

Construcción y Medio Natural

tercer premio

EL RETO DE LA CONSTRUCCIÓN SISTEMÁTICA CON TIERRA

127-34

Autor:
Jorge Luis de Olarte Tristán
Arquitecto

LIMA · PERÚ

El reto de la construcción sistemática con tierra

Jorge Luis De Olarte Tristán
ARQUITECTO



INTRODUCCION

En el curso del siglo XX la construcción con tierra como material central se ha desarrollado en muchas partes del mundo y en especial en los países en vías de desarrollo. Debido a que la tierra ofrece múltiples ventajas sobre otros materiales -especialmente su bajo costo- es que puede servir perfectamente de hábitat a los más pobres y ser utilizado por ellos mismos, es así que las 2/3 partes de la población mundial vive en edificaciones fabricadas con este material.

La construcción 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 vernaculares; este hecho es el que nos ha impulsado a interesarnos aún más sobre el tema y nos ha llevado a aceptar "el reto de la construcción sistemática con tierra". En la primera parte del presente estudio trataremos de sintetizar los aspectos más relevantes tanto de la construcción con tierra cruda así como de las técnicas constructivas autóctonas derivadas del suelo como material constructivo. Estamos convencidos de la importancia que tiene la revitalización del uso de los materiales y sistemas constructivos tradicionales para el planteamiento de técnicas capaces de ofertar viviendas al alcance de los más necesitados; 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.

En efecto, "el reto de la construcción sistemática con tierra" trata de recoger el desafío y propone un sistema que aplica innovaciones capaces de concordar con la tendencia de esta época industrializada, es así que con esta propuesta se puede construir una gran cantidad de viviendas a menores costos, de tal suerte que se hallen al alcance de las familias con menores recursos económicos; además si se consigue que la propia comunidad se encuentre realmente involucrada en la problemática de la vivienda, se logrará que se "apropien" de las propuestas técnicas de este sistema haciéndolas "suyas" de manera que durante todo el proceso se logre fortalecer la responsabilidad colectiva, cultural y creatividad popular con la finalidad de lograr -con el trabajo colectivo- reducir aún más el costo total de sus viviendas.

La práctica de una tecnología como la presente, permitirá a las comunidades incorporar estas 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 del trabajo se determinan las pautas que consideramos necesarias para el diseño del sistema constructivo en base a Componentes Estructurales con

Tierra cruda (CET). 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 y a nivel Internacional estos proyectos de Investigación 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 éstas a tres y aún cuatro pisos. Ello nos llevó a definir una serie de criterios como son la superposición de técnicas diferentes en un mismo edificio (tapial en un primer nivel y quinchá en un 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 más bien un enfoque que permita ser conceptualmente captado y consecuentemente aplicado en la proyección y construcción de su vivienda.

Es difícil no caer en el tópico cuando se pretende abarcar una Investigación tan compleja como es la propuesta de un sistema con el cual se puedan construir (autoconstruir) viviendas acogedoras, de bajo costo e incluso a gran escala. Es por este motivo que con las premisas, planteamientos y condicionantes que definimos previo el análisis específico de modelos, nos propusimos desarrollar el presente trabajo; para ello, dadas las cualidades particulares 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-sinté-

tica, se analizaron las diferentes partes constitutivas de la vivienda y se hicieron propuestas para modificar los sistemas vernaculares y así llegar al sistema CET dentro de un encaminamiento analítico, es decir utilizando un procedimiento 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 el presente estudio es parte de un proceso de Investigación más complejo; por este motivo queremos resaltar que el presente trabajo tiene un carácter preliminar que trata de exponer los lineamientos básicos del sistema constructivo CET y que requerirá complementarse con ulteriores investigaciones específicas.

Finalmente en la Parte Tercera se realiza una propuesta a manera de síntesis del estudio, es decir se plantean las características fundamentales del Sistema CET, respecto al manejo sistemático del diseño y la construcción.

Visualizamos delante nuestro grandes posibilidades tanto en el desarrollo y planteamiento de nuevos principios de diseño y construcción en base al equilibrio que deberá existir entre las tecnologías y los materiales de construcción vernaculares, así como en los planteamientos técnicos que contemplen simplificar, sistematizar y mejorar estas tecnologías heredadas para a través de estas llegar a respuestas coherentes entre el poblador y su medio ambiente natural, sin dejar de lado su realidad social, económica y cultural.

¿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.

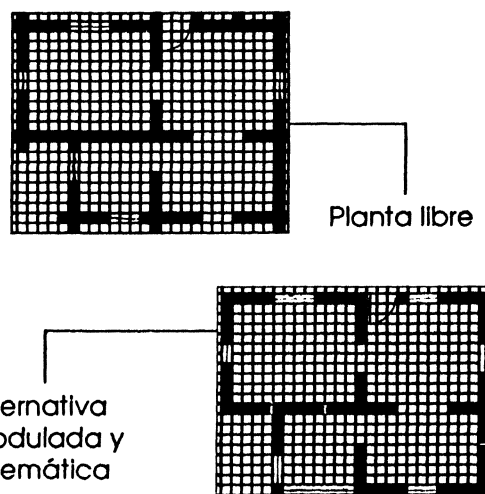
Respecto a los programas de investigación relacionados a la construcción con tierra para zonas sísmicas realizadas hasta hoy, debemos decir que han estado referidos al estudio del comportamiento de módulos de edificación en ensayos estáticos y dinámicos, muchos de ellos con valiosos resultados y en donde 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.

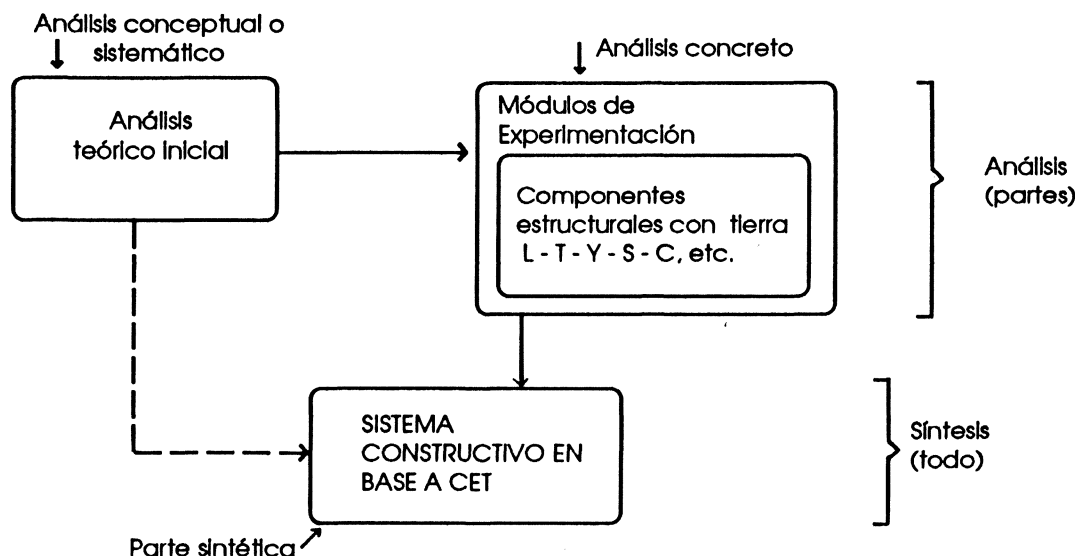
Creemos que el mayor inconveniente que pueden presentar la mayoría de estas investigaciones, es que dichos módulos tipo (que en muchos casos se constituyen en sistemas constructivos), son confundidos "como arquitectura", pudiendo resultar al final -como configuración arquitectónica- una suma de pequeños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

