CONSTRUCCION CON TAPIAL

INVI DT

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION
Y NORMALIZACION DE LA VIVIENDA

DOCUMENTO
TECNICO

CONSTRUCCION CON TAPIAL

PRIMERA EDICION

DOCUMENTO TECNICO
DICIEMBRE — 1989

ININVI
AV. ALFREDO MENDIOLA Nº 4203
URB. PREVI-NARANJAL DIST. LOS OLIVOS - LIMA 39
TLF.: 85-1989 APARTADO 31 - 056
CORREO INGENIERIA
LIMA - PERU

PRIMERA EDICION **DICIEMBRE DE 1989**

UNA PUBLICACION DEL **ININVI**

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION
Y NORMALIZACION DE LA VIVIENDA

DIRECTORIO

Presidente	Miguel Alvariño Guzmán
Vice Presidente	Alicia Odiaga Voysest
Director	César Carrillo Niño de Guzmán
Director	Julio Kuroiwa Horiuchi
Director	César Díaz Gonzales
Director Técnico	Aníbal Díaz Gutiérrez

Toda reproducción parcial o total requiere la autorización del ININVI

Elaboración del documento ..... Angel San Bartolomé Ramos.
Daniel Quiun Wong.

Coordinación y revisión ..... Isabel Moromi de Echazú

Mecanografiado ..... Nancy Trujillo Delgado

Coordinación de Impresión ..... Irma Izaguirre Guzmán

Impresión ..... Marens Artes Gráficas E.I.R.L.

“ENSAYOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS EN CONSTRUCCIONES DE TAPIAL”

CONVENIO	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y NORMALIZACIÓN DE LA VIVIENDA (ININVI) - PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (PERÚ)
ENTIDAD EJECUTORA	LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA (LEDI-PUCP)
PERSONAL PUCP	Ing. Ángel San Bartolomé R. Ing. Daniel Quiun W. Ing. Marcelo Perla L. Ing. Carmen Ballón T. Ing. Raúl Carbajal A.
PERSONAL ININVI	Ing. Isabel Moromi Ing. Aníbal Díaz G.

Octubre, 1989

RESUMEN

Con el objeto de estudiar la manera de reforzar las viviendas de tapial, se desarrolló un Convenio entre el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Se buscó mejorar el comportamiento sísmico utilizando recursos naturales y económicos, sin modificar mayormente el proceso constructivo tradicional.

En este reporte, se resume primeramente la técnica de construcción tradicional observada en las visitas hechas a los departamentos de Junín (Valle del Mantaro) y Ancash (Callejón de Conchucos), luego se describen los ensayos estáticos realizados en muretes y muros, en donde se investigó el efecto de diversas variables sobre la resistencia al corte del tapial. Finalmente, se analiza el comportamiento ante un sismo simulado en mesa vibradora, de 2 módulos de vivienda y 6 muros con diversos tipos de refuerzo.

INTRODUCCIÓN

El tapial es un tipo de construcción en base a tierra húmeda apisonada, de gran uso en nuestra serranía y segundo en importancia después del adobe. Según los pobladores, por la rapidez en su construcción y porque el adobe generalmente hay que adquirirlo, las viviendas de tapial resultan ser 3 veces más económicas que las de adobe.

Sin embargo, por su gran masa, por las fisuras producidas por la contracción de secado, por la debilidad de sus juntas de construcción y por la pobre conexión entre muros ortogonales, el tapial resulta vulnerable a las acciones sísmicas. Es así que surgió el Convenio ININVI-PUCP, cuya finalidad fue estudiar la manera de mejorar su comportamiento sísmico, utilizando recursos naturales y económicos, sin alterar mayormente el proceso constructivo tradicional.

CAPÍTULO 1 - LA TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL -

Con miras de estudiar las técnicas de construcción en Tapial, se efectuó una visita al Callejón de Conchucos (Ancash), y al Valle del Mantaro (Junín). Con este objeto, se realizaron encuestas a los constructores, las que incluyeron la aceptabilidad de algún tipo de refuerzo, sin variar mayormente el proceso constructivo tradicional. Otros objetivos de la visita fueron:

- Investigar el tipo de suelo empleado en la construcción.
- Reconocer las herramientas utilizadas en la construcción.
- Estudiar las formas de falla en las viviendas de Tapial.

Adicionalmente, se presentan fotografías de los moldes (tapialeras) empleados en Cajamarca, Huánuco (Tomayquichua) y Ecuador (Cayambe).

1.1 HERRAMIENTAS EMPLEADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TAPIAL

a) El molde (Fig. 1):

Se usa como molde tablas de 1.5" a 2" de espesor que van a lo largo de la tapia, y dos tapas del mismo espesor que van en los extremos. El largo de las tapias varía entre 1.2 a 2.0 m., su altura entre 0.4 y 0.6 m., y su espesor varía entre 0.4 a 0.5 m.

El molde usado en Cajamarca, requiere de troncos que sirven de apoyo y de presas al mismo, lo que origina grandes huelgos en la base, que son rellenados con piedras que quedan sueltas, disminuyendo el área de corte. En cambio, en Huánuco y Chile, se emplean platinas metálicas como apoyo y presas, mientras que en Junín se usan varillas lisas de acero y en Ancash se usa soga.

De acuerdo a lo visto en el Perú, los moldes pueden ordenarse en forma decreciente el función de su calidad, de la siguiente manera: Huánuco, Junín, Ancash y Cajamarca. El molde empleado en el Ecuador, después del sismo del 5 de marzo de 1087, permite encuentros continuos de muros en T y L, sin embargo es de difícil manipulación dado su volumen.

b) El pisón:

Para la compactaci6n de la tierra, en Cajamarca y en Ancash se usa un mazo de madera de unos 10 Kg. de peso, mientras que en Junín y Huánuco se emplea una comba de hierro de 12 a 20 libras (5 a 9 Kg).

c) Otras herramientas:

- La Azuela, se usa para hacer rebajos en la tapia construida.
- El Badilejo, para raspar la tierra pegada al molde.

- La Plomada y el Cordel, para controlar la verticalidad y alineamiento del molde y muro.
- Nivel de Burbujas, para nivelar el molde y dinteles.
- Serrucho, Martillo, Hacha y Machete, para habilitar la madera.

1.2 PROCEDIMIENTO TRADICIONAL DE CONSTRUCCIÓN DE LAS TAPIAS

a) Selección del suelo:

El suelo elegido para la construcción, se obtiene de algún lugar cercano a la obra, generalmente es arcilla arenosa, con piedras no mayores a 3".

Para reconocer si un suelo es apropiado para la construcción, se emplea un método de campo que consiste en toma un puñado de tierra humedecida, y apretarla fuertemente para ver si ésta queda compacta, en cuyo casa será adecuada.

Las muestras recolectadas en Ancash y Junín, fueron analizadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la PUCP, obteniéndose como resultado que las curvas granulométricas (FIG. 2), para los suelos reconocidos como adecuados por los tapialeros, encajaban dentro de los límites propuestos por CRATERRE (Ref. 1).

b) Preparación del Suelo:

El suelo se prepara mezclándolo con agua y paja. La cantidad de agua depende de la experiencia del tapialero; aunque algunos constructores verifiquen si la humedad es a no adecuada con un método de campo consistente en formar una bola y dejarla caer desde un metro de altura; si ésta no se rompe es porque tiene mucha agua, si se desmenuza significa que le falta agua y si se rompe en trozos grandes la humedad es adecuada (Ref. 1).

El objetivo de la raja (de cebada o trigo, muy poco se usa ichu), es atenuar la fisuración de la tapia por contracción de secado.

c) Compactación (Fig. 3):

Empleando al pisón se compacta la tierra en subcapas de 10 a 15 cm. de espesor, hasta obtener una superficie dura en la cual el mazo no penetre más. Por lo general cada tapia consta de 4 subcapas. La última capa se palmotea con un mazo especial de madera, lográndose formar una superficie plana.

Para la construcción de una nueva hilada de tapial, se espera unos 8 días hasta que seque la primera hilada, .y 3 ó 4 días si se trata de una hilada superior.

1.3 DETALLES EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE TAPIAL

Las viviendas de Tapial son de uno o dos pisos. La altura de piso a techo es por lo general 2.4 m. Las dimensiones de los vanos de puertas son en promedio 1.4 m. de ancho y 2.0 m. de alto. Los ambientes son como máximo de 4.0 x 5.0 m. Todos los materiales usados en la construcción son propios de la región y están al alcance económico del poblador.

a) Cimentación:

Para la cimentación se emplean piedras grandes asentadas con barro (Pirca) de profundidad variable. El uso de sobrecimiento no es general y cuando éste se construye suele ser también de Pirca.

b) Eucalipto en los muros:

No se acostumbra usar solera, ni refuerzo interno en el muro, ni estacas en las juntas. Por estar generalizado el uso del eucalipto al centro de cada tapia (Ancash, Huanuco y Junín), no como refuerzo estructural pero sí para atenuar la fisuración por contracción de secado (FIG. 4), se puede deducir que una mejor distribución del eucalipto como refuerzo sísmico sería aceptada por el poblador.

c) Vanos y dinteles:

Para la construcción de puertas y ventanas se deja libre al vano, haciendo luego un rebajo con la azuela en las tapias adyacentes en donde se colocan troncos de eucalipto (ϕ : 3"), que sirven de dintel. Suele también construirse colocando tapias poco compactadas en el vano o dejando adobes, que son removidos al término de la construcción.

d) Techos (FIG. 5):

Los techos generalmente son a una o dos aguas, compactándose la tierra en los tímpanos de modo que tomen la forma inclinada del techo, o también se asientan adobes en la zona inclinada.

La madera utilizada en el techo es eucalipto, el que se habilita al pie de la construcción. Todos los encuentros se unen con clavos y se amarran con soguilla.

Para la estructura del techo se emplea una viga cumbrera (ϕ: 5"), apoyada en los tímpanos; sobre ella se apoyan viguetas separadas 75 cm. Los aleros son troncos empotrados en el muro y sobresalen 1.0 m. Sobre este armazón (usualmente sin brida inferior), y en el sentido de la cumbrera, se clavan listones de madera o caña. Como cobertura se usa ichu, teja artesanal o calamina.

e) Acabado de los muros (FIG. 6):

La mayoría de las viviendas no presentan acabado, pero las que lo tienen emplean una mezcla de barro y paja ("Obra Negra") con una capa de yeso (“Obra Blanca"). Algunas tienen tarrajeo de cemento, aplicado sobre una malla de alambre clavada al tapial.

1.4 FALLAS ESTRUCTURAS

Generalmente las viviendas presentan grandes grietas en los encuentros de muros y en la zona central superior (FIG. 7A), éstas se deben a la acción sísmica y a asentamientos del suelo, especialmente en viviendas que están ubicadas en laderas (FIG. 7B).

Otras fisuras se deben a la construcción de tapias sobre hiladas aún húmedas, en estado de contracción; asimismo, en las esquinas, al apisonar la tapia superior se producen fisuras verticales en la tapia dentada ortogonal inferior (FIG. 7C).

El sismo de 1970 no produjo mayores daños en las viviendas de Tapial del Callejón de Conchucos, tal vez por estar ubicadas en la zona oriental de la Cordillera Blanca; en cambio los daños fueron más serios en las viviendas del Callejón de Huaylas, habiendo obligado a la remodelación total de la ciudad de Huaraz. De todas maneras, pudo observarse vestigios de los daños producidos por este terremoto, notándose que el solo uso de refuerzo horizontal discontinuo y embebido al centro de la tapia, no es suficiente para evitar el volcamiento de muros. Ver FIG. 7D.

CAPÍTULO 2 - ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL CORTE MEDIANTE ENSAYOS ESTÁTICOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES -

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MURETES

Se construyó un total de 72 muretes de tapial, con dimensiones 0.60 x 0.60 x 0.15 m., apisonando capas de 10 cm. de altura con un mazo de concreto de 10 Kg. de peso.

Se emplearon 2 tipos de suelo, una arcilla de baja plasticidad proveniente del campus de la Universidad Católica (suelo "PUC") y una arena limosa (suelo "COMAS"); el suelo fue previamente tamizado por una malla de 2" y combinado con césped (0.25 % en peso). La mezcla se preparó un día antes de la construcción (excepto cuando se usó aglomerante), y la humedad fue controlada mediante la prueba de campo descrita en 1.2.b.

Se construyeron 3 muretes por cada variable a estudiar, las que fueron: el tipo de suelo, el efecto del curado (regado total, 2 veces al día, por 3 días consecutivos con 1 L. / m^2), la adición de estabilizantes (5 % en peso de cal o cemento), y siete tipos de junta de construcción (junta seca y las seis que se muestran en la FIG. 8).

Los muretes fueron ensayados a compresión diagonal (FIG. 11) a una edad de 28 días; los resultados promedio aparecen en las Tablas 2.1 y 2.2.

2.2 INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL SUELO, DE LA ADICION DE ESTABILIZANTES Y DEL CURADO EN LA RESISTENCIA AL CORTE

De la Tabla 2.1, se puede afirmar:

El suelo arcilloso PUC, debido a su mayor cohesión, tuvo mayor resistencia (203 % más) que el suelo arenoso COMAS.

El curado, no es conveniente cuando se hace sobre suelos naturales, ya que se reduce la resistencia hasta en un 40%.

La adición de cal al suelo PUC, no dio buenos resultados (redujo la resistencia curando o no al murete). Para el suelo COMAS la resistencia se mantuvo constante, aunque ella se incrementó 44% cuando el murete tuvo 60 días de edad.

El empleo de cemento, fue adecuado en el suelo COMAS incrementando su resistencia en 191% cuando no se curó al murete y en 364% cuando se curó al murete; esto no fue así para el suelo arcilloso PUCP en donde la resistencia decreció 12%.

Los muretes con suelo arenoso COMAS, mejoraron su resistencia en 51% cuando se usó como estabilizante suelo arcilloso PUC, en proporción 1:2 (COMAS:PUC); esta solución resulta económica en vista que la alternativa de usar 5% de cemento equivale a emplear una bolsa de cemento por m^2 de pared de 40 cm. de espesor.

2.3 ESTUDIO DE SIETE PISOS DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Usando suelo PUC, se construyeron tres muretes (por cada tipo de junta) en dos etapas: construcción de la primera mitad y tratamiento de la junta, y luego de esperar una semana se construyó la mitad superior. A los 28 días de edad, los muretes se ensayaron a compresión diagonal, dando los resultados promedio indicados en la Tabla 2.2. De esta tabla se puede afirmar:

La resistencia al corte disminuyó fuertemente en relación a los muretes sin juntas de construcción (monolíticos), debido a que el plano de la junta pasó a ser una zona potencial de falla.

Los tipos de junta que proporcionaron mayor resistencia al corte fueron en orden decreciente: la junta rayada y humedecida (1 L. / m^2), y la junta con tres estacas de eucalipto; en ambos casos la falla fue a lo largo de la diagonal. Les siguió la junta de concreto (espesor:1"), en donde la falla se corrió hacia las subjuntas. En el resto de muretes, la falla tuvo una clara tendencia a seguir la junta intermedia de construcción.

En vista de los resultados obtenidos, los muros mejorados de las siguientes etapas de la investigación, se construyeron empleando ya sea juntas rayadas y humedecidas, y/o estacas.

CAPÍTULO 3. - ENSAYOS ESTÁTICOS DE CARGA LATERAL EN MUROS. ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL SUELO Y DEL REFUERZO –

3.1 CARATERÍSTICAS GENERALES DE LOS MUROS

Se construyeron 6 muros de Tapia1 de 2.0 x 2.0 x 0.4 m., compuestos por 4 hiladas de 0.5 m. de alto; cada hilada estaba formada por 1 1/3 de bloque, los cuales a su vez constaban de cuatro subcapas de tierra compactada con comba de fierro de 18 lbs (8 Kg).

La cimentación usada fue la pirca, colocada en el interior de una viga de concreto, que sirvió para el transporte y anclaje del espécimen sobre la losa de ensayo.

En base a los resultados de los muretes (Capitulo 2), se definieron las características de cada muro, las que se indican en la Tabla 3.1.

El refuerzo empleado fue eucalipto y cana brava. El refuerzo tipo I, corresponde a una malla simple sin refuerzo horizontal interno, pero con una solera; mientras que el refuerzo tipo II, corresponde a una doble malla y solera. El anclaje del refuerzo vertical en la pirca y solera, se realizó mecánicamente como se aprecia en las FIGURAS 9 y 10.

3.2 TÉCNICA DE ENSAYO

El muro de tapial es un sistema de masa repartida, por lo que ante un sismo las fuerzas de inercia deben actuar en el plano del muro en forma repartida y creciente con la altura. Para simular este hecho, se recurrió a un sistema de tirantes horizontales conectados en un extremo al muro, y en el otro a celdas de carga que apoyaban sobre un perfil rígido rotulado en su base, de modo que al jalar monotónicamente al perfil (con un actuador dinámico), se logró un sistema de desplazamientos de variación triangular sobre el muro. Ver FIG. 12.

3.3 RESULTADOS Y COMENTARIOS

En la Tabla 3.1, se indica el máximo esfuerzo cortante basal registrado en cada muro; de ella y del comportamiento observado durante el ensayo se puede decir:

Los muros sin refuerzo (1 y 2) fallaron por corte-fricción (deslizamiento a lo largo de las juntas horizontales); sin embargo el Muro 2, mostró una mayor resistencia y rigidez como se aprecia en la FIG. 13 Esto se debe al empleo de juntas rayadas y humedecidas, así como al uso de un suelo mejorado que atenuó las fisuras de secado. Para ambos muros, se registró el esfuerzo cortante con el cual se iniciaba la falla en cada junta horizontal, éste fue graficado contra el esfuerzo axial actuante en las juntas respectivas, obteniéndose la FIG. 14, en donde adicionalmente se muestran las fórmulas (calculadas por mínimos cuadrados) que expresan la resistencia a corte-fricción de especímenes tradicionales y mejorados. El tipo de falla descrito es muy peligroso, ya que los bloques quedan sueltos pudiendo volcar ante las acciones sísmicas.

