



51

\* El equipo de la mesa vibradora esta conformada por:

- La consola o tablero de controles que contiene a su vez: un control de vibración automático con las cuales se producen las ondas sinusoidales, un control de vibración Randon (las cuales se asemejan a las ondas producidas en un sismo real); y un amplificador de potencia.
- El generador de vibración (modelo G 24-210), compuesto por una tabla (mesa) de deslizamiento horizontal Modelo G 61-112, y un acelerómetro ubicado a nivel de la mesa.

- El sistema de enfriamiento.

Cabe indicar que la mesa vibradora tiene una fuerza máxima de salida de 700 kg. (kg f) y la aceleración máxima que se puede obtener es del orden de los 5 G. De otro lado la velocidad máxima permisible es de 60 cm/seg y puede obtenerse un desplazamiento máximo de 90 mm. p.p (entre topes mecánicos); asimismo el rango de frecuencia es de 0.5 Hz a 200 Hz.

\* **Acelerómetros.**

Las respuestas del comportamiento de los especímenes sólo pueden observarse a

través de la ubicación de los acelerómetros en lugares claves de los especímenes. Los acelerómetros o traductores de desplazamiento utilizados fueron del modelo AS-2 GB KYOWA y nos daba una posibilidad de lectura de  $\pm 2$  Gals. Las respuestas son en voltios.

\* **El Amplificador Dinámico KYOWA** es del modelo DPM - 601 - A y tiene la función de amplificar las respuestas dinámicas en un rango de frecuencia de 0 a 10 KHz (para cada acelerómetro).

El Amplificador Dinámico se constituye en el paso intermedio entre los acelerómetros y el osciloscopio y su función básica es la de filtrar frecuencias de la mesa vibradora que, en caso de nuestros ensayos, se encontraban dentro de un rango de  $\pm 20$  Hertz.

\* **Los registradores de respuestas** que se utilizaron fueron dos:

- **Osciloscopio IWATSU DS-6121-A**, en el cual se puede observar comparativa y directamente las ondas de respuestas (en voltios), también nos permite "congelar" la imagen y comparar la forma de las ondas tanto de la mesa como de los traductores de desplazamiento fijados al espécimen; de otro lado podemos ubicar tanto la frecuencia con la cual se determina el período de vibración así como la aceleración en voltios que -en base a conversiones- nos permite obtener los desplazamientos.
- **PEN OSCILOGRAPH NEC BK-22-1-L** de 6 canales, el cual nos permite plotear directamente las ondas de entrada (mesa) y las respuestas de vibración de los modelos.

b) La segunda parte de los ensayos estuvo referida a la determinación de la resis-

tencia de los modelos a esfuerzos de tracción, compresión y corte, para ello se fabricaron y analizaron especímenes representativos tanto de tapial como de la quincha.

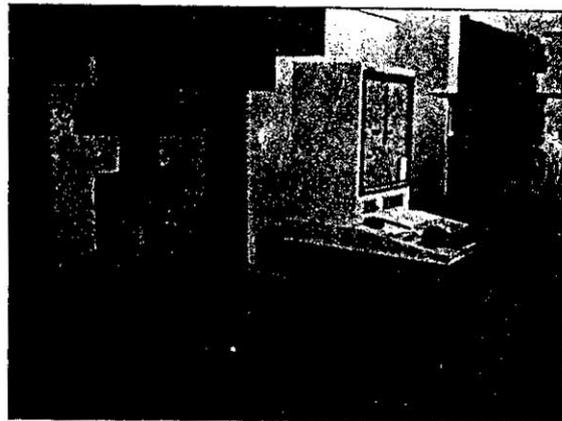
El equipo constó de:

- **Máquina Universal SHIMADZU** Mod. UH-F50A, y una unidad de control. La capacidad máxima es de 50 Tn.
- **Máquina de compresión SHIMADZU** Mod. UH-300 A y una unidad de control con modificación digital. Su capacidad máxima es de 30 Tn. Para la utilización de esta máquina también se utilizó instrumental adicional como son:
  - Un extensómetro Teclock Modelo Km-155 de 0.01 mm. a 50 mm. (Standard dial Gauges).
  - Una base magnética Kanatsu Modelo MB-OX, con una capacidad máxima de 60 kg.

---

Equipo utilizado en la segunda parte de los ensayos.

---



---

## **Descripción de los métodos de ensayo**

Los tipos de ensayos que se ejecutaron estuvieron divididos en dos etapas o partes tal como lo explicamos anteriormente y los métodos empleados para realizar cada uno de los ensayos también fueron distintos. Evidentemente que los ensayos realizados en la primera parte fueron más complejos y requirieron de un equipo más sofisticado.

La etapa de ensayo de los muros componentes y de los módulos fué realizada mediante pruebas dinámicas las cuales tienen bastantes ventajas por que mediante ellas se pueden obtener no sólo los períodos de vibración de los especímenes y las formas de modo, sino también la amplificación de los desplazamientos en base a una excitación inducida por medio de la mesa vibradora.

La primera etapa correspondiente al análisis de los muros componentes tenía por finalidad conocer el comportamiento de dichos muros sin ningún tipo de sobrecarga o influencia de otras estructuras, de esta manera -mediante la experimentación-, se pudieron encontrar los puntos vulnerables del muro para luego poder diseñar uno u otro tipo de refuerzo.

Tanto el análisis de los muros componentes como de los módulos fueron desarrollados utilizando acelerómetros que se ubicaron en distintas partes del espécimen; las respuestas se compararon con las aceleraciones de entrada de la mesa de vibración, utilizando para ello el osciloscopio y el pen oscilograph.

En el caso del análisis de los módulos, cada uno de los traductores de desplazamientos

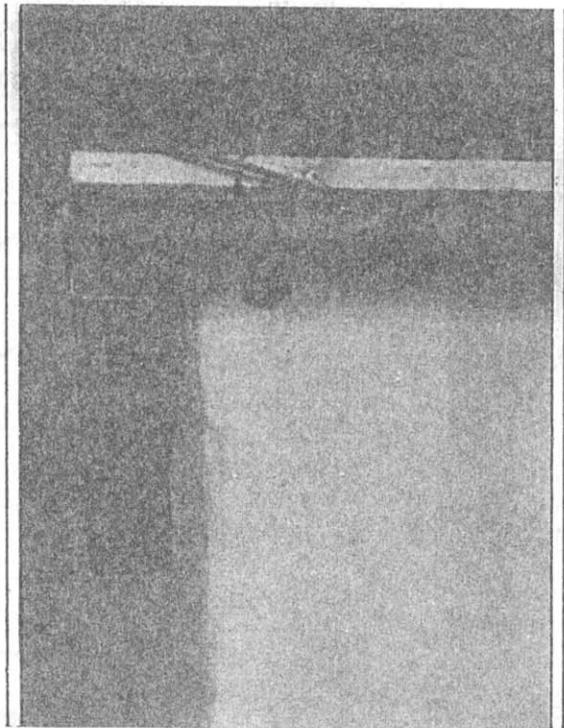
se ubicaron en zonas representativas de cada espécimen; en aquellos módulos de dos niveles a escala 1/5 se ubicaron los acelerómetros en el entrepiso y el techo con la finalidad de conocer la amplificación de desplazamientos en estos puntos.

Respecto a la segunda etapa el procedimiento de ensayo fué menos complicado y los resultados obtenidos fué por medio de una lectura directa del ensayo.

---

La ubicación de los traductores de desplazamientos (acelerómetros) es realizada cuidadosamente. Se eligen lugares adecuados en el espécimen para su localización.

---

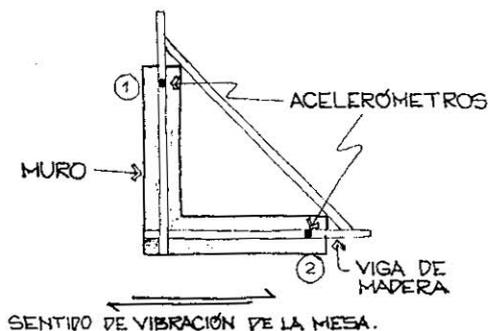


## Ejecución de ensayos

### a.- Muro Componente 1 - L.

Este componente fué fabricado siguiendo las características constructivas vernaculares y no guarda ningún tipo de refuerzo.

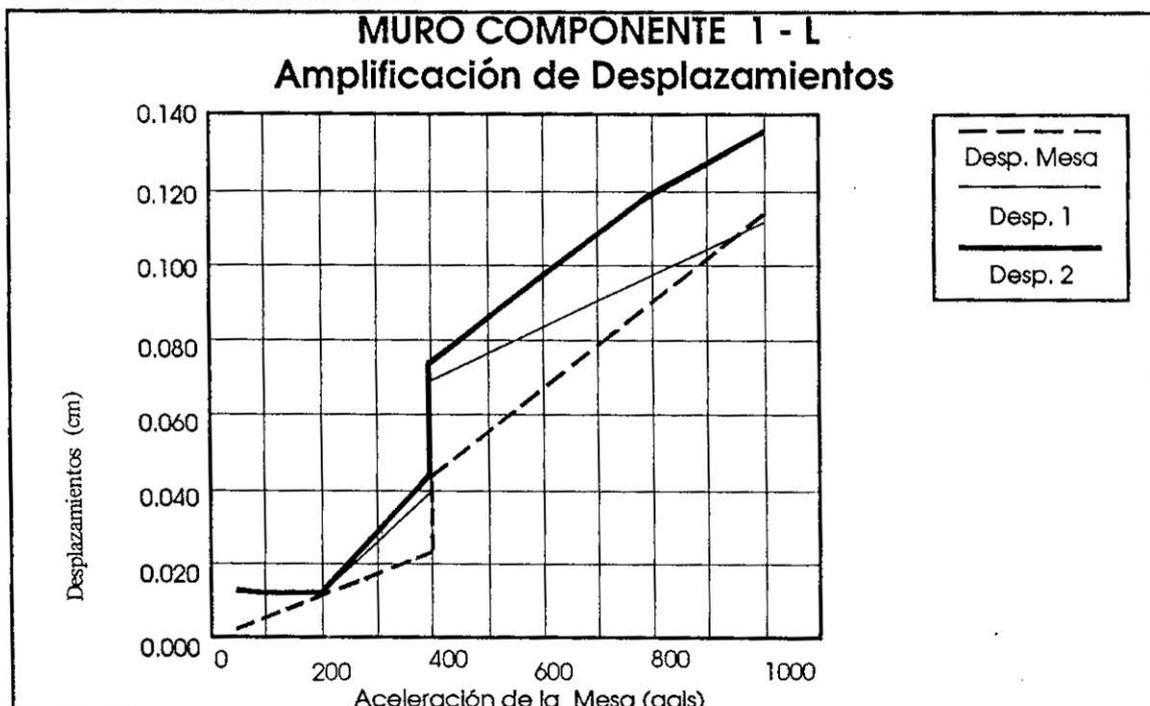
Una vez realizado el montaje del espécimen de ensayo en la mesa vibradora, se



procedió a fijar los traductores de desplazamiento uno en el 'muro' paralelo a la dirección de la vibración de la mesa y otro en el perpendicular, ambos en un mismo nivel.

Se realizó el ensayo bajo vibraciones sinusoidales con frecuencia de 20 a 10 Hz con un rango de aceleraciones de 0.05 G a 1 G en la base, por un tiempo constante en promedio de 15 segundos para cada paso de aceleración de entrada.

El gráfico anterior nos permite apreciar la amplificación que se produce en determinado punto del espécimen respecto a la mesa. La línea continua inferior corresponde a la mesa vibradora y las demás corresponden a los acelerómetros 1 y 2; al no ser paralelas



## MURO COMPONENTE 1 - L

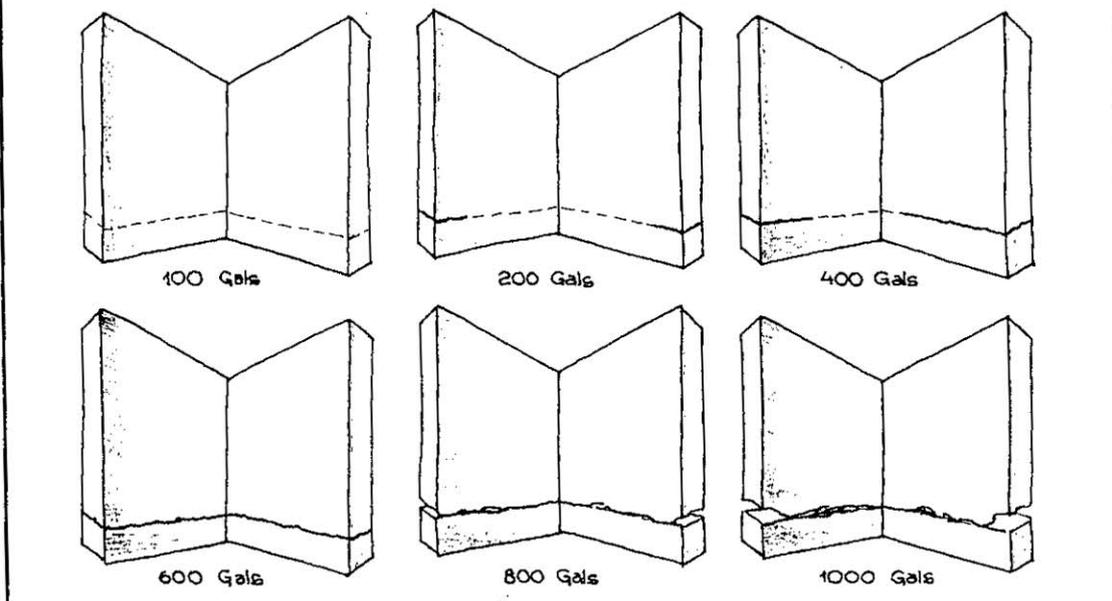
AC-MESA (gals)	Desp. Mesa (cm)	Desp. 1 (cm)	Desp. 2
50	0.003	0.013	0.013
100	0.006	0.011	0.011
200	0.013	0.011	0.012
400	0.025	0.041	0.044
400	0.045	0.068	0.071
600	0.067	0.080	0.095
800	0.090	0.096	0.121
1000	0.112	0.107	0.135

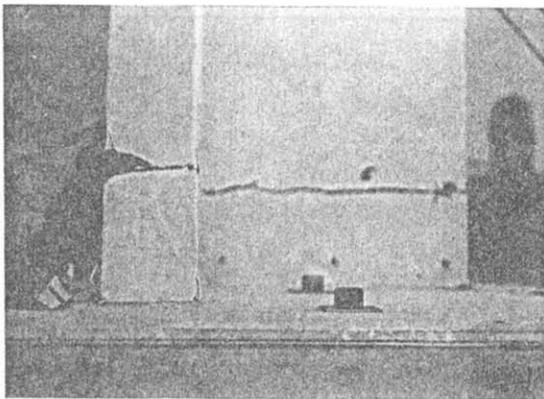
estas líneas a la de la mesa nos indica que las amplificaciones no son constantes aunque el muro paralelo (acelerómetro 2) por ser más rígido que el muro perpendicular al sentido del movimiento de la mesa, tiende a ser constante a partir de los 400 gals.

Podemos decir que para la frecuencia de 20 Hz; con aceleraciones de 50, 100 y 200 gals no se presentaron grietas significativas en los 'muros' del componte 1-L. Al aumentar la aceleración a 400 gals -para una frecuencia de 20 Hz- comenzó a separarse la

55

### Componente 1-L Historia de agrietamiento

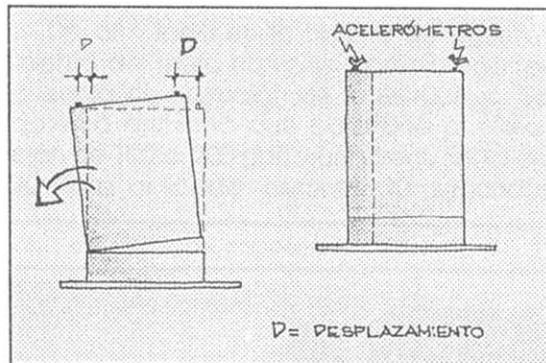




La unión del muro con el cimientto es la zona más frágil de la estructura.

jointa de construcción entre el muro de tapial y el sobrecimiento, para luego desprenderse totalmente al disminuir la frecuencia de vibración a 15 Hz para el mismo nivel de aceleración. Al aumentarse la aceleración a 600 gals y con una frecuencia de 15 Hz, el componente no mostró variación en su comportamiento vibrando separadamente cada sección del muro sin incrementarse mayormente el agrietamiento excepto pequeñas grietas verticales en la parte superior del muro. El desprendimiento de la unión muro-cimiento se produjo a los 800 gals bajo una vibración de 15 Hz; y al aumentar la aceleración a 1000 gals se produjo un mayor desprendimiento de pedazos del muro en los extremos inferiores del muro, con lo cual se puede decir que dicho componente alcanzó el colapso.

