

DISEÑO SISMICO DE CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y BLOQUE ESTABILIZADO - Primera Parte: Propuesta de Normas de Diseño de Construcciones de Adobe y Bloque Estabilizado.

Por: Ricardo Yamashiro K*, Alejandro Sanchez O* y Roberto Morales M**

RESUMEN

En base a los mecanismos de falla de las construcciones de adobe*** observados en sismos reales y en el laboratorio, se identifica los esfuerzos críticos. La resistencia de la albañilería y del refuerzo de caña, se determina mediante pruebas apropiadas y se establecen sus esfuerzos admisibles. Finalmente, con la información disponible se propone normas para el diseño de las construcciones de adobe.

SEISMIC DESIGN OF ADOBE AND STABILIZED BLOCK CONSTRUCTION - First Part: Proposed Code for Designing Adobe and Stabilized Block Construction.

By: Ricardo Yamashiro K*, Alejandro Sanchez O* y Roberto Morales M**

SUMMARY

On the basis of observed failure mechanism of adobe*** construction, during actual earthquakes and in the laboratory, critical stresses are identified. Masonry and cane strength are determined through appropriate tests, and their allowable design stresses are established. Finally, a design code for adobe construction is proposed on the basis of available information.

* Profesor Principal, Dpto. de Estructuras y Construcción, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

** Profesor Asociado, Dpto. de Estructuras y Construcción, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

*** En este trabajo se incluirá al bloque estabilizado en el término "adobe".

INTRODUCCION

La gran actividad sísmica de nuestro territorio ha cobrado siempre sus mayores víctimas en las construcciones de adobe. Según Kuroiwa, Deza y Jaén (1)* en el terremoto del 31 de Mayo de 1970 "...Más del 90 por ciento de los edificios dañados eran de adobe y su colapso causó más de 40,000 muertes". Por otro lado, sin embargo, algunas construcciones de adobe resistieron sorprendentemente, los embates del sismo. "... En Coishco, a 40 kilómetros del epicentro y sobre terreno rocoso, el daño fué mínimo y muchas de las construcciones de adobe sobrevivieron y están habitadas".

Debe aceptarse, entonces, que existen ciertas condiciones bajo las cuales este tipo de construcción puede ofrecer un comportamiento "satisfactorio" ante sismos severos.

Lo que constituye un comportamiento "satisfactorio" ante sismos, está adecuadamente resumido en una de las filosofías en boga en la ingeniería antisísmica. Según Fintel (2), los objetivos implícitos en la mayoría de las normas de diseño antisísmico son que la estructura sea capaz de:

1. resistir sismos menores sin daños,
2. resistir sismos moderados con algunos daños estructurales leves y con daños no estructurales moderados,
3. resistir sismos catastróficos sin colapsar.

Por colapso se entiende (2) "... aquel estado que no permite que los ocupantes salgan del edificio debido a la falla de la estructura primaria".

* La numeración entre paréntesis corresponde a las referencias.

En el presente trabajo se trata de sintetizar la información disponible sobre construcciones de adobe en forma de normas de diseño que permitan proyectar con este material, satisfaciendo los objetivos expuestos, en la mejor forma posible.

Se estudió, primeramente, el comportamiento sísmico de las construcciones de adobe con énfasis principal en la detección de los mecanismos de falla, lo que permitió identificar los tipos de esfuerzos que era necesario estudiar principalmente. Se estudió luego, experimentalmente, algunas de las propiedades mecánicas de la albañilería de adobe -especialmente su resistencia- bajo diferentes sollicitaciones. A continuación, en base a estos estudios se estableció los esfuerzos admisibles para el diseño. Finalmente, usando información de diversas fuentes y cálculos adicionales que se publicarán en un futuro cercano se preparó una propuesta de normas para el diseño de estas construcciones.

COMPORTAMIENTO SISMICO DE CONSTRUCCIONES DE ADOBE

Las fallas en las construcciones de adobe pueden atribuirse, principalmente, a su poca resistencia en tracción y reducida adherencia entre el adobe y el mortero.* Los tipos principales de falla, que a menudo se presentan combinados, son los siguientes:

1. Falla por tracción en los encuentros de muros. En la figura 1 se ilustra este tipo de falla, que se debe principalmente a esfuerzos de tracción directa que se produce en uno de los muros, al dar arriostre lateral a otros muros del encuentro. Esta situación se agrava cuando a es-

* Estas características mejoran notablemente en construcciones de bloque estabilizado (4)

te efecto se superponen los esfuerzos de flexión.

2. Falla por flexión. En la figura 2, se ilustra algunas de las variantes de este tipo de falla que se debe a los esfuerzos de tracción por flexión al actuar el muro como una losa, apoyada en su base y en los elementos verticales que lo arriostran. La falla puede ocurrir en secciones horizontales, verticales u oblicuas.

3. Falla por corte. En la figura 3, se ilustra esta tipo de falla, que se produce cuando el muro trabaja como muro de corte. Se debe, principalmente, a los esfuerzos tangenciales en las juntas horizontales.

En un trabajo experimental muy ingenioso, Corazao y Blondet (5) encontraron tipos de falla similares.

PROPIEDADES MECANICAS DE ALBAÑILERIA DE ADOBE Y BLOQUE ESTABILIZADO

Del estudio de los mecanismos de falla de las construcciones de adobe se determinó que las características mecánicas que más interesa conocer son:

1. la resistencia en tracción,
2. la resistencia en flexión,
3. la resistencia al corte.

Además, a pesar de que no se ha observado fallas por compresión, interesa conocer la resistencia de la albañilería en compresión, por ser esta una conveniente medida de la calidad estructural del material, siendo además, más fácil de determinar que las otras resistencias indicadas.

La resistencia de la albañilería de adobe se determinó mediante es-

pecímenes a escala natural y también mediante especímenes normalizados.

ESPECIMENES A ESCALA NATURAL.

Resistencia en tracción.- En un estudio experimental, Vera (6) encontró, como era de esperar, una bajísima resistencia en tracción, de la albañilería de adobe, apenas 0.036 Kg/cm^2 , como se muestra en la figura 4. Para su aplicación al diseño de muros reforzados, se ensayó también algunos encuentros de muros reforzados con caña. Se encontró un dramático aumento en la resistencia del encuentro, hasta de 14.7 veces la resistencia del espécimen sin reforzar.