En la FIG. 13, puede apreciarse la gran diferencia que existe en el comportamiento de un muro construido con técnicas tradicionales (Muro 1) y otro en donde se mejoró la calidad del suelo, junta de construcción y se incorporó una doble malla de eucalipto (Muro 4); modificándose incluso el tipo de falla de deslizamiento por las juntas a una falla por tracción diagonal, en la cual los bloques continuaron integrados a través del refuerzo.

La mejor conexión entre refuerzos se logró cuando éstos eran de eucalipto; la caña brava tuvo problemas de desgarramiento.

El uso de una doble malla (refuerzo tipo II) encarece la construcción, dificulta el proceso de compactación y por más que se refine la doble malla, la tierra seguirá siendo un material desmenuzable; por lo que en el resto de la investigación se insistió en el uso de una sola malla de refuerzo.

CAPÍTULO 4 - CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS DINAMICAMENTE -

4.1 OBJETIVOS Y DEFINICIÓN DE ESPECÍMENES

Las viviendas tradicionales de tapial, presentan problemas sísmicos básicamente debidos al débil encuentro de sus muros ortogonales, a la debilidad de las juntas de construcción y a las fisuraciones previas provocadas por la contracción de secado.

Con la finalidad de introducir mejoras económicas en las zonas de debilidad descritas, sin variar mayormente el proceso constructivo tradicional, se estudió el

comportamiento sísmico de 6 muros y 2 módulos de vivienda (uno construido con técnica tradicional y otro reforzado); cuyos detalles se muestran en las FIGURAS 15 a 19 y Tabla 4.1.

Los seis muros tuvieron una sección en planta en forma de U (FIG. 15), con una longitud en sus alas igual a 4 veces su espesor, de manera que actúen como arriostre de la pared intermedia. En base a los resultados de estos muros, se diseñó el refuerzo del Módulo 2.

Cabe mencionar que el peso máximo que soporta el simulador de sismos es 15 ton., por lo que hubo que afectar a las dimensiones reales por un factor de escala igual a 0.7 (gran escala). De este modo, las dimensiones nominales de la tapia fueron: 0.28 x 0.40 x 0.90 m., y las del muro: 3.3 m. de longitud con una altura de 1.6 m. (4 hiladas).

4.2 ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS GENERALES

a) Detalles generales:

La cimentación empleada fue Pirca, con 30 cm. de profundidad.

El suelo utilizado, fue el proveniente del campus de la Universidad Católica (PUC, arcilloso); tamizado por una malla metálica de 2", agregándosele paja de cebada (0.15% en peso).

Se echó agua a la mezcla, suficiente para lograr una humedad de 8%, un día antes de construir. Adicionalmente, al día siguiente, se hizo la prueba de campo (humedad óptima) descrita en 1.2.b.

La compactación se realizó empleando una comba metálica de 18 lbs. Cada tapia constó de 4 subcapas de 10 cm. de altura.

b) El molde (FIG. 20A):

El molde empleado para la construcción de las tapias, es de madera de 1" de espesor, ribeteada en sus bordes superiores por ángulos metálicos de protección. Este molde puede ser empleado tanto para la construcción de tapias longitudinales, como para tapias en forma de L (conexión continua), ya que sus caras son desmontables y conectadas con pernos.

El molde cuenta con tapas transversales, las que pueden colocarse en diversas posiciones para fabricar tapias de varias longitudes. Las tapas presentan una abertura en su borde inferior, que permite el paso del refuerzo horizontal continuo.

Con la finalidad que los apoyos del molde (varillas lisas), no resbalen durante el proceso de compactación, se hicieron ranuras en la tapia inferior y sobre éstas se colocaron los apoyos, previa limpieza de desperdicios en la junta horizontal.

4.3 DETALLES CONSTRUCTIVOS ADICIONALES EN ESPECÍMENES MEJORADOS

Los especímenes mejorados (Muros 2 a 6 y Módulo 2), tuvieron detalles adicionales a la técnica tradicional; éstas fueron:

Instantes antes de construir la tapia superior, se regó con agua (1 L. / m^2) a la superficie superior de la tapia ya construida.

A fin de atenuar las fisuras producidas por la contracción de secado, se ha empleado el denominado suelo "Mezcla", consistente de suelo PUC + 1/5 de arena gruesa (proporción volumétrica).

Se agregó una varilla de eucalipto al centro de la tapia, horizontal y discontinua (longitud igual a la tapia).

Se emplearon estacas de eucalipto (30 cm. de largo), en el eje de los muros de sección "U" (no en el Módulo 2), dispuestas de modo que todos los bloques queden interconectados a lo largo de la altura del muro.

Todas las conexiones entre refuerzos de eucalipto, fueron clavadas y atortoladas con alambre # 16 (FIG. 20A).

Los muros 3, 4 y 5, llevaron en sus esquinas una varilla diagonal de eucalipto (ϕ: 1"), al centro de la tapia (Muro 3) o colocadas en las juntas (Muros 4 y 5).

El anclaje del refuerzo vertical sobre la pirca se realizó mecánicamente, conectando la base de dos refuerzos verticales a una varilla horizontal de eucalipto (ϕ: 1"). Ver FIG. 20B.

La solera superior, fue un tronco de eucalipto (ϕ: 3", excepto en el Muro 6) conectado a las estacas y refuerzo vertical. En el encuentro de soleras ortogonales, se realizó un destajo a ambos troncos para luego clavarlos. Adicionalmente, el encuentro lleva una solera dispuesta diagonalmente (excepto en el Módulo 2). Ver FIGURAS 15, 1/ y 22.

Se efectuó el resane introduciendo barro a presión manual, en las juntas verticales, en las perforaciones dejadas por las varillas de apoyo del molde y en toda zona con fisura visible.

4.4 FUNCIONES DEL EUCALIPTO

El refuerzo continuo de eucalipto (horizontal: 1" y vertical: 1.5"), empleado en los Muros 4, 5, 6, y Módulo 2, tiene por objeto absorber los esfuerzos de tracción por flexión y darle una integridad global al sistema.

El refuerzo vertical tiene además la función de interconectar bloques de hiladas consecutivas (al igual que las estacas), eliminando la vibración desordenada de las tapias.

El refuerzo horizontal sirve para proporcionar arriostre al vertical y tratar de compatibilizar sus deflexiones.

La solera tiene por finalidad controlar deflexiones en la zona central del muro que trabaja en flexión, y ayudar a transmitir las fuerzas de inercia hacia los muros de corte (ortogonales al anterior).
La varilla horizontal discontinua (alojada al centro de la tapia) sirve para interconectar partes de la tapia fisuradas por secado.

Las varillas diagonales, que van colocadas en las esquinas de los muros (en juntas y solera), permiten rigidizar al nudo y evitar que se abran los refuerzos horizontales (FIG. 20C).

4.5 CARACTERÍSTICAS DE CADA ESPÉCIMEN

Muro de 1 (tradicional). No llevó mejora alguna; esto es, no tuvo estacas, ni refuerzo ni solera. El suelo empleado fue el PUC natural, con paja de cebada. Las hiladas fueron construidas sin humedecer a las juntas y las conexiones entre muros si hicieron dentadas.

Muro 2. Tuvo mejoras mínimas y económicas con relación al Muro 1; ambos fueron no reforzados y el encuentro entre muros fue traslapado. En este muro se han introducido estacas, varillas discontinuas en la tapia, y solera de eucalipto; asimismo, se ha empleado el suelo "Mezcla" y se han humedecido las juntas.

Muro 3. Se diferencia del Muro 2 en que la conexión entre muros ortogonales fue continua (tapia de esquina en forma de L).

Muro 4. Además de las mejoras incluidas en el Muro 2, llevó refuerzo vertical y refuerzo horizontal continuo cada dos hiladas (FIG. 16).

Muro 5. Se diferencia del Muro 4 en que el encuentro entre muros ortogonales fue continuo (L). Esto permitió la colocación de refuerzo horizontal continuo en todas las juntas. Ver FIG. 20C.

Muro 6. Se diferencia del Muro 4 en que no llevo refuerzo diagonal en las esquinas ni tampoco refuerzo horizontal de eucalipto. En su reemplazo se emplearon dos soleras de madera tallada (intermedia y superior), conectadas externamente por tablas dispuestas a 60 grados formando un bastidor. Ver FIG. 17.

Modulo 1 (tradicional). Fue construido bajo las mismas especificaciones señaladas para el Muro 1. El muro A presentó una puerta de 0.9 x 1.2 m., con dinteles y marcos de madera, clavados a tacos embebidos en la tapia circundante. El muro B no presentó vanos. Los muros C y D tuvieron ventanas de 0.9 x 0.6 m. con dinteles y marcos similares a la puerta. El techo consistió en vigas de eucalipto enterradas en la última hilada, y cañas prensadas mediante listones de madera clavados a las vigas. Ver FIGURAS 18, 21 y 30A.

Módulo 2 (reforzado). Los muros tuvieron las mismas características especificadas para el Muro 4, con la excepción que no llevaron estacas ni refuerzo diagonal en las esquinas. Su geometría fue similar a la del Módulo 1. Las características de reforzamiento del Módulo 2 (FIG. 19) fueron: cada bloque se encontraba interconectado por dos refuerzos verticales continuos; existían varillas horizontales discontinuas alojadas al centro de cada tapia y clavadas al refuerzo vertical, el refuerzo horizontal continuo estaba espaciado cada dos hiladas; la solera fue un tronco de eucalipto de 2", y en la parte superior de los vanos había un bastidor de madera similar al empleado en el Muro 6. Las vigas del techo, se conectaron tanto a la solera como al refuerzo vertical (formando pórticos), adicionalmente dos vigas secundarias que reemplazaron a las soleras diagonales de esquina (FIGURAS 22 y 30B).

CAPÍTULO 5 - DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS DINÁMICOS -

5.1 SEÑAL SÍSMICA EMPLEADA

Los ensayos realizados fueron de simulación sísmica, con fases de amplitud creciente, definidas por los desplazamientos horizontales máximos de la plataforma (ver TABLA 5.1). El movimiento fue unidireccional, empleándose la señal "mayo 70" correspondiente al terremoto del 31 de mayo de 1970, ver FIG. 24. De acuerdo a su comportamiento, a los muros paralelos al movimiento se les denomina "muros de corte", y a los transversales "muros de flexión".

Debemos señalar que la intención de las primeras fases (hasta 20 mm), fue estudiar el comportamiento elástico del espécimen ante un sismo leve; que la fase intermedia (40 mm) corresponde a un sismo mediano que puede originar fisuras sin peligro de colapso; mientras que las fases con desplazamientos iguales o mayores a 80 mm corresponden a sismos severos que pueden hacer colapsar a la estructura, ver potencial destructivo en TABLA 5.2.

5.2 DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN

Los muros de sección "U", fueron ensayados simultáneamente de 2 en 2, y en la FIG. 23 aparecen los instrumentos de medición, que básicamente consistieron en transductores de desplazamiento (LVDT) y acelerómetros los que fueron retirados, por precaución, en las fases fuertes del ensayo (posterior a la fase de 80 mm).
Se emplearon ocho LVDT, para medir desplazamientos horizontales absolutos, dos en la franja central de cada muro de flexión y dos en el eje de uno de los muros de corte. La diferencia entre la lectura de estos LVDT y el desplazamiento de la plataforma, proporciona el desplazamiento relativo de cada muro.

Se usaron doce acelerómetros, con los cuales se pudo medir las aceleraciones absolutas, cuatro en cada muro de flexión y dos en uno de los muros de corte.

5.3 EVALUACIÓN DE LAS FUERZAS DE INERCIA Y CORTANTE BASAL

El producto de la aceleración, en cada punto donde está ubicado el acelerómetro, por la masa asociada a su área tributaria, proporciona la fuerza de inercia actuante en ese punto de la estructura. Para esto, el peso volumétrico de la tierra compactada se tomó igual a 1955 Kg/m^3.
El cortante basal, se obtuvo como la suma de las fuerzas de inercia para el caso de los muros de sección "U", mientras que para los módulos de vivienda, se hizo uso de la fuerza proporcionada por el actuador dinámico restándole la fuerza de inercia correspondiente a la plataforma y cimentación.

No fue posible hallar la fuerza en cada muro (de corte o flexión), ya que la reacción que se transmite entre ellos es indeterminada.

5.4 EVALUACIÓN DEL PERÍODO (T) Y AMORTIGUAMIENTO (β)

Todas las fases fueron precedidas por un ensayo de vibración libre, consistente en someter al espécimen a ondas impulsivas de 1.5 mm., de desplazamiento máximo en la plataforma.

En la FIG. 25, se muestra una grafica típica de la respuesta en vibración libre. Sobre la curva de respuesta se tomó un tramo equivalente a por lo menos tres ciclos, para obtener el período T; trazando sobre el tramo seleccionado una curva exponencial ($A_O e^{-2\pi \beta t/T}$), el amortiguamiento β fue calculado por mínimos cuadrados.

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS DE LOS MUROS DE SECCIÓN "U" -

6.1 DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Se hace una descripción cualitativa del comportamiento sísmico de los muros de sección "U", anotándose en términos generales que:

Fases A (10 mm) y B (20mm): No se observaron fisuras en los 6 muros, lo que indica un comportamiento elástico.

Fase C (40 mm): Se originaron fisuras en las juntas.

Fase D (80 mm): Se produjo el colapso de los muros no reforzados (1 a 3). La solera (existente en los muros 2 a 6) uniformizó al movimiento de las tapias del muro de flexión, haciéndolo vibrar como una losa apoyada en 3 bordes. La solera diagonal (puesta en las esquinas de los muros 2 a 5), produjo desplazamientos perpendiculares al plano de los muros de corte. Las estacas conectaron verticalmente a las tapias, pero formaron grietas horizontales en sus extremos. En los muros con refuerzo vertical (4 a 6), se observó un balanceo par flexión de todo el conjunto, sin embargo los daños fueron leves.

Fase E (110 mm): Se presentaron serios daños en las esquinas de los muros 4 y 5, debido a que la congestión de refuerzo horizontal y diagonal produjo una mala compactación de las tapias.

Fase F (130 mm): Se produjo el colapso de los muros reforzados (4 a 6); por lo cual es notorio el efecto del refuerzo ya que los muros no reforzados colapsaron en la fase D (80 mm).

Muro 1 (no reforzado, sin solera, tradicional)

Fase D (80 mm). Se apreció un balanceo en las tapias de la cuarta hilada del muro de flexión, que originó falla por compresión en los bordes de las tapias de la tercera hilada; esto dio lugar a la pérdida de apoyo con el consiguiente volcamiento de las tapias superiores (FIG. 26A). En una de las esquinas, se formó una falla vertical con desplome del muro de flexión. En los muros de corte no se apreciaron mayores daños, por lo que se presume exista una escasa transmisión de fuerza de inercia hacia estos muros.

Muro 2 (no reforzado, con estacas y solera, conexión traslapada)

Fase D (80 mm). El muro de flexión presentó abundantes fisuras, pero no colapsó (FIG. 26B). Uno de los muros de corte colapsó, mientras que el otro quedó seriamente dañado. Por lo cual, al transmitirse las fuerzas de inercia en mejor forma hacia los muros de corte y al no haber colapsado el muro de flexión, puede decirse que el comportamiento del Muro 2 fue mejor al del Muro 1.

Muro 3 (no reforzado, con estacas y solera, conexión continua)

Fase D (80 mm). Se produjeron fisuras notorias en las juntas y bloques de los muros de corte, con peligro de colapso. Por lo cual se puede decir que su comportamiento fue similar al del Muro 2.

Fase F (110 mm). Al iniciar la fase, fallaron los dos muros de corte, colapsando la mitad superior del espécimen (FIG. 26C).

Muro 4 (reforzado, con estacas y solera, conexión traslapado)

Fase E (110 mm). El muro quedó seriamente dañado.

Fase F (130 mm). Se desprendieron los bloques de la cuarta hilada del muro de corte debido al empuje de la solera diagonal. Se observaron grandes desplazamientos del muro de flexión, quedando colgados del refuerzo vertical los bloques de la hilada superior; esto originó la rotura del refuerzo vertical con el consiguiente colapso total.

Muro 5 (reforzado, con estacas y solera, conexión continua)

Fase E (110 mm). El muro de flexión quedó íntegro. El muro de corte quedó seriamente dañado en su primera hilada.

Fase F (130 mm). Se produjo primero el colapso del muro de corte con rotura del refuerzo vertical; después se desprendieron los bloques del muro de flexión.

Muro 6 (reforzado, con bastidor, conexión traslapada)

Fase E (110 mm). Se presentaron daños en la primera y segunda hilada de los muros de corte, quedando al descubierto el refuerzo vertical. Las 2 hiladas superiores del muro de flexión presentaron daños leves.

Fase F (130 mm). Colapsaron los muros de corte quebrándose su refuerzo vertical (FIG. 26D); la mitad superior del muro de flexión se desplomó sin haber sufrido mayores daños. En síntesis, el bastidor mejoró el encuentro de muros, pero concentró la falla en la mitad inferior de los muros de corte.

6.2 PERÍODO (T) Y AMORTIGUAMIENTO (β)

En la Tabla 6.1, se presentan los resultados obtenidos para el período inicial y anterior a la fase C; de ella puede observarse:

El período teórico, calculado para el sistema en su conjunto, mediante el método de elementos finitos (T = 0.084"), se asemeja más al período instrumental del muro de corte (antes de la fase inicial), puesto que la mayor rigidez del sistema es aportada por los muros de corte.

Existe incremento del período y amortiguamiento conforme se incrementan las fases del ensayo, esto se debe a que los daños progresivos generan pérdida de rigidez. El Muro 1, incrementó su período levemente debido a que el acelerómetro estuvo ubicado sobre tapias que presentaron desde el inicio fisuras en las juntas verticales, es decir, el período medido corresponde al balanceo de una tapia, lo que no es representativo del muro en su conjunto.