Cabe mencionar que se obtuvo una mayor respuesta en aceleración en el 'muro' paralelo a la dirección de la vibración que en el 'muro' perpendicular a esta, en un porcentaje promedio del 20%, esto debido al desprendimiento del muro componente respecto al sobrecimiento.

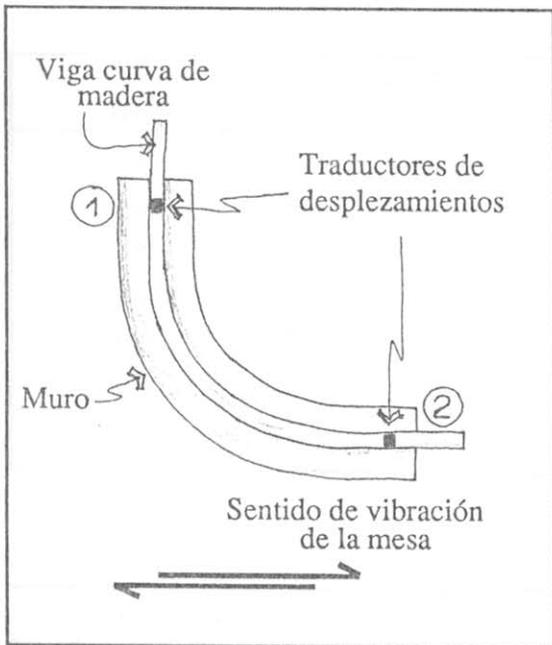


**b.- Muro Componente 1 - C.-** Este muro curvo fué fabricado siguiendo las mismas características constructivas del módulo anterior más un tipo de refuerzo de caña (horizontal y vertical) en la parte interior del muro. En la parte exterior de éste se ubicaron 3 tensores de alambre que unían el cimientto con la viga solera.

Con un proceso similar a la anterior prueba se colocaron los traductores de desplazamiento en la parte superior del muro y se inició el ensayo bajo vibraciones sinusoidales

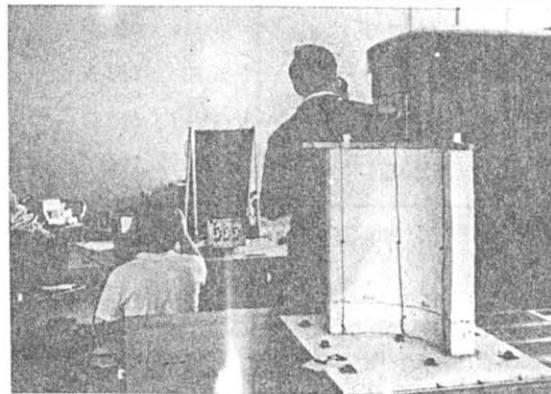
La frecuencia de vibración estuvo en el rango de 10 y 15 Hz y con una variación de aceleraciones de 50 a 1000 gals, en un tiempo promedio de 10 segundos para cada paso.

En el gráfico que muestra la amplificación de desplazamientos del muro componente 1 - C se aprecia un incremento homogéneo de las amplificaciones tanto del acelerómetro 1 como del 2 respecto a la mesa, notándose que dicho incremento es mínimo hasta los 800 gals. Este hecho nos indica la gran rigidez del muro curvo así como la mayor capacidad para comportarse como una unidad. A partir de los 800 gals se nota una excesiva amplificación de más de 300%. A los 1000 gals el muro llega a vibrar separadamente del sobrecimiento.

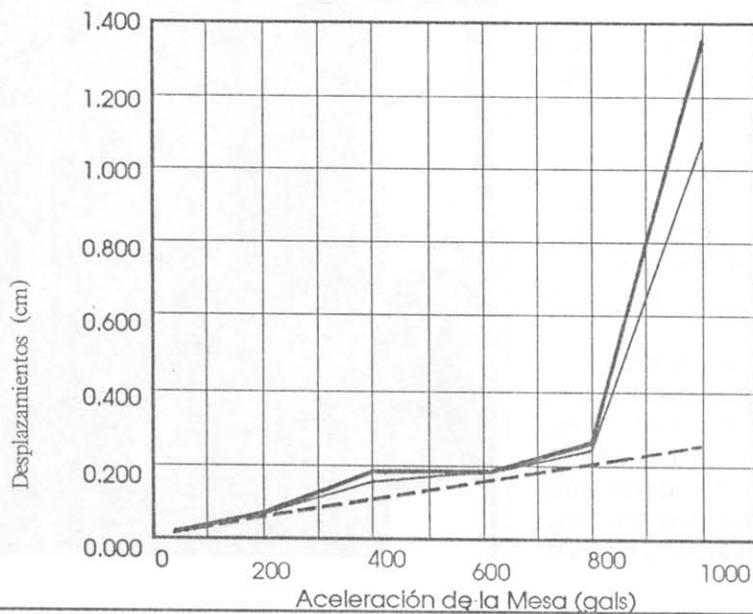


De otro lado en la historia de agrietamiento del muro curvo se aprecia una secuencia de fisuración de la estructura. Se observa asimismo que para una aceleración de 100 a 200 gals y una frecuencia de 10 Hertz aplicada durante 10 segundos

Inicio del ensayo del componente de muro 1 - C.



### COMPONENTE DE MURO 1 - C Amplificación de Desplazamientos



--- Desp. Mesa

— Desp. 1

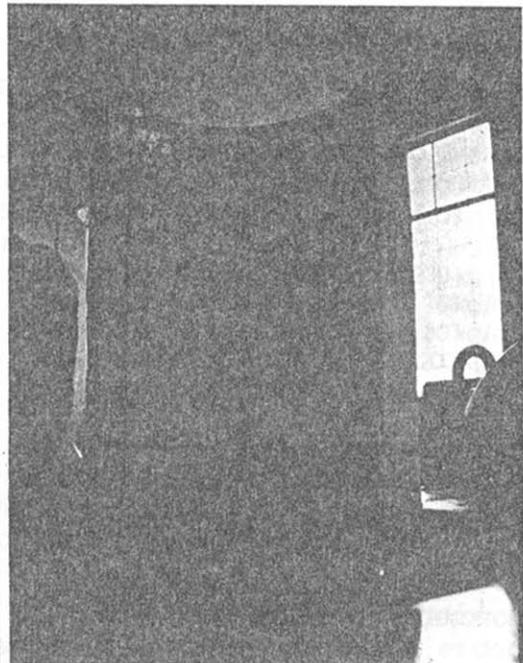
— Desp. 2

## MURO COMPONENTE 1 - C

AC-MESA (gals)	Desp. Mesa (cm)	Desp. 1 (cm)	Desp. 2 (cm)
50	0.013	0.014	0.017
100	0.025	0.026	0.028
200	0.051	0.059	0.061
400	0.101	0.146	0.162
600	0.152	0.183	0.183
800	0.203	0.248	0.264
1000	0.253	1.097	1.366

58

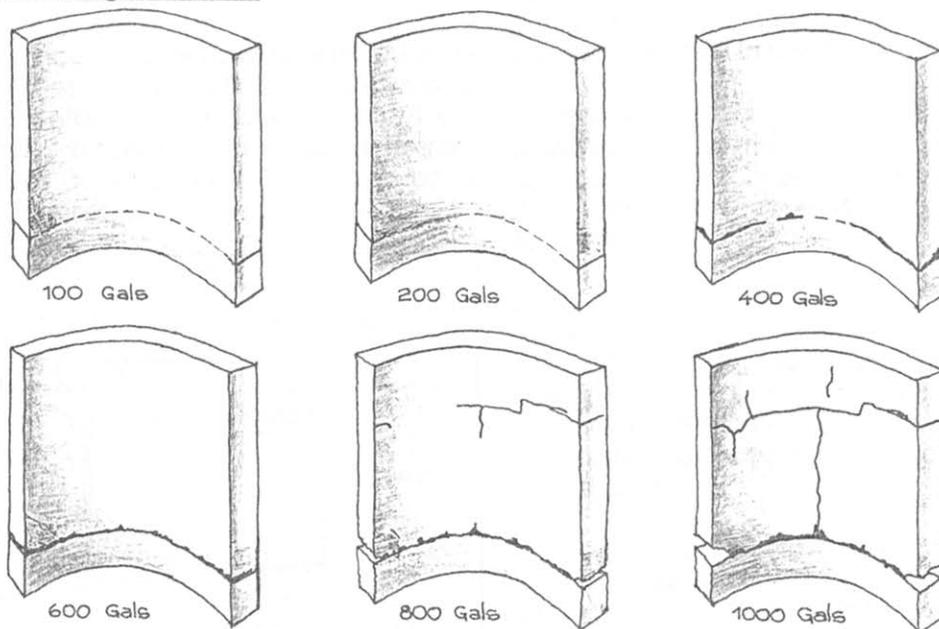
Proceso de ensayo del muro 1- C.



-para cada entrada de aceleración- sólo se producen grietas iniciales y superficiales. Cuando se incrementó la aceleración a 400 gals recién empezó a notarse las fisuras en la unión del muro con el sobrecimiento. A partir de los 600 gals y conservando la frecuencia de 10 Hertz, se nota un incremento de las fisuras a lo largo de la unión cemento-muro, para luego con una aceleración de 800 y 1000 gals llegar a lo que se podría considerar como el colapso del espécimen pero sin llegar en ningún momento a producirse el volteo del mismo. También se observaron algunas grietas verticales y horizontales en distintas partes del muro pero todas ellas sin comprometer la integridad de la estructura de tapial.

Se obtuvo una mayor respuesta en aceleración en el extremo del muro cuya tangente es paralela al sentido de las vibraciones que en el extremo con tangente perpendicular al mecionado sentido, en un porcentaje aproximado de 20 a 30% dependiendo el nivel de celeración pico usado.

**Componente 1-C**  
**Historia de agrietamiento**



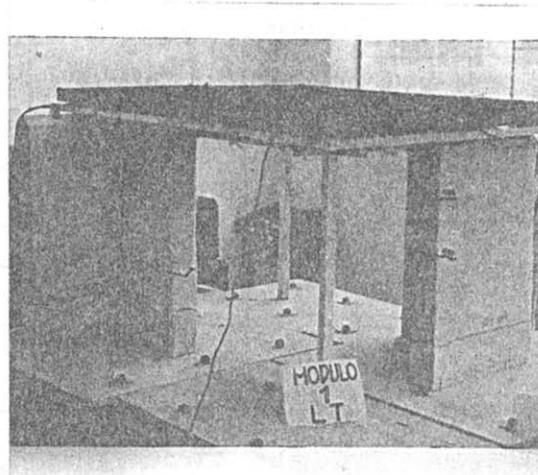
**c.- Módulo 1 L - T.-** Este primer módulo estuvo compuesto por dos muros componentes unidos por medio de un entrepiso diafragmado de madera el cual recibió una sobrecarga aproximada de 56 kilos correspondiente a:

- Peso de la quinchia del 2do. nivel 230 kg/m<sup>2</sup>
- Peso del entrepiso 1er. nivel 15 kg/m<sup>2</sup>
- Peso del Techo 2do. Nivel 30 kg/m<sup>2</sup>
- Sobrecarga 200 kg/m<sup>2</sup>  
(valores a escala natural)

La ubicación de los acelerómetros fué realizada tomando en cuenta los puntos más rígidos de la estructura (en la parte superior de cada componente).

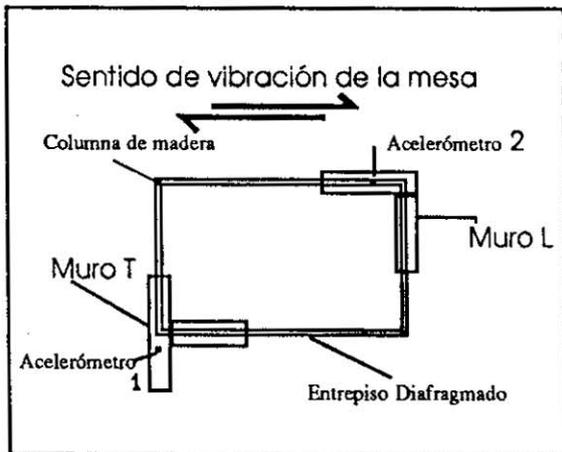
El ensayo de este módulo se desarrolló siguiendo la metodología anterior, es decir mediante vibraciones de frecuencia de 10

El módulo 1 L-T compuesto por 2 módulos de tapial en forma de L y T. Nótese el complemento estructural de la edificación en base a vigas de madera.



Hertz, en un rango de aceleraciones de 50 a 1000 gals y con un tiempo de vibración de 10 segundos para cada paso.

El gráfico correspondiente al módulo 1 L-T nos muestra la amplificación de los desplazamientos tanto del acelerómetro 1 como del 2 respecto a la mesa. El desplazamiento del acelerómetro ubicado en la parte superior del componente del muro "T"

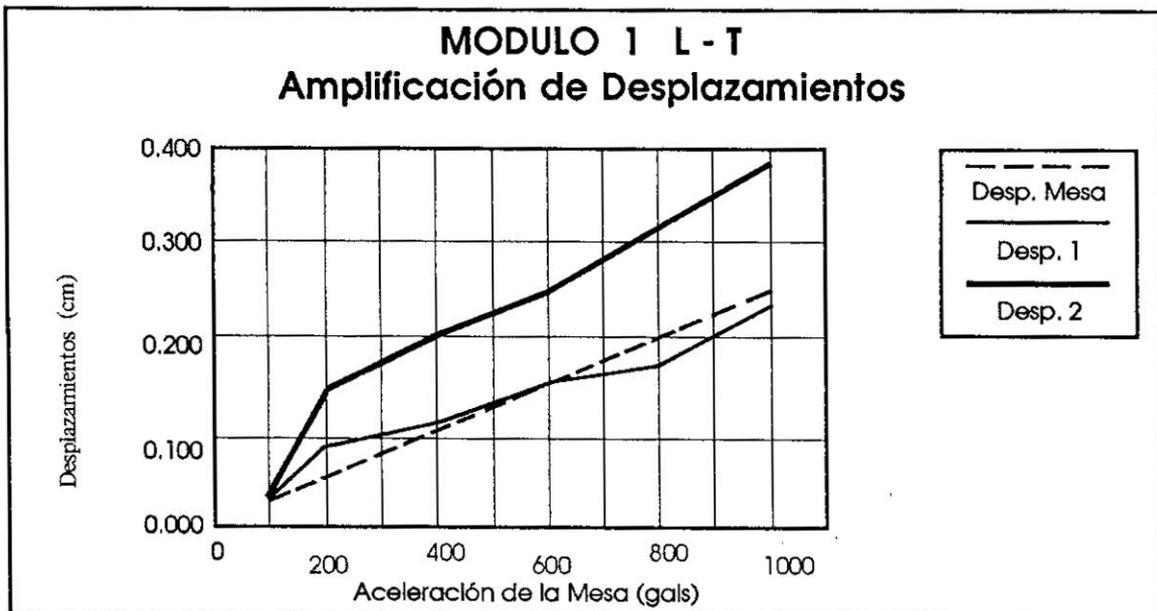


es importante hasta los 200 gals. A partir de los 400 gals se nota una amplificación mínima del muro "T", para luego desde los 600 a 1000 gals reducirse aún más estas amplificaciones respecto a la mesa.

Pese a la menor amplificación del desplazamiento del muro "T" los daños y el agrietamiento fué mayor respecto al muro "L" tal como se aprecia en la historia de agrietamiento.

Tal como lo dijimos páginas atrás, el muro componente "L" fué construído de una manera diferente a los anteriores, es decir se ubicaron refuerzos interiores de alambre -a manera de tensores cortos- esto permitió que dicho muro tenga un comportamiento distinto al muro "T".