Resistencia en flexión.- Moromi (7) estudió, experimentalmente, la resistencia en flexión en un plano horizontal de la albañilería de adobe con y sin refuerzo (Fig. 5). Nuevamente, la resistencia del muro sin reforzar resultó muy pequeña, mientras que con refuerzo se llegó hasta una resistencia 39 veces mayor cuando se usó mortero de barro con cemento, pero sólo 4 veces mayor cuando se usó mortero de barro simple.

Resistencia en corte.- Minchola (8), Guanilo (9) y Marino (10), estudiaron experimentalmente, la resistencia de muros de corte de albañilería de adobe con/sin refuerzo (Fig. 6). La resistencia del muro sin reforzar (especimen N° 1) fué de 0.123 Kg/cm^2 y la más alta resistencia obtenida fué 0.268 Kg/cm^2 , correspondiente al espécimen N° 6, reforzado en ambos bordes verticales y también horizontalmente cada tres hiladas. Es digno de notar que el muro sin refuerzo, con juntas de barro con cemento, resistió 0.236 Kg/cm^2 , es decir, más que la mayoría de los muros reforzados y casi tanto como el más resistente. Debe destacarse, sin embargo,

que la capacidad de deformación de los muros reforzados fué significativamente mayor que la de los muros sin refuerzos.

ESPECIMENES NORMALIZADOS.

Generalidades. Los ensayos de modelos a escala normal(6)(7)(8) permiten determinar la resistencia a los diversos tipos de esfuerzos con cierto grado de confiabilidad. Por otro lado, sin embargo, son extremadamente morosos, requieren personal relativamente especializado y son, sobre todo, muy costosos. Estos inconvenientes se pueden subsanar usando especímenes y procedimientos de ensayo diseñados de modo de simplificar, lo más posible, el trabajo, con un sacrificio aceptable en la confiabilidad de los índices de resistencia que así se determinen.

A continuación se presenta los resultados de ensayos de albañilería de bloque estabilizado usando los especímenes de prueba propuestos por Meli y Reyes(11). Estos especímenes, que son fáciles de construir y ensayar, permiten obtener índices de resistencia de la mampostería en compresión, corte y tracción diagonal. Correlacionando estos índices con los resultados de ensayos de muros a escala natural, será posible en el futuro -cuando se disponga de un volumen suficiente de información- determinar con mayor exactitud las propiedades mecánicas necesarias para el diseño.

Especimen para el ensayo de compresión axial. Proporciona un índice de la resistencia de un muro a la acción de cargas verticales.

El tipo de especimen utilizado se muestra en la figura 7 (a). Consiste en una pila de bloques unidos por mortero. La relación altura-espesor de las pilas fué aproximadamente igual a 2. Con el fin de asegurar u

na aplicación uniforme de esfuerzos se procuró que las caras extremas de la pila fueran lisas, planas y paralelas. Esto se logró puliendo la cara inferior y enrasando la cara superior con una capa de yeso de aproximadamente 3 mm. de espesor. Los ensayos se efectuaron en un marco metálico, aplicando la carga mediante un gato hidráulico de 30,000 lbs. por incremento de 2000 lbs. Para cada incremento de carga se midió la deformación axial mediante un deformómetro de dial. Los ensayos se efectuaron a los 35 días de fabricadas las pilas.

Especímenes para el ensayo de corte directo. Proporcionan un índice de la resistencia de muros a cargas horizontales en su plano, cuando fallan en la junta de mortero que une los bloques. Se trata de una falla debida básicamente a esfuerzos tangenciales.

El tipo de espécimen utilizado se muestra en la figura 7 (b). Consiste en una pila de tres bloques. El intermedio está cortado verticalmente por la mitad. Estos medios bloques están ligeramente separados, con su junta vertical sin mortero.

Al aplicar cargas en los medios bloques intermedios, se produce una falla por esfuerzos tangenciales en cualquiera de las dos mitades. Los ensayos se efectúan aplicando además cargas de confinamiento en los bloques extremos, simulando de esta manera el estado de esfuerzos en un punto de un muro de albañilería. Las cargas de confinamiento aplicadas fueron de 1,2 y 4 Kg/cm². Los ensayos se efectuaron a los 35 días de fabricadas las pilas.

Especímenes para el ensayo de compresión diagonal. Proporcionan un índice de la resistencia de un muro a cargas horizontales en su plano,

tanto para el caso en que la falla se deba a esfuerzos tangenciales en las juntas como para el caso en que esta se deba a esfuerzos de tracción inclinada en los bloques.

El tipo de espécimen utilizado se muestra en la figura 7 (c). . Consiste en una pila de tres bloques. El intermedio está formado por dos medios bloques. Las pruebas se efectuaron en una máquina Universal Tinius Olsen, de tal forma que la carga se aplicaba según la dirección de una de las diagonales a través de angulares colocados en dos aristas opuestas y asentados sobre una capa delgada de yeso. Los ensayos se efectuaron a los 35 días de fabricados los especímenes.

Resultados de los ensayos de compresión axial. En el cuadro N° 1 se presenta un resumen de los resultados de estos ensayos. Puede observarse lo siguiente:

1. Las resistencias en compresión f'_m , fueron iguales en los especímenes con mortero 1:10:12 y 3 - 2%. Con estos morteros la resistencia resultó 25% mayor que para los especímenes sin estabilizar (adobe).
2. La deformación correspondiente al esfuerzo máximo fué también mayor en los especímenes con suelo estabilizado.
3. El módulo de elasticidad fué también mayor en los especímenes con suelo estabilizado. El mayor valor se obtuvo con el mortero 3 - 2%.

Resultados de los ensayos de corte directo. En la figura 8 se observa que los resultados de estos ensayos responden satisfactoriamente a la expresión de Coulomb

$$\tau = \mu + f \sigma$$

donde: v = esfuerzo tangencial de ralla, Kg/cm^2 .

u = resistencia por adherencia, Kg/cm^2 .

f = coeficiente de fricción.

σ = esfuerzo de confinamiento, Kg/cm^2 .

En estos mismos gráficos y también en el cuadro N° 2 se dan los valores de u y de f para cada tipo de mortero, que fué la variable principal.