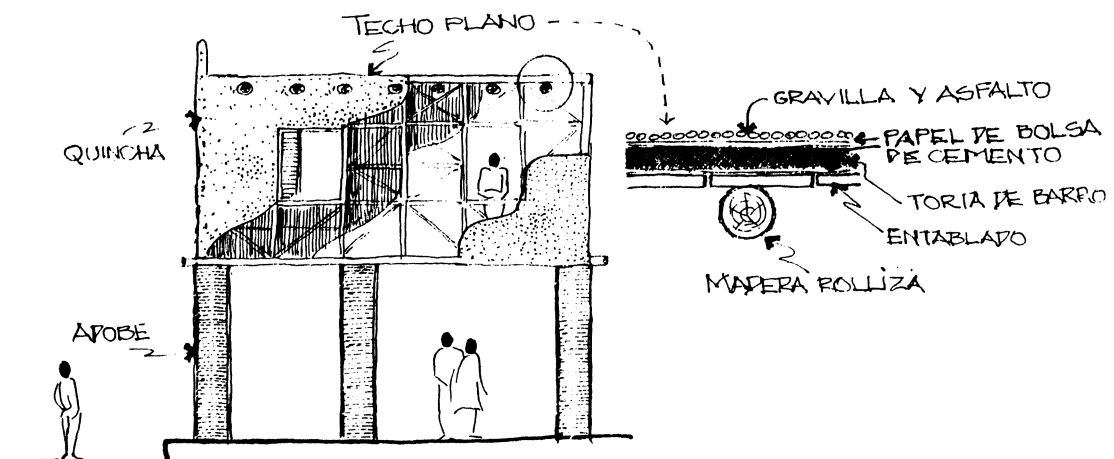
Primera aproximación teórica: Propuesta de un sistema mixto de tapial y quincha.

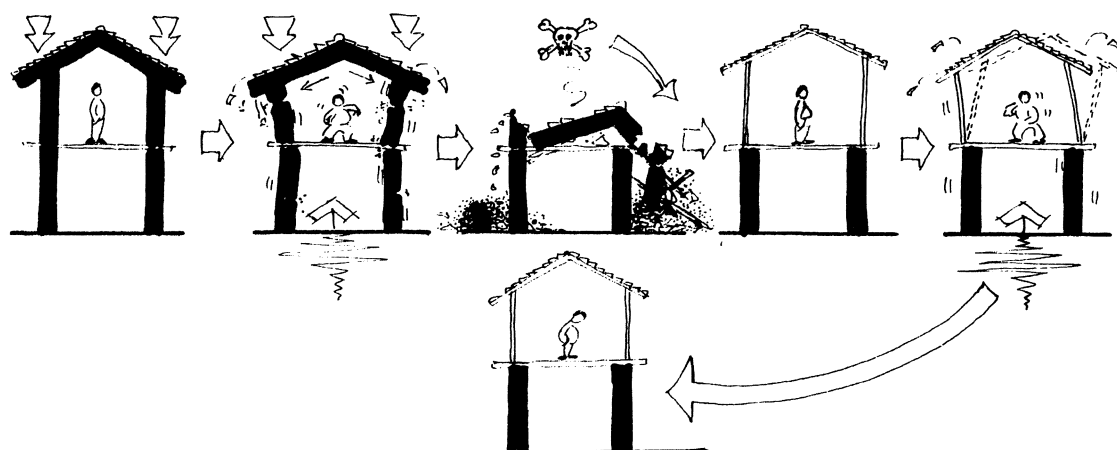
Este sistema constructivo se inició en el Perú en el tiempo de la colonia y sin lugar a dudas - en el campo de la construcción-, es uno de los mayores logros alcanzados en el proceso de colonización ya que en este tipo de edificaciones convergen una serie de aspectos técnicos y culturales que demuestran 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 implican 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.

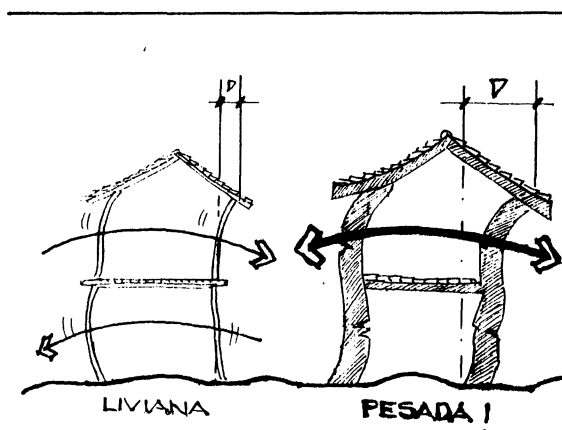
Aspectos generales del sistema CET.

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.

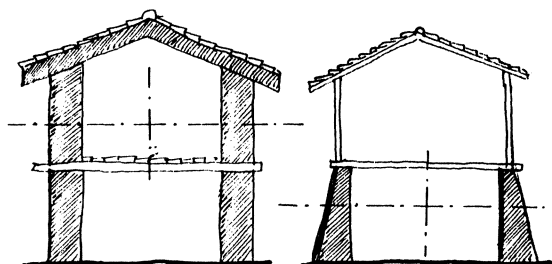
Uno de los aspectos determinantes de la presente investigación es el diseño sísmico de las estructuras de tierra.

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 sollicitaciones 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.

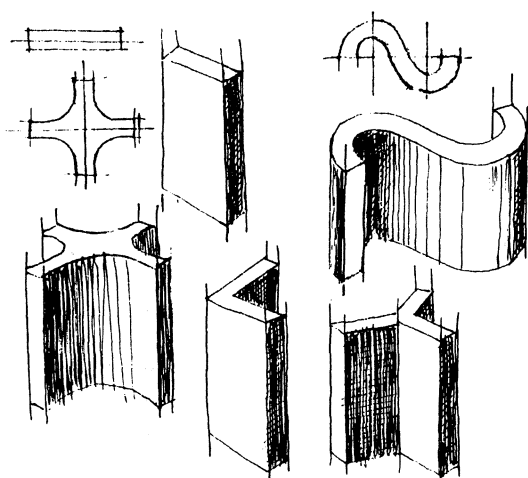


- Tratar de que el centro de gravedad de la edificación se encuentre lo más bajo posible con la finalidad de que la estructura mantenga un equilibrio constante.

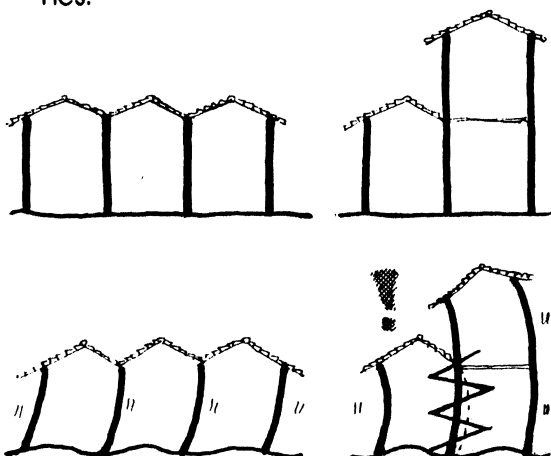


- Los muros de tapial deberán tener una forma con la cual se logre incremen-

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 permitirán orientar el proceso de experimentación en laboratorio así como de diseño de cada uno de los elementos componentes del sistema CET.

- ¿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.