El componente "L" tuvo una amplificación de desplazamiento mayor con valores casi constantes desde los 200 hasta los 600 gals. A partir de los 800 gals hasta los 1000 gals sólo se nota un ligero incremento en su despla-



Módulo 1 L-T Historia de agrietamiento	← MURO T	MURO L →
100 GALS		
200 GALS		
400 GALS		
600 GALS		
800 GALS		
1.000 GALS		

## MODULO 1 L - T

AC-MESA (gals)	Desp. Mesa (cm)	Desp. 1 (cm)	Desp. 2 (cm)
100	0.025	0.028	0.036
200	0.051	0.087	0.141
400	0.101	0.109	0.201
600	0.152	0.153	0.244
800	0.203	0.176	0.315
1000	0.253	0.231	0.391

miento; esto nos demuestra la mayor flexibilidad del muro así como una mayor capacidad de absorber los esfuerzos torsionales que se presentaron en la estructura.

A una aceleración de 50 a 100 gals no hubo formación de grietas. Cuando se alcanzó los 200 gals, se formaron grietas en el componente "T" en el 'muro' perpendicular a la dirección del sentido de las vibraciones, acentuándose en profundidad cuando se llegó a los 400 gals; con esta misma aceleración el componente "L" sólo mostró un pequeño agrietamiento en la zona de unión muro-cimiento y en el muro paralelo al sentido de las vibraciones.

Al pasara los 600 gals, en el muro componente de muro "T" se profundizaron las grietas existentes y aparecieron otras verticales y horizontales, en cambio en el muro "L" sólo se extendió la fisura muro-cimiento. En el siguiente paso se aplicó una aceleración en la base de 800 gals, apreciándose grietas profundas en la unión muro-cimiento tanto del muro "T" como del muro "L", así como grietas en ambos componentes. Siempre

para una misma frecuencia de 10 Hz, con una aceleración de 1000 gals se acrecentaron y profundizaron las grietas anteriores tanto en el componente "T" como en el "L".

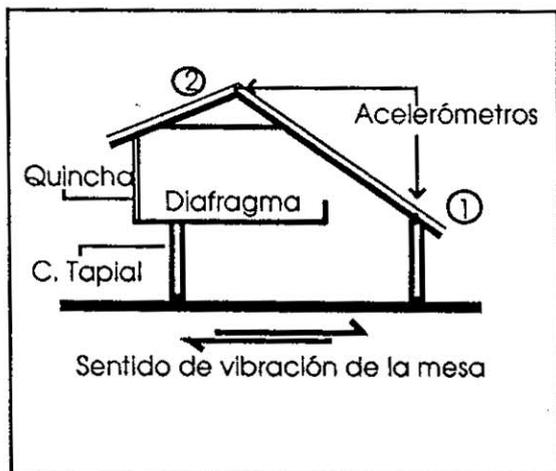
Adicionalmente, con respecto al nivel de respuestas de aceleraciones obtenidas, notamos que el componente "T" toma menor aceleración en un 80 a 100% con respecto al componente "L".

En este módulo hemos notado movimientos torsionales a consecuencia de la ubicación (en ambos extremos del módulo) de dos componentes de distinta rigidez. Es evidente que el muro "L" respondió de mejor forma a dicho esfuerzo, aún notándose que su nivel de desplazamiento fué mayor.

**d.- Módulo 2 2T - 2L - C.-** Este es el primer módulo de dos niveles que fué construido en base a un sistema mixto de tapial y quincha. El primer nivel compuesto por 5 componentes fué amarrado por un entrepiso diafragmado el cual servía como elemento de unión con la quincha.

Los acelerómetros en este caso fueron ubicados uno en el entrepiso y otro en el techo del módulo de ensayo.

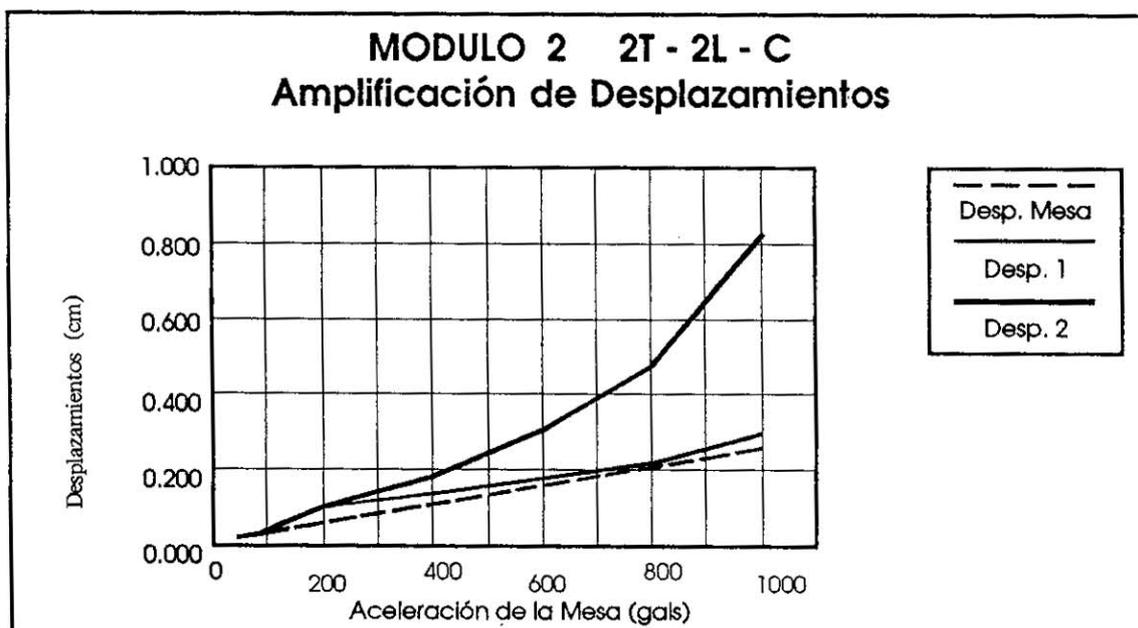
El proceso de ensayo fué similar a los anteriores y se utilizaron vibraciones de frecuencia de 10 Hertz y en un rango de ace-



leraciones de 50 a 1000 gals; de la misma forma que el ensayo anterior se mantuvo una vibración de 10 seg. para cada paso.

Podemos apreciar las amplificaciones de los desplazamientos de este módulo en el siguiente gráfico, en el cual los niveles de desplazamiento del acelerómetro 1 son mínimos y van acompañados a los desplazamientos de la mesa vibratora. En términos generales podemos decir que dicha amplificación fué constante, esto debido entre otras razones a la mayor rigidez de los muros componentes y también a la mayor cantidad de muros respecto al módulo anterior.

De otro lado podemos decir que la quincha (como es ya sabido) presenta un mayor grado de flexibilidad y los desplazamientos que tiene no son constantes sino que se incrementan de acuerdo al nivel de excitación de la mesa. Se nota asimismo una mayor amplificación de esta estructura respecto al primer nivel.



## MODULO 2 2T - 2L - C

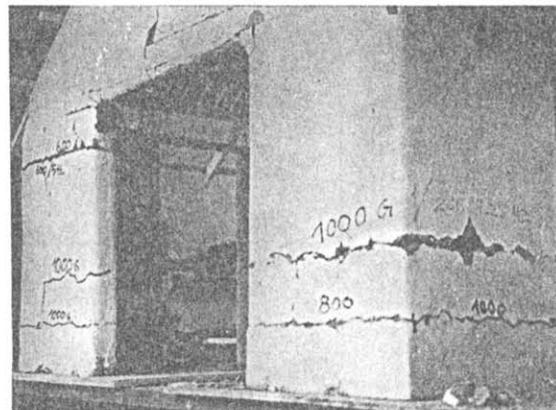
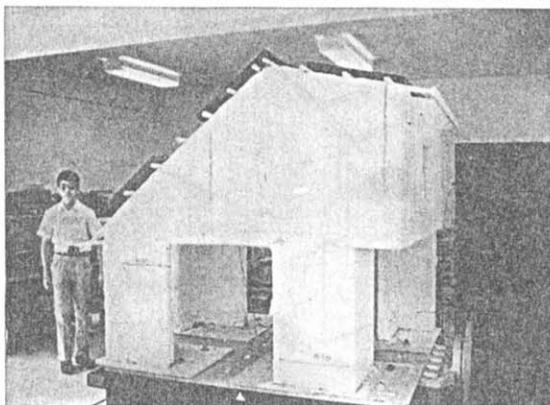
AC-MESA (gals)	Desp. Mesa (cm)	Desp. 1 (cm)	Desp. 2 (cm)
50	0.013	0.014	0.013
100	0.025	0.030	0.033
200	0.051	0.072	0.072
400	0.101	0.118	0.175
600	0.152	0.167	0.296
800	0.203	0.211	0.479
1000	0.253	0.294	0.819

64

En la historia de agrietamiento del módulo 2, se aprecia que a una aceleración de 50 a 100 gals no se notó ningún tipo de agrietamiento en el primer nivel ni tampoco en el segundo. Sólo a partir de los 200 gals se insinuaron pequeñas fisuras en la unión de

La foto de abajo muestra las primeras fisuras al inicio del ensayo.

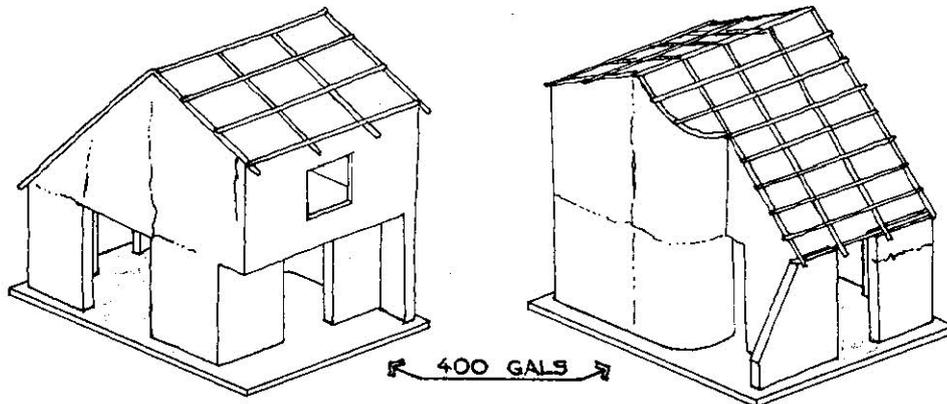
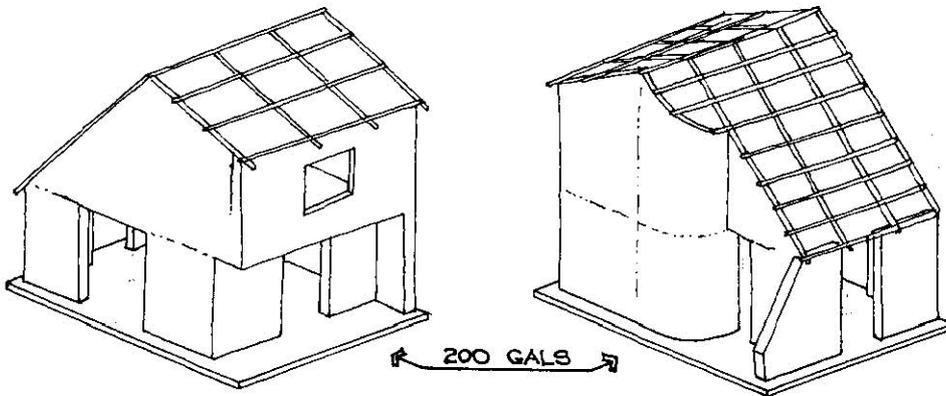
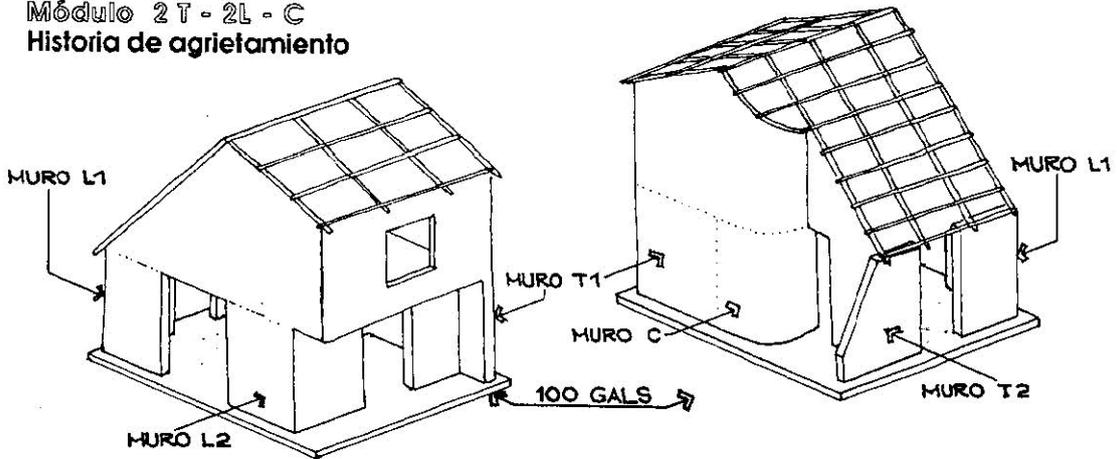
En la foto de la derecha podemos observar los lugares más dañados de la estructura una vez finalizado el ensayo.

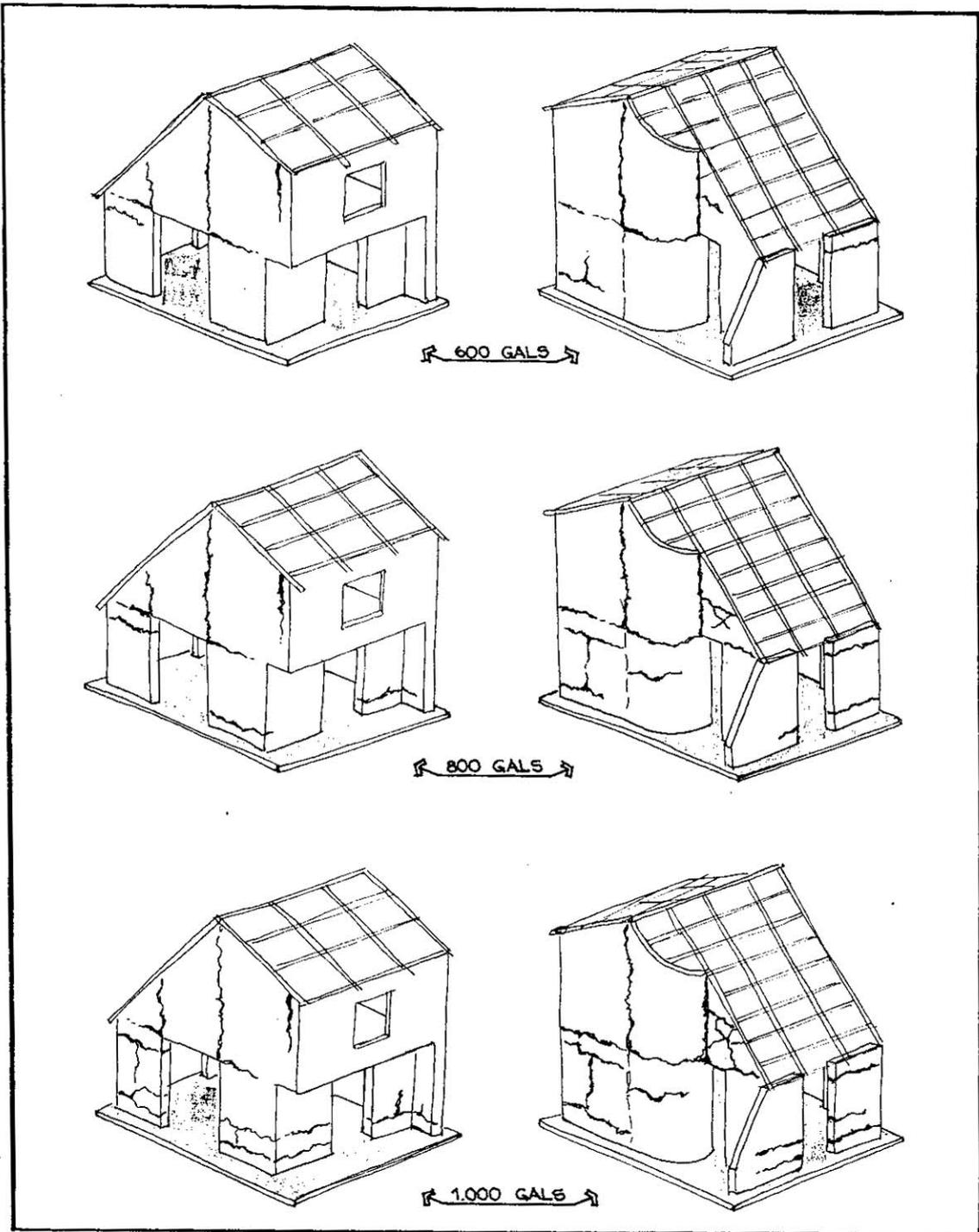


ambos niveles. Las fisuras típicas en las construcciones de quincha (verticales) se apreciaron a los 400 gals así como una fisura en la parte superior del componente "L1". Cuando la aceleración de la mesa alcanzó los 600 gals se profundizaron las fisuras existentes y aparecieron otras tanto en el componente "T1" así como en el segundo nivel de quincha.