Puede notarse lo siguiente:

1. Los especímenes con suelo estabilizado exhiben una resistencia por adherencia, u , significativamente superior a los especímenes de adobe (sin estabilizar). En orden descendente de la resistencia por adherencia se tiene la siguiente clasificación de los especímenes ensayados:

- a. Con mortero 1:2:3:1/2 $u = 1.8 - 1.98 \text{ Kg/cm}^2$
- b. Con mortero 1:10:1% $u = 1.3 - 1.4$ "
- c. Con mortero S - 2% $u = .75 - 0.90$ "
- d. Con mortero simple $u = 0.55$ "

2. Los especímenes con suelo estabilizado tienen un coeficiente de fricción, f , superior a los especímenes sin estabilizar, aunque la diferencia en este caso no es tan marcada como para la adherencia. En orden descendente de los valores del coeficiente de fricción, se tiene la siguiente clasificación de los especímenes:

- a. Con mortero 1:2:3:1/2 $f = 0.98 - 1.06$
- b. Con mortero S - 2% $f = 0.78 - 0.80$
- c. Con mortero 1:10:1% $f = 0.60 - 0.63$
- d. Con mortero simple $f = 0.58$

3. NO se observa una diferencia sistemática, ni significativa, entre los resultados para especímenes fabricados con bloques grandes y chicos.

Resultados de los ensayos de compresión diagonal. En el Cuadro N°3, se presenta un resumen del análisis de los resultados de los ensayos de compresión diagonal. Los esfuerzos de corte experimentales y los "teóricos" fueron determinados siguiendo los lineamientos del trabajo de Meli y Reyes. Se observa lo siguiente:

1. El esfuerzo de corte de rotura es significativamente mayor para los especímenes de suelo estabilizado, habiendo resultado una resistencia mucho mayor en los especímenes con mortero 1:10:12 que en los especímenes con mortero S - 22.
2. La aplicación de las expresiones para las resistencias "teóricas" para fallas por tracción diagonal y por corte, indican que los especímenes debieron fallar por corte, lo que concuerda con lo observado.
3. Sin embargo, las resistencias "teóricas" calculadas con la expresión(3) resultan excesivamente altas en comparación con los valores experimentales.

Conclusiones. De los resultados obtenidos se puede extraer las siguientes conclusiones:

- a. En general, la estabilización mejora las características mecánicas del suelo.

- b. La expresión $v = \mu + f\sigma$ relaciona satisfactoriamente las diferentes variables.*
- c. Pueden usarse especímenes con bloques pequeños (26.5 x 26.5) para obtener las propiedades mecánicas de la mampostería de bloques más grandes.
- d. La expresión $v = \frac{0.8 \mu}{1 - 0.9f h/l}$ para las pruebas de compresión diametral no es aplicable para los especímenes ensayados.**

PROPIEDADES MECANICAS DE LA CAÑA

La caña se comporta elásticamente casi hasta la rotura. Echazú(12) determinó, experimentalmente, un valor medio del módulo de elasticidad de $1.52 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ con un coeficiente de variación de 6.2%, y un valor medio de la resistencia de 1350 Kg/cm^2 con un coeficiente de variación de 17.7 %.

Con la humedad se encontró una disminución de la resistencia del orden de 25 por ciento. En otros experimentos, que están siendo evaluados, se ha encontrado una disminución mayor.

* Debe notarse, sin embargo, que para valores pequeños del esfuerzo de confinamiento, los gráficos que se muestran en el trabajo de Mali y Reyes indican que esta expresión puede dar errores importantes.

** Aparentemente, debido a que los esfuerzos de confinamiento eran pequeños.

PROPUESTA DE NORMAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA
CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y BLOQUE ESTABILIZADO.

1. REQUISITOS GENERALES.

Estas normas forman parte de las Normas de Diseño Antisísmico y regirán en caso de discrepancia.

Las construcciones de adobe y bloque estabilizado serán diseñadas por un método racional, basado en los principios de la mecánica y la resistencia de materiales.

Las dimensiones y requisitos que se estipulan en los párrafos siguientes, tienen únicamente el carácter de mínimos y no eximen de manera alguna del estudio y cálculos correspondientes que serán los que deben definir las dimensiones y requisitos a usarse en el diseño, de acuerdo con la función real de los elementos y de la construcción.

Estas construcciones se limitarán a un sólo piso, con una altura máxima de tres metros entre pisos y cielo raso.

No se construirá con este material en suelos blandos, ni en suelos cuya capacidad de servicio sea inferior a 2 Kg/cm^2 .

2. DEFINICIONES.

Altura libre de muro. Es la distancia vertical entre elementos de arriostre.

Muro arriostrado. Es un muro cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre.

Extremo libre de un muro. Es el borde vertical no arriostrado.

Vigas collar. Son vigas de madera, de concreto o suelo estabilizado,

convenientemente reforzadas para dar arriostamiento a los muros de los cuales es una parte integrante. También se les llama viga solera.

3. ESTRUCTURA.

El conjunto estructural de las construcciones de adobe y bloque estabilizado estará compuesta de:

- a. Cimentación.
- b. Muros.
- c. Elementos de arriostre.
- d. Techo.

4. CIMENTACION.

La cimentación para los muros podrá ser de concreto, albañilería o suelo estabilizado. La cimentación debe transmitir la carga de los muros al terreno, de acuerdo a su esfuerzo permisible.

5. MUROS.

- a. Los muros serán de bloque macizo. El espesor mínimo de estos muros, será la mayor de las siguientes dimensiones:

1/8 de su altura libre.

1/8 de la distancia entre los elementos de arriostre verticales.

- b. La longitud entre el extremo libre de un muro y el elemento vertical de arriostre más próximo no excederá de 0.4 veces la altura libre del muro.

La sección de un muro correspondiente a un lado vertical no arriostrado de un vano de puerta o ventana será considerada como un extremo libre.

- c. Los muros se diseñarán por el método de esfuerzos permisibles.
- d. No se considerará ninguna resistencia a la tracción de la albañilería, en caso de tracción directa o tracción por flexión.
- e. Las cargas de trabajo de la albañilería y del refuerzo estarán de acuerdo con lo establecido en el apéndice "A".
- f. Como refuerzo podrá utilizarse cualquier material de propiedades razonablemente estables y que sea compatible con el material del muro.
- g. El refuerzo de los muros podrá estar constituido por cañas huecas (carrizo) en tiras, tomándose las precauciones necesarias para evitar los efectos perjudiciales de los cambios volumétricos de la caña con la variación de su contenido de humedad.
- h. Los anclajes y empalmes del refuerzo desarrollarán el íntegro de la resistencia a la tracción del mismo.
- i. El mortero que rodee al refuerzo será de suelo estabilizado.