Inicialmente, los muros más rígidos fueron los no reforzados, y dentro de éstos, el que tuvo mayor rigidez fue el Muro 3 (esquina continua). Esto se debe a que la inclusión de refuerzo vertical (muros 4 a 6), generó fisuras en las tapias.

6.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En las Tablas 6.2 a 6.4, se presenta la respuesta máxima alcanzada por los muros de sección "U"; de éstas se deduce:

En las fases fuertes del ensayo, el Muro 1 (sin solera) tiene grandes desplazamientos en su muro de flexión, en relación a los que tienen solera. Por otro lado, cuando la solera es muy rígida (Muro 6), ocurren desplazamientos similares entre el muro de corte y de flexión.

Una medida de la flexibilidad del sistema y de la capacidad de deformación inelástica, lo dan los desplazamientos laterales de los muros de flexión. Normalizando los valores de la TABLA 6.3, a los máximos registrados en la fase A, se obtiene la TABLA 6.5; en ella se observa un comportamiento más cercano al elástico (hasta la fase C) en los muros reforzados (4 a 6), lo que no ocurre en los muros no reforzados. Los muros no reforzados (1 a 3) colapsaron en la fase D; en cambio, los reforzados lo hicieron en la fase F, lo que indicaría que los desplazamientos últimos alcanzados en los muros reforzados, fueron mayores a los indicados en la TABLA 6.5.

Análisis del Cortante Basal

En las FIGURAS 27 y 28, se presenta la grafica Cortante-Desplazamiento del muro de flexión, correspondiente a las fases C y D respectivamente. En la FIGURA 27, se aprecia un comportamiento desordenado del Muro 1, y en el resto de muros lazos histeréticos no lineales (producto de las fisuras formadas en las juntas). En la FIGURA 28, se observa un comportamiento desordenado de los muros no reforzados (1 a 3), mientras que en los muros reforzados existe gran disipación de energía sin mayor degradaci6n de resistencia.

Con la finalidad de analizar los efectos de las mejoras introducidas en los muros, se calculó la envolvente del valor absoluto del cortante basal a lo largo del tiempo. Graficando estas envolventes para una misma fase, se puede decir:

En la FIG. 29A, que compara a los muros no reforzados 1 y 2, se aprecia que una mejora en la calidad de construcción, incluyendo solera, produce un incremento de la resistencia.

En la FIG. 29B, correspondiente a los muros no reforzados 2 y 3, se observa que no hay mayor diferencia entre tener muros con esquinas dentada o continua.

Con respecto a los muros 2, 4 y 6, la FIG. 29C, indica que en una fase moderada (C), los efectos del refuerzo no son notorios, mientras que en la fase severa (D), los valores de la TABLA 6.2 nos indican un ligero incremento de la resistencia de los muros reforzados sobre los no reforzados. De esta misma Tabla se puede afirmar, que el efecto del refuerzo horizontal (muros 4, 5 y 6) no es significativo sobre la resistencia.

CAPÍTULO 7 - RESULTADOS EN MÓDULOS DE VIVIENDA -

7.1 DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Para ambos módulos se indica:

Los muros de corte (C y D, con ventanas), son los que están dirigidos en la dirección del movimiento; los muros de flexión: A (con puerta) y B (sin vanos), son ortogonales a los de corte.

En la primera fase del ensayo (20 mm), no se observaron fisuras. En la fase B (40 mm), se presentaron fisuras en las juntas de construcción.
Los marcos de los vanos quedaron en buen estado al terminar el ensayo.

Módulo 1 (no reforzado)

Fase B (40 mm):

En los muros de flexión, se presentó una fisura horizontal en la cuarta hilada (última subcapas), originada por el empuje horizontal de las vigas del techo. No existió peligro alguno de colapso.

Fase C (80 mm):

Algunas tapias de los muros de flexión vibraron desordenadamente; en las esquinas el daño fue severo y existía peligro de volcamiento, por lo que se suspendió el ensayo en esta fase.

En las esquinas del módulo, las tapias superiores de los muros de corte se deslizaron, quedando desplazamientos remanentes de 10 cm., no así en las tapias

que estaban sobre la ventana (FIG. 30A). Los bloques de las 2 primeras hiladas de estos muros quedaron en buen estado, presentando sólo pequeñas fisuras en las juntas de construcción.

El techo presentó grandes desplazamientos horizontales, independientes del movimiento de los muros de corte. Por las pocas fisuras presentadas en éstos y porque el techo no se comportó como un diafragma rígido, puede afirmarse que hubo muy poca transmisión de las fuerzas de inercia hacia los muros de corte.

Módulo 2 (reforzado)

Fase C (80 mm):

En el muro de flexión B, se observó un movimiento uniforme de las tapias, vibrando como el primer modo de una losa apoyada en tres bordes sujeta a cargas perpendiculares a su plano.

En los muros de corte, se presentaron fisuras en todas las juntas, y en algunas tapias que alojaban al refuerzo horizontal discontinuo y al refuerzo vertical. Sin embargo, a diferencia del Módulo 1, no se observaron desplazamientos remanentes entre tapias (FIG. 30B).

El techo presentó dos movimientos claramente definidos: la franja central siguió el movimiento del muro de flexión, y las franjas extremas presentaron movimientos menores, con tendencia a seguir los desplazamientos del muro de corte; esta observación, más la mayor cantidad de fisuras presentadas en los muros de corte en relación al Módulo 1, permite decir que hubo un comportamiento integral del sistema y que parte de las fuerzas de inercia deben haberse transmitido hacia los muros de corte.

En resumen, a pesar de la mayor cantidad de fisuras observadas en esta fase en el Módulo 2 (en relación al 1), éstas eran leves y no había peligro de colapso, ya que los bloques continuaban integrados a través del refuerzo.

Fase D (120 mm):

En los muros de flexión, se observó un movimiento integral de las tapias pero con grandes desplazamientos, lo que produjo serios daños en el apoyo del dintel de la puerta (FIG. 31A), y un severo deterioro en las 4 esquinas; esto último provocó que los muros de flexión se comportasen como elementos en voladizo, aunque no volcaron por estar ligados a la cimentación por el refuerzo vertical, y conectados a los muros de corte a través del refuerzo horizontal y de la solera (FIG. 31B).

En los muros de corte, se presentaron fisuras en la zona donde existía refuerzo vertical y horizontal discontinuo, grietas en los alrededores de la ventana (excepto en el dintel), y la Falla más fuerte se registró en los extremos. Una vez presentada la falla en las esquinas, las grietas en la zona central del muro de corte no

progresaron más, lo que se debe a la disminución de la transmisión de fuerzas de inercia hacia los muros de corte (FIG. 31A).

En resumen, la probabilidad de colapso para una sacudida mayor a la de esta fase es elevada. Sin embargo, es posible afirmar que el comportamiento del Módulo 2 fue superior al del 1, sobre todo si se considera que la fase D (120 mm) del ensayo representa 2.2 veces mayor potencial destructivo que la fase C (80 mm), ver TABLA 5.2.

7.2 PERÍODO (T) Y AMORTIGUAMIENTO (β)

En la TABLA 7.1, aparecen los valores correspondientes al período y amortiguamiento de los 2 módulos ensayados; de ella se deduce:

En los muros de flexión, existe una gran similitud entre los períodos de los especímenes no reforzados (Muro 1 vs. Módulo 1) y reforzados (Muro 4 vs. Módulo 2). Ver además la TABLA 6.1.

Inicialmente el Módulo 2 es 40% más flexible que el 1; esto se debe a que la inclusión del refuerzo produjo fisuras en las tapias. Igualmente, se observa que posterior a la Fase C, mientras que en el Módulo 1 el período se incrementó 54% en relación al inicial, este incremento fue 31% para el Módulo 2, lo que se debe a la solera del Módulo 2.

7.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En las TABLAS 7.2 a 7.7, se presentan los valores máximos de la respuesta estructural, obtenida en los 2 módulos.

En la TABLA 7.3, puede observarse que en las fases leves no existe mayor diferencia entre los cortantes basales de los 2 módulos, ya que ambos trabajan elásticamente; pero en la fase severa (C) el Módulo 2 absorbe 58% más cortante que el 1. Asimismo, se observa que el coeficiente sísmico supera al elástico reglamentario (0.4); sin embargo, debe anotarse que los especímenes no tuvieron solicitación vertical, la que debe tener fuerte influencia sobre el comportamiento sísmico de este tipo de viviendas.

En la TABLA 7.5, fases A y B, se nota que los desplazamientos del Módulo 2 son mayores a los del 1, lo que confirma que el Módulo 2 fue más flexible que el 1; sin embargo pese a esto, en la fase severa C el máximo desplazamiento de su muro de flexión es 24% menor al del Módulo 1, esto se debe a la solera existente en el Módulo 2. Los muros de corte del Módulo 2, Fase C, se desplazaron 350$ más que los del 1, lo que indica un mayor trabajo de estos muros en el Módulo 2.

En la FIG. 32, (Cortante Total-Desplazamiento del muro de flexión), se observa en la fase C (80 mm) un comportamiento totalmente desordenado en el Módulo 1, a

diferencia del Módulo 2 que muestra lazos histeréticos estables, con alta disipación de energía; esto deja de ocurrir en la fase D (120 mm), en donde el Módulo 2 estuvo próximo a colapsar.

Los valores de la TABLA 7.6, han sido graficados en la FIG. 33, en ella se aprecia la gran diferencia en el comportamiento de los 2 módulos, favorable para el módulo reforzado. También se observa que la resistencia máxima se mantiene constante entre 2 fases severas del ensayo (C y D) para el Módulo 2.

En la FIG. 34, correspondiente a la envolvente de fuerza cortante basal del Módulo 2, se observa que un incremento en la intensidad del movimiento, genera una mayor fuerza cortante (fases A, B y C) lo que es propio de un comportamiento elástico; mientras que entre las fases severas (C y D) no existe mayor diferencia, lo que indica un comportamiento plástico sin degradación de resistencia.

CAPÍTULO 8 - CONCLUSIONES -

Se debe dejar en claro que las conclusiones que se emiten en este reporte tienen validez relativa a los especímenes ensayados.

8.1 CONTROL DE LA FISURACIÓN POR CONTRACCIÓN DE SECADO

La tierra arcillosa húmeda empleada para construir las tapias, tiene la característica que al secarse se contrae originando grietas verticales, lo que provoca el movimiento independiente de las tapias cuando éstas se ven sujetas a acciones sísmicas. Una manera de disminuir el espesor de estas fisuras, se obtuvo combinando al suelo arcilloso con arena gruesa en proporción 5:1 y agregándole paja de cebada (0.15% en peso). Sin embargo, el suelo empleado en la práctica constructiva es muy variado, por lo que la mezcla a emplear puede ser obtenida por tanteos, construyendo tapias preliminares hasta lograr fisuras mínimas. Por razones económicas no se recomienda estabilizar el suelo con cemento, excepto en los acabados de los muros (FIG. 6). La cal como estabilizante no surtió efecto.

Otro factor a tener en cuenta es el grado de humedad empleado al instante de construir la tapia, ya que mucha humedad genera un mayor agrietamiento por secado. En este proyecto se empleó un control de la humedad basado en el método de campo descrito en 1.2.b, con buenos resultados. Al respecto se puede señalar, que antes de construir una hilada debe esperarse hasta que en la hilada inferior se hayan separado las juntas verticales de construcción; de lo contrario las grietas pueden transmitirse de una hilada a otra.

Por otro lado, el tamaño de las tapias tradicionales es excesivo, y cuando más volumen éstas tengan, mayor será el problema de contracción. En los

especímenes ensayados dinámicamente se trabajó con tapias pequeñas de 0.28 x 0.40 x 0.90 m., y no se observó la formación de grietas (salvo en las juntas verticales).

Una manera de integrar los bloques fisurados verticalmente por el secado, consiste en dejar embebidas ramas delgadas de eucalipto al centro de las tapias (FIG. 4); sin embargo, debe acotarse que las ondulaciones del eucalipto producen tapias mal compactadas con el consecuente debilitamiento de la subjunta, por lo que no es recomendable su uso.

8.2 MEJORA DE LA RESISTENCIA A CORTE-FRICCIÓN

El proceso empleado para mejorar la resistencia a corte-fricción (deslizamiento entre hiladas), fue rayar y limpiar a las juntas horizontales para luego rociarlas con agua (1 L. /m^2) antes de construir la tapia inmediata superior (FIG. 8A), para finalmente rellenar las juntas verticales con barro; con este proceso se logró una mejora de la resistencia. Las fórmulas planteadas en los ensayos estáticos que expresan la resistencia a corte-fricción son:

$$v = 0.07 + 0.35\ \sigma \quad (Kg/cm^2, \text{ muros tradicionales})$$
$$v = 0.12 + 0.35\ \sigma \quad (Kg/cm^2, \text{ muros mejorados})$$

Estas fórmulas se corroboraron en las pruebas dinámicas, empleando el área neta de la sección transversal, para el modulo: 26,146 cm^2 (descontando vanos), y para los muros de sección "U": 14,353 cm^2, ver TABLA 7.7.

Iniciado el deslizamiento entre tapias, se pensó que el empleo de estacas verticales que interconecten bloques iba a mejorar el comportamiento inelástico. Sin embargo, las estacas originaron concentraciones de esfuerzos en sus extremos, lo que dio lugar a fallas horizontales en las subjuntas, por lo que más bien se recomienda el empleo de refuerzo vertical continuo colocado en los extremos de cada tapia (a 25 cm. del borde), en reemplazo de las estacas.

8.3 MEJORA DE LA CONEXIÓN ENTRE MUROS ORTOGONALES

El Muro 1 (tradicional), fue construido sin el uso de una viga solera, lo que trajo como consecuencia un movimiento desordenado de bloques, y una rotura en la zona de encuentro entre muros ortogonales con volcamiento del muro en flexión (falla típica en viviendas tradicionales, FIG. 26A). El uso de una viga solera en el Muro 2 y la adición de estacas entre bloques produjo un comportamiento integral del sistema, disminuyendo los desplazamientos del muro de flexión y transmitiendo en mejor forma las fuerzas de inercia desde el muro de flexión hacia los de corte, evitándose así el desgarramiento entre estos muros.

También se pretendió mejorar la conexión entre muros ortogonales, empleando un molde especial que permitía la construcción de una tapia continua en las esquinas en forma de L (FIG. 20C); sin embargo, las mejoras obtenidas fueron mínimas por

lo que no es recomendable su uso al variar sustancialmente el proceso constructivo tradicional.

Otra forma de mejorar el encuentro entre muros, consistió en emplear un bastidor de madera externo en la mitad superior, conectado a una solera superior e intermedia (FIG. 26D). Si bien se logró el objetivo buscado, este tipo de refuerzo originó una concentración de fallas en la mitad inferior del muro de corte; por lo que para mejorar el comportamiento integral del sistema con esta modalidad, habría que colocar el bastidor en toda la altura del muro (solución antieconómica).

8.4 EFECTOS DEL REFUERZO

La inclusión de refuerzo vertical de eucalipto origino fisuras en la tapia cuando ésta secó. Esto dio lugar a una disminución de la rigidez inicial del sistema; sin embargo; la presencia del refuerzo fue muy importante para integrar a las tapias e incrementar tanto la resistencia sísmica (60%) como la ductilidad, tanto fue así que el módulo reforzado soportó una fase sísmica con 2.2 veces mayor potencial destructivo que el modulo tradicional. Para lograr este comportamiento, es necesario que el refuerzo vertical esté anclado en forma mecánica (amarrado y clavado a elementos horizontales), tanto en la cimentación como en la solera (FIG. 15 y 20B), y que forme una especie de pórtico espacial con la viga del techo y refuerzo horizontal (FIG. 19 y 22).

Es recomendable no usa refuerzo horizontal en exceso (es suficiente cada 2 hiladas), ya que una congestión de refuerzo por sus protuberancias naturales, produce dificultad en la compactación con la consecuente disminución de resistencia. Adicionalmente, el refuerzo deberá ser en lo posible delgado y recto.

8.5 OTRAS RECOMENDACIONES

En el caso de los muros reforzados de sección "U", los muros de corte, que sirvieron de arriostre al de flexión, funcionaron adecuadamente; por lo que se propone que:

a) La distancia entre arriostres no sea mayor al doble de la altura del muro (FIG. 15).

b) La longitud de los muros de arriostre extremos sea no menor a cuatro veces el espesor.

También es recomendable, que todo vano tenga un marco de madera cerrado y que éste sea clavado a tacos de madera dejados en el interior de la tapia durante su proceso de construcción (FIG. 19).

Finalmente, se recomienda que la cimentación sea de concreto ciclópeo, ya que se ha observado la fragilidad de las tapias ante asentamientos diferenciales y problemas de humedad.

8.6 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

El refuerzo empleado en el Módulo 2, resultó excesivo como para incorporarlo en la práctica constructiva, por lo que es necesario disminuir la congestión de refuerzo, por ejemplo, eliminando las varillas discontinuas embebidas al centro de las tapias. Adicionalmente, es conveniente reemplazar a la solera de eucalipto por una de madera tallada (como se muestra en la FIG. 17), en vista que las ondulaciones del eucalipto no permitieron una adecuada conexión con el refuerzo vertical; con lo cual se eliminaría la solera diagonal de las esquinas (la que introdujo movimiento fuera del plano del muro), por contar el nudo con suficiente rigidez. Se sugiere entonces realizar nuevos ensayos en base a esta propuesta.

Es necesario estudiar el reforzamiento de las estructuras existentes, por ejemplo usando refuerzo externo.

Es necesario realizar campañas de difusión en zonas donde se emplea el tapial, con miras de incorporar las mejoras hasta ahora alcanzadas, previniendo así pérdidas materiales y humanas ante la ocurrencia de terremotos.

REFERENCIA BIBLIGRÁFICAS

1. "Seguir Construyendo con Tierra". A Vildoso, F. Monzón. CRATERRE.

2. "Construcción de Tapial. Estudio de la Fisuración y Conexión entre Muros".Convenio ININVI-PUCP. Programa FONAVI. 1988.