Para una aceleración de 800 gals se observó un mayor agrietamiento en la parte inferior y superior de los componentes de muro

Módulo 2T-2L-C  
Historia de agrietamiento

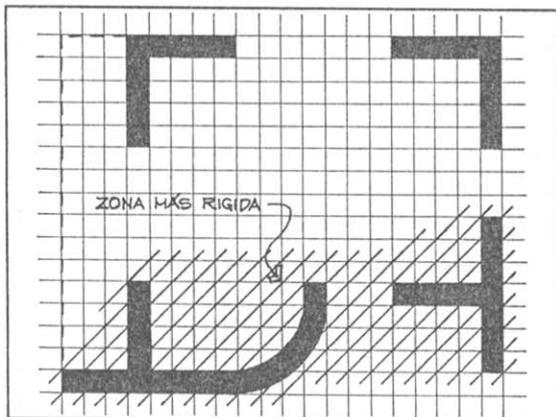




66

"T1" y "L2" así como una concentración de fisuras en **una zona** (ver la historia de agrietamiento) del segundo nivel la cual fué diseñada para absorber la mayor cantidad de esfuerzos. Hacia los 1000 gals se notaron fisuras profundas tanto en la parte inferior del componente "L2" como en la parte superior del muro "L1", también apreciamos fisuras considerables en el muro "T1". Respecto al segundo nivel, las fisuras de consideración sólo se concentraron en la zona señalada y las demás grietas sólo fueron superficiales; estas grietas en ningún caso comprometieron la estructura total del edificio.

Se puede decir que el componente que tuvo mejor comportamiento frente a los esfuerzos fué el muro curvo el cual sólo sufrió unas cuantas fisuras de menor importancia.



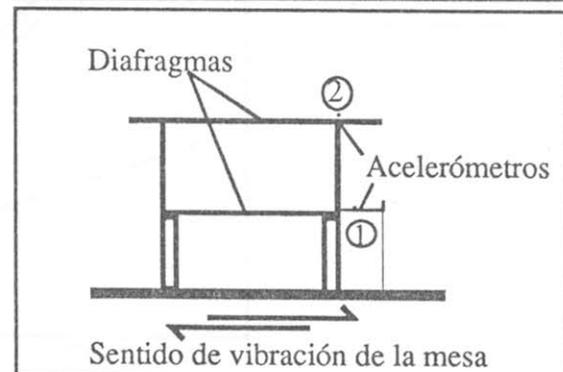
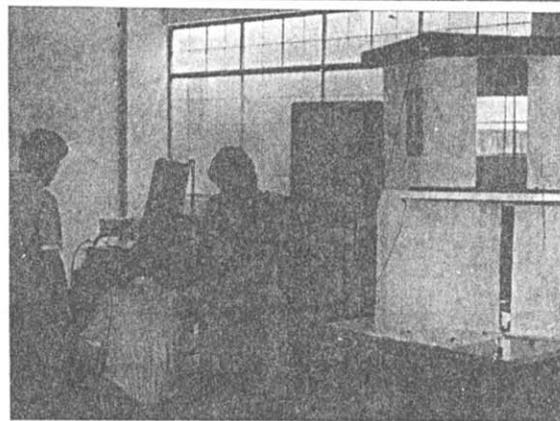
Respecto al comportamiento integral de la edificación se notó que el sistema mixto tiene una forma de vibrar no sólo con un grado de libertad (en un solo sentido) sino también en ambos sentidos e incluso con un movimiento rotacional. Esto se produjo por la concentración de tres componentes de muro bastante rígidos (especialmente el muro curvo) en un lado de la edificación.

Fué por esta razón que los componentes más afectados fueron los muros L, los cuales presentaron fallas por corte tanto en la parte inferior del muro como en la parte superior.

**e.- Módulo 3 Y - 3 L.-** El módulo 3 fué fabricado bajo las mismas características del anterior, es decir de dos niveles (componentes de tapial y quincha). El primer nivel estaba compuesto por 4 componentes de muro tres de ellos en forma de "Labierta" que fueron bastante flexibles y un elemento en forma de "Y" bastante rígido.

La ubicación de los acelerómetros también fue similar al caso anterior, es decir el primero ubicado en el entrespacio y el segundo en el techo.

Inicio del ensayo del módulo 3 Y - 3L.



De igual forma se utilizó una vibración de frecuencia de 10 Hertz a una aceleración que variaba entre 50 y 1000 gals. El tiempo de vibración fué de 10 seg. para cada paso.

El siguiente gráfico nos permite apreciar las ampliaciones de los desplazamientos comparando aquellos detectados por los acelerómetros 1 y 2 respecto a la mesa.

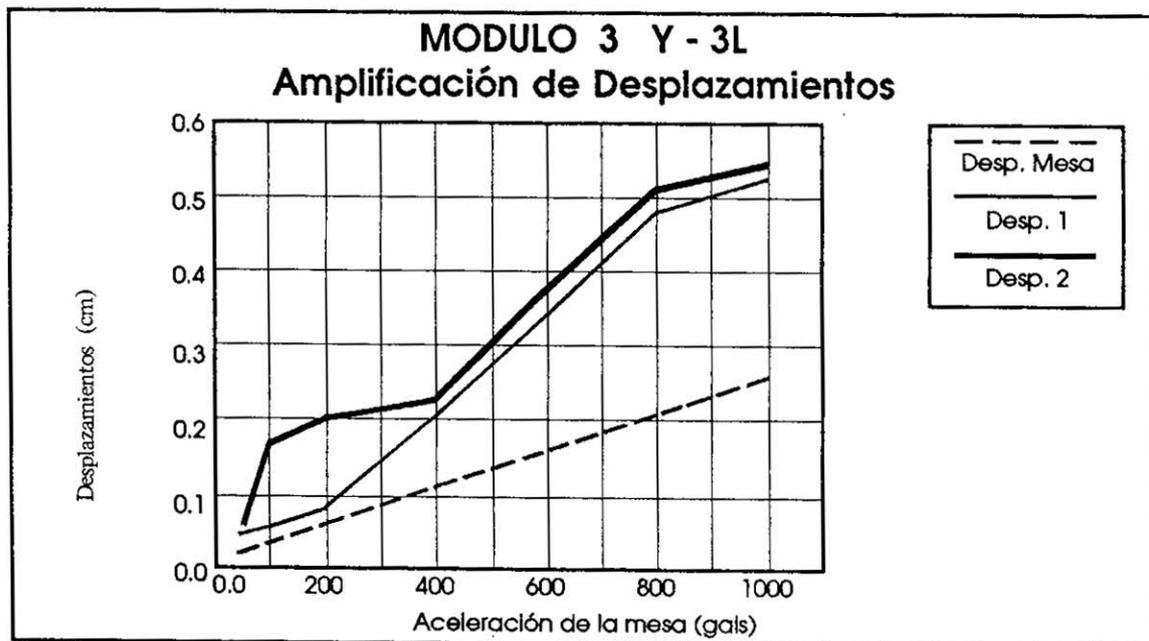
Si comparamos el presente gráfico con el del anterior módulo notaremos una variación en el comportamiento de los muros de tapial. Por medio del acelerómetro 1 podemos observar el gran desplazamiento que tienen los componentes del módulo 3 con notoria diferencia frente al comportamiento del anterior módulo cuyo desplazamiento fue mínimo; esto se debió en gran medida a la forma de los componentes -3 muros de 4 fueron flexibles- los cuales por tener un refuerzo de alambre en el interior del mantuvieron un comportamiento más dúctil.

De otro lado el segundo nivel tuvo una

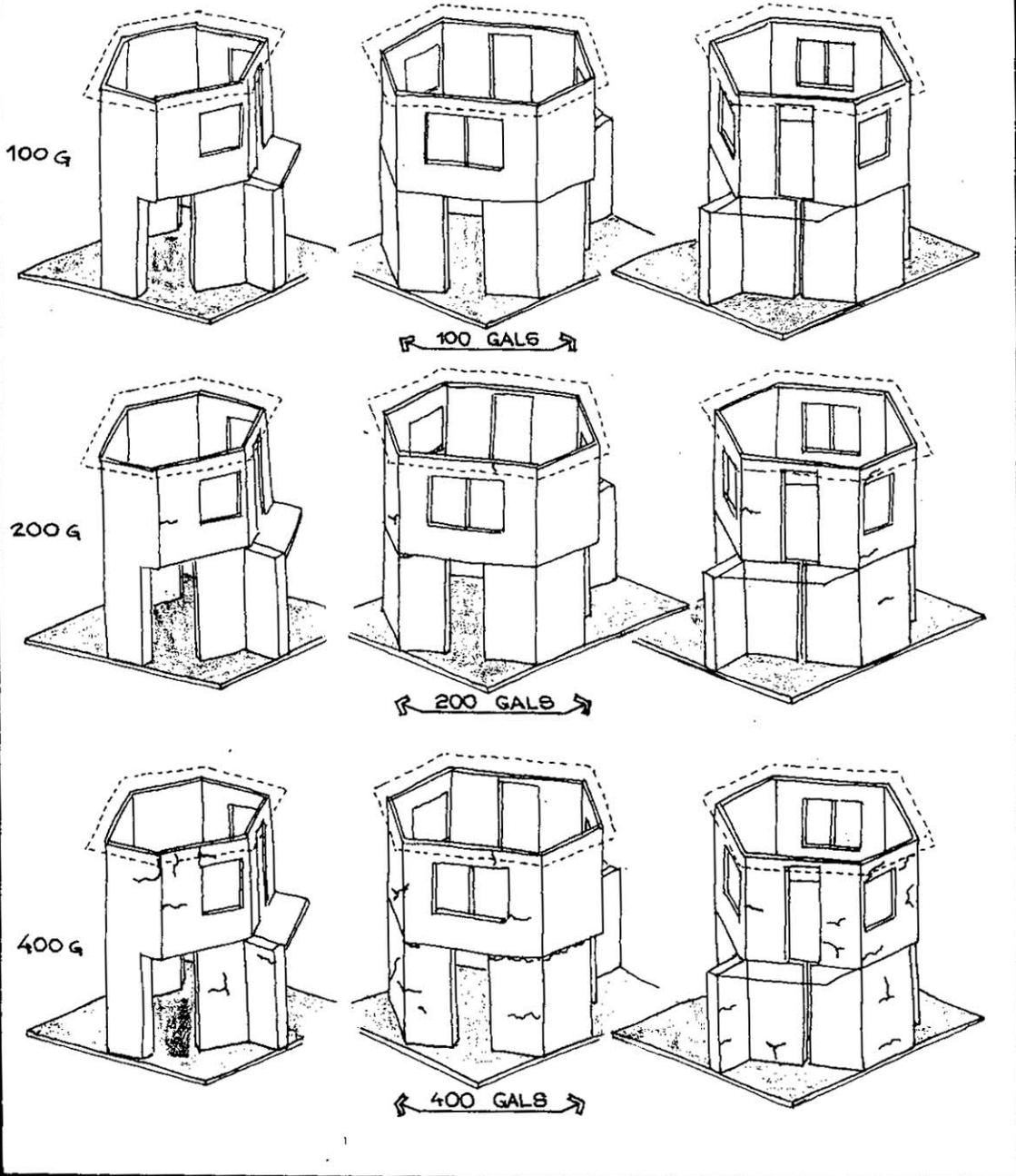
ampliación de desplazamientos bastante considerable en relación a la excitación de la mesa, notándose un desplazamiento constante (paralelo) respecto a los componentes de tapial.

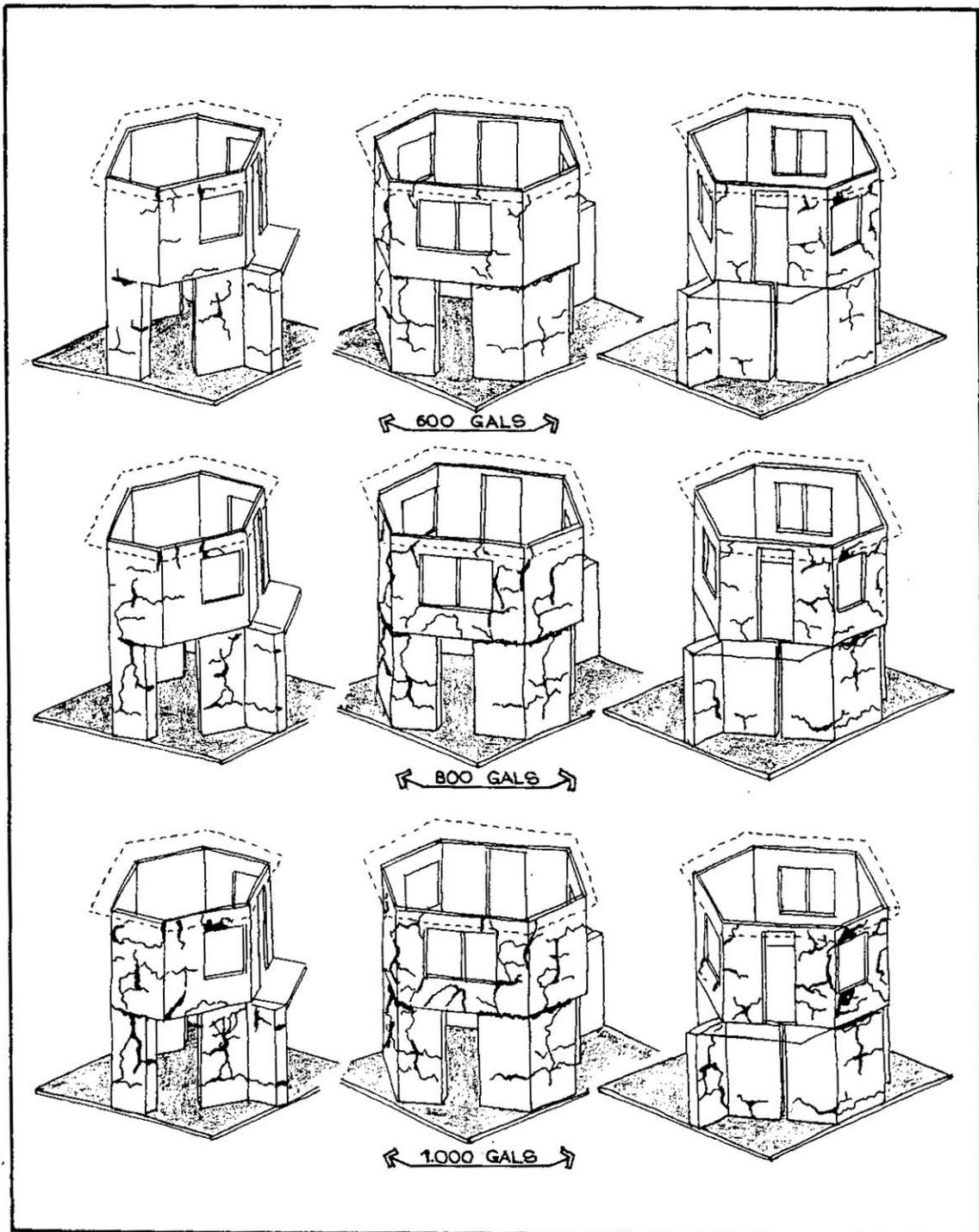
Apreciamos asimismo que desde los 50 hasta los 200 gals tanto el tapial como la quincha tuvieron un desplazamiento distinto, es decir mientras que el tapial mantenía una ampliación constante respecto a la mesa, la quincha tuvo una ampliación de desplazamientos mucho más significativa. A partir de los 400 hasta los 1000 gals se nota que toda la estructura mantiene un comportamiento homogéneo y casi constante.