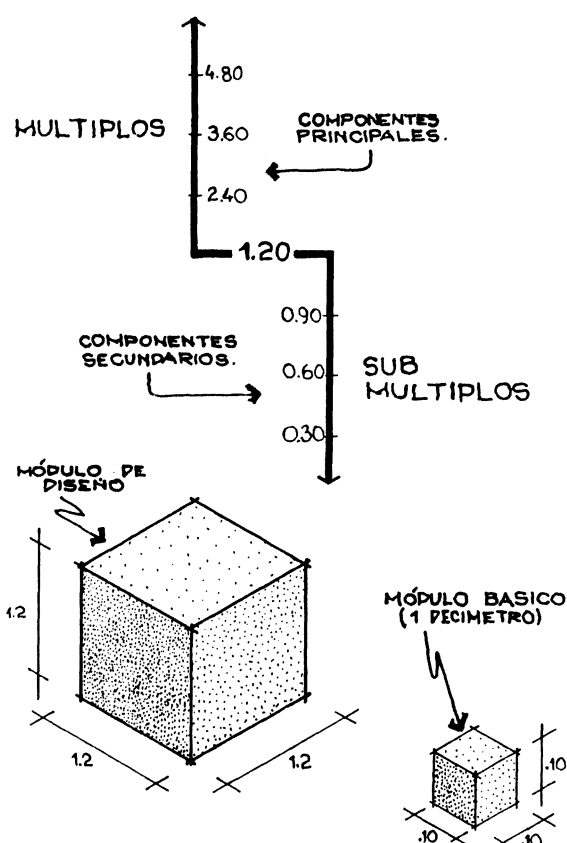
El valor del sistema planteado, yace en las características de sus elementos, es decir deberán ser compatibles entre sí dentro del sistema y considerará el diseño de los ensamblajes, juntas, montaje, transporte de algunos componentes complementarios, así como también las operaciones que se realizarán 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 físicamente.

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 productos 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 optimicidad.

Uso de tramas

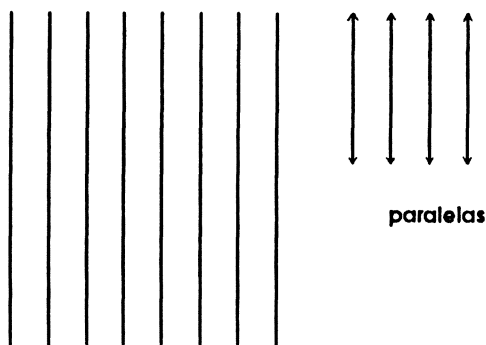
Las tramas se constituyen en redes ordenadoras las cuales contienen las dimensiones modulares del sistema. Estas tramas pueden estar en un plano (planimétricas) o en tres planos (volumétricas).

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.

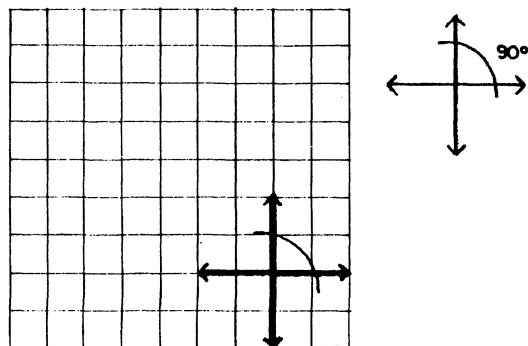
En relación al sistema CET, necesariamente se deberá utilizar una o más tramas modulares puesto que en base a ellas podremos determinar las características formales de los elementos componentes (muros en L - T - Y, etc.), además de proporcionarnos las dimensiones óptimas del sistema.

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

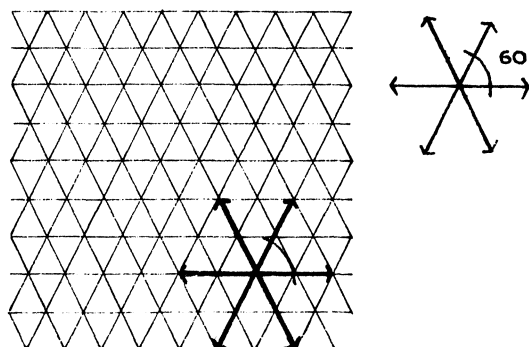
Trama básica



1.- **Trama Bidireccional** (en un plano), la cual está formada por líneas que se entrecruzan a 90°

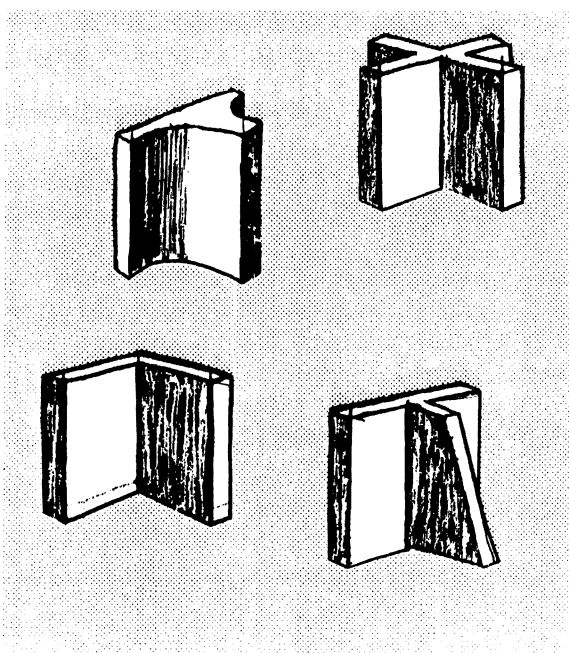


2.- **Trama Tridireccional** (en un plano), con líneas que se entrecruzan a 60° , formando una trama en base a triángulos equiláteros. Esta trama nos permitirá obtener espacios exagonales.

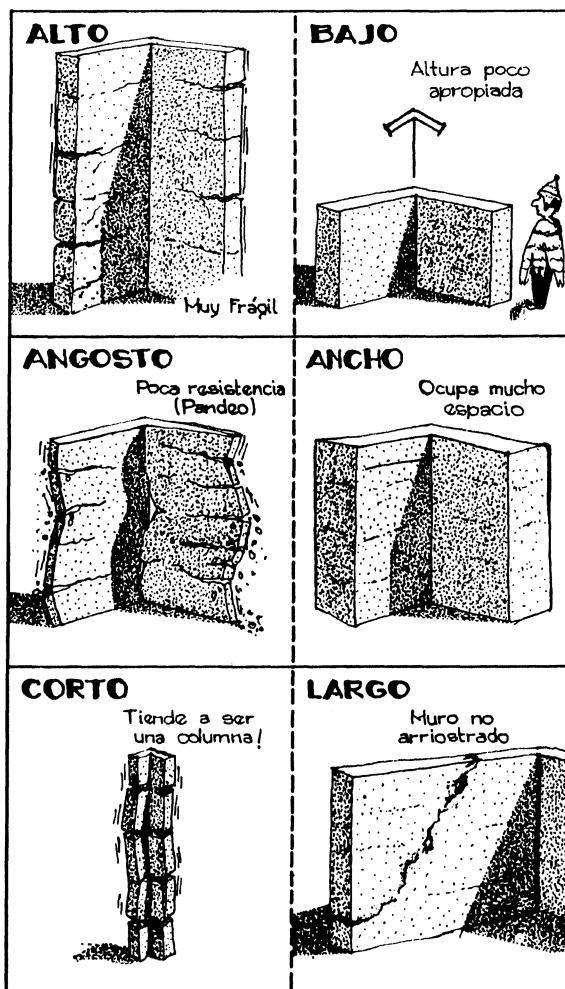


Forma de los componentes

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, sinó 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.