3. "Construcción de Tapial. Mejoramiento, Diseño y Ensayo de Muros". Convenio ININVI-PUCP. Programa FONAVI. 1986.

4. "Comparación de la Resistencia de la Mampostería de Tapial con el Adobe". J. Ferreyros. Pontificia Universidad Católica del Perú.

5. "Vivienda Experimental de Tapial Reforzado". G. Rodríguez. Ponencia del VI Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Cajamarca.

6. "Estabilización de Suelos: Suelo-Cemento". M. Torrente, L. Sagües. Barcelona. 1974.

7. "Como Arreglar Nuestra Casa. YANAPAC RICRA". Junta Nacional de la Vivienda. Ecuador. 1987.

8. "Indigenous Building Techniques of Peru and their Potential for Improvement to Better Withstand Earthquakes". H. Volker. United States Department of State and Oficina de Investigación y Normalización del Ministerio de Vivienda y Construcción. 1981.

9. "El Reforzamiento Estructural de Edificaciones de Tapia: Un Caso de los Andes Venezolanos". C. William. Memorias del Seminario Latinoamericano de Construcciones de Tierra en Áreas Sísmicas. Lima. 1983.

10. "Revista Minka, N° 9". Editorial Grupo Talpuy. Huancayo. 1982.

11. "Handbook for Building Homes of Earth". L. Wolfskill, W. Dunlap, B. Gallaway. Texas Transportation Institute, Bulletin N° 21.

12. "Mejoramiento y Estabilización de Suelos". C. Fernández. México. 1982.

13. "Some Studies on Improving the Properties of Earth Materials Used for Construction of Rural Earth Houses in Seismic Regions of Iran". Razani Reza, Lotfali Behpour. Iran. 1981.

14. "Rammed Earth Walls for Low Cost Housing". Ayala, Quiñonez, Godoy y Rubio. Centro de Investigaciones de Ingeniería. Guatemala. 1984.

15. "Line Stabilization Construction Manual". National Lime Association. Bulletin 326. Washington. 1968.

T A B L A S

TABLA 2.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES
EFECTOS DE LA CALIDAD DEL SUELO, ADITIVO Y CURADO

SUELO	CURADO	ADITIVO	RESISTENCIA v (KG/CM^2)
PUC	no	-------	1.79
PUC	no	Cal (5%)	0.87
PUC	no	Cemento (5%)	1.55
PUC	sí	------	1.00
PUC	sí	Cal (5%)	0.81
PUC	sí	Cemento (5%)	1.58
COMAS	no	------	0.59
COMAS	no	Cal (5%)	0.53
COMAS (*)	no	Cal (5%)	0.85
COMAS	no	Cemento (5%)	1.72
COMAS	sí	-------	0.38
COMAS	sí	Cal (5%)	0.62
COMAS	sí	Cemento (5%)	2.74
COMAS	no	PUC (20%)	0.40
COMAS	no	PUCP (33%)	0.49
COMAS	no	PUC (43%)	0.52
COMAS	no	PUC (66%)	0.89

(*) = Ensayado a los 60 días de edad

TABLA 2.2 ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES CON JUNTAS SUELO PUCP

JUNTA	TIPO	RESISTENCIA v (KG/CM^2)	MOD. CORTE G (KG/CM^2)	EFICIENCIA v/v1
1	SECA	0.49	377	1.00
2	HÚMEDA	0.92	505	1.88
3	CONCRETO	0.72	541	1.47
4	PIEDRA	0.59	279	1.20
5	ONDULADA	0.48	539	0.98
6	CAÑA	0.68	395	1.39
7	ESTACA	0.83	269	1.69

TABLA 3.1 ENSAYO ESTÁTICO EN MUROS A ESCALA NATURAL

MURO	SUELO	JUNTA	REFUERZO	v (KG/CM^2)
1	PUC	Seca	--------	0.17
2	COMAS-PUC (1:2)	húmeda-rayada	--------	0.22
3	COMAS-PUC (1:2)	húmeda-rayada	I (eucalipto)	0.25
4	COMAS-PUC (1:2)	húmeda-rayada	II (eucalipto)	0.27
5	PUC	Seca	II (eucalipto)	0.27
6	COMAS PUC (1:2)	húmeda-rayada	II (caña brava)	0.24

TABLA 4.1 CUADRO RESUMEN DE ESPECÍMENES ENSAYADOS DINAMICAMENTE

	ESPÉCIMEN							
Variable	m1	m2	m3	m4	m5	m6	M1	M2
Suelo	SP	SM	SM	SM	SM	SM	SP	SM
Paja cebada	sí	sí	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Humedecimiento	no	sí	sí	sí	sí	sí	no	sí
Conexión Muros	T	T	C	T	C	T	T	T
Estacas	no	sí	sí	sí	sí	sí	no	no
Refuerzo Vertical	no	no	no	sí	sí	sí	no	no
Ref. Hor. c/hilada	no	no	no	no	sí	no	no	no
Ref. Hor. c/2 hil.	no	no	no	sí	no	no	no	sí
Bastidor	no	no	no	no	no	sí	no	(*)
Solera Eucalipto	no	sí	sí	sí	sí	no	no	sí
Varilla H	no	sí	sí	sí	sí	sí	no	sí
Varilla D	no	no	sí	Sí	sí	no	no	no
Resane	no	sí	sí	Sí	sí	sí	no	sí
Techo	no	no	no	no	no	no	sí	sí
Marco en vanos	--	--	--	--	--	--	--	--

(*) = Bastidor de madera, sólo en la zona superior de los vanos.

NOMENCLATURA

SP = suelo PUCP + 0.15% (peso) de paja de cebada.
SM = suelo mezcla: SP + 1/5 de arena gruesa (volumen).
T = conexión dentada en el encuentro de muros ortogonales.
C = conexión continua en el encuentro de muros ortogonales.
m = muro de sección ″U″.
M = módulo de vivienda.

Varilla H = eucalipto horizontal discontinuo (ϕ: ½"), alojado al centro de la tapia.

Varilla D = eucalipto diagonal (ϕ: ½″) usado en las esquinas.

Bastidor = solera superior e intermedia de madera tallada, interconectadas por tablas a 60 grados.

Resane = relleno de barro en juntas verticales y perforaciones.

Humedecimiento = rociado de la junta con 1 L. agua / m^2 antes de construir la tapia superior

TABLA 5.1 FASES DEL ENSAYO DINÁMICO

MUROS DE SECCIÓN "U"		MÓDULOS DE VIVIENDA	
FASE	D máx (mm)	FASE	D máx (mm)
A	10	A	20
B	20	B	40
C	40	C	80
D	80	D	120
E	110		
F	130		

TABLA 5.2 MEDIDAS DE LA INTENSIDAD SÍSMICA

ESTACIÓN	FECHA	COMPONENTE	IA	PD	V◦
Pacoima Dam	09/02/71	radial	10846	80.2	11.63
El Centro	18/05/40	NS	6519	35.6	13.53
Taft	21/07/52	S69E	632	12.9	6.99
Santiago	08/07/71	S80W	384	2.6	12.13
Lima	17/10/66	N08E	1135	2.8	20.17
Señal "mayo70"		D máx (mm)			
		10	193	2.0	9.81
		20	791	9.0	9.36
		40	3131	33.5	9.66
		60	7008	84.7	9.10
		80	12294	156.2	8.87
		100	19068	250.7	8.72
		120	26870	341.4	8.87
		10	34815	482.3	8.50

IA = Intensidad de Arias (mm/seg) = $\frac{\pi}{2_g} \int (\ddot{u}(\tau))^2 d\tau$

PD = Potencial Destructivo (mm/seg) = $IA/(V_o)^2$

V_o = Intensidad de cruces por cero (1/seg).

ü = Aceleración del suelo

Ref. SEISMIC RESISTANT ADOBE HOUSING-PERU. TECHNICAL REPORT FOR IDRC. AUGUST 1987. G. OTTAZZI Y COLABORADORES

TABLA 6.1 PERÍODO (T) Y FRACCIÓN DE AMORTIGUAMIENTO (β) EN MUROS DE SECCIÓN "U"

MURO	ESTADO	MURO DE FLEXIÓN		MURO DE CORTE		D máx
	T (seg)	β (%)	β (%)	T (seg)	β (%)	mm
1	Inicial	0.116	9.61	0.067	14.86	0
	Post-C	0.143	10.62	0.077	10.04	40
2	Inicial	0.102	7.99	--	-	0
	Post-C	0.165	10.61	0.095	13.11	40
3	Inicial	0.100	8.46	0.110	12.03	0
	Post-C	0.130	9.08	0.090	11.99	40
4	Inicial	0.145	9.57	0.088	11.57	0
	Post-C	0.207	12.62	0.120	14.26	40
5	Inicial	0.120	9.64	0.082	-	0
	Post-C	0.208	11.58	0.123	10.76	40
6	Inicial	0.127	7.23	0.133	8.22	0
	Post-C	0.194	12.53	0.124	8.34	40

(-) = Curva de respuesta estructural errática.
(*) = El estado inicial, corresponde al espécimen antes de la primera fase; post-C, significa: posterior a la fase C.

TABLA 6.2 CORTANTE BASAL MÁXIMO (KN). MUROS "U"

FASE	m1	m2	m3	m4	m5	m6
A	6.66	6.7*9	6.46	5.85	6.74	6.66
B	10.67	13.49	13.35	11.82	12.76	14.54
C	19.39	19.94	22.88	22.13	21.70	23.48
D	24.77*	25.50*	32.93	30.91	36.79	34.82

(*) = Obtenido antes del colapso.

TABLA 6.3 DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm) EN LA ZONA CENTRAL SUPERIOR DEL MURO DE FLEXIÓN. MUROS "U"

FASE	m1	m2	m3	m4	m5	m6
A	1.95	1.20	0.87	2.57	1.68	2.22
B	5.85	3.18	2.16	5.77	3.75	6.53
C	25.64	11.53	7.12	13.69	10.47	14.25
D	107.20*	63.35*	72.85	85.87	88.15	80.20

(*) = Obtenido antes del colapso.

TABLA 6.4 DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (MM) EN EL EXTREMO SUPERIOR DEL MURO DE CORTE. MUROS "U"

FASE	m1	m2	m3	m4	m5	m6
C	2.95	2.32	4.25	3.21	3.21	6.23
D	48.90*	77.66*	72.76	26.75	42.35	76.55

* = Valor obtenido antes del colapso. No se anotan los valores correspondientes a las Fases A y B, por estar afectadas por ruido de alta frecuencia.

TABLA 6.5 VARIACIÓN INELÁSTICA DE LOS DESPLAZAMIENTOS MUROS "U" (valores de la tabla 6.3 normalizados)

FASE	m1	m2	m3	m4	m5	m6	ELÁSTICO
A	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	3.00	2.65	2.48	2.24	2.23	2.94	2.00
C	13.15	9.61	8.18	5.32	6.23	6.42	4.00
D	54.97	52.79	83.73	33.41	52.47	36.12	8.00

TABLA 6.6 COEFICIENTE SÍSMICO EN MUROS DE SECCIÓN "U"

FASE	m1	m2	m3	m4	m5	m6	Sa/g(*)	A máx/g
A	0.15	0.15	0.14	0.13	0.15	0.15	0.17	0.12
B	0.24	0.30	0.30	0.26	0.28	0.32	0.33	0.22
C	0.43	0.44	0.51	0.49	0.48	0.52	0.68	0.45
D	0.55	0.57	0.73	0.69	0.82	0.78	1.36	0.91

* = Valores elásticos obtenidos del espectro de respuesta normalizado a las aceleraciones máximas de la mesa (A máx); se usó Período = 0.1 seg. y amortiguamiento = 10%.

El coeficiente sísmico proviene de la relación entre el cortante basal (Tabla 6.2) y el peso del espécimen (44.9 kN)

TABLA 7.1 PERÍODOS (T) Y FRACCIÓN DE AMORTIGUAMIENTO (β) EN MÓDULOS DE VIVIENDA

		MURO DE FLEXIÓN "B"		MURO DE CORTE "D"	
MÓDULO	ESTADO	T (seg)	β (%)	T (seg)	β (%)
1	Inicial	0.112	10.71	-	-
	Post-C	0.173	14.62	-	-
2	Inicial	0.160	11.81	-	-
	Post-C	0.210	21.60	0.153	19.12

- : Curva de respuesta estructural errática.
Post-C, significa posterior a la fase C.

TABLA 7.2 RESPUESTA MÁXIMA DE LA MESA VIBRADORA

	DESPLAZAMIENTO (mm)*		ACELERACIÓN (g)	
FASE	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 1	Módulo 2
A	19.95	19.99	0.20	0.21
B	40.12	40.14	0.45	0.46
C	80.32	80.32	0.85	0.86
D	---	120.82	---	1.27

* : Los valores nominales fueron 20, 40, 80 y 120 mm, para las fases A, B, C, y D respectivamente

TABLA 7.3 CORTANTE BASAL MÁXIMO Y COEFICIENTE SÍSMICO

	DESPLAZAMIENTO (kN)		COEFICIENTE SÍSMICO(c)	
FASE	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 1	Módulo 2
A	19.22	20.62	0.21	0.22
B	42.21	49.11	0.47	0.42
C	56.21	89.13	0.63	0.94
D	---	90.04	---	0.95

El peso coeficiente sísmico es la relación entre el cortante basal y el peso de la estructura (Módulo 1: 8938 kg, Módulo 2: 9458 kg).

TABLA 7.4 ACELERACIÓN MÁXIMA (g) EN LA ZONA CENTRAL SUPERIOR

	MURO DE FLEXIÓN "B"		MURO DE CORTE "D"	
FASE	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 1	Módulo 2
A	0.56	1.15	0.21	0.28
B	0.95	2.12	0.52	0.61
C	1.85	3.08	1.01	1.42

TABLA 7.5 DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm) EN LA ZONA SUPERIOR

	MURO DE FLEXIÓN "B"		MURO DE CORTE "D"	
FASE	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 1	Módulo 2
A	3.39	5.74	0.65	1.16
B	10.67	14.49	2.09	3.79
C	90.30	72.80	5.54	24.78

TABLA 7.6 DESPLAZAMIENTO EN EL MURO DE FLEXIÓN "B" EN EL INSTANTE QUE OCURRE EL CORTANTE BASAL MÁXIMO (Q)

	MÓDULO 1		MÓDULO 2	
FASE	Q (kN)	D (mm)	Q (kN)	D (mm)
A	19.22	2.17	20.62	4.76
B	42.21	6.22	49.11	11.37
C	56.21	11.23	89.13	49.16
D	---	---	90.04	89.34

TABLA 7.7 RESISTENCIA A CORTE FRICCIÓN – FASE C (80 mm)

ESPÉCIMEN	Q (kg)	V (kg/cm^2) experimental	σ (kg/cm^2)	v (kg/cm^2) teórico
Muro 1	2477	0.17	0.31	0.18
Muro 4	3091	0.21	0.31	0.23
Módulo 1	5621	0.21	0.34	0.19
Módulo 2	8913	0.34	0.36	0.25

σ = esfuerzo axial en la base.

v = esfuerzo cortante en la base = Q / A neta.

A neta (Muros 1 y 4) = 14,353 cm^2.

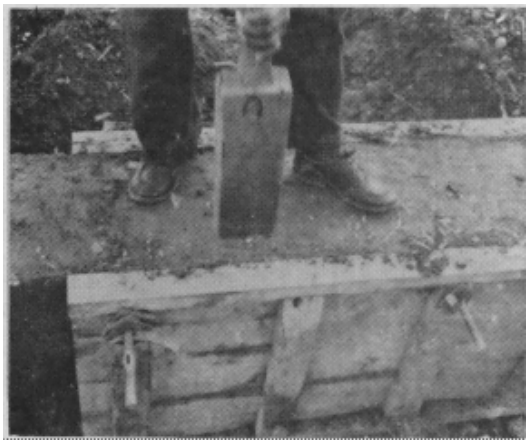
A neta (Módulos 1 y 2) = 26,146 cm^2.