La historia de agrietamiento del módulo 3 muestra en primer lugar que dicho espécimen no presenta ningún tipo de fisuras luego de ser sometido a una aceleración de 50 y 100 gals. A partir de los 200 gals de aceleración el módulo recién tuvo unas cuantas grietas superficiales especialmente en los muros de quincha. Se apreció luego de ser



Módulo Y - 3L  
Historia de agrietamiento





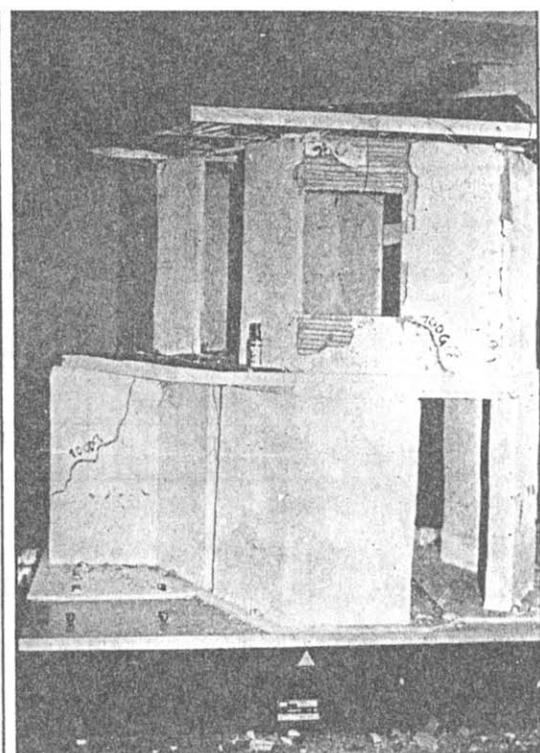
### MODULO 3 Y - 3L

AC-MESA (gals)	Desp. Mesa (cm)	Desp. 1 (cm)	Desp. 2 (cm)
50	0.013	0.038	0.051
50	0.013	0.044	0.064
100	0.025	0.054	0.163
200	0.051	0.076	0.203
400	0.101	0.203	0.238
600	0.152	0.336	0.383
800	0.203	0.470	0.509
1000	0.253	0.525	0.553

sometido el módulo a una vibración de 400 gals un mayor agrietamiento algunas de ellas concentradas alrededor de los vanos del segundo nivel; de otro lado los muros componentes también tuvieron grietas superficiales. Para una aceleración de 600 y 800 gals las fisuras se concentraron aun más alrededor de los vanos en los muros de quincha, de la misma forma los componentes sufrieron agrietamientos en distintas partes del muro. Sólo cuando la estructura fué sometida a una aceleración de 1000 gals se observaron grietas profundas y significativas especialmente cerca a los vanos de ventana de los muros de quincha; en cambio los componentes tuvieron grietas importantes pero no llegaron a comprometer seriamente la estructura.

Es evidente que el diseño muy frágil del segundo nivel (4 vanos) contribuyó a que la quincha tuviera un movimiento excesivamente libre. Si bien es cierto que la quincha tiene un comportamiento bastante dúctil, es necesario que se incluyan refuerzos diagonales a estas estructuras de tal manera que se logre una mayor rigidez.

Módulo 3 una vez finalizado el ensayo.

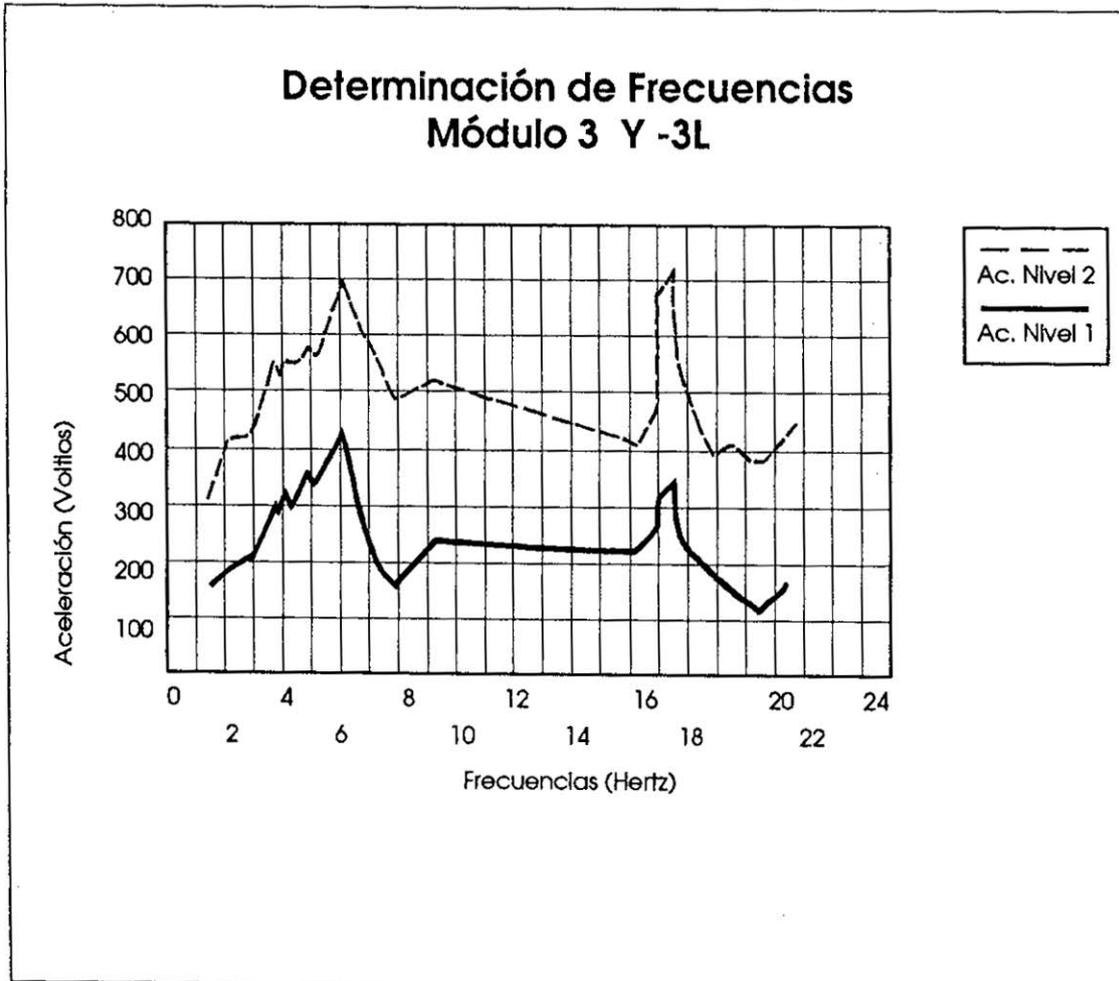


### Determinación de las frecuencias críticas del Sistema Mixto.

Para la determinación de las frecuencias críticas se utilizó una metodología de ensayo en la cual la estructura del espécimen (componentes de muro y quincha) fué sometida a vibraciones dentro de un rango

elástico que permitió al modelo de ensayo no variar sus propiedades dinámicas. Consecuentemente creímos conveniente dar una aceleración de entrada (de la mesa) de 20 gals, cuyo valor fue constante en todo el proceso de ensayo.

Seguidamente se procedió a incrementar las frecuencias en un rango de 1.0 a 22.0 Hertz con la finalidad de ubicar las frecuencias críticas y consecuentemente determinar cuáles eran los períodos críticos de la estructura al entrar en resonancia con la frecuencia inducida.



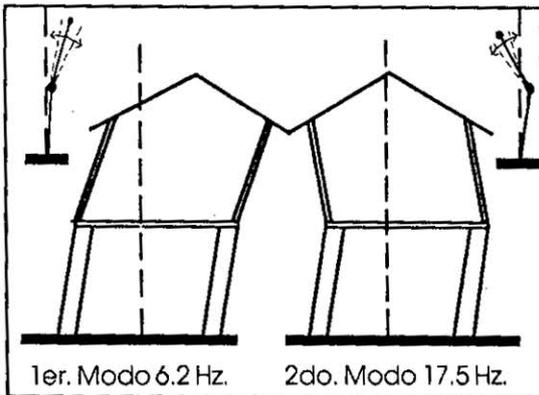
### Determinación de Frecuencias de los Primeros Modos

PRIMERO Y SEGUNDO MODO (Acc. = 20 gals)

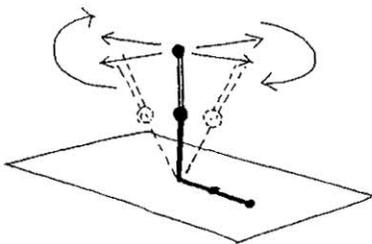
Frecuencia (hertz)	Acc. 2do. Nivel (Voltios)	Acc. 1er. Nivel (Voltios)	Corregido 2do. Nivel
1.59	304.00	152.00	304.00
2.24	408.00	184.00	408.00
2.92	416.00	200.00	416.00
3.07	424.00	200.00	424.00
3.17	448.00	200.00	448.00
3.87	560.00	296.00	560.00
3.93	544.00	280.00	544.00
3.98	616.00	312.00	530.00
4.01	540.00	300.00	535.00
4.06	544.00	264.00	544.00
4.34	552.00	248.00	552.00
4.50	552.00	248.00	552.00
4.83	672.00	360.00	570.00
4.95	584.00	320.00	584.00
5.15	568.00	304.00	568.00
5.50	472.00	336.00	600.00
6.17	704.00	424.00	704.00
6.21	696.00	448.00	690.00
6.84	704.00	312.00	615.00
7.40	576.00	184.00	550.00
7.87	488.00	160.00	488.00
9.43	520.00	240.00	520.00
16.30	416.00	210.00	416.00
16.90	488.00	248.00	488.00
17.00	672.00	344.00	672.00
17.50	720.00	340.00	720.00
17.70	528.00	264.00	528.00
18.10	464.00	224.00	464.00
18.80	392.00	192.00	392.00
19.60	408.00	152.00	408.00
20.60	384.00	120.00	384.00
21.70	448.00	160.00	448.00

73

En el gráfico de determinación de frecuencias podemos apreciar la envolvente del comportamiento tanto de la estructura de tapial como la de quincha (1er. y 2do. nivel); vemos que existen dos zonas críticas que corresponden aproximadamente a una frecuencia de 6.21 Hertz y a otra de 17.5 Hertz; estos picos nos muestran los modos de vibración de la estructura y son en estos puntos donde la edificación entra en un período crítico.



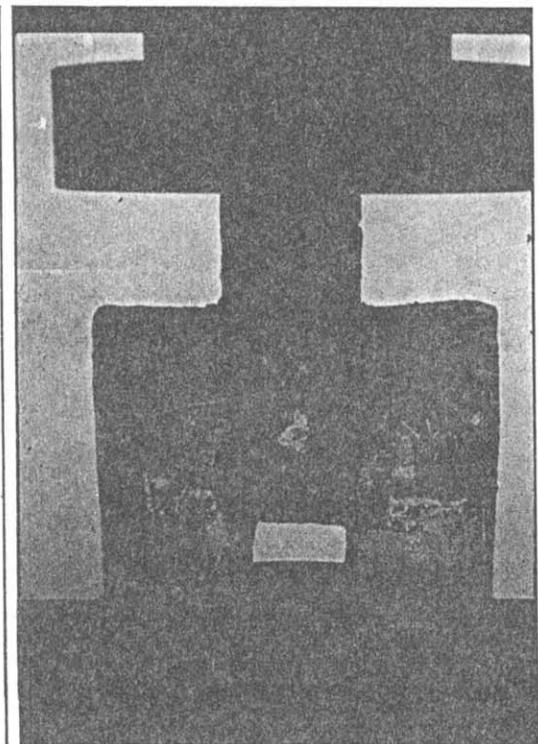
El esquema anterior nos muestra el comportamiento del sistema mixto en un sentido de vibración, pero observando el movimiento de la estructura nos damos cuenta que el módulo 3 tuvo dos grados de libertades traslacionales (en ambos sentidos) y también rotacionales, esto debido a la ubicación de los componentes más rígidos de manera asimétrica en la planta.



Evidentemente que el primer modo de vibración es el que usualmente predomina en el comportamiento general de la edificación, pero en un movimiento sísmico real se llegan a superponer todos los modos; consecuentemente los grados de libertad de la estructura deberán asumir la gran variedad de vibraciones que se generan en la edificación.

El módulo 3 también se sometió a pruebas para determinar el amortiguamiento y porcentualmente podemos decir que la quincha es 200% menos apropiada sísmicamente que los componentes CET, ya que tienen menor capacidad de disipación de energía. De otro lado en el caso de las construcciones con tapial tradicional, éstas son seriamente afectadas aún por sismos de mediana intensidad, precisamente por que son bastante rígidas y pesadas y por ello menos apropiadas sísmicamente a consecuencia de tener mayor capacidad para liberar la gran fuerza sísmica (con mayor rapidez) pero con un material bastante frágil frente a los diferentes esfuerzos -especialmente de flexión- que se presentan en un sismo; no así los muros componentes CET que pueden disipar rápidamente la energía presentada en un sismo sin ser afectados seriamente ya que dichos muros por tener refuerzos a manera de tensores, responden de una manera adecuada a esfuerzos de flexión y tracción.

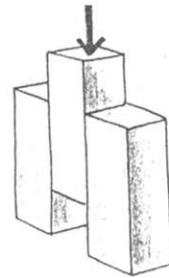
**f .- Ensayos varios.-** Luego de ser fabricados los especímenes representativos de los modelos, se procedió a ensayarlos de manera que se obtuvieron las características de resistencia una vez sometidos a esfuerzos de tracción, compresión y corte. Los resultados que se obtuvieron de estos ensayos nos situaron para conocer aproximadamente el comportamiento estructural de los modelos a escala natural.



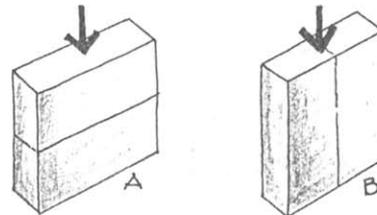
Especímen fabricado de manera similar a los muros componentes, sometido a esfuerzos de corte.

**f 1.- Ensayos de corte.-** Se diseñó un espécimen de bloques de tapial con el mismo tipo de refuerzos de los componentes ensayados es decir con tensores de alambre y caña en el interior.

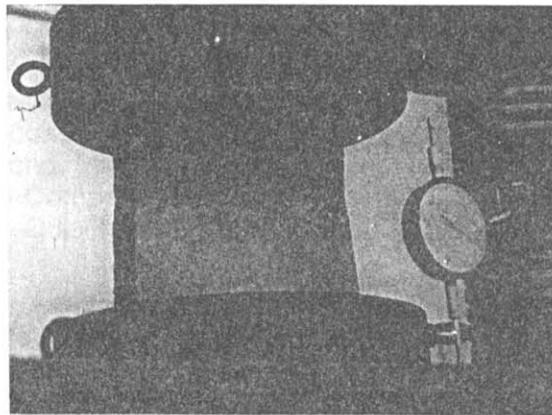
Luego de haber sido sometido este espécimen a compresión, se obtuvo una carga de falla de 390 kg. para un área de 162 cm<sup>2</sup>. Consecuentemente se obtuvo un esfuerzo por corte de 2.41 kg/cm<sup>2</sup>.



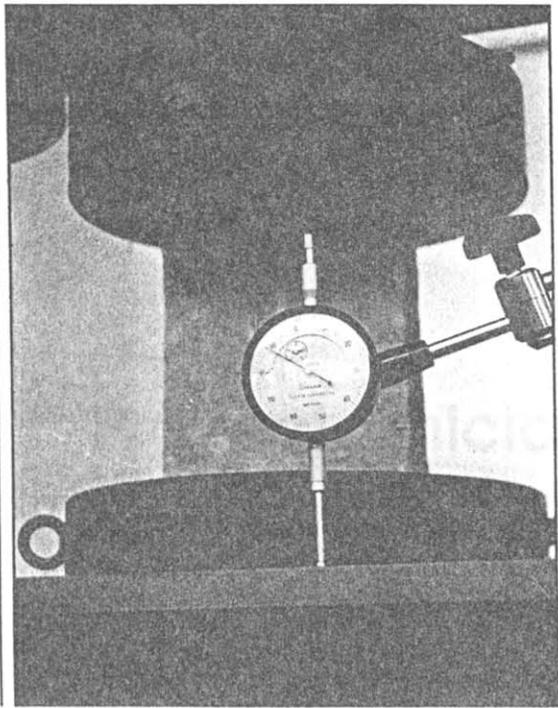
**f 2.- Ensayos de compresión.-** Para hallar el grado de deformación de los componentes por compresión se ensayaron dos especímenes, los cuales recibieron las cargas uno en la cara paralela a la unión de bloques y el otro en la cara perpendicular a dicha unión.