6. ELEMENTOS DE ARRIOSTRE.

Los pilares sin reforzar no se considerarán como elementos de arriostre.

Salvo que el muro se refuerce adecuadamente, deberá estar arriostrado por elementos verticales, como muros y/o columnas de arriostre y por elementos horizontales, tales como un techo rígido o vigas collar.

- a. Los elementos de arriostre se diseñarán como apoyos del muro arriostrado considerado como losa, sujeto a fuerzas horizontales perpendiculares a él. Sus dimensiones, sección y armadura serán definidas por métodos racionales de cálculo.

- b. La longitud de un muro de arriostre no será menor que tres cuartos de su altura, a menos que se coloque refuerzo vertical adecuadamente anclado a la cimentación.
- c. Un muro se considerará arriostrado:
 - 1. Cuando exista suficiente adherencia o anclaje entre los muros y sus elementos de arriostre que garantice una adecuada transferencia de esfuerzos.
 - 2. Cuando los elementos de arriostre tengan una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir las fuerzas actuantes a elementos estructurales adyacentes al suelo.
 - 3. Cuando, empleándose los techos para su estabilidad lateral, se tomen precauciones para que las fuerzas laterales que actúan en estos techos sean transferidos adecuadamente al suelo.

7. TECHO.

- a. Cuando el techo deba cumplir la función de transmitir fuerzas horizontales, se construirá de modo que tenga adecuada rigidez, permita un comportamiento integral con los muros y asegure la transmisión de las cargas de gravedad y/o horizontales.
- b. Cuando el techo no contribuya a la distribución de fuerzas horizontales, las vigas collar se diseñarán para cumplir con esta función.

A P E N D I C E "A"

ESFUERZOS PERMISIBLES EN CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y
BLOQUE ESTABILIZADO

Para la determinación de los esfuerzos permisibles se tomará el promedio de no menos de tres especímenes.

Esfuerzo permisible del muro en compresión axial. Se tomará igual a 1/5 de la resistencia en compresión de pilas de bloques unidos por mortero. Las pilas tendrán una relación altura a espesor igual a 2. Para esfuerzos de contacto puede incrementarse el esfuerzo en 25 por ciento.

Esfuerzo permisible del muro en corte para acciones sísmicas o de viento. Se tomará igual a 1/5 de la resistencia por adherencia en pruebas de corte directo.

Esfuerzo permisible de la caña en tracción. El esfuerzo de tracción permisible de la caña se tomará igual a 1/4 de su resistencia en tracción.

Esfuerzos permisibles sin ensayos. A falta de mejor información se usarán los siguientes esfuerzos permisibles:

Compresión de contacto	2.0	Kg/cm ²
Compresión axial en muro	1.6	"
Corte horizontal en muro	0.07	"
Tracción en caña	250	"

* * * *

COMENTARIOS A LA PROPUESTA DE NORMAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL
PARA CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y BLOQUE ESTABILIZADO

1. REQUISITOS GENERALES.

La albañilería de adobe, por su baja resistencia, requiere del mayor cuidado, tanto en su diseño como en su construcción. Por esto, su diseño debe basarse en los principios de la mecánica y la resistencia de materiales. No se descarta, sin embargo, que a partir de estudios de cierto rigor se llegue, en el futuro, a reglas prácticas que simplifiquen el diseño de este tipo de construcciones.

La limitación a un piso y a tres metros de altura es necesaria por el comportamiento extremadamente pobre de las construcciones que están fuera de estos límites.

No debe construirse con adobe en suelos blandos, ni en suelos cuya capacidad de servicio sea inferior a 2 Kg/cm^2 . Con esta limitación se trata de evitar los efectos desfavorables de la amplificación sísmica y de los asentamientos desiguales, característicos en estos suelos.

5. MUROS.

- a. y b. Estos requisitos se han determinado considerando la teoría de losas con apoyo simple en 4 y 3 bordes, respectivamente, no admitiendo tracciones perpendiculares a las hiladas para un coeficiente sísmico de 0.20.
- f. El material que se utilice como refuerzo debe tener adecuada resistencia en tracción y adherirse a la albañilería para un comportamiento estructural integral. Estas propiedades, además, no de-

ben deteriorarse significativamente con el tiempo ni por la acción de agentes externos (humedad, calor, etc.).

- i. Los beneficios de usar mortero estabilizado alrededor del refuerzo son muy grandes y su costo adicional es pequeño.

6. ELEMENTOS DE ARRIOSTRE.

El arriostramiento del borde superior del muro es fundamental y no debe omitirse

- a. Para el cálculo del refuerzo, cualquiera que sea el material, puede usarse una adaptación del método de esfuerzos admisibles para el diseño de elementos de concreto armado.
- b. Mediante el refuerzo se consigue movilizar el peso de la cimentación para conseguir la estabilidad necesaria.

A P E N D I C E "A"

ESFUERZOS PERMISIBLES EN CONSTRUCCIONES DE ADOBE Y

BLOQUE ESTABILIZADO

Esfuerzo permisible en compresión axial. Con el factor de reducción de $1/5$ se pretende tomar en cuenta la variabilidad de las características de los materiales y de las cargas y las pequeñas excentricidades.

Esfuerzo permisible de corte. El esfuerzo de corte nominal se toma igual a la fuerza cortante dividida por el área de la sección horizontal del muro. Con el coeficiente de reducción $1/5$ se pretende considerar el mayor esfuerzo actuante debido a la distribución no uniforme de los esfuerzos en un muro real y el incremento usual del esfuerzo admisible en

un tercio cuando se considera acción sísmica, reservándose un factor de seguridad neto de aproximadamente 3 contra la falla.

Esfuerzo admisible para la caña. La prueba se realiza con muestras de caña fresca secada al aire. El factor de reducción de 1/4 se aplica al esfuerzo de rotura, con la intención de tomar en cuenta la pérdida de resistencia de la caña por su envejecimiento y por los cambios en su contenido de humedad.