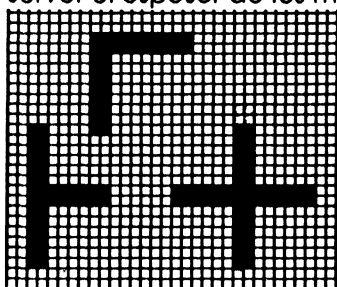


Para poder determinar las formas óptimas se propone ensayar en el laboratorio de estructuras los distintos tipos de componentes que sean representativos, es decir muy rígidos (C), bastante rígidos (Y), medianamente rígidos (L) y poco rígidos (L abierta); así como sus dimensiones llevadas a los extremos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

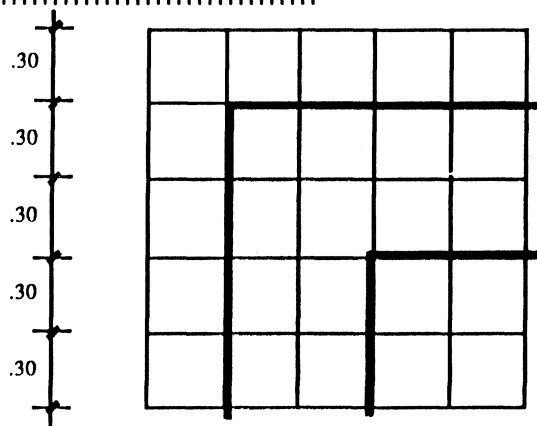


Si partimos de que la forma coadyuvará a incrementar la resistencia del muro de tierra, entonces podremos deducir que el espesor de dichos componentes también podrán ser reducidos.

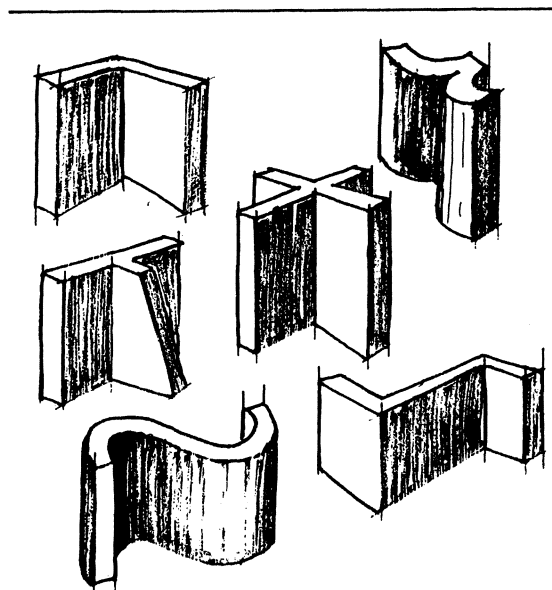
La propuesta inicial es que dichos componentes tengan un espesor de muro de 30 cm; este planteamiento se sustenta tanto en las condiciones reglamentarias para edificaciones de tierra (ININVI. 1987) es decir que para dicho espesor de muro se puede alcanzar una altura de 2.50 m. siempre y cuando se encuentre 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.



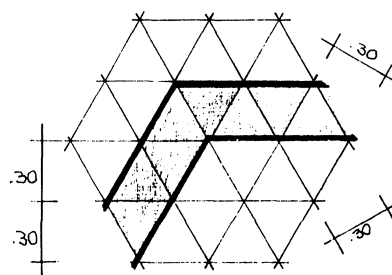
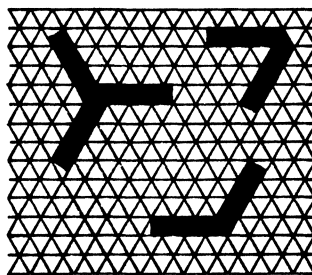
Trama
Bidireccional
(90°)



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;

Elementos de análisis estructural

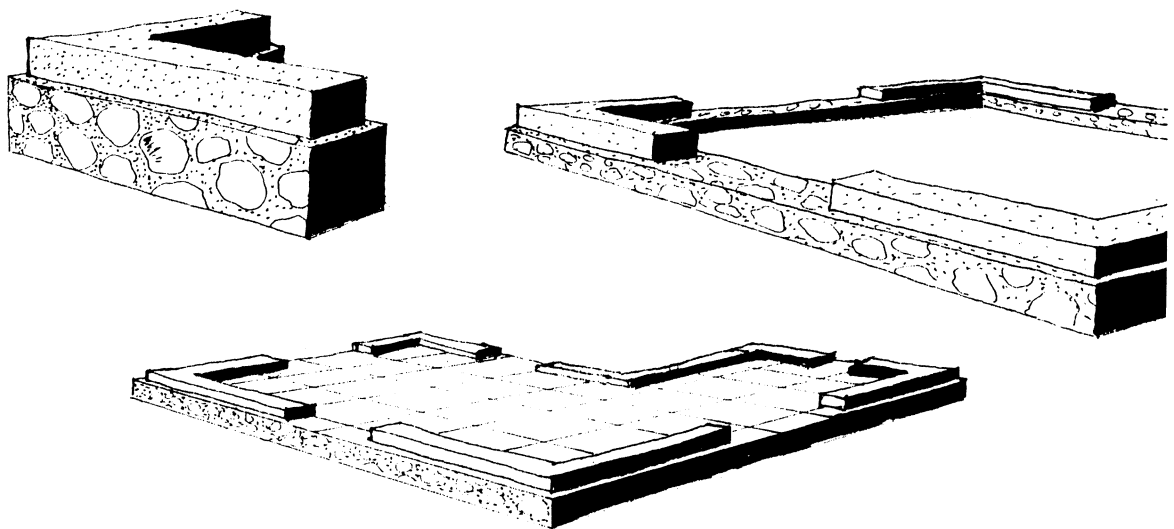
Previo al análisis del Sistema CET en laboratorio, hemos realizado una identificación de aquellos elementos constitutivos del sistema (cimientos, muros, entrepisos, techos, etc.) que merecerán ser estudiados con mayor profundidad; para ello se desarrollaron propuestas de modificación de los sistemas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

Cimientos.

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

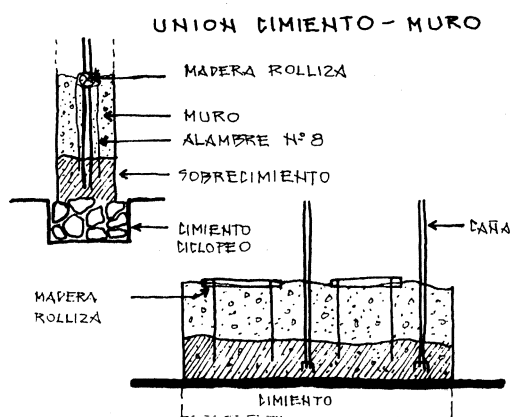
ral de toda la edificación; dependerá de que estos elementos estén bien diseñados para que se logre un incremento en la resistencia final de la estructura frente a requerimientos sísmicos.

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.



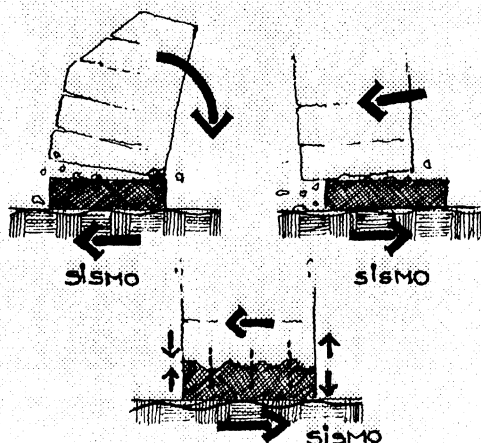
Se analizará así mismo el tipo de anclaje de los muros con el sobrecimiento mediante la utilización de elementos de unión vertical, es decir cañas, cuero, sogas o algún tipo de

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 (sobreclimiento) sea irregular, de manera que el ensamble con el muro tenga un mejor comportamiento frente a los desplazamientos horizontales.