El espécimen A tuvo una carga de falla de 1766 kg para un área de 138 cm<sup>2</sup>, consecuentemente el grado de resistencia al esfuerzo de compresión de este espécimen fué de 12.80 kg/cm<sup>2</sup>.

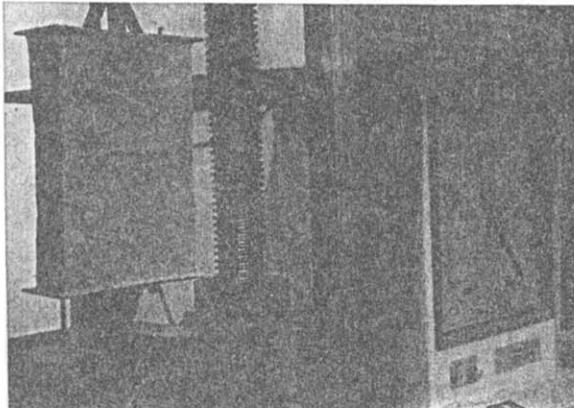


Especímen A sometido a pruebas de compresión.

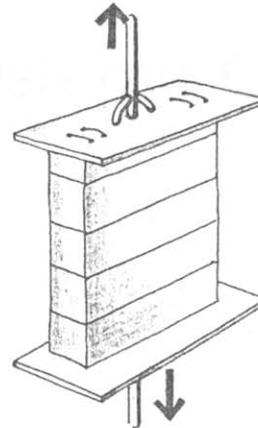


La foto de arriba muestra la prueba del espécimen B. Abajo se ve un espécimen preparado especialmente para ser sometido a esfuerzos de tracción.

En cambio el espécimen B tuvo una carga de falla de 1498 kg para un área de  $114 \text{ cm}^2$ , osea el valor del esfuerzo por compresión que alcanzó este espécimen fue de  $13.14 \text{ kg/cm}^2$ .



**f 3.- Ensayos de tracción.-** Creemos que éste es uno de los principales ensayos puesto que se trataba de conocer el comportamiento del componente de muro (CET) frente a esfuerzos de tracción. Se diseñó para este fin un espécimen que estuviera compuesto por cuatro capas o hiladas de tapial y que guardara en su interior refuerzos tanto de caña (horizontales y verticales) así como de aquellos elementos principalmente de alambre que absorberían dichos esfuerzos.



La carga de falla del espécimen se produjo a los 1540 kg. La sección o área considerada fué de  $138 \text{ cm}^2$ , en consecuencia la resistencia al esfuerzo de tracción que se obtuvo fué de  $11.16 \text{ kg/cm}^2$ .

Adicionalmente se obtuvieron otros datos relativos a la densidad tanto de los muros componentes de tapial así como de la quincha.

- Componentes de tapial =  $0.00186 \text{ kg/cm}^3$
- Quincha =  $0.00160 \text{ kg/cm}^3$ .

**g.- Determinación del Módulo Elástico.-** Se realizó tomando en consideración los valores obtenidos en los ensayos de compresión A y B y están en función de la deformación unitaria (e) y de los esfuerzos (s) tal como se muestra en el siguiente gráfico.

# **PARTE *III***

## **Proyecto inicial del sistema CET**

77

**Cap. 4.-** Diseño y construcción sistemática en base al Sistema CET.

**4.1.-** Diseño sistemático con el sistema CET.

**4.2.-** Características constructivas del sistema CET.

**4.3.-** El futuro: Entre la construcción artesanal y la construcción en serie.

# Diseño y Construcción Sistemática en base al sistema CET

78

"El haber encontrado una infinidad de formas estructurales nos obliga a organizar sistemáticamente todas las variantes posibles, con lo cual podemos contar no solamente con soluciones específicas, sino con una gama de soluciones".

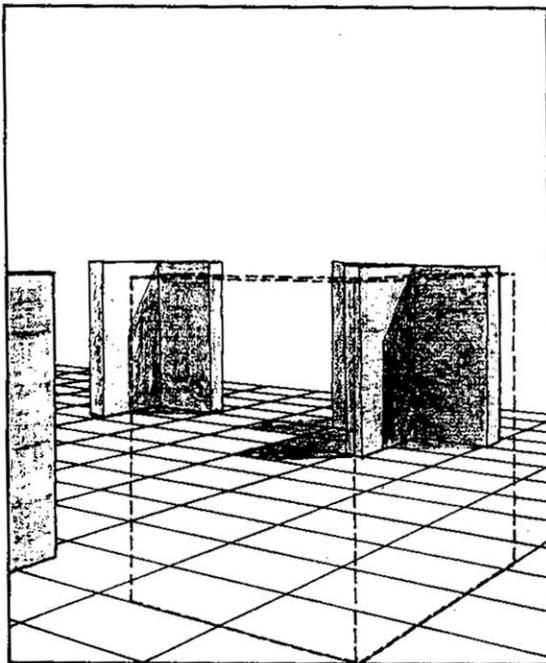
Roberto Machicao

Capítulo 4

## 4.1.- Diseño Sistemático con el sistema CET.

La sistemática nos permitirá realizar una combinación, clasificación y ordenamiento de los distintos elementos componentes del sistema CET con la finalidad de obtener un resultado derivado de un procedimiento organizado.

En realidad la sistemática nos proporcionará una manera o método para poder diseñar en base a tramas modulares las cuales a su vez definen las formas de los componentes de muro. La idea consiste en combinar estos elementos modulares los cuales deben estar coordinados dimensionalmente de manera que pueda obtenerse una serie de formas capaces de solucionar satisfactoriamente cualquier problema arquitectónico y estructural planteado.

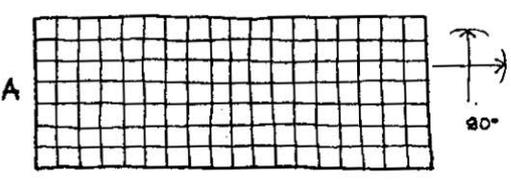
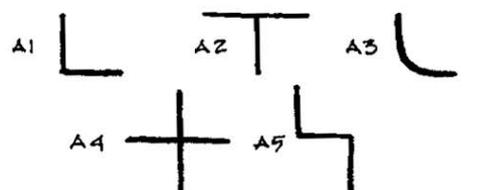


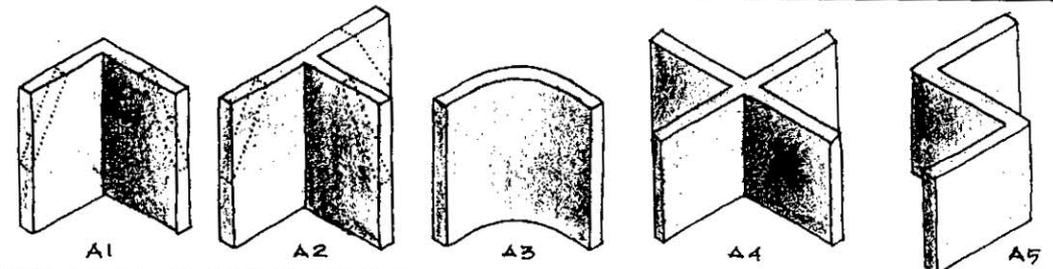
El diseño sistemático en base a muros componentes con tierra busca hallar un lenguaje que permita encontrar una gran cantidad de combinatorias a partir de pocos elementos, de esta manera se logra simplificar notablemente el proceso de diseño el cual podrá ser desarrollado fácilmente incluso por el propio usuario -en una primera etapa-, y luego mediante un asesoramiento profesional poder llegar a una propuesta donde se conjuguen una serie de criterios de modulación, estandarización, coordinación dimensional, etc.; de esta manera el diseño aparte de ser simplificado al máximo podrá ser llevado a efecto en base a etapas sucesivas las cuales al final permitirá obtener respuestas arquitectónicas coherentes y de acuerdo a las reales necesidades del usuario.

El diseño sistemático con tierra deja de ser una utopía o un hecho imposible. Ahora es factible.

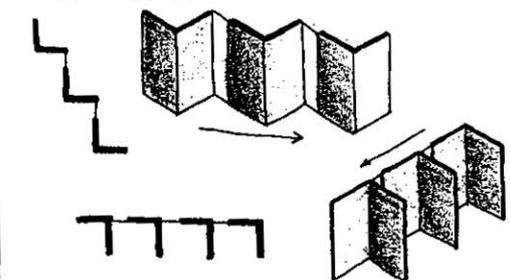
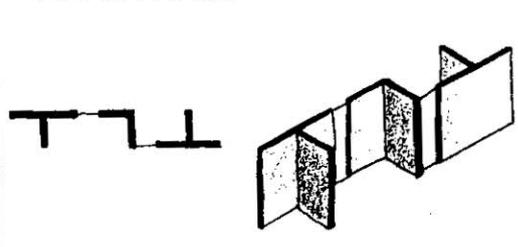
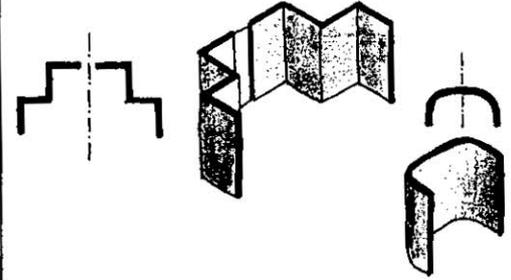
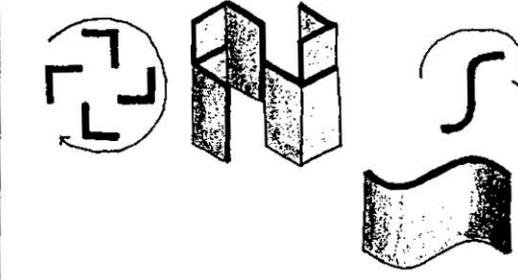
En los siguientes cuadros se muestran dos alternativas de diseño sistemático con muros componentes de tierra. En el primer cuadro se aprecian elementos de muro derivados de una trama bidireccional los cuales tienen ángulos ortogonales, en cambio en el segundo cuadro se aprecian algunos componentes derivados de una trama modular tridireccional, los cuales tendrán ángulos agudos de  $60^\circ$  y obtusos de  $120^\circ$ . Estos componentes se organizan o combinan de acuerdo a algunas alternativas de simetría (a manera de ejemplo) lo cual nos permite contar con un lenguaje o método para integrar estos elementos y consecuentemente formar una variada gama de espacios.

## DISEÑO SISTEMÁTICO CON TIERRA

<p>BIDIRECCIONAL</p> 	<p>COMPONENTES DEL MURO</p> 
--	--

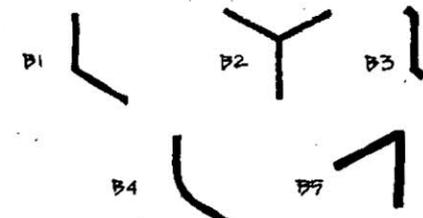
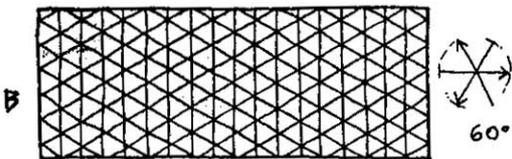


## ALTERNATIVAS DE SIMETRIA

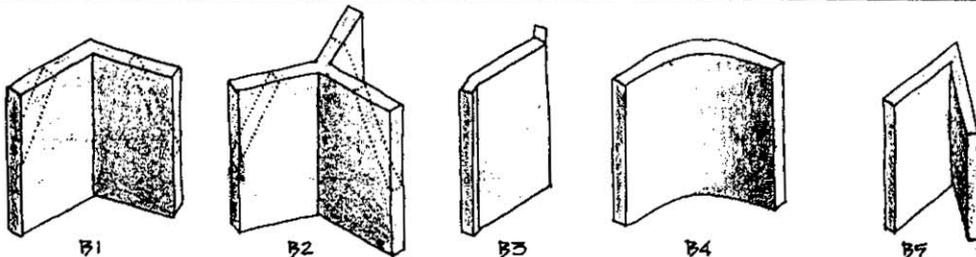
<p>TRASLACION</p> 	<p>INTERPOSICION</p> 
<p>REFLEXION</p> 	<p>ROTACION</p> 

DISEÑO SISTEMÁTICO CON TIERRA

TRIDIRECCIONAL

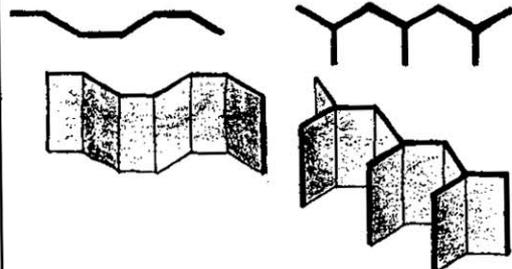


COMPONENTES DEL MURO

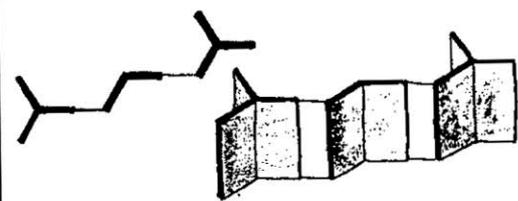


ALTERNATIVAS DE SIMETRÍA

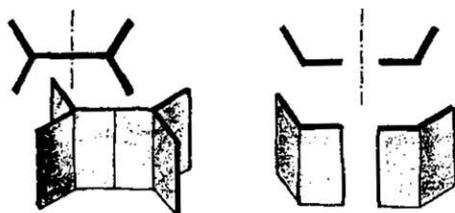
TRASLACION



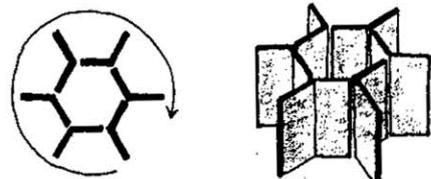
INTERPOSICIÓN



REFLEXIÓN



ROTACIÓN

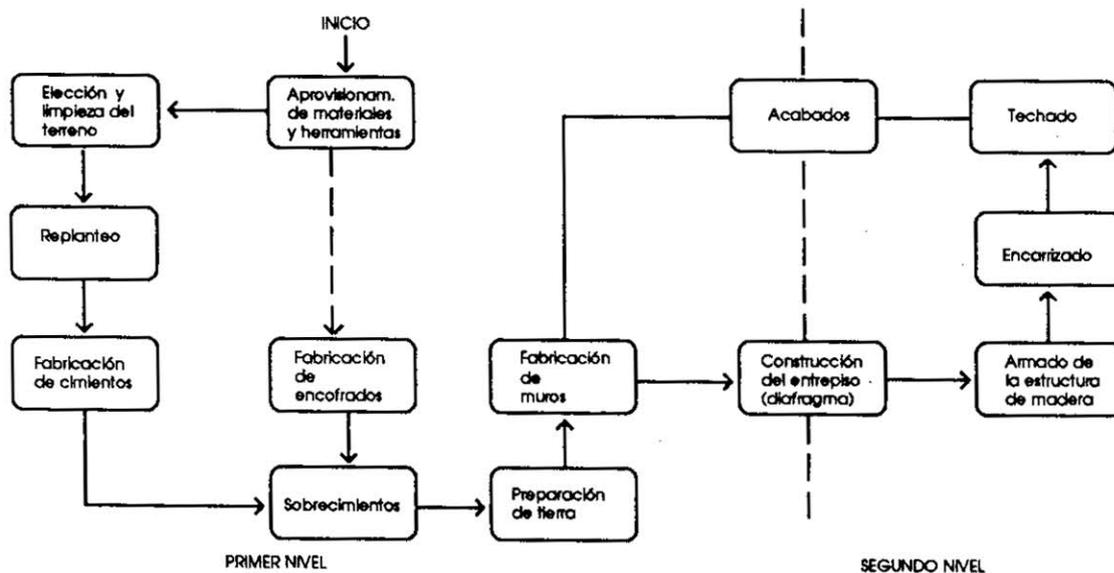


## 4.2.- Características constructivas del Sistema CET.

A continuación presentamos a manera de resumen las características constructivas del sistema CET las cuales son resultado del proceso de investigación tanto teórica como de laboratorio.