Esfuerzos permisibles sin ensayos. Teniendo en cuenta las normas para la determinación de esfuerzos permisibles con ensayos, los valores especificados para los esfuerzos admisibles sin ensayo implican los siguientes resultados de ensayos hipotéticos:

resistencia en compresión de albañilería	8.0	Kg/cm ²
resistencia al corte de albañilería	0.35	"
resistencia a la tracción de la caña	1000	"

De acuerdo a la información disponible, se estima que estos valores son suficientemente conservadores.

R E C O N O C I M I E N T O S

La información experimental utilizada en este trabajo se ha obtenido de proyectos de investigación realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería, patrocinados por el Ministerio de Vivienda.

B I B L I O G R A F I A

1. KUROIWA, Julio, DEZA, Ernesto, JAEN, Hugo.
"Investigation on the Peruvian Earthquake of May 31, 1970", 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome, June 1973.
2. FINTEL, Mark.
"Resistance to Earthquakes-Philosophy, Ductility and Details", Publicación ACT SP-36, Response of Multistory Concrete Structures to Lateral forces. 1973, pp 75-96.
3. MATHIESSEN, Ralph.
Charlas en La UNI, Junio 1975.
4. COMISION TECNICA DE BLOQUE ESTABILIZADO (COBE).
Informe Final, Ministerio de Vivienda, Lima, 1974.
5. CORAZAO SAN ROMAN, Miguel, BLONDET SAAVEDRA, Marcial.
Estudio Experimental del Comportamiento Estructural de Las Construcciones de Adobe Frente a Solicitaciones Sísmicas, Banco Peruano de los Constructores, Lima, 1974.
6. VERA GUTIERREZ, Rodolfo.
Estudio sobre Losas de Suelo-Cemento Reforzadas con Carrizo y Encuentros de Muros de Adobe, Tesis de Ingeniería Civil, UNI, 1972.
7. MOROMI, Isabel.
Estudio de Vigas de Suelo-Cemento Reforzadas con Caña de Guayaquil y de Modelos de Muros de Adobe sometidos a Cargas Perpendiculares a su Plano, Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería 1971.
8. MINCHOLA HARO, Carlos E.
Estudio de Muros de Adobe Sometidos a Cargas Horizontales - Parte 5 (a), Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería 1974.
9. GUANILO GARCIA, Horacio A.
Estudio de Muros de Adobe Sometidos a Cargas Horizontales - Parte 5 (b), Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería 1974.
10. MERINO ROSAS, Francisco A.

Estudio de Muros de Adobe Sometidos a Cargas Horizontales - Parte 5 (c), Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería 1974.

11. MELI P., Roberto, REYES G., Alejandro.

"Propiedades Mecánicas de la Mampostería", Publicación N° 288 del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Julio 1971.

12. ECHAZU PERALTA, J. F.

Estudio del suelo-cemento y de la Caña de Guayaquil - Parte I, Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, 1971.

* * * *

Cuadro N° 1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESION AXIAL.

Tipo de Mortero	I : 10 - 1%	S - 2%	Simple
Resistencia, f'_m	12.8 Kg/cm ²	12.8 Kg/cm ²	10.3 Kg/cm ²
Deformación Unitaria en 1	12.3×10^{-3}	13.5×10^{-3}	9.7×10^{-3}
Módulo de Elasticidad	1788 Kg/cm ²	2140 Kg/cm ²	1600 Kg/cm ²

Los valores indicados representan el promedio de 3 a 5 especímenes.

Cuadro N° 2. VALORES DE LA ADHERENCIA, μ , Y COEFICIENTES DE FRICCIÓN, f , DE ACUERDO A LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.

Mortero	1:10:1%		S - 2%		Simple		1:2:3: 1/2	
	Chico	Grande	Chico	Grande	Chico	Grande	Chico	Grande
Adherencia μ , Kg/cm ² .	1.40	1.30	.90	.75	.55	—	1.80	1.98
Coefficiente de fricción, f .	.60	.63	.78	.80	.58	—	1.06	.98

NOTAS.

- Los valores de μ y f corresponden a la ecuación de falla

$$\tau = \mu + f \sigma$$

donde: τ = esfuerzo tangencial de falla

σ = esfuerzo de confinamiento

- Los valores de la tabla se obtuvieron ajustando líneas rectas a los puntos experimentales y sin considerar los valores para confinamiento nulo.

Cuadro N° 3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESION DIAGONAL.

Tipo de Mortero	μ Kg/cm ²	f	f'_m Kg/cm ²	Esfuerzo de corte de rotura		
				Experimental (1)	Falla por tracción diagonal (2)	Falla por corte (3)
1:10:1% Bloque Chico	1.40	.60	12.8	1.01	3.56	2.44
1:10:15 Blo. Grande	1.30	.63	12.8*	1.15	3.56	2.65
S - 2%	.90	.78	12.8	.45	3.56	2.40
Simple	.55	.58	10.3	.30	3.19	.92

* Se ha tomado el mismo valor que para los bloques chicos.

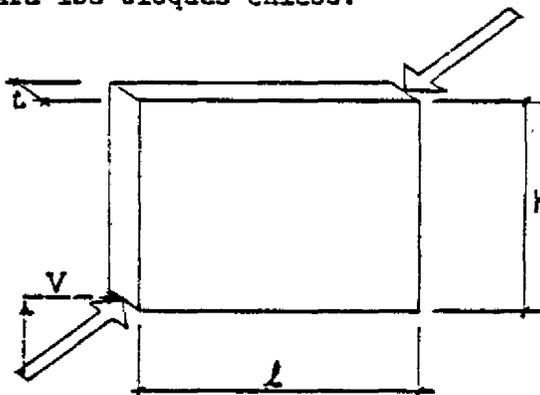
Del trabajo de Meli y Reyes:

$$(1) \quad v = V/2t$$

$$(2) \quad v_{TD} = \sqrt{\frac{f'_m}{m}}$$

$$(3) \quad v_c = \frac{0.8 \mu}{1 - 0.9 f h/l}$$

En estos ensayos $h/l = 1$



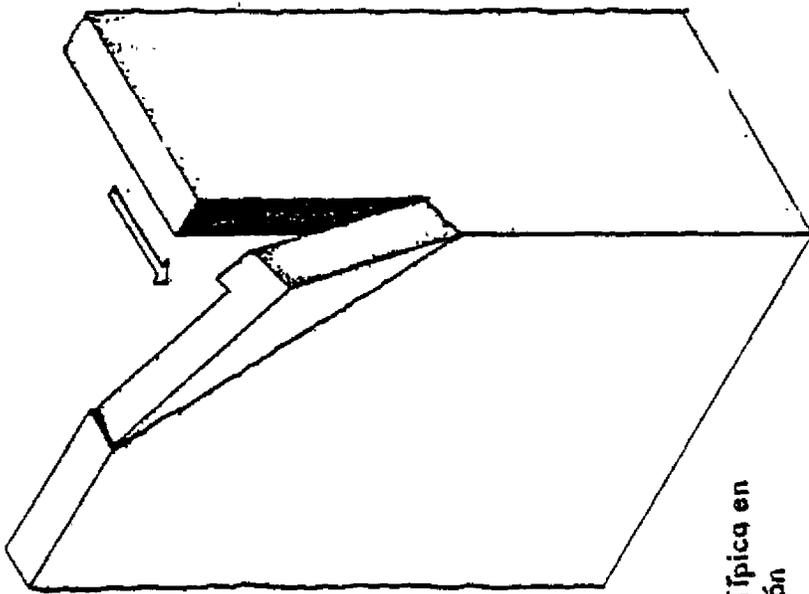
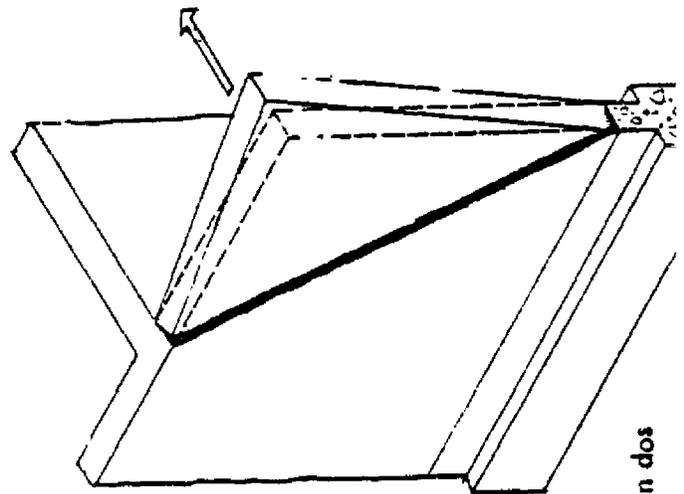


Fig. 1 Falla Típica en tracción



a) Muro arriostrado en dos

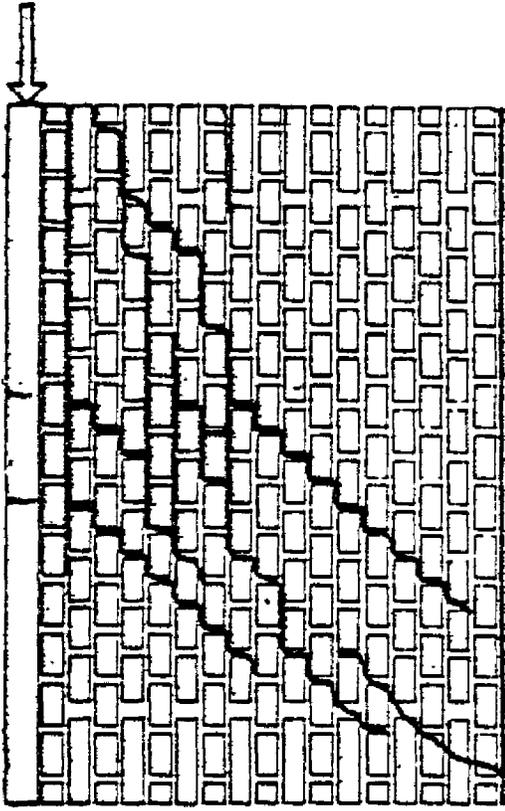
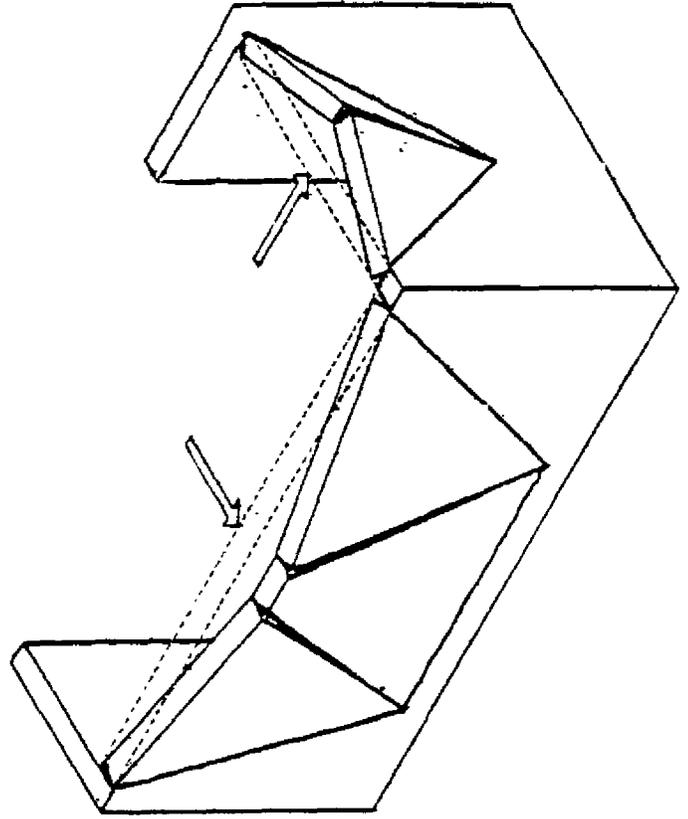