COMPORTAMIENTO DEL MURO CON EL CIMIENTO



Muros.

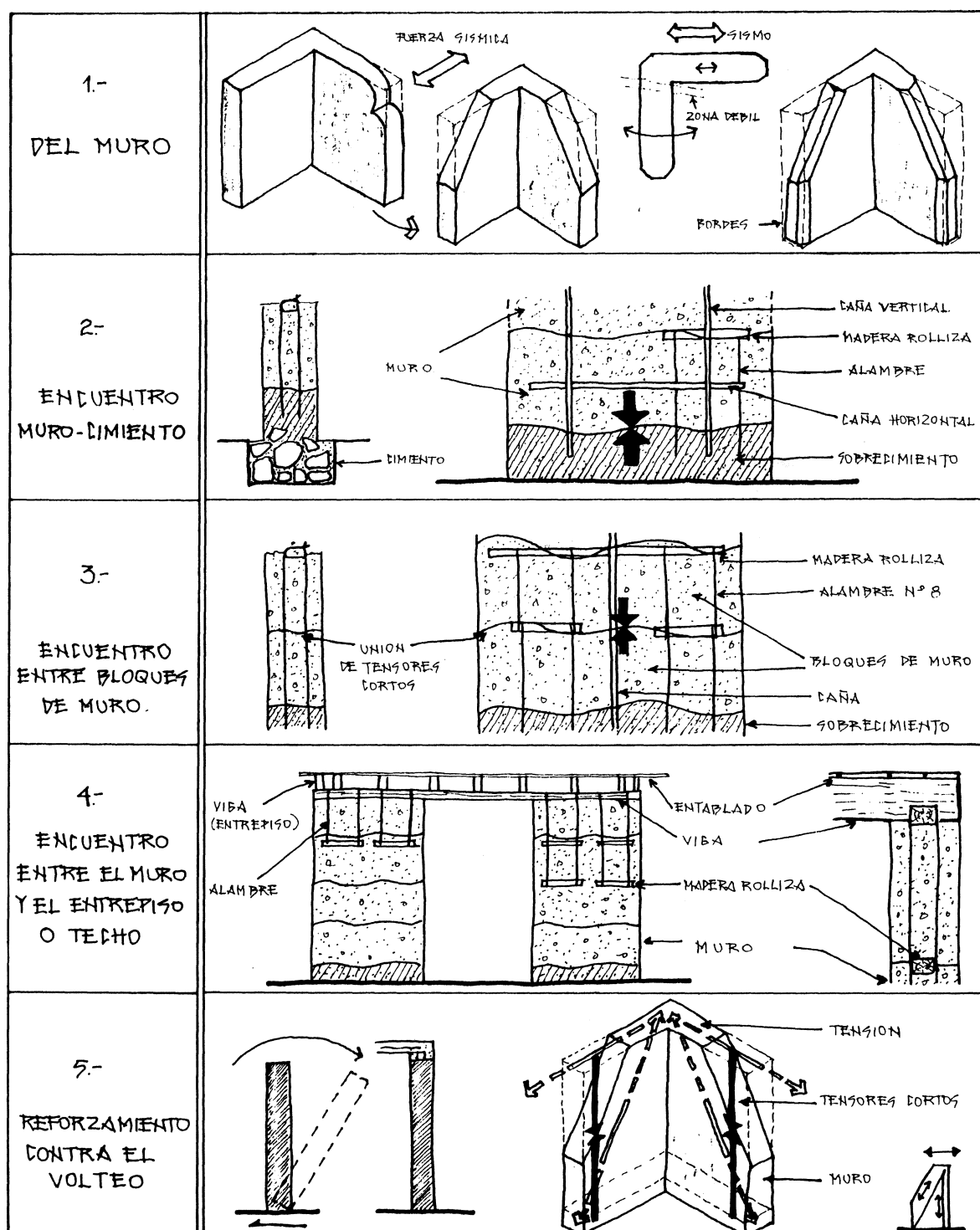
Se propone un tipo de edificación en base a componentes estructurales fabricados con el sistema constructivo del tapial en el primer nivel y con el sistema de la quincha en el segundo.

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 (gaberías) los cuales pueden ser de madera o metálicos. Estas gaberías 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.

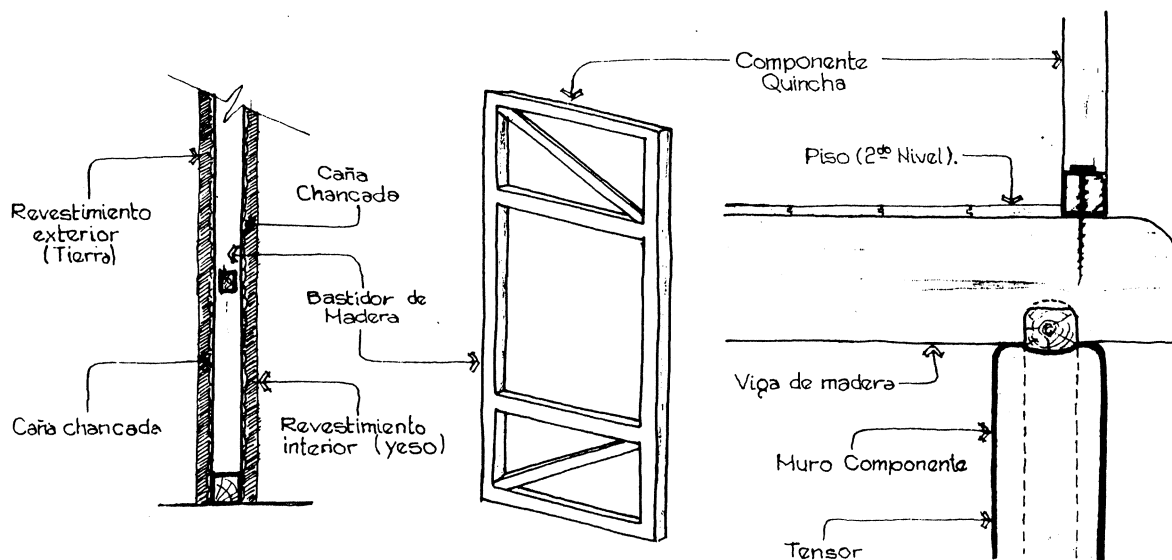


En las edificaciones comunes de tierra, generalmente se presentan fallas de diferentes características, esto debido -entre otras causas- a que tienen vibraciones desordenadas a causa de la gran cantidad de formas y dimensiones de los muros que hace que se produzcan esfuerzos de flexión y corte y que 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.



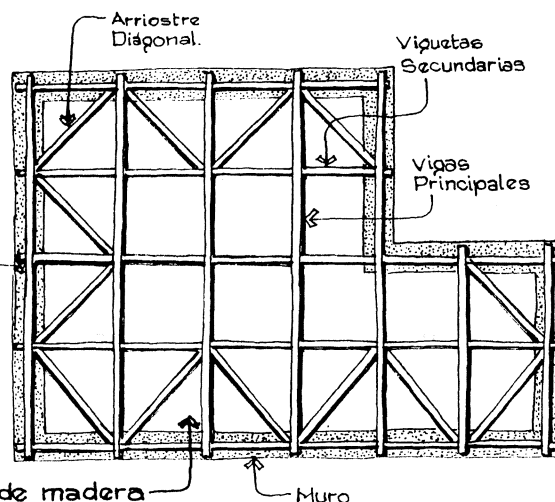
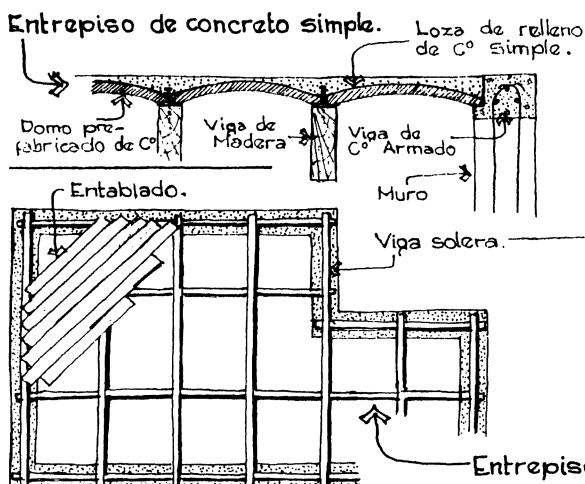
La organización de los elementos componentes de quincha también se llevará a cabo mediante la utilización de la trama modular empleada en el primer nivel. El armado de los componentes de quincha, se realizará utilizando madera aserrada o rolliza para los bastidores. Estos muros deberán

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.