F I G U R A S

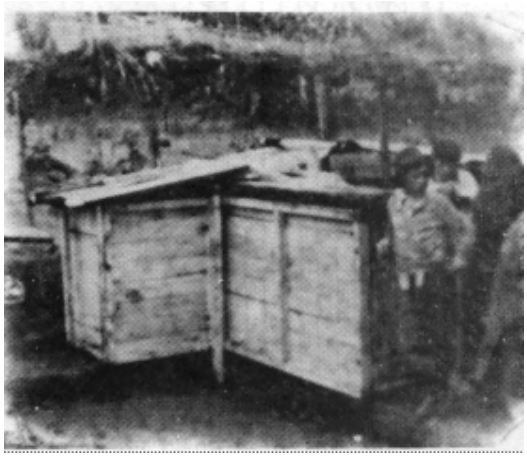
A. Ancash

B. Cajamarca

C. Huánuco



D. Junín



E. Ecuador

Fig. 1 Moldes

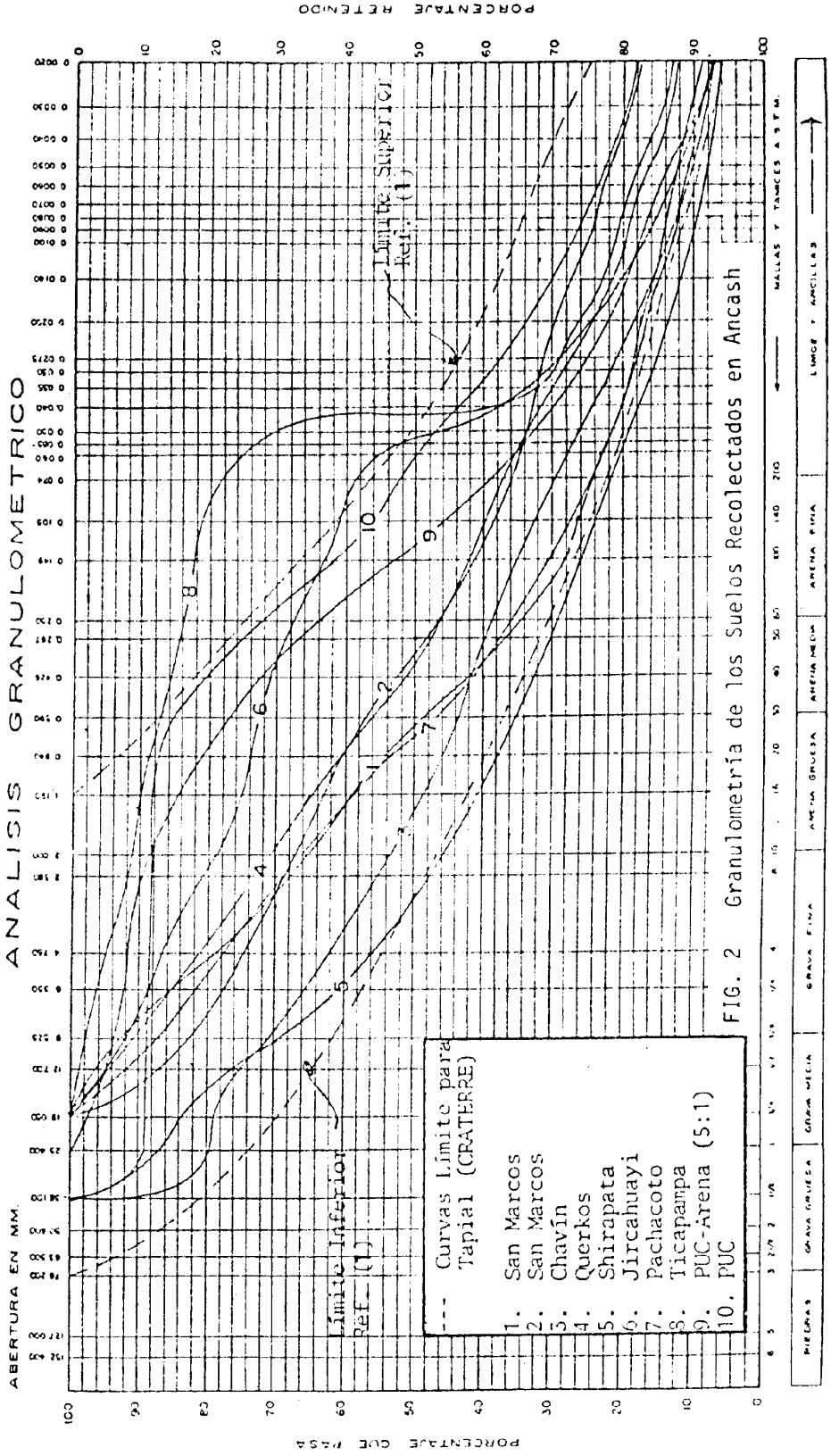


FIG. 2 Granulometría de los Suelos Recolectados en Ancash

Fig. 3 Compactación

Fig. 4 Rama de Eucalipto dentro de la Tapia

Fig. 5 Techo Típico a Dos Aguas

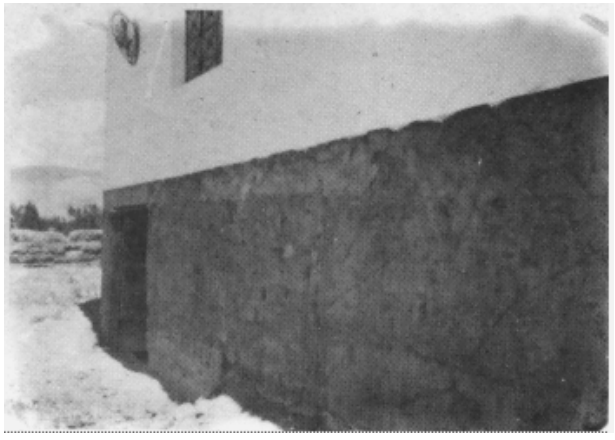


Fig. 6 Acabados de los Muros

A

B

C

D

Fig. 7 Fallas Típicas en Viviendas de Tapial

A. Junta Húmeda y Rayada

B. Junta de Concreto

C. Junta con Piedras

D. Junta Ondulada

E. Junta con Caña Partida

F. Estacas de Eucalipto

Fig. 8 Tipos de Juntas Estudiadas en Muretes

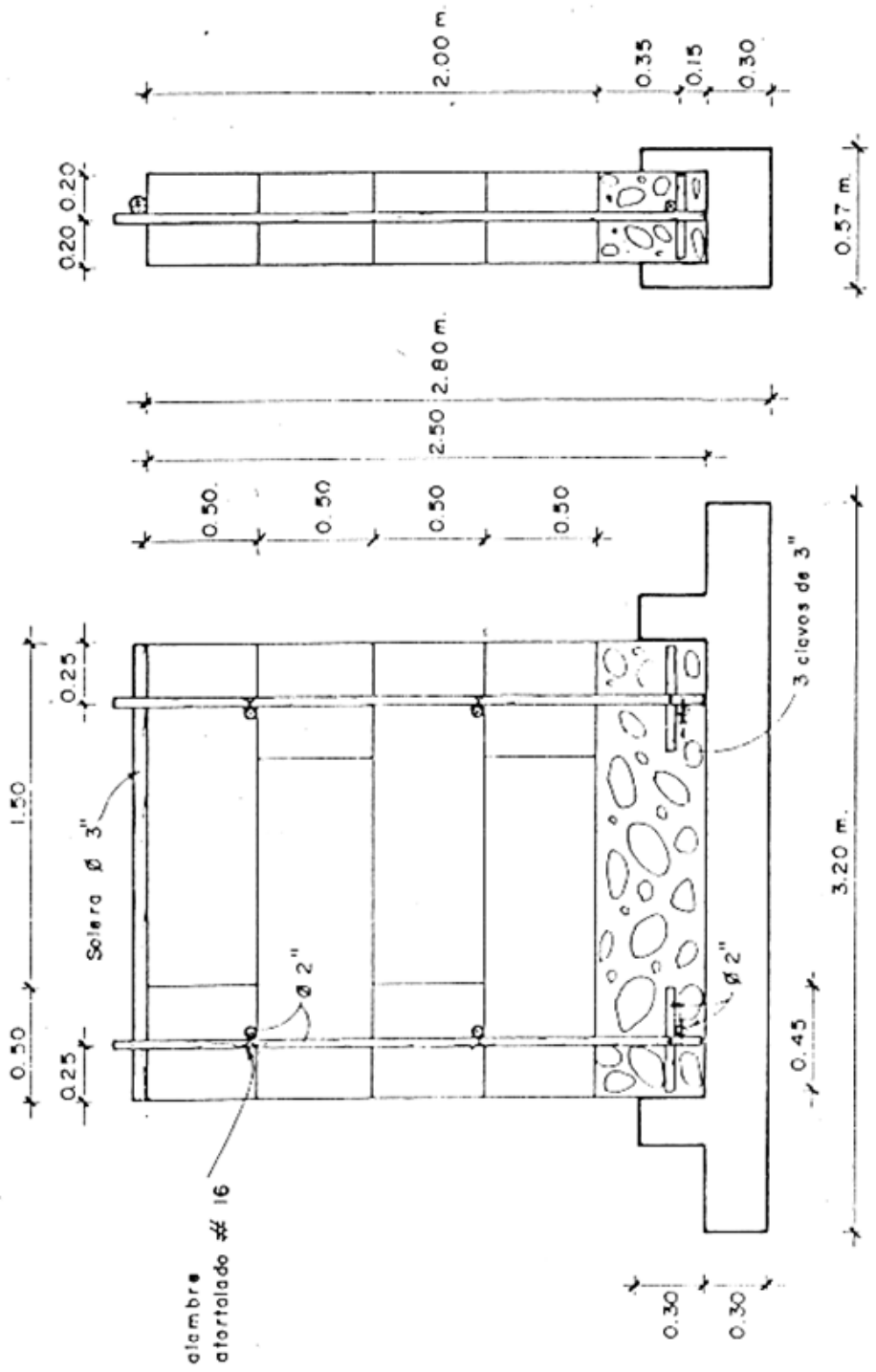


Fig. 9 REFUERZO TIPO I

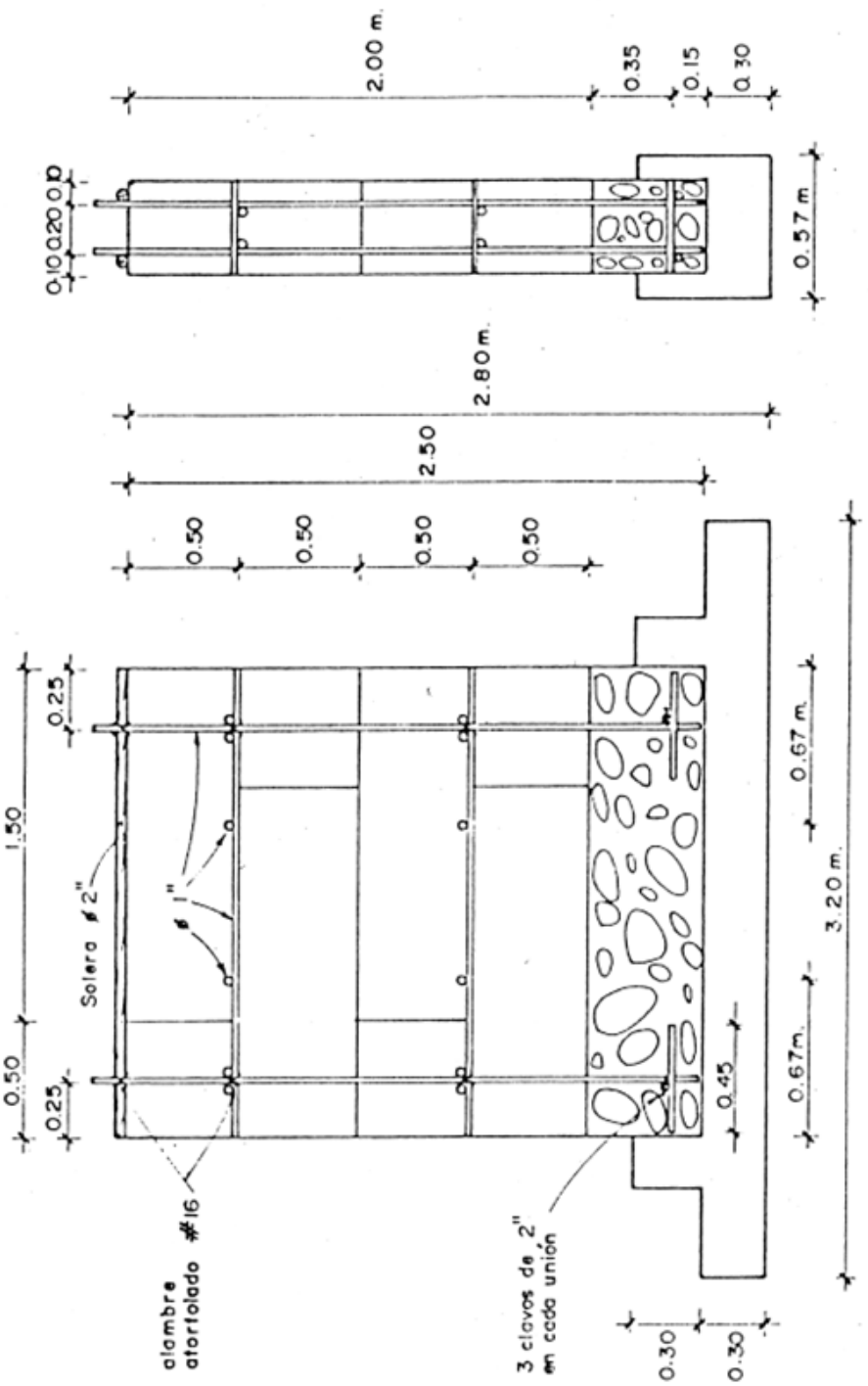


Fig. 10 REFUERZO TIPO II

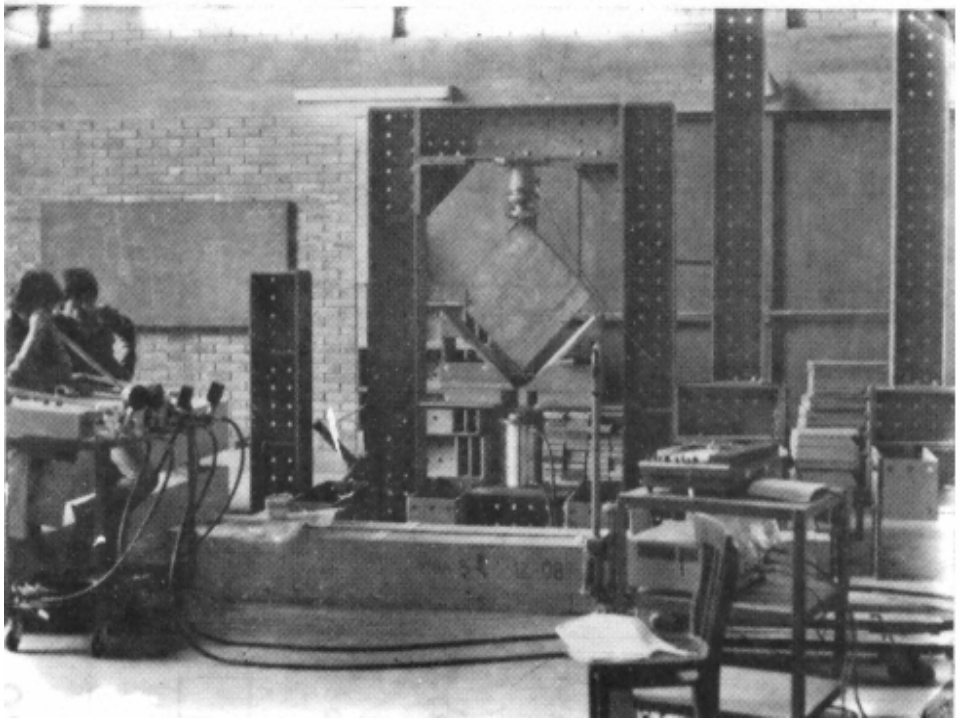


Fig. 11 Ensayo de Compresión Diagonal en Muretes

Fig. 12 Ensayo Estático en Muros de Tapial

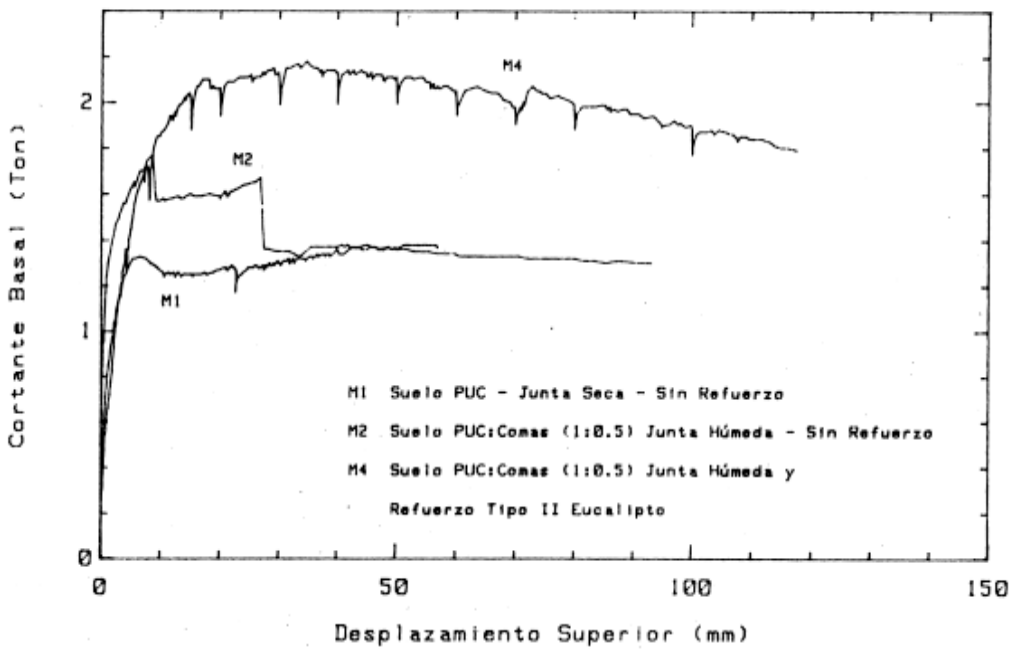


Fig. 13 ENSAYO ESTÁTICO. EFECTOS DE REFUERZO, DE LA CALIDAD DEL SUELO Y DEL TRATAMIENTO EN LA JUNTA

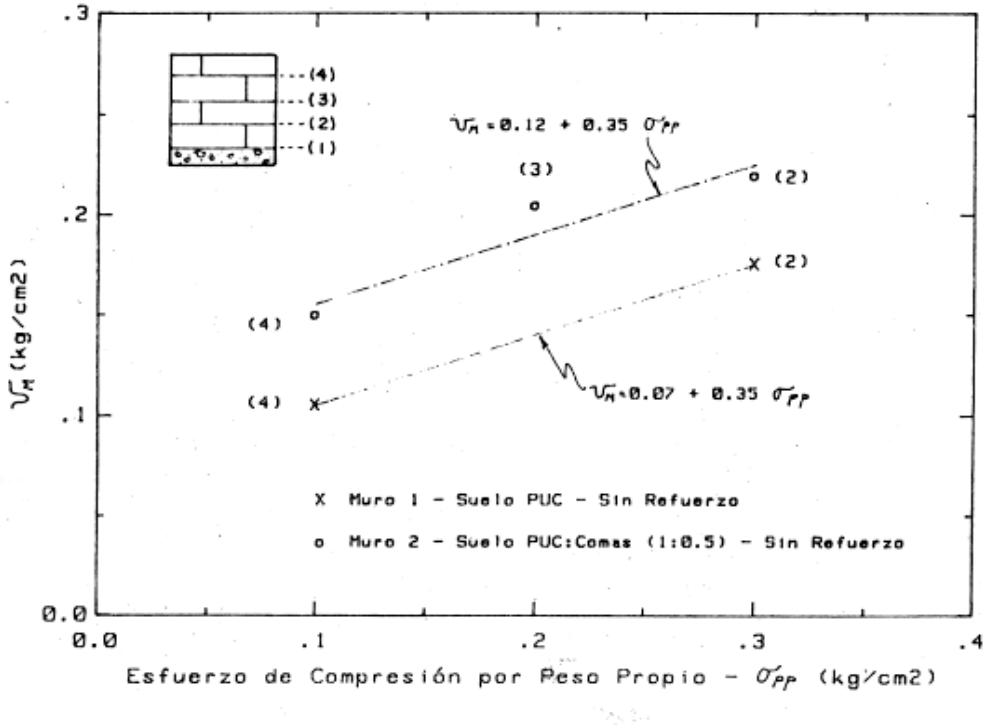


FIG. 14 RESISTENCIA POR CORTE – FRICCION (AL INSTANTE DE OCURRIR EL DESLIZAMIENTO EN JUNTAS HORIZONTALES)