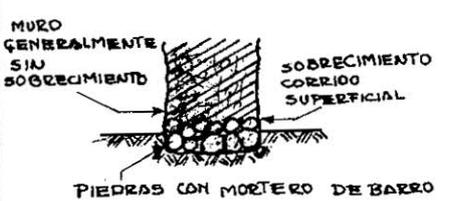
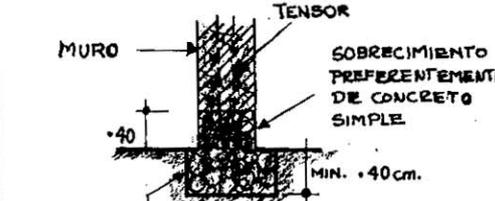
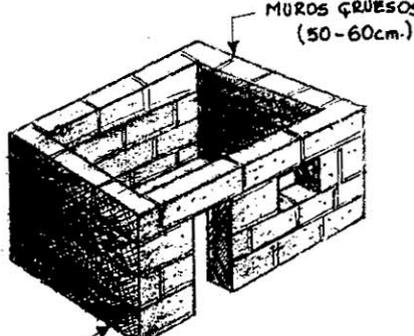
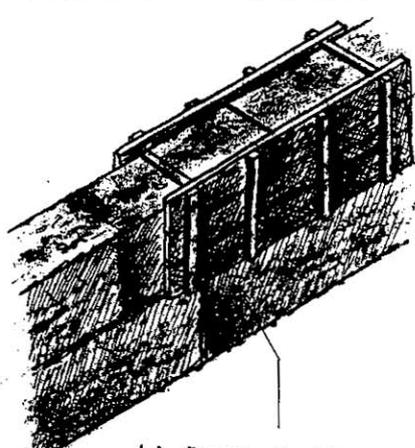
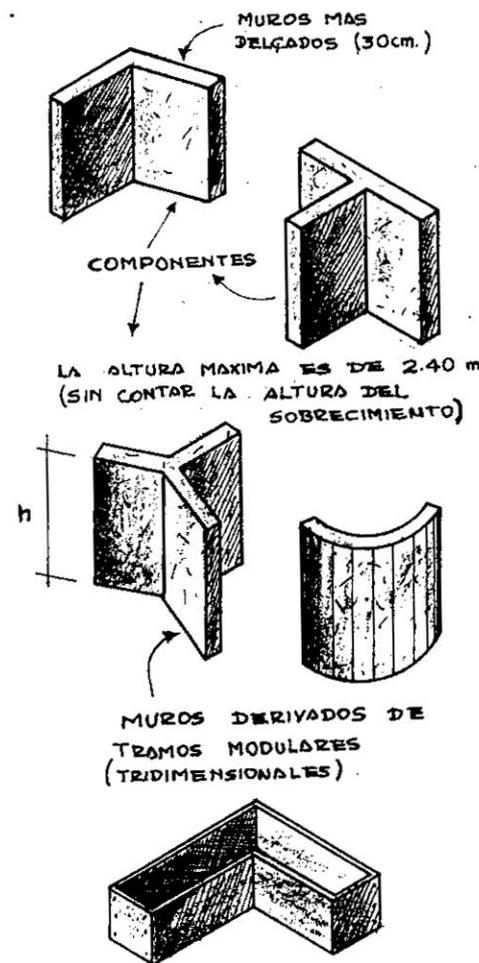
En primer término el sistema CET tiene un proceso constructivo que difiere en algo al del tapial y la quincha (como sistemas constructivos vernaculares). En efecto el sistema

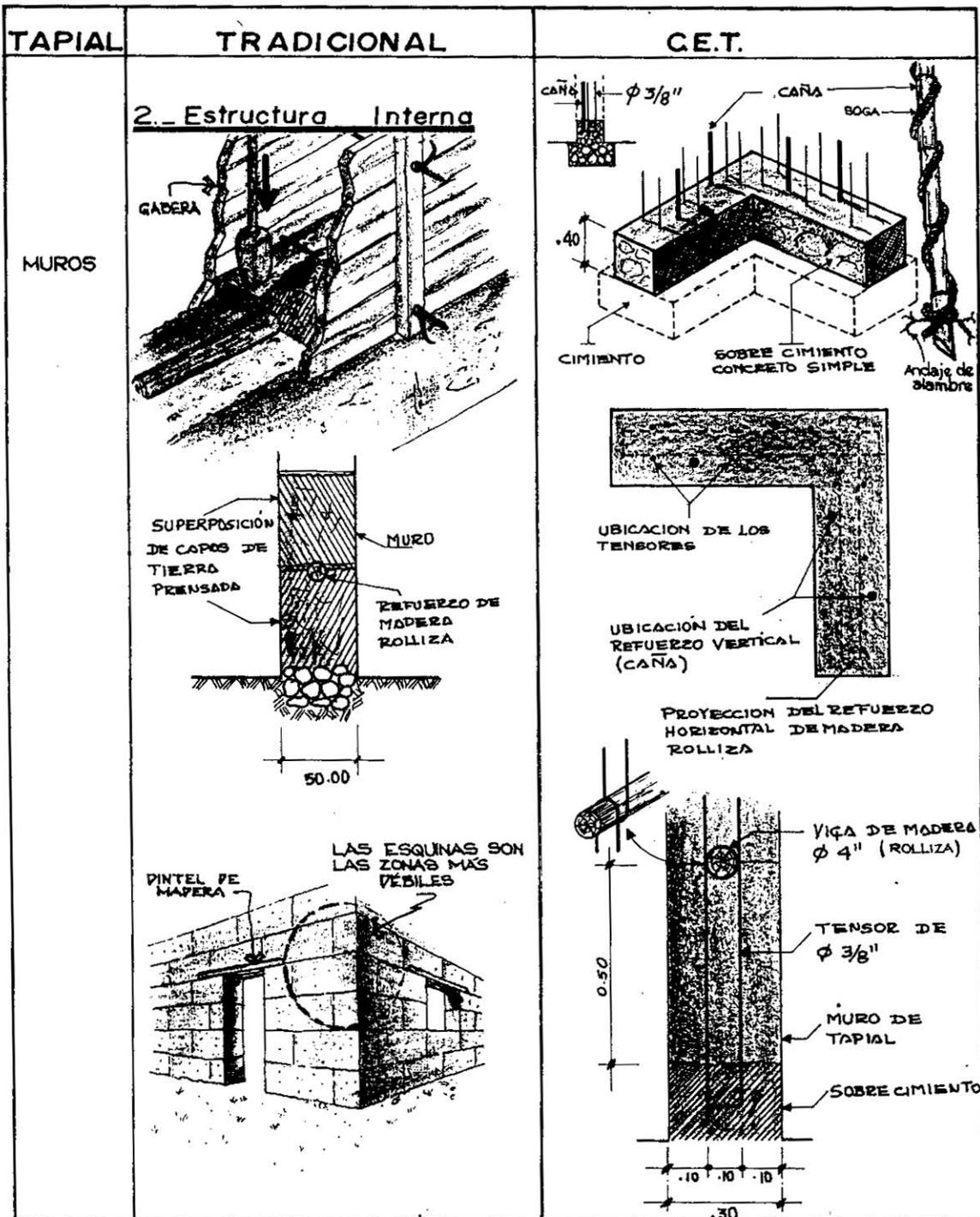
mixto CET va a combinar y superponer muchas etapas dentro del proceso constructivo puesto que tanto el primer como el segundo nivel pueden ser desarrollados -en parte- simultáneamente; en la etapa de construcción con quincha la fase del precortado y preparado de la madera puede ser ejecutada al mismo tiempo que la fabricación de los muros componentes.

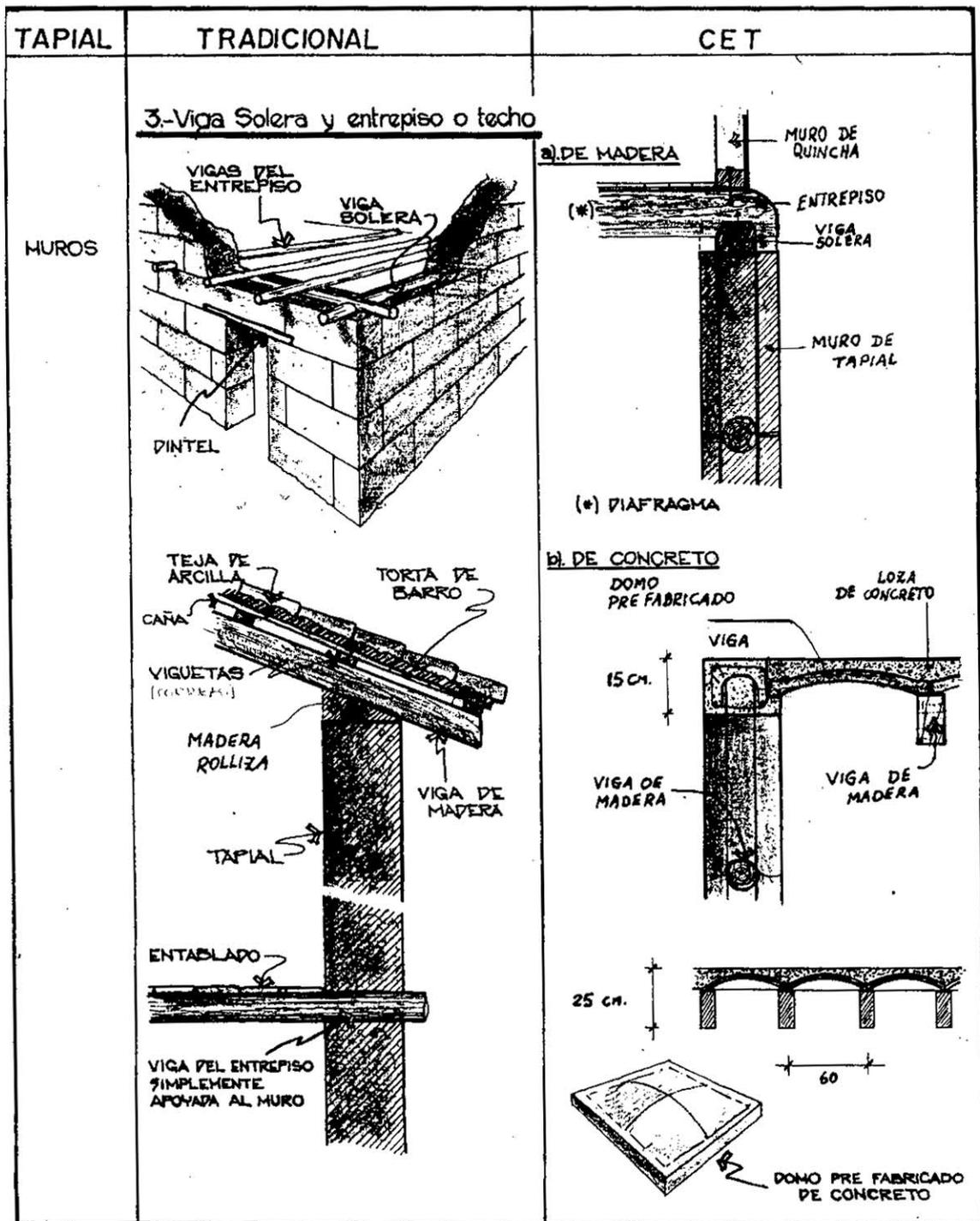


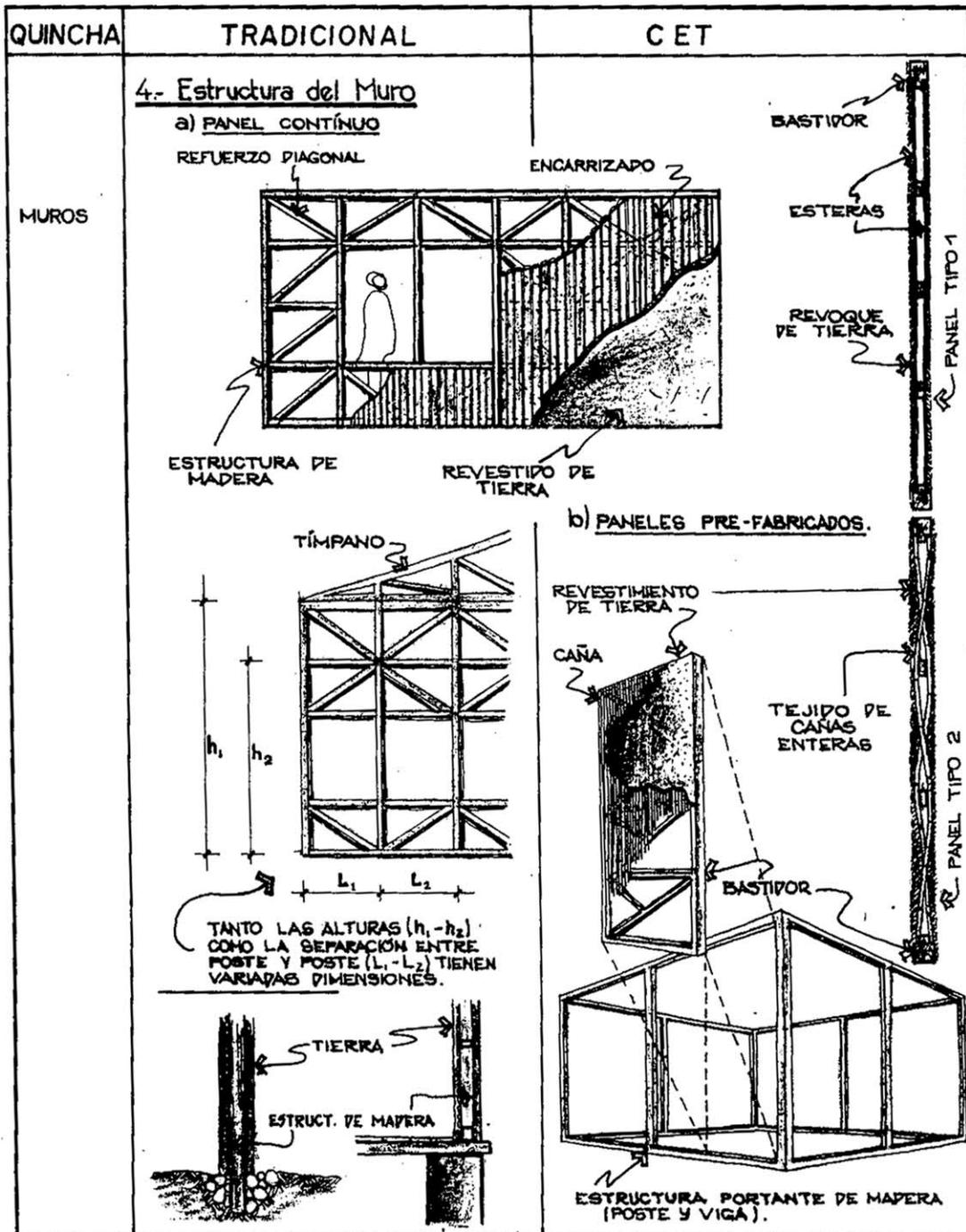
En los siguientes cuadros analizamos desde una perspectiva contemporánea las características más significativas del sistema mixto de tapial y quincha. Luego de contrastarlas con los sistemas vernaculares realizaremos la propuesta del sistema CET en base a la identificación de los elementos más importantes constitutivos de la edificación (cimientos, muros, entrepisos, techos, etc.

Con esta primera aproximación al sistema CET y de acuerdo a la metodología de investigación planteada, logramos obtener sus particularidades constructivas las cuales se derivan de los diferentes ensayos de laboratorio así como de las características formales y estructurales analizadas y experimentadas en la fase de ensayo de campo.