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 prever el uso de algún tipo de arriostre lateral que ayude a consolidar un comportamiento integral del techo con los muros de quincha.

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. . . ." (Corazao 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-oriental 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 varios 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.

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.

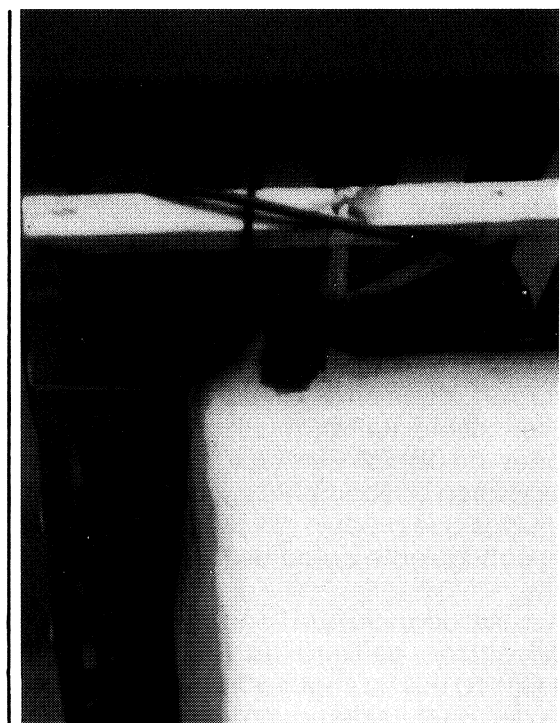
Tanto el análisis de los muros componentes como de los módulos fueron desarrollados utilizando acelerómetros que se ubicaron en distintas partes del espécimen; las respuestas se compararon con las aceleraciones de entrada de la mesa de vibración, utilizando para ello el osciloscopio y el pen oscillograph.

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

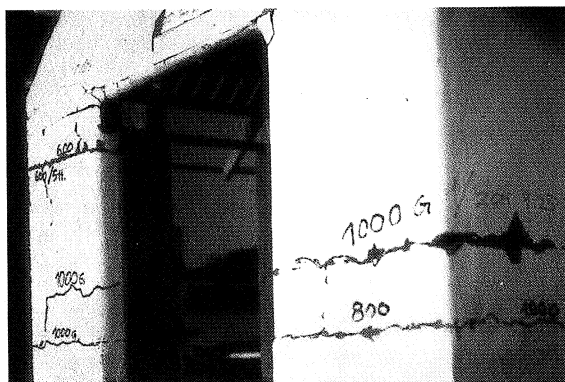
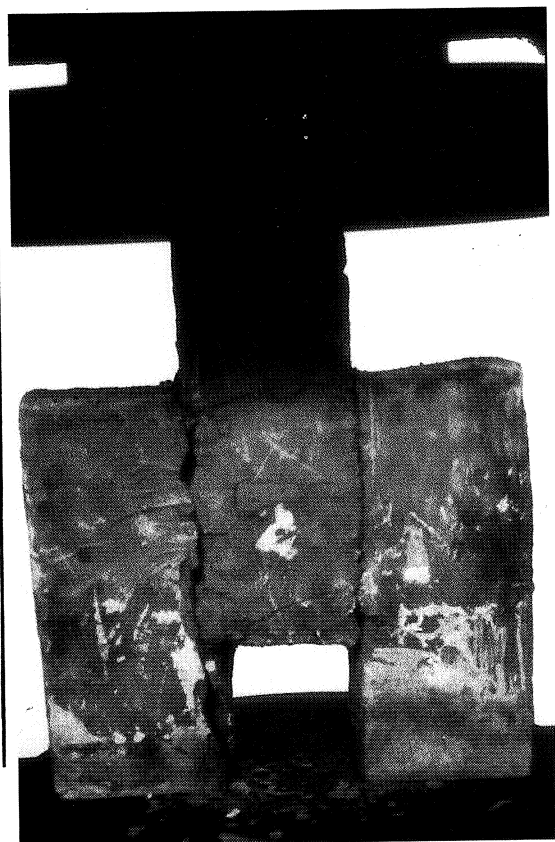
tos se ubicaron en zonas representativas de cada espécimen; en aquellos módulos de dos niveles a escala 1/5 se ubicaron los acelerómetros en el entrepiso y el techo con la finalidad de conocer la amplificación de desplazamientos en estos puntos.

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.

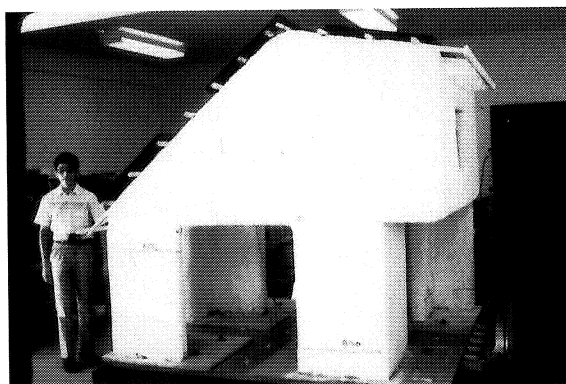
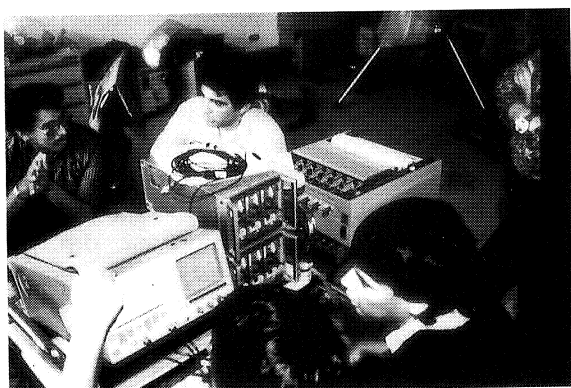
La ubicación de los traductores de desplazamientos (acelerómetros) es realizada cuidadosamente. Se eligen lugares adecuados en el espécimen para su localización.