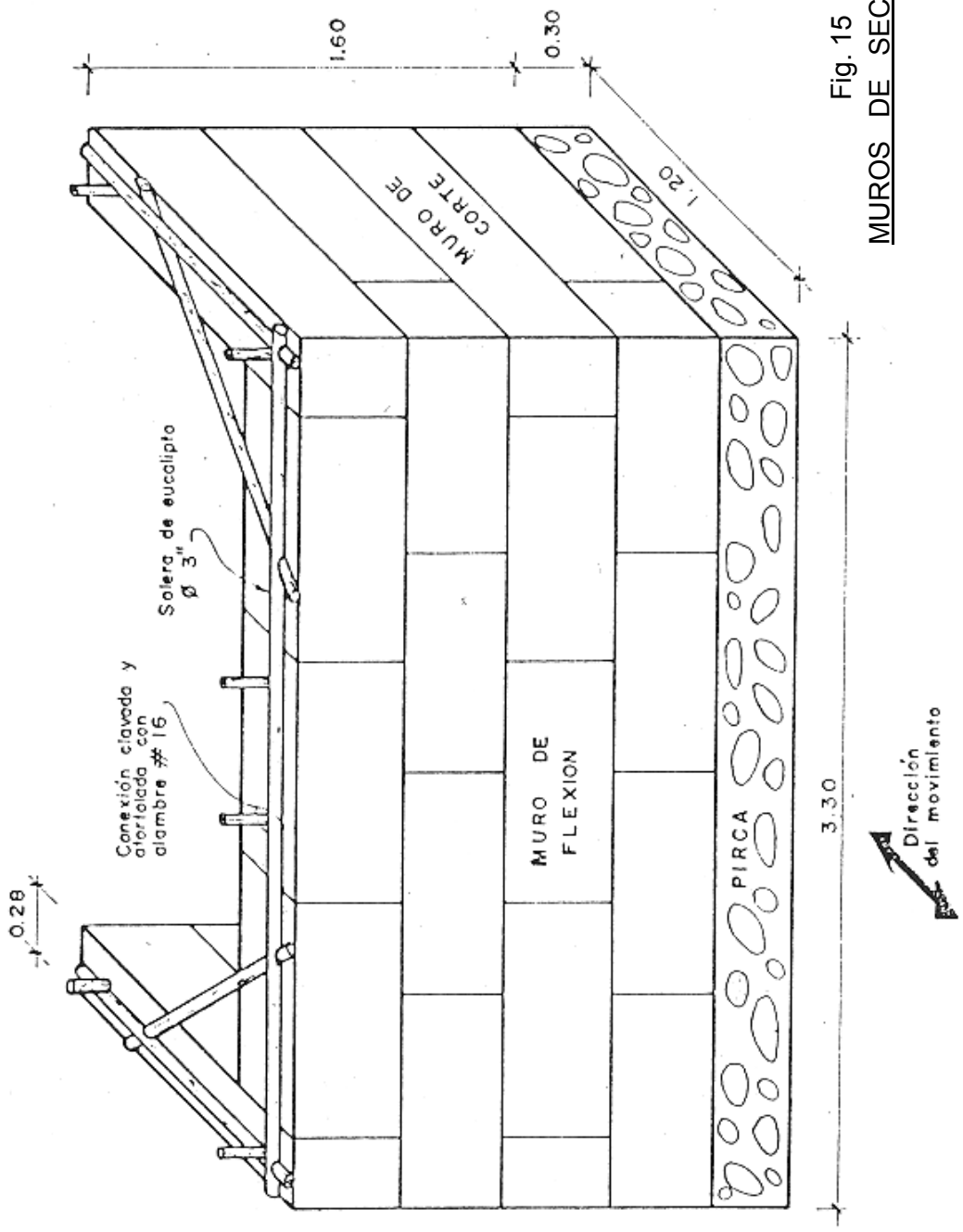


Fig. 15
MUROS DE SECCION ∅

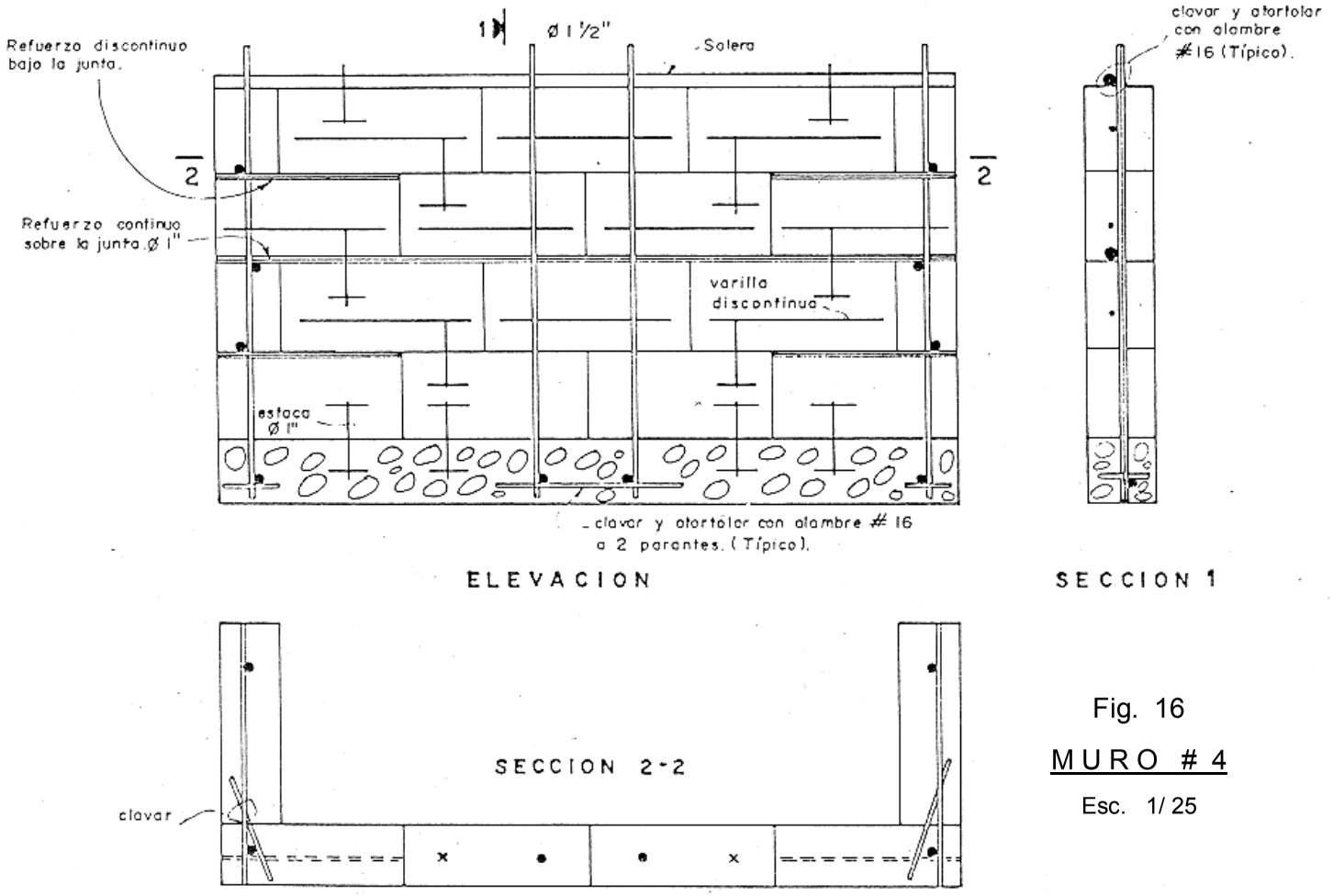
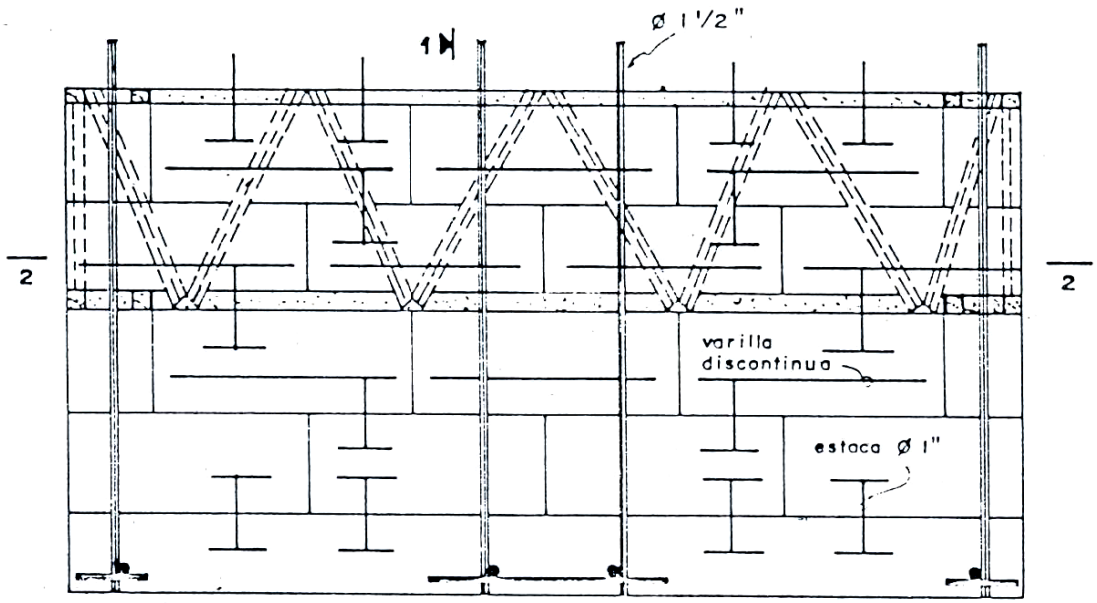