Fig. 3 Falla Típica por corte



b) Muros arriostrados en tres bordes

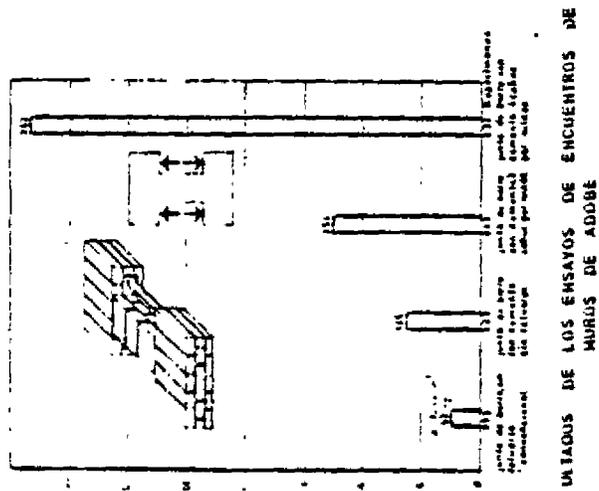
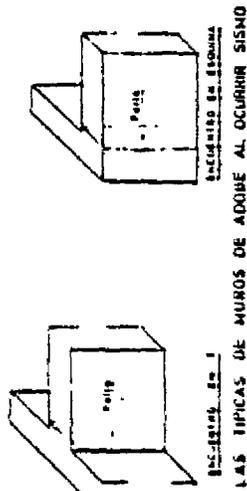