Análisis de los ensayos



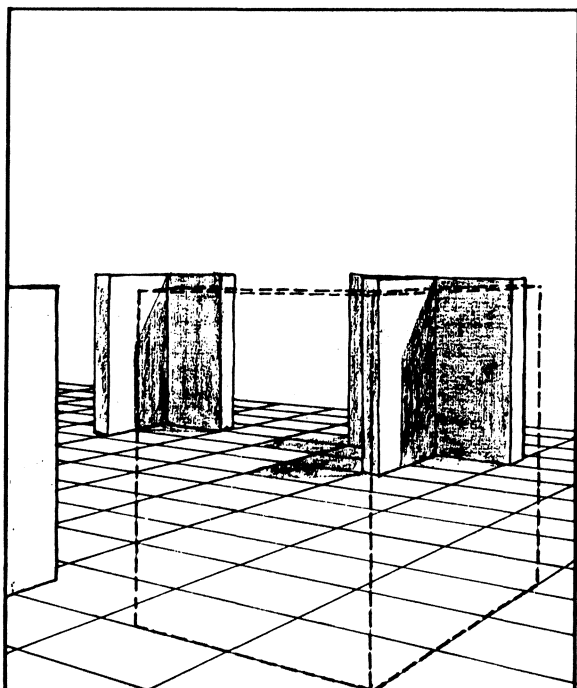
El Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) es considerado como uno de los laboratorios más completos de Latinoamérica y cuenta -en el campo de estructuras- con un equipo moderno y sofisticado, el cual fué utilizado para la ejecución de variados ensayos de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



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.

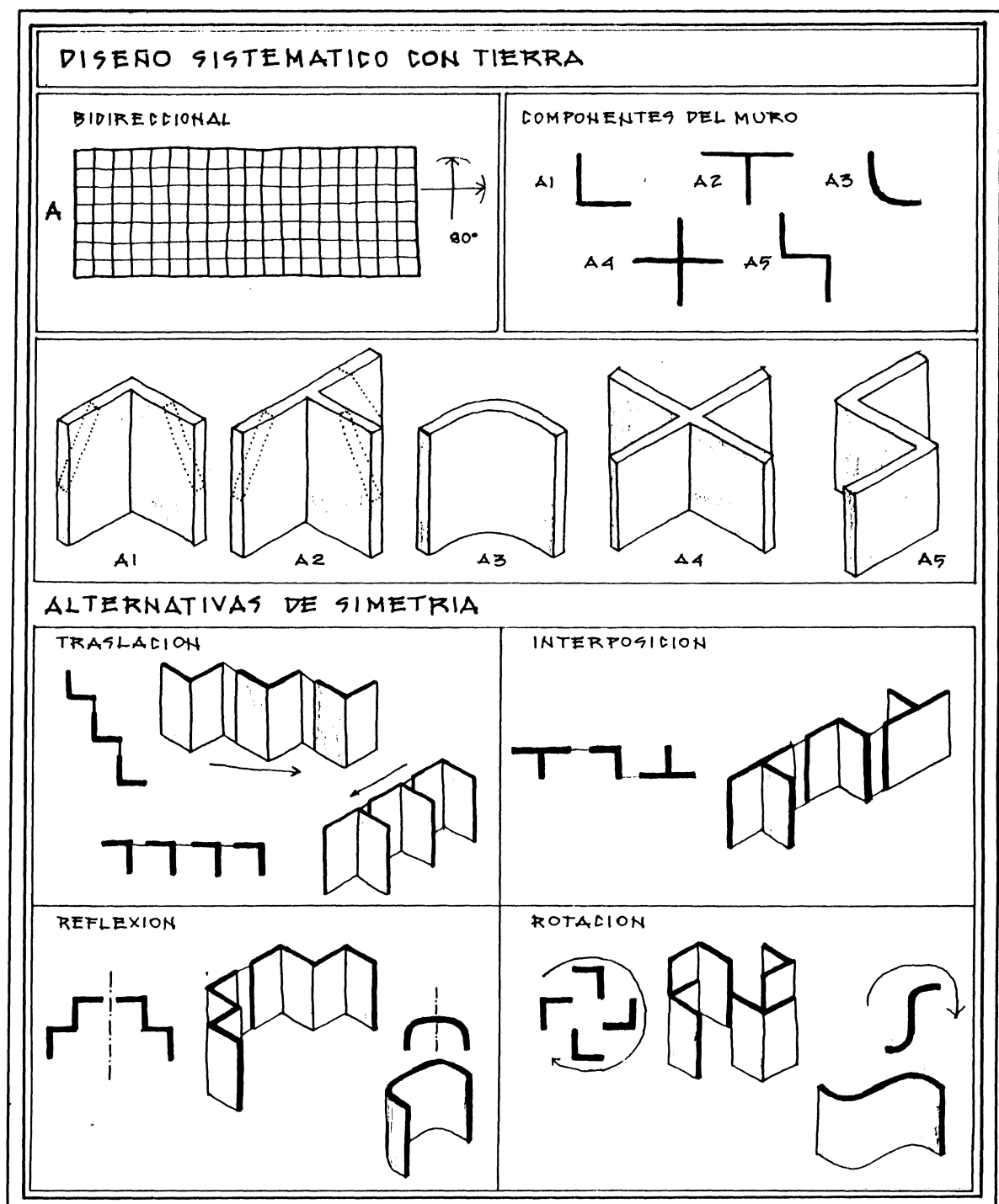
En realidad la sistemática nos proporcionará una manera o método para poder diseñar en base a tramas modulares las cuales a su vez definen las formas de los componentes de muro. La idea consiste en combinar estos elementos modulares los cuales deben estar coordinados dimensionalmente de manera que pueda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