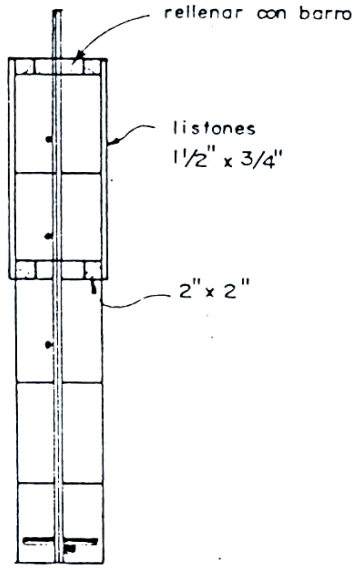
Fig. 16

MURO # 4

Esc. 1/ 25



ELEVACION



SECCION 1

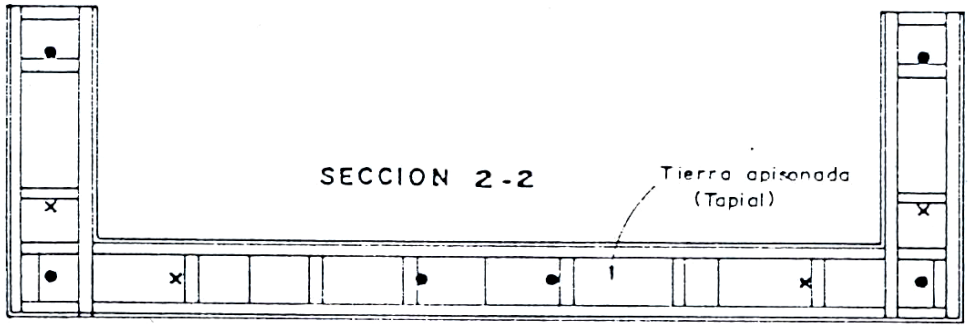


Fig. 17

MURO # 6

Esc. 1/ 25

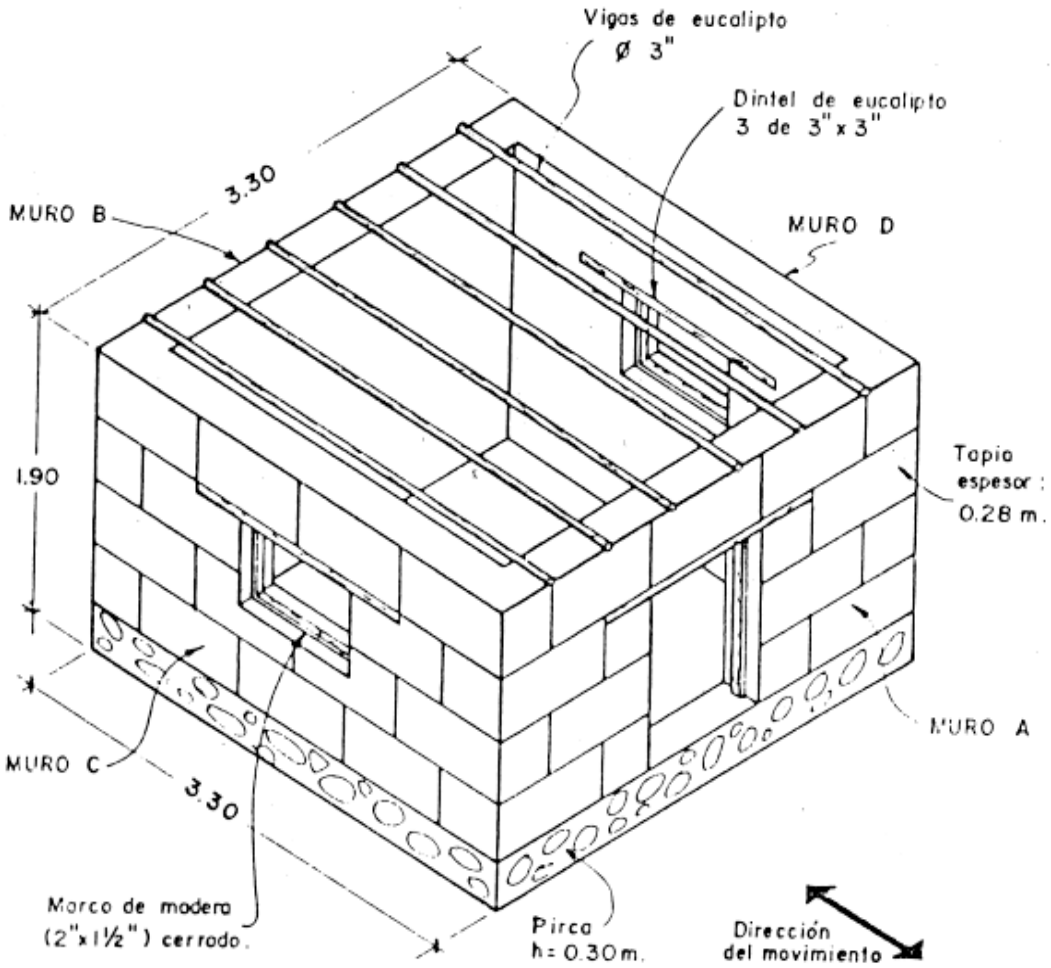


Fig. 18

M O D U L O # 1

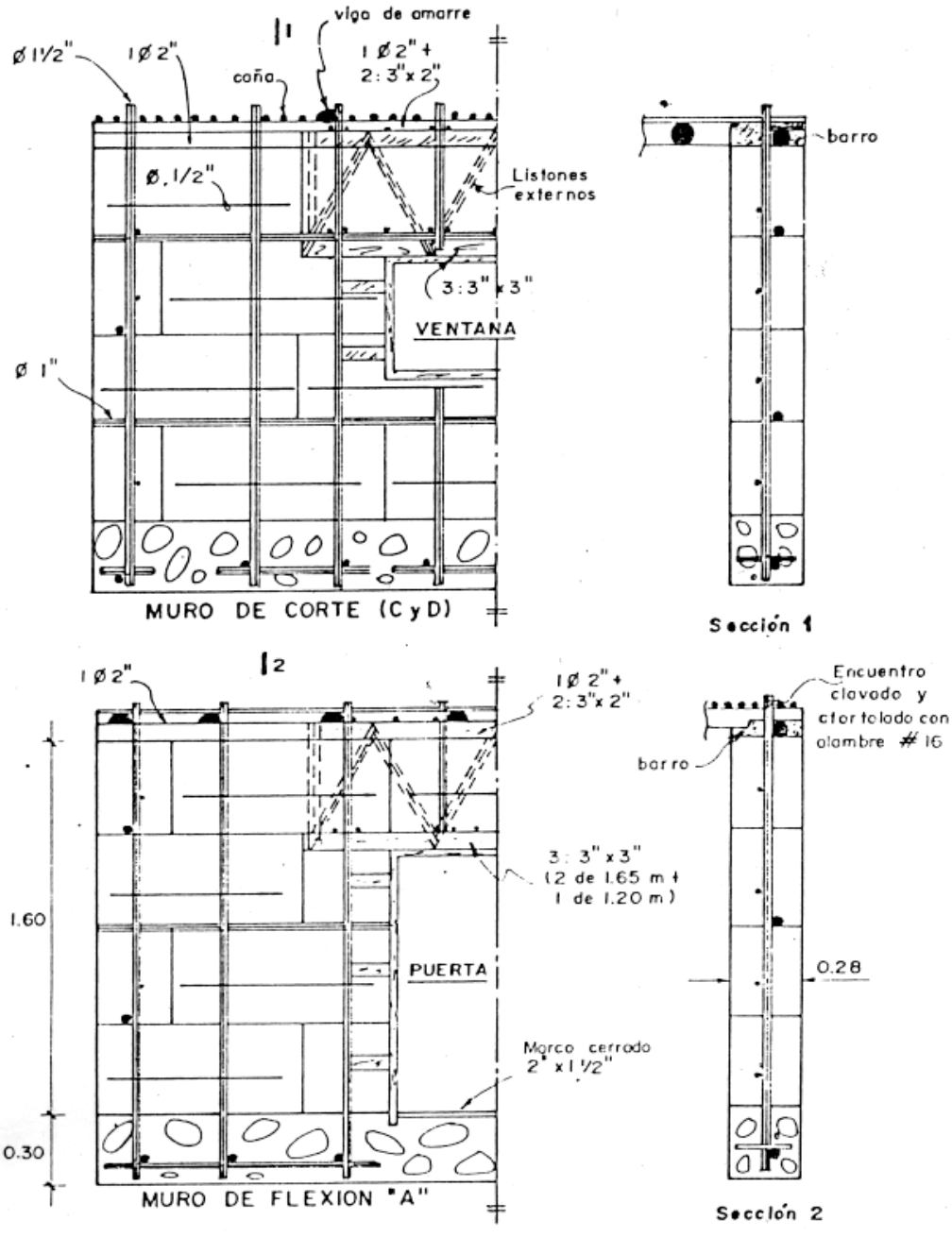


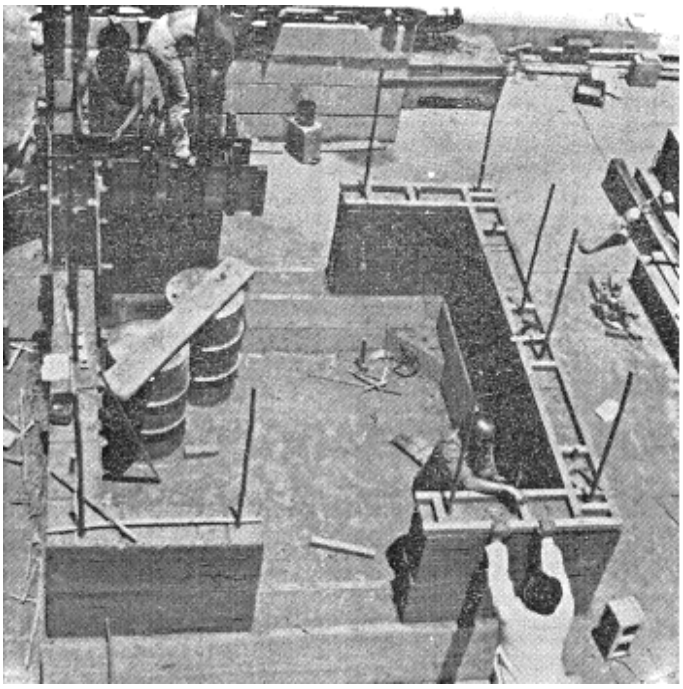
Fig. 19

MODULO # 2

Esc. 1/25

A. Molde y Conexión entre Refuerzos

B. Anclaje Mecánico del Refuerzo Vertical en la Pirca



C. Muros de Sección “U” 5 y 6, Hilada Intermedia

Fig. 20 Secuencias del Proceso Constructivo en Especímenes Ensayados Dinámicamente

Fig. 21 Módulo 1

Fig. 22 Módulo 2

Fig. 23 Dispositivos Empleados para el Ensayo Dinámico de los Muros de Sección “U”

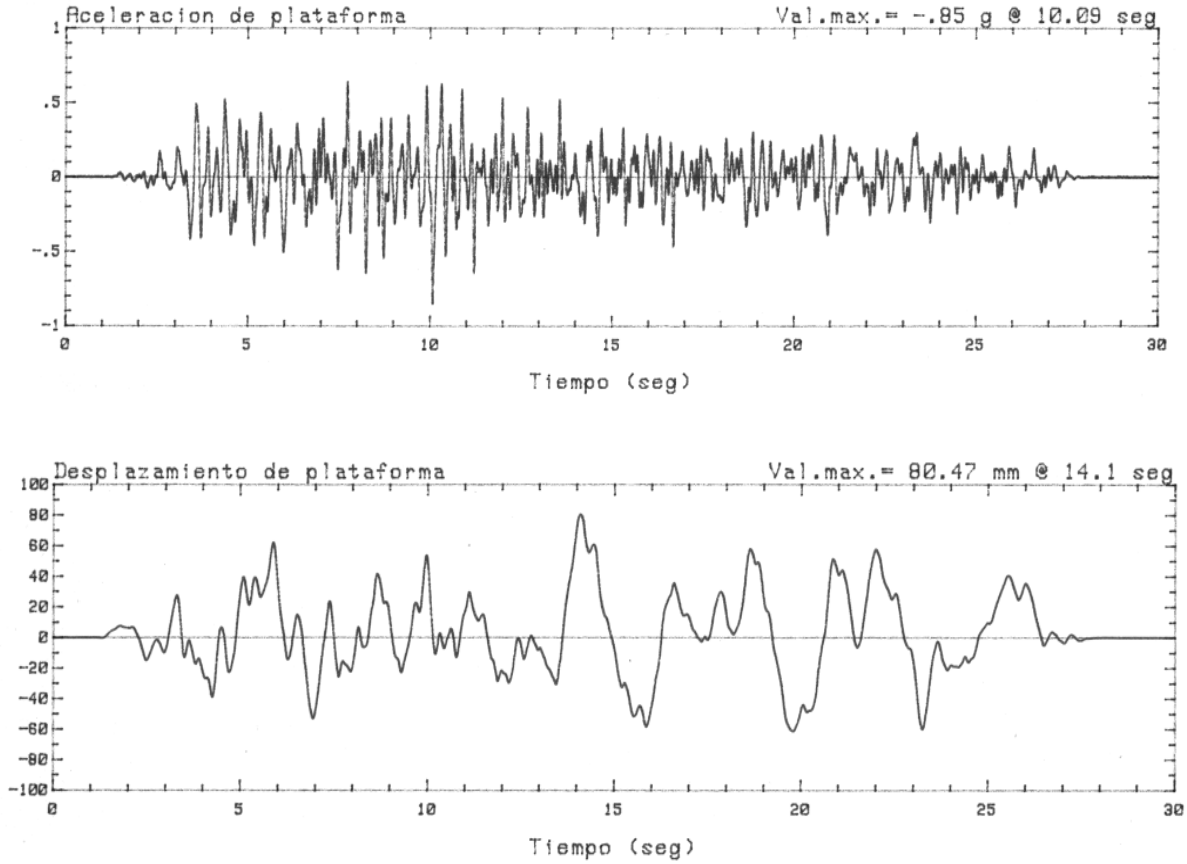


FIG. 24 Señal Sísmica “mayo70”, D = 80 mm

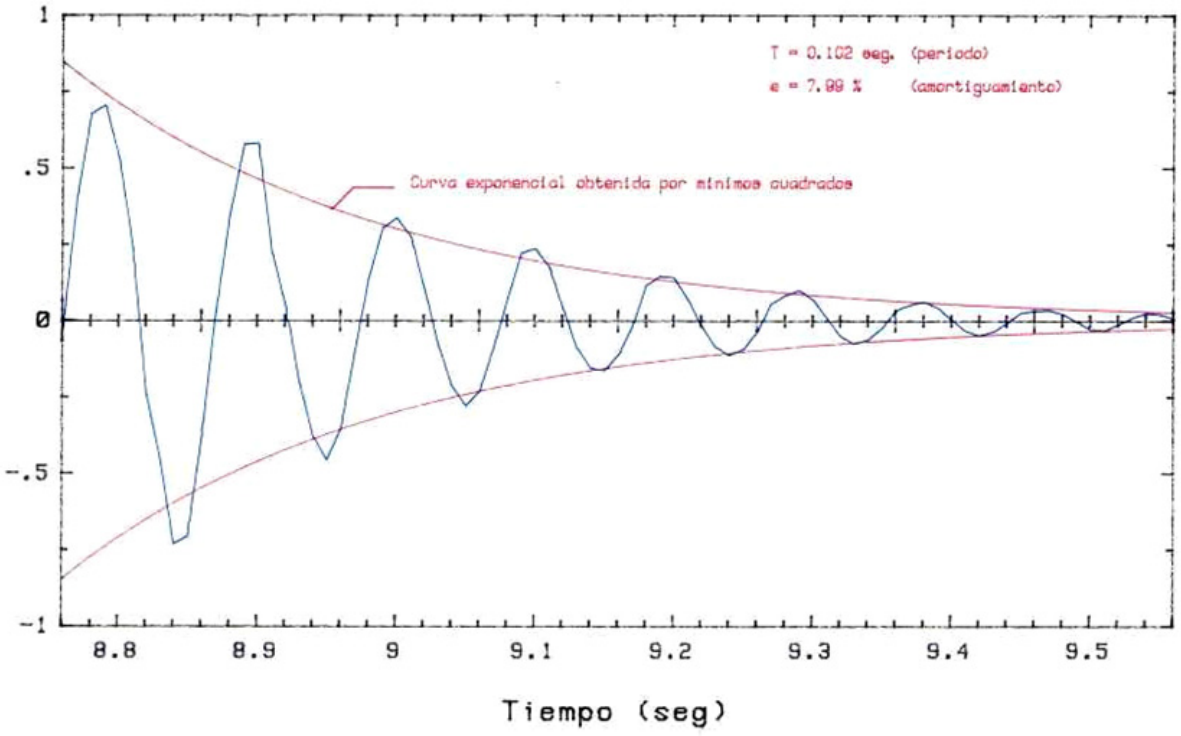


FIG. 25 Respuesta típica en vibración libre

A. Muro 1
Instantánea de la Fase D

B. Muros 2 y 1 al Finalizar la Fase D

C. Muros 4 y 3 al iniciar la Fase E

D. Muro 6 al Finalizar la Fase F

Fig. 26 Fallas en los Muros de Sección “U”

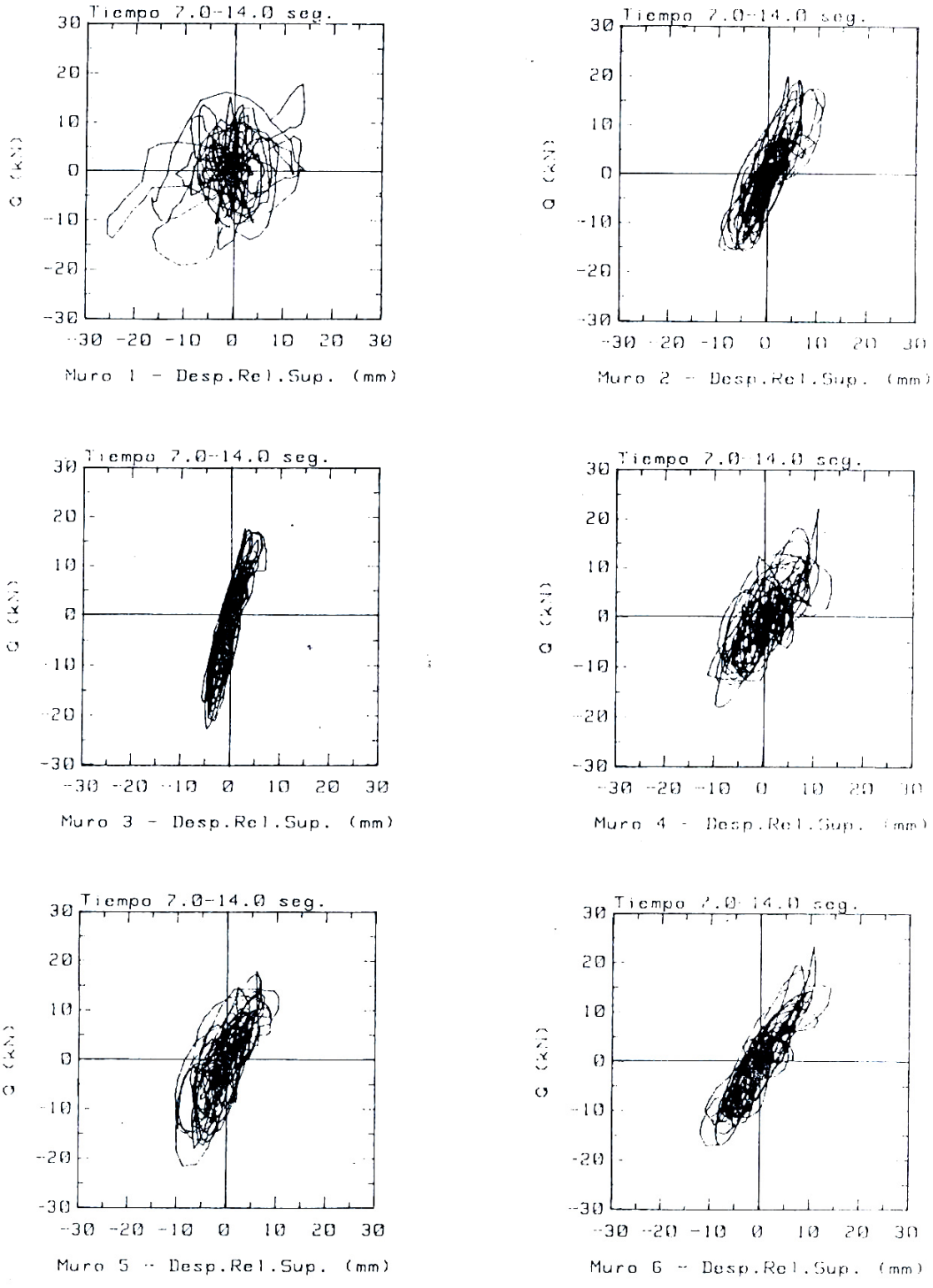


FIG. 27. MUROS DE FLEXION – FASE C (40 mm)
CORTANTE VS. DESP. RELATIVO SUPERIOR

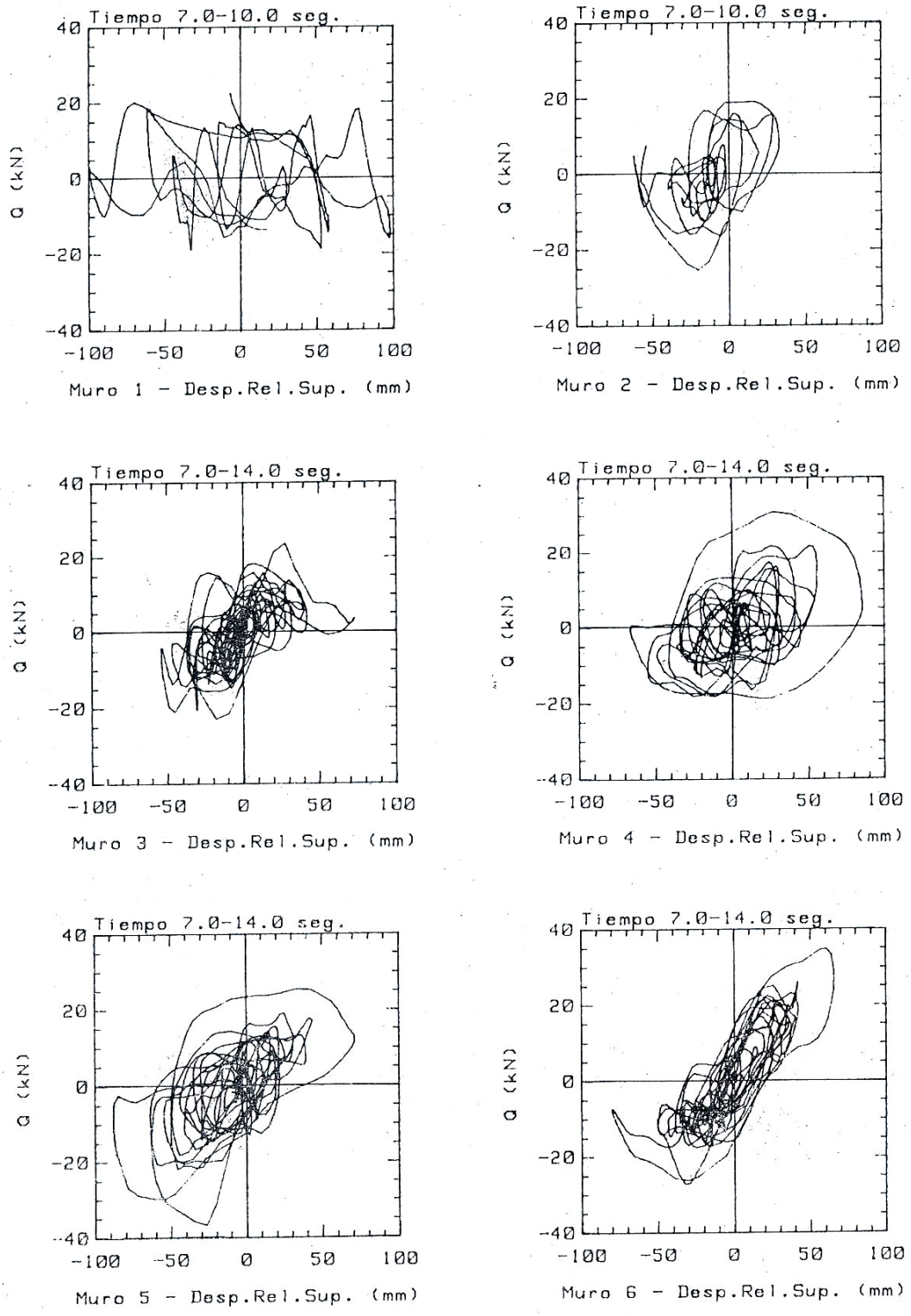
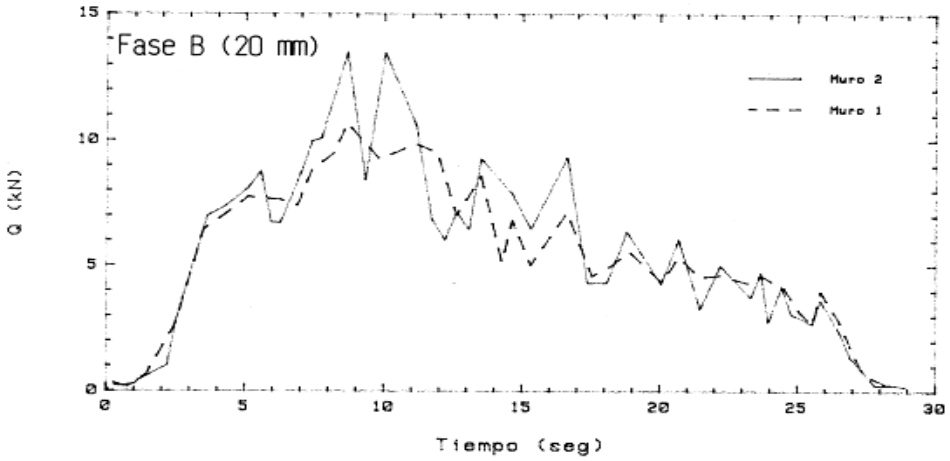
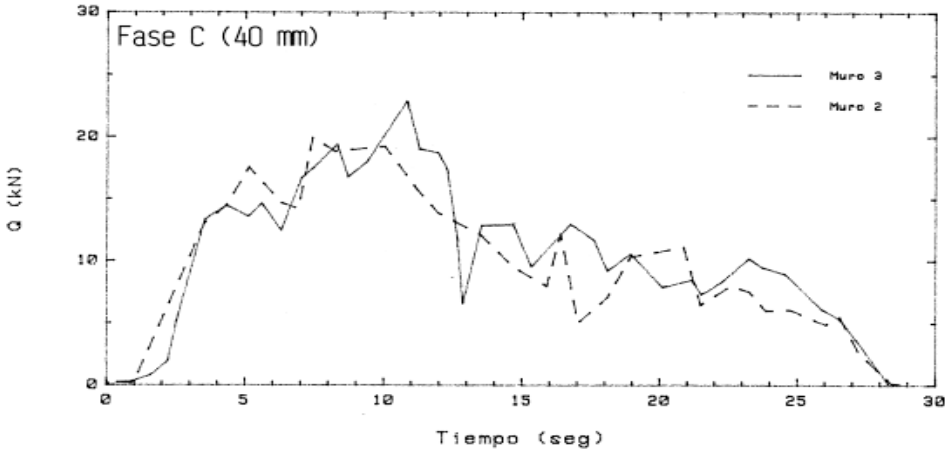