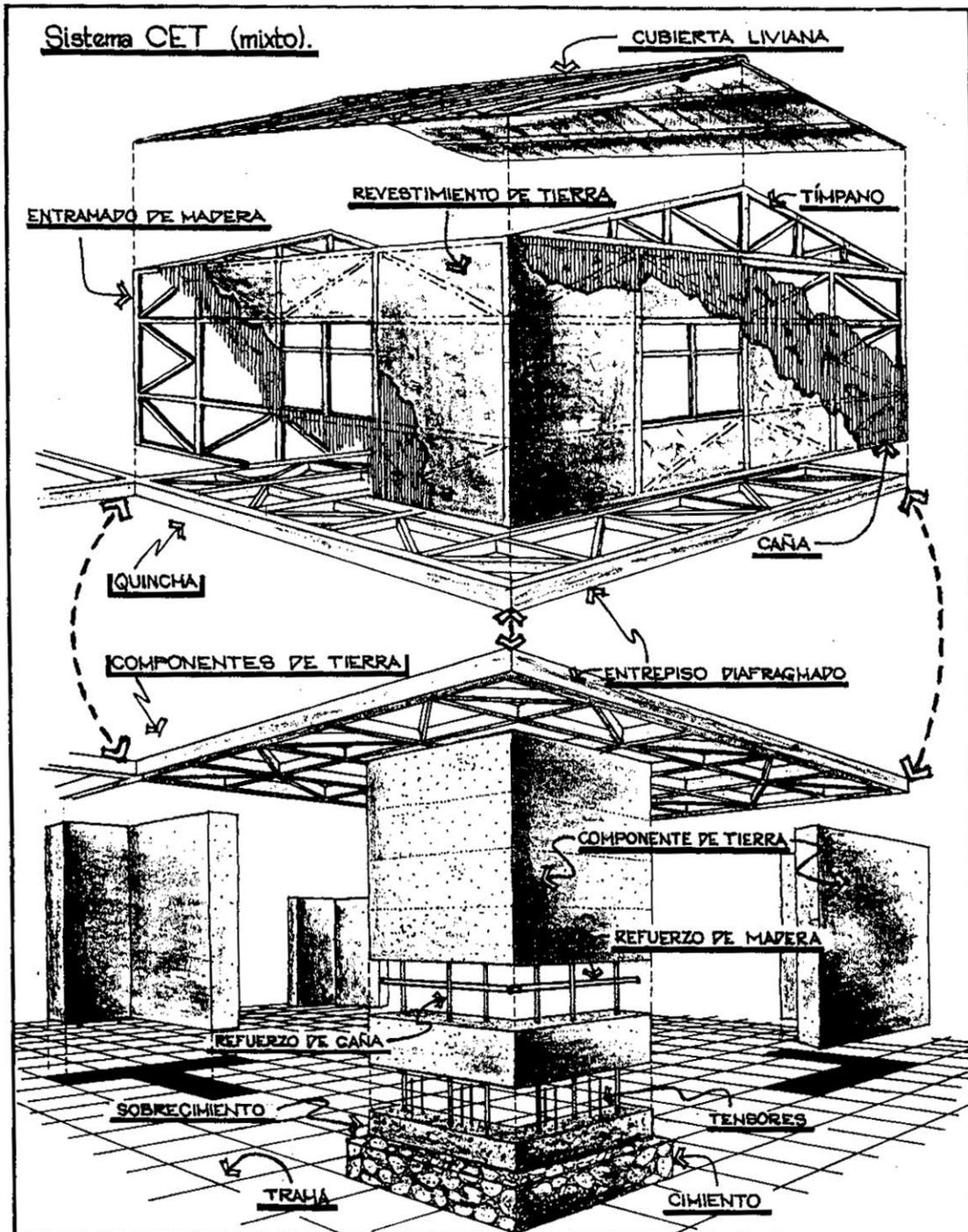
TAPIAL	TRADICIONAL	CET
<p>CIMENTO</p>	 <p>MURO GENERALMENTE SIN SOBRECIMIENTO</p> <p>SOBRECIMIENTO CORRIDO SUPERFICIAL</p> <p>PIEDRAS CON MORTERO DE BARRO</p>	 <p>TENSOR</p> <p>MURO</p> <p>SOBRECIMIENTO PREFERENTEMENTE DE CONCRETO SIMPLE</p> <p>MIN. +40cm.</p> <p>PIEDRAS CICLOPEAS CON MORTERO DE BARRO O TERROCEMENTO</p>
<p>MUROS</p>	<p><u>1. Forma.</u></p>  <p>MUROS GRUESOS (50-60cm.)</p> <p>LOS TAPIALES SE FABRICAN EN BASE A MODULOS ESPECIALES</p>  <p>LA FORMA DE LOS MUROS LA GENERA LA CAJERA O MOLDE</p>	 <p>MUROS MAS DELGADOS (30cm.)</p> <p>COMPONENTES</p> <p>LA ALTURA MAXIMA ES DE 2.40 m. (SIN CONTAR LA ALTURA DEL SOBRECIMIENTO)</p> <p>MUROS DERIVADOS DE TRAMOS MODULARES (TRIDIMENSIONALES)</p> <p>LOS MUROS TIENEN LA FORMA DE LOS ENCOFRADOS</p>







MIXTO	TRADICIONAL	CET
<p>TECHOS</p>	<p>♦ VIVIENDAS</p> <p>♦ IGLESIAS</p>	<p>TIPOS:</p> <p>a). SUCESION DE CERCHAS (EJEMPLO: MÓDULO Nº2 - 2T-2L-C).</p> <p>COMPONENTES DE TAPIAL</p> <p>b). A POS AGUAS</p> <p>VIGUETAS DIAGONALES</p> <p>SE DEBERÁ BUSCAR SOLUCIONES QUE ASEGUREN UN COMPORTAMIENTO DIAFRAGMADO</p> <p>c). TECHO PLANO</p> <p>VIGUETAS EN DOBLE SENTIDO</p> <p>REFUERZOS DIAGONALES</p> <p><u>IMPORTANTE</u></p> <p>LA CUBIERTA EN NINGUN CASO DEBERA SER PESADA. EVITAR TECHO DE TEJA CON TORTA DE BARRO</p>



---

### 4.3.- El futuro: Entre la construcción artesanal y la construcción en serie

Es innegable que hoy más que nunca tanto la arquitectura como la construcción - en especial de viviendas- debe proyectarse hacia el futuro, es decir dejando de lado la producción de edificaciones como una mera actividad circunstancial para pasar a entenderla como un compromiso con la comunidad a la cual debemos servir y satisfacer sus necesidades.

El proceso de diseño y construcción en el Perú ha seguido un desarrollo sujeto al azar: la falta de planificación, las pocas alternativas constructivas, los reducidos recursos económicos que las familias disponen han marcado notoriamente su limitada evolución. Es necesario pues, hacer una revisión de la problemática de la vivienda en el Perú y comenzar a plantear alternativas capaces de cambiar su estado actual.

Para lograr cambios estructurales, en primer término será necesario transformar la forma de ver este problema por parte de la comunidad. La sistemática, por ejemplo pone en relieve que el desarrollo arquitectónico y constructivo es mucho más que producir por producir; por el contrario debe ser un proceso en el cual todas las actividades inherentes a su desarrollo inciden no en forma aislada, sino más bien como una sola unidad y en donde cada una de ellas se inter-relacionan para formar el hecho arquitectónico final.

En este sentido cada uno de los profesionales que intervienen en el proceso de concepción y ejecución (arquitectos, ingenieros, fabricantes, inversionistas y otros), deben considerar su labor como parte de una única operación y en la que intervienen con igual importancia la producción, investigación, diseño del sistema, diseño de la edificación, fabricación de componentes, venta, distribución, construcción, etc. Estos cambios deberán darse también en los órganos de gobierno y gestión y fundamentalmente en la población en general.

Por todo ello este proceso sistemático deberá contemplar además un sistema constructivo basado en la normalización, dimensionamiento de los materiales, modulación, estandarización, de manera que concluya en un proceso que tienda a ser industrializado.

Haciendo un rápido análisis de la forma como se ha ido desarrollando el diseño y la construcción de las edificaciones con tierra en el Perú, podemos decir que más del 90% fueron realizadas íntegramente por los propios usuarios. De este hecho podemos desprender dos aspectos: el primero es que en la propia comunidad existe una gran capacidad para poder resolver su problema de habitabilidad y que por medio de alternativas constructivas simples y económicas se puede llegar a aprovechar este potencial

para solucionar en gran medida el problema del déficit de viviendas. El otro aspecto se refiere a la alarmante separación y despreocupación de los profesionales e instituciones respecto a la comunidad especialmente de la zona rural y sub urbana. Este desinterés trae consecuencias -muchas de ellas nefastas- especialmente que aquellas edificaciones construidas sin ningún asesoramiento técnico son las que resultan destruidas fácilmente a la presencia de cualquier fenómeno natural (sismos, derrumbes, huaycos, etc.)

Los sistemas constructivos desarrollados hasta hoy han estado basados en las viejas técnicas vernaculares. Hoy en día vemos que en la zona rural la presencia de elementos pre-fabricados es casi nula, así mismo los materiales que se utilizan son aquellos que se encuentran disponibles en la zona y que generalmente no sufren mayor transformación como es el caso de la madera roliza muy utilizada en entresijos, techos, muebles y construcciones livianas. De otro lado el proceso de construcción 'in situ' es llevado a cabo utilizando métodos tradicionales (amarres con fibras vegetales, muros inseguros, etc.) y emplean muy poca tecnología moderna.

En este contexto es necesario que la construcción cambie de imagen, es decir desarrollándose a gran escala y orientándose a cubrir las necesidades de nuestra sociedad. En la zona urbana la industrialización se va filtrando poco a poco en la construcción pero de una manera excesivamente desordenada y sin una adecuada coordinación dimensional entre los componentes que básicamente son utilizados en la parte final de la edificación, es decir en los acabados.

Es evidente que las construcciones en

nuestro país deben responder cada vez más a nuevos estándares y a nuevas investigaciones las cuales necesariamente deberán estar basadas en técnicas de fabricación industrial pero fundamentadas en las técnicas vernaculares que utilizan materiales de bajo costo.

El pretender implementar a corto y aún mediano plazo programas de construcción industrializada sería una utopía. Sabemos que la solución al problema del déficit de viviendas está por otro camino y es precisamente planteando alternativas que busquen un equilibrio entre los sistemas constructivos nativos y los industrializados, es decir un sistema en el cual se utilice la mayor cantidad de mano de obra no calificada pero a la vez que utilice elementos componentes tanto principales como secundarios los cuales por estar dentro de una coordinación dimensional pueden ser prefabricados artesanal o industrialmente.

El sistema constructivo en base a componentes estructurales con tierra cruda (CET) busca recoger todos estos criterios y los sintetiza en el presente trabajo el cual, creemos, se constituye en un primer acercamiento hacia un tipo de construcción que tiende a ser industrializado y que deberá ser desarrollado en los próximos años buscando cada vez más la aceptación de la comunidad a la cual nos debemos.

Recién empezamos a entender la importancia de estas estructuras, sabemos que aún falta mucho para conocer toda su capacidad y posibilidades de variedad y riqueza. Su concepción y aplicación constituye uno de los mayores desafíos para nosotros y estamos seguros que estudios similares lo será para las generaciones de profesionales venideras.

## CONCLUSIONES

En función de la rigidez podemos mostrar el siguiente cuadro.

Mas rígido		
	Muro curvo	
	Muro "X"	
	Muro "Y"	
Muro "T"		
Muro "L"		
Menos Rígido		
Muro "L abierta"		

componentes de tapial y quincha en un sistema mixto tienen un buen comportamiento estructural.

- Creemos que es posible diseñar elementos en la estructura que sean capaces de absorber las distintas fuerzas que aparecen en un sismo y constituirse en una suerte de 'válvula de escape' por donde se llegue a disipar la fuerza sísmica. Este elemento no deberá comprometer la seguridad de la edificación y deberá ser diseñado para poder ser reparado o reemplazado fácilmente.
- La proporción de vanos en el primer nivel no deberá exceder del 30% de la longitud total de los muros. En cambio este porcentaje deberá reducirse en el caso de los muros de quincha a no más del 20% del área total de los muros.
- Es importante la presencia del diafragma en la estructura como elemento de unión de todos los componentes de muro. Sólo a través de este tipo de entrepiso y/o techo podrá lograrse que la edificación actúe como un conjunto estructural.
- La distribución de los componentes de muro en la planta de una edificación deberá ser llevada a cabo contemplando la mayor o menor capacidad de rigidez de cada uno de los elementos. En consecuencia se deberá procurar distribuirlos analizando la estructura en su conjunto de manera que se logre un mayor equilibrio y de esta forma evitar que el punto de rigidez de toda la edificación se encuentre hacia un costado.
- Los módulos fabricados con muros
- El sistema CET ofrece muchas posibilidades de ser aplicado fácilmente en muchas zonas. Dada la rapidez en su ejecución y por no necesitar de herramientas sofisticadas ni mano de obra especializada se constituye en un sistema muy económico.
- El sistema CET nos da la posibilidad de realizar construcciones en serie y a gran escala, además de introducir la industrialización -incluso a nivel artesanal- en la fabricación tanto de componentes principales como secundarios.

---

---

## Bibliografía

- 1.- AID. Hartkopt, Volker. "Técnicas de construcción autóctonas del Perú". Washington. 1985 (a).
- 2.- AID. "Sistemas tradicionales de construcción en el Ecuador" Quito. 1985 (b).
- 3.- Bardou, Patrick, Varoujan Arzoumanian. "Arquitecturas de adobe" 1986. Edit. G.G, México.
- 4.- Bender, Richard. "Una visión de la construcción Industrializada. Edit. G.G. Barcelona. 1976.
- 5.- Corazao, Miguel, Bondet, Marcial. "Estudio experimental del comportamiento estructural de las construcciones de adobe frente a sollicitaciones sísmicas". Lima. 1973.
- 6.- CRYRZA - PREVI. "Manual para la construcción de viviendas con adobe" 1990. Lima.
- 7.- CRATERRE. Vildoso, A., Monzón, F.M. "Seguir construyendo con tierra" 1984. Lima.
- 8.- De Olarte, Jorge. "Geografía I" Edit. Andina S.R.Ltda. Cusco. 1989.
- 9.- Gallegos, Héctor. "Diseñando y construyendo con albanilería. Lima. 1987.
- 10.- Habraken, N.J. "El diseño de soportes". Edit. G.G. Barcelona. 1988.
- 11.- ININVI. "Quincha pre-fabricada". Lima. 1987.
- 12.- ININVI. "Adobe", Norma técnica de edificación E-080. Lima. 1987.
13. ININVI. "Construcción con Tapial". Lima. 1989.

- 14.- JUNAC. "Concurso sub regional sobre sistemas constructivos a base de 1987 madera". Lima.
- 15.- JUNAC. "Construcción a base de pórticos" Lima.  
1988.27.- UNSAAC - NUFFIC. "Tecnología para reparación de viviendas de 1986. adobe dañadas por el sismo". Cusco.
- 16.- JUNAC. "Cartilla de construcción con madera" Editado por JUNAC, 1980. Lima.
- 17.- Ken, Kern. "La casa autoconstruida". Edit. G.G. Madrid. 1982.
- 18.- Machicao, Roberto. "Estructura y Forma Arquitectónica". Edit. Arius. 1988. Lima.
- 19.- Machicao, Roberto. "Diseño Estructural para Arquitectos". 1990. Edit. Arius. Lima.
- 20.- Maskerey, Andrew, Romero Gilberto. "Urbanización y vulnerabilidad sísmica en Lima Metropolitana" Edit. Predes, Lima. 1986.
- 21.- Oshiro, Fernando. "Terremotos". Lima. 1983.
- 22.- PNUD / UNESCO. "El adobe". Simposio Internacional y curso - taller 1983. sobre conservación del adobe. Lima- Cusco.
- 23.- Pontificia Universidad Católica del Peru. "Ensayos de simulación 1987. sísmica de viviendas de adobe". Lima.
- 24.- Revista 1/2 de Construcción. Edit. 1/2 de Construcción. Lima. 1990.
25. Shelter Publications. "Cobijo". Edit. H. Blume. Madrid. 1973.
- 26.- Sovero, Guillermo. "La investigación tecnológica del adobe en el Perú". UNSAAC - NUFFIC. Cusco. 1989.
- 27.- UNSAAC- NUFFIC. "Tecnología para reparación de viviendas de adobe dañadas por el sismo". Cusco. 1986.
- 28.- Vargas, Julio y Torrealba, Daniel. "Dissemination of adobe technology 1986. In a housing reconstruction program". PUCP. Lima.