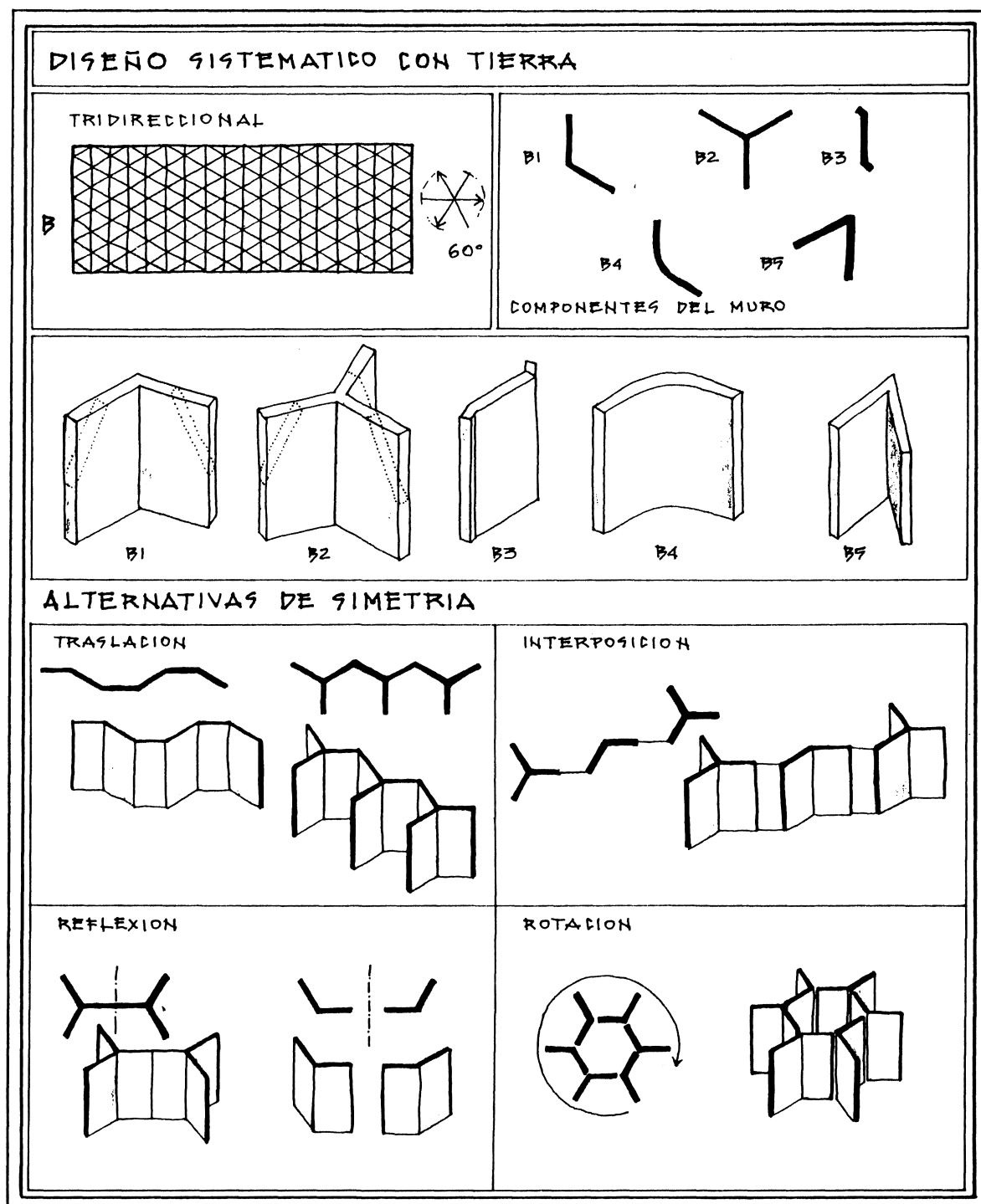


El diseño sistemático en base a muros componentes con tierra busca hallar un lenguaje que permita encontrar una gran cantidad de combinaciones a partir de pocos elementos, de esta manera se logra simplificar notablemente el proceso de diseño el cual podrá ser desarrollado fácilmente incluso por el propio 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 tridimensional, los cuales tendrán ángulos agudos de 60° y obtusos de 120°. 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.





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 entrepisos, 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.

ANEXO

Aplicación del Sistema CET en un ensayo de campo.

En la ciudad del Cusco hemos realizado la construcción de una vivienda de tierra que contempla básicamente los conceptos constructivos del sistema CET.

El objetivo del ensayo consistía en demostrar la factibilidad de construir una vivienda bajo los siguientes criterios:

- Vivienda mixta con muros de tierra y quincha.
- Que sea construida con elementos componentes de tierra.
- Que utilice mano de obra no especializada.
- Que utilice herramientas simples.
- Que utilice materiales de la zona.
- Que sea económica.
- Que sea fácilmente construible.
- Que sea segura.

Estos criterios de diseño y construcción creemos que se cumplieron satisfactoriamente ya que de una manera objetiva se pudo demostrar la factibilidad del sistema. La construcción mixta de la edificación fue desarrollada en base a los resultados obtenidos en la etapa de investigación en laboratorio y la presente fase sirvió para modificar algunos planteamientos iniciales.

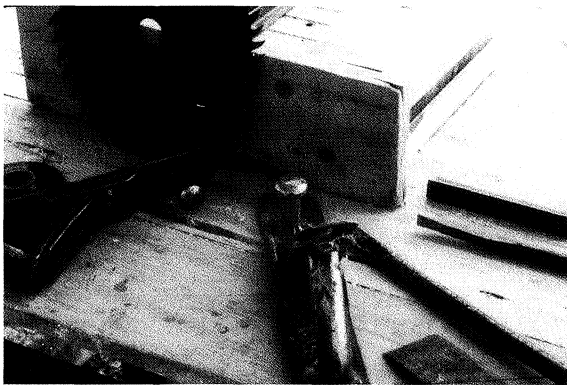
La puesta en práctica del sistema ini-

cialmente no fue fácil pues había que vencer muchas barreras, especialmente la aceptación para construir la vivienda no sólo por que fuera de tierra sino por que la construcción con un sistema liviano de quincha en el segundo nivel se asocia fácilmente con la idea de "fragilidad e inseguridad". De otro lado la idea de "arriesgarse" a construir con un sistema distinto a los conocidos, dificultaron las labores de diseño inicial y tuvimos que incrementar algunos refuerzos adicionales que finalmente no lograron incrementar los costos de manera significativa.

El proyecto final de la edificación consta de una serie de ambientes interdependientes que logran relacionarse unos a otros mediante definidos espacios de circulación. La segunda planta logra integrarse a la primera por medio de espacios de circulación y desde los cuales se puede acceder a la zona íntima.

De otro lado a nivel de diseño, se ha llegado a una propuesta tipológica distinta a aquellas derivadas de las construcciones tradicionales con tierra; es decir con el sistema CET se puede lograr obtener una mayor libertad en el manejo de los espacios arquitectónicos; es por ello que esta vivienda mantiene en su diseño y estructuración algunos voladizos, vanos amplios sin alfeizer, espacios no necesariamente ortogonales, cubiertas de variadas formas, integración o comunicación visual del primer y el segundo nivel, etc.

El área total de construcción de ambos niveles suman alrededor de 300 m² de los cuales menos de 40 m² son ocupados por los muros es decir aproximadamente 13% del área total. Parte de los muros (aquellos exteriores hacia la calle) fueron contruidos de 45



En la foto de arriba podemos observar algunas herramientas fabricadas por los mismos constructores. Abajo: mano de obra no necesariamente especializada.

cm de espesor y son muros corridos, los demás son elementos componentes de distinta forma (L - Y - T - S).

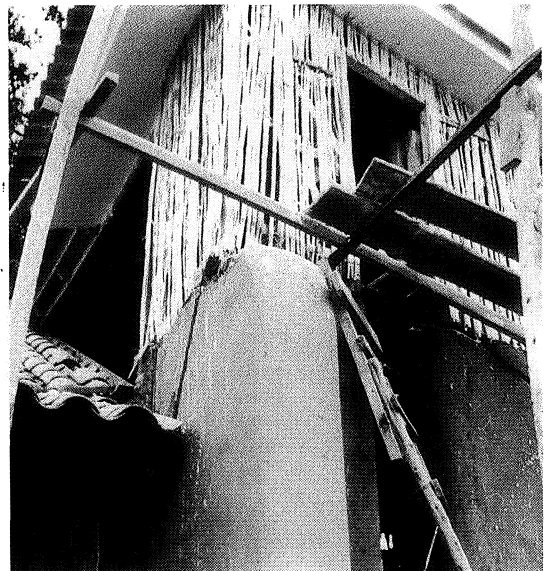
Respecto a la mano de obra empleada en la edificación, podemos decir que no es considerada como calificada o especializada, sin embargo estas personas anteriormente habían construido con materiales y técnicas artesanales; es por ello que el sistema CET fué fácilmente "reconocido" ya que en esencia sus características constructivas son autóctonas. Las modificaciones que se incluyeron fácilmente fueron asimiladas.

Uno de los aspectos más importantes es la producción de este tipo de viviendas sin utilizar herramientas sofisticadas; en efecto el 80% de las herramientas utilizadas fueron fabricadas por ellos mismos y las restantes son herramientas de uso cotidiano.

Este hecho nos hace suponer que este tipo de edificaciones pueden ser desarrolladas en cualquier lugar, lógicamente en

donde las condiciones de suelo y disponibilidad de materiales lo permita.

No solamente es importante la existencia de tierra apropiada para edificar con este sistema mixto, sino también es básico que existan materiales que permitan construir el segundo nivel con quinchá u otro sistema liviano similar, es por ello que en este caso no fué difícil construir con el sistema CET por que en la zona existe gran cantidad de madera especialmente de eucalipto lo cual nos permitió fabricar la estructura del segundo nivel en sólo tres semanas.



La construcción de los muros fué ejecutada fácilmente puesto que la tierra del lugar tenía las proporciones aceptables es decir era un tipo de arcilla plástica a la cual se añadió un 5% de arena para evitar el agrietamiento de los muros. Para el enlucido final de los muros se utilizó el mismo material pero se añadió 20% de arena gruesa, más una sustancia vegetal en base a las hojas de la tuna a manera de impermeabilizante, con lo cual se redujeron aún más las fisuras del muro.