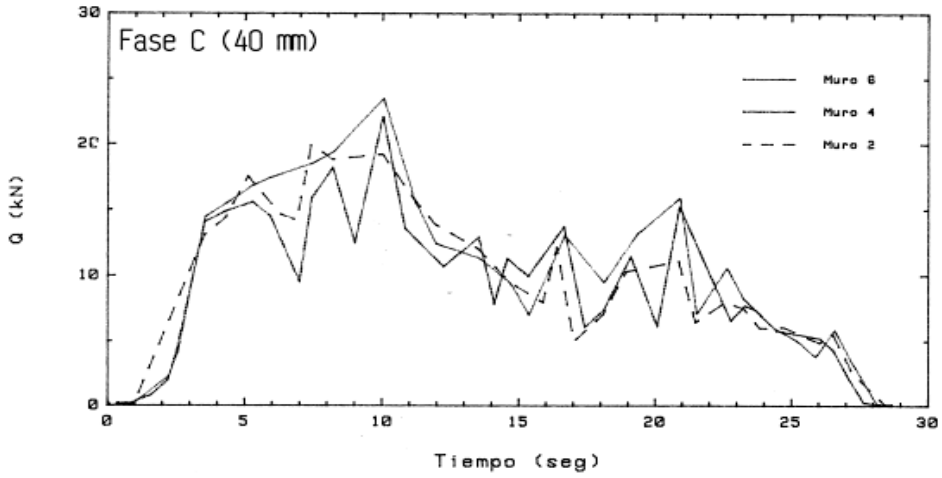
FIG. 28. MUROS DE FLEXION – FASE C (80 mm)
CORTANTE VS. DESP. RELATIVO SUPERIOR



A. Efectos de mejorar la calidad de construcción

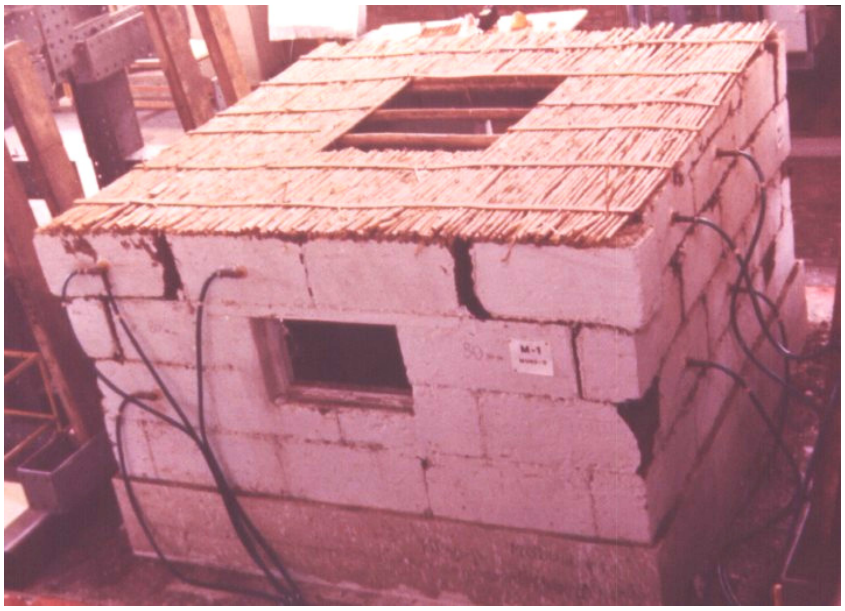


B. Efectos de mejorar la conexión entre muros ortogonales



C. Efectos del refuerzo

FIG. 29. ENVOLVENTES DEL CORTANTE BASAL



A. Módulo 1, no Reforzado

B. Módulo 2, Reforzado

Fig. 30 Estado de los Módulo al Término de la Fase C (80 mm.)

A. Encuentro de Muros de Flexión (A) y de Corte (D)

B. Encuentro de Muros de Flexión (B) y de Corte (D)

Fig. 31 Estado de Módulo 2 al Término de la Fase D (120 mm.)

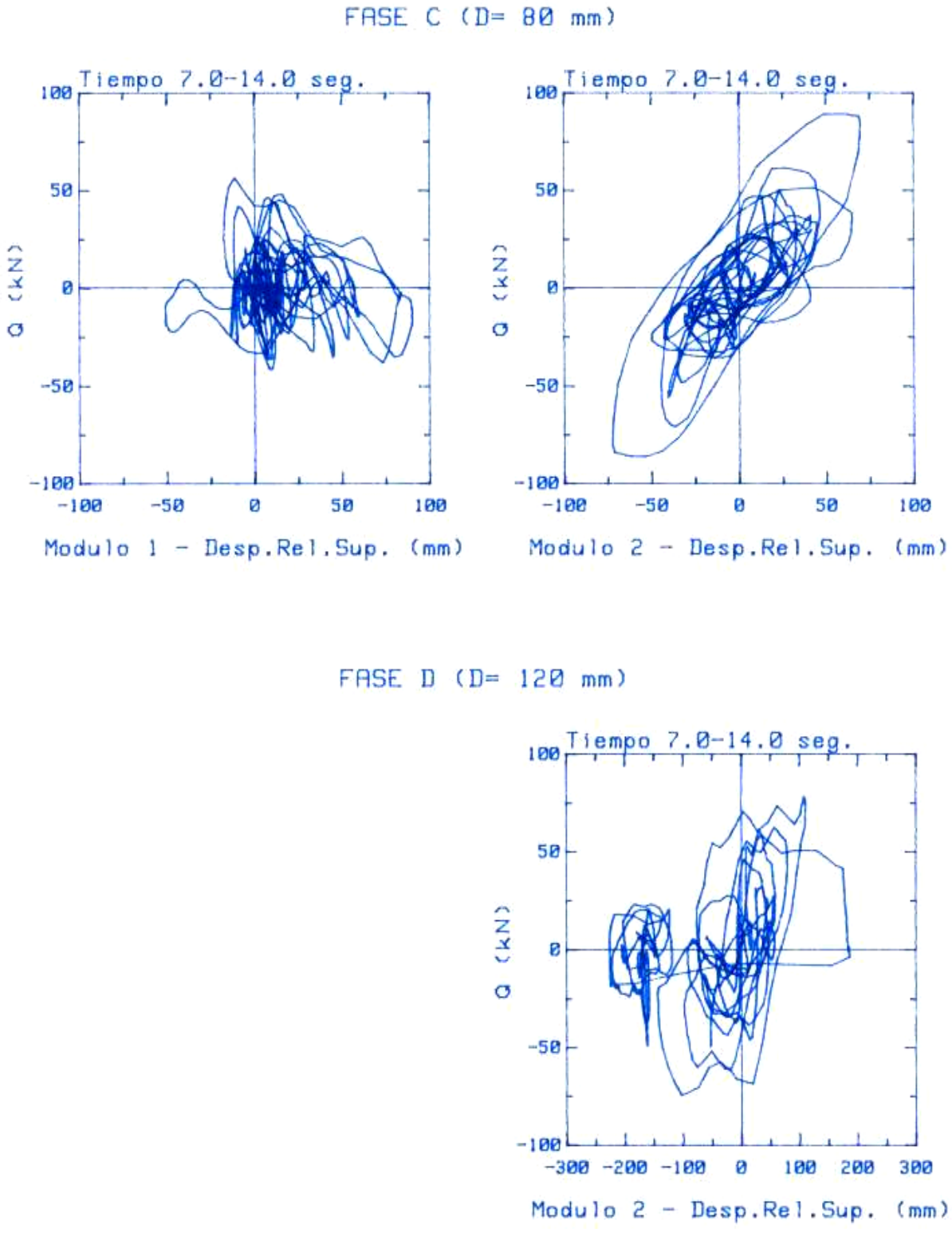


FIG. 32. MUROS DE FLEXION EN MODULOS
CORTANTE VS. DESP. RELATIVO SUPERIOR

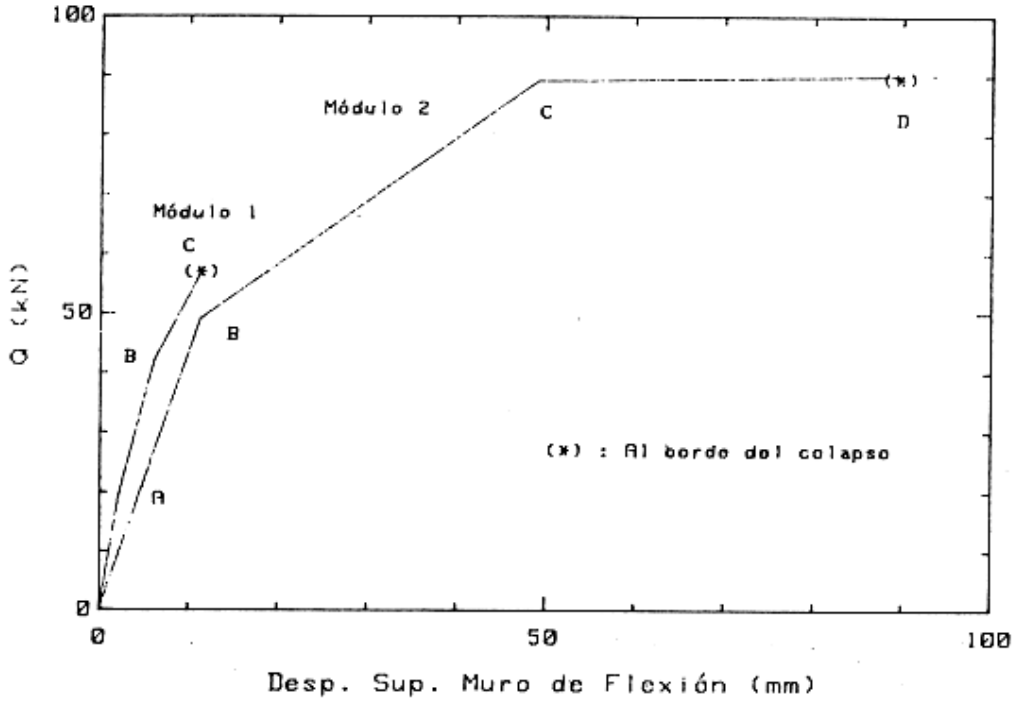


FIG. 33. CORTANTE BASAL VS. DESPLAZAMIENTO SUPERIOR EN EL MURO DE FLEXION B DE LOS MODULOS

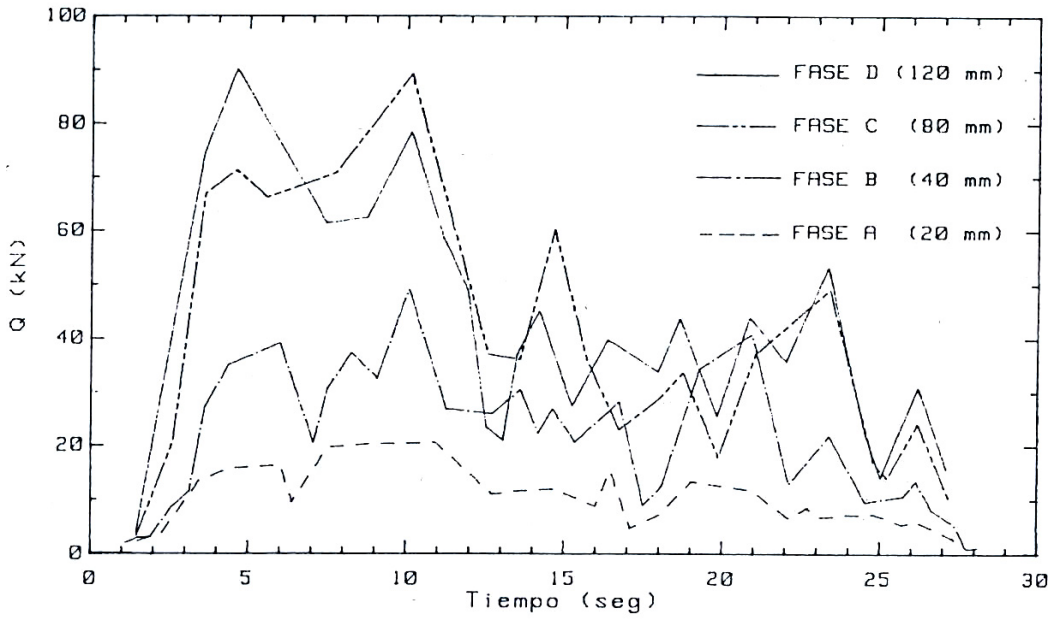


FIG. 34. ENVOLVENTES DE CORTANTE BASAL – MODULO 2

ÍNDICE

		Pág.
1.0	LA TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL	1
1.1	Herramientas Empleadas en la Construcción del Tapial	1
1.2	Procedimiento Tradicional de construcción de las Tapias	2
1.3	Detalles en la Construcción de Viviendas de Tapial	3
1.4	Fallas Estructurales	4
2.0	ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL CORTE MEDIANTE ENSAYOS ESTÁTICOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES	4
2.1	Características Generales de los Muretes	4
2.2	Influencia de la Calidad del Suelo, de la Adición de Estabilizantes y del Curado en la Resistencia al Corte	5
2.3	Estudio de Siete Tipos de Juntas de construcción	5
3.0	ENSAYOS ESTÁTICOS DE CARGA LATERAL EN MUROS. ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL SUELO Y DEL **REFUERZO**	6
3.1	Características Generales de los Muros	6
3.2	Técnica de Ensayo	6
3.3	Resultados y Comentarios	7
4.0	CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS DINAMICAMENTE	7
4.1.	Objetivos y Definición de Especímenes	7
4.2	Especificaciones Constructivas Generales	8
4.3.	Detalles Constructivos Adicionales en Especímenes Mejorados	9
4.4.	Funciones del Eucalipto	9
4.5.	Características de Cada Espécimen	10
5.0	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO DINÁMICO	11
5.1.	Señal Sísmica Empleada	11
5.2.	Dispositivos de Medición	12
5.3.	Evaluación de las Fuerzas de Inercia y Cortante Basal	12
5.4.	Evaluación del Período (T) y Amortiguamiento (β)	12
6.0	RESULTADOS EN LOS MUROS DE SECCIÓN “U”	13
6.1.	Descripción Cualitativa del Comportamiento Sísmico	13
6.2.	Período (T) y Amortiguamiento (β)	14
6.3.	Evaluación de Resultados	15

Pág.

7.0 RESULTADOS EN MÓDULOS DE VIVIENDA 16

7.1. Descripción Cualitativa del Comportamiento Sísmico 16
7.2. Período (T) y Amortiguamiento (β) 18
7.3. Evaluación de Resultados 18

8.0 CONCLUSIONES 19

8.1. Control de la Fisuración por Contracción de Secado 19
8.2. Mejora de la Resistencia a Corte - Fricción 20
8.3. Mejora de la Conexión entre Muros Ortogonales 20
8.4. Efectos del Refuerzo 21
8.5. Otras Recomendaciones 21
8.6. Líneas Futuras de Investigación 22

9.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 23

TABLAS 24

FIGURAS 32

MINISTERIO DE VIVIENDA Y CONSTRUCCION

LIMA – PERU