Fig. 4 Resistencia en tracción de muros

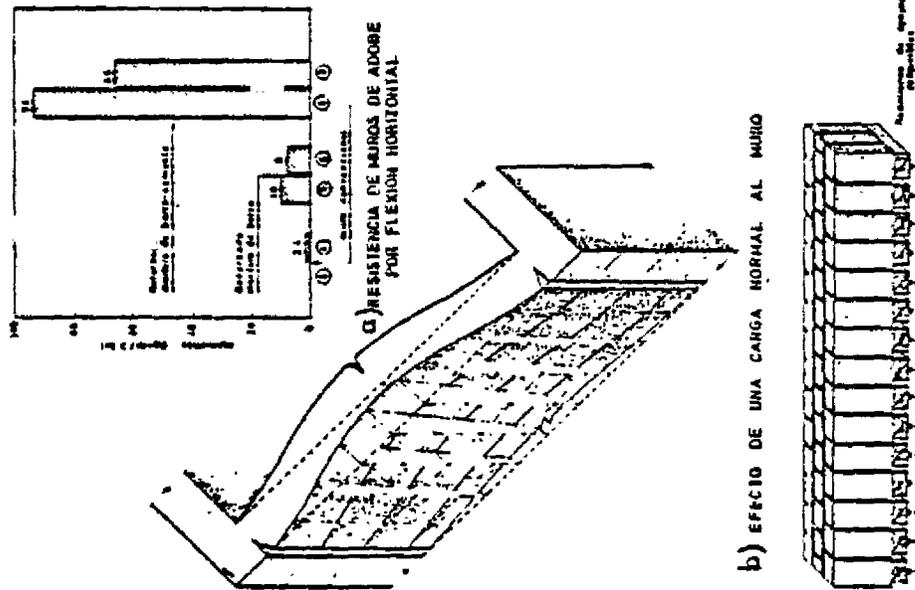


Fig. 5 Flexión horizontal en muros

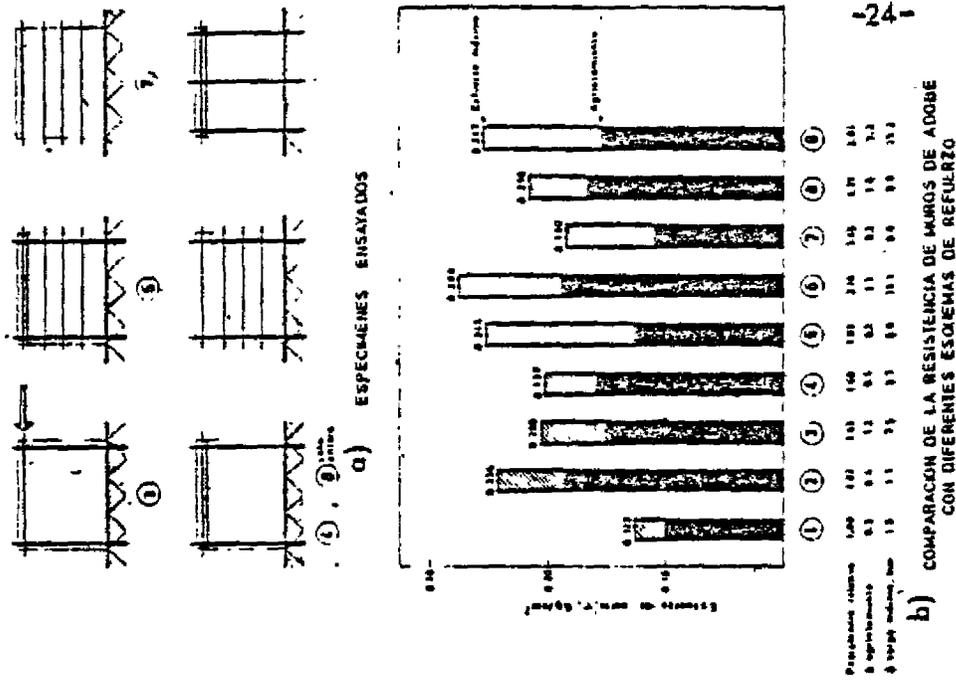


Fig. 6 Resistencia de muros de corte

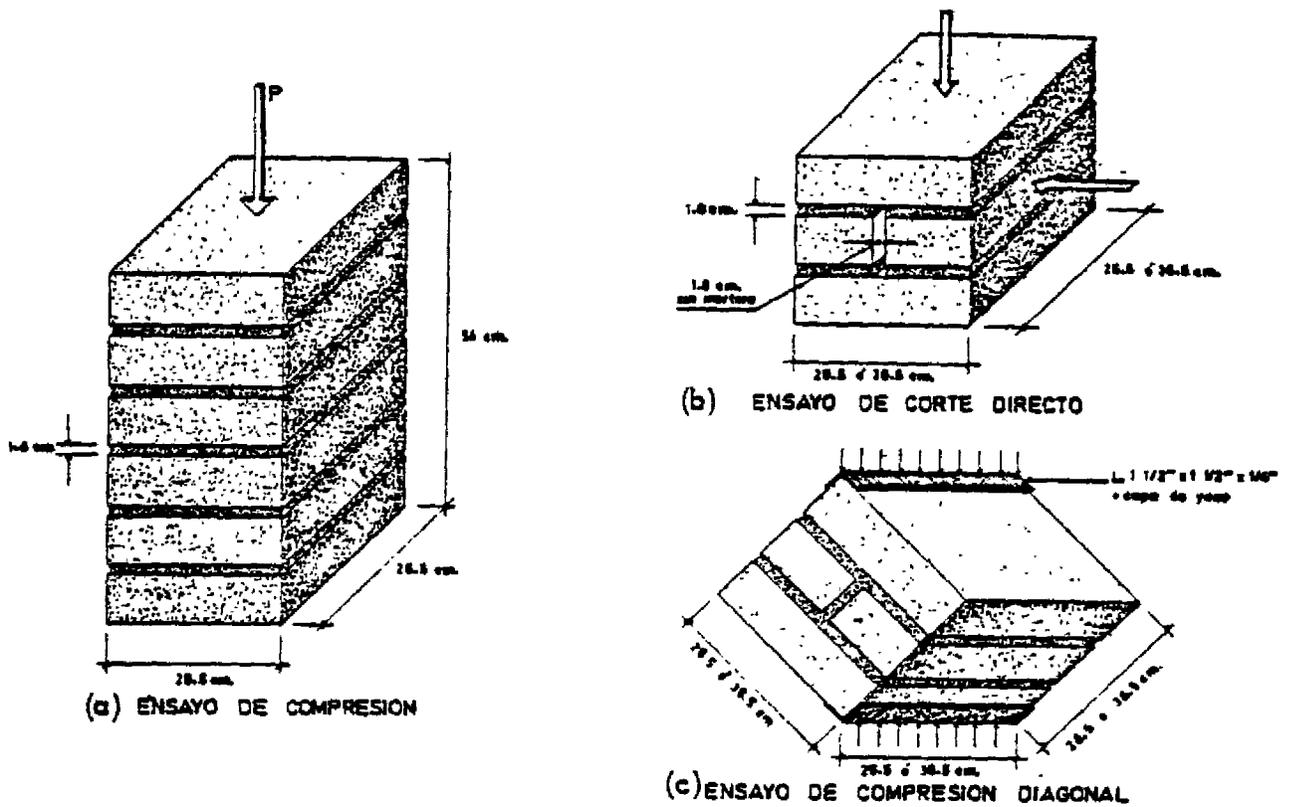
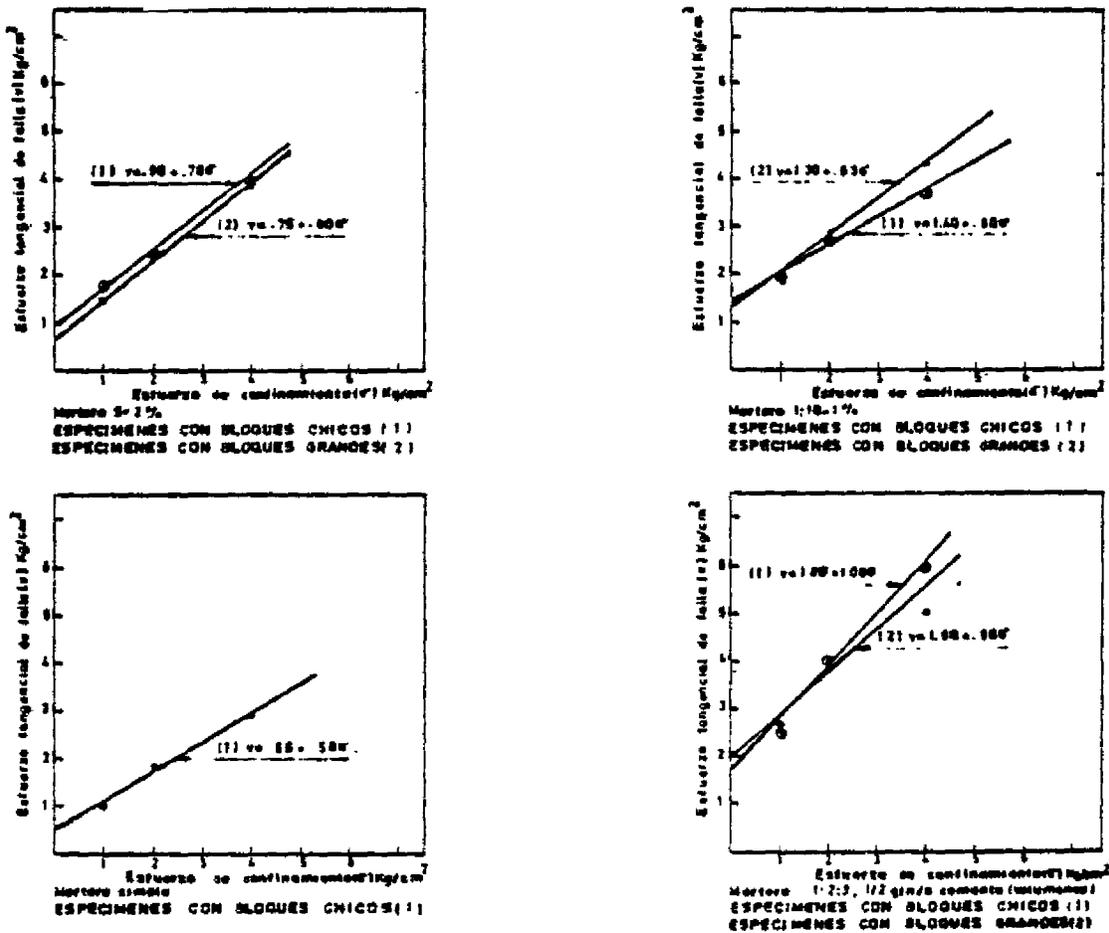


FIG. 7 ESPECIMENES DE ENSAYO



CURVAS V-6 PARA ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

FIG. 8 RESULTADO DE ENSAYO DE CORTE

A N E X O A

MATERIALES UTILIZADOS

Suelo. Se utilizó material extraído de terrenos de la Universidad Nacional de Ingeniería, designado en este estudio como M-2. Sus características básicas son las siguientes:

Granulometría:		Peso específico de sólidos:	2.65
arena	42 %	Límite líquido	: 25.5
limo	50 %	Límite plástico	: 17.5
arcilla	8 %	Límite de contracción	: 15
		Índice de plasticidad	: 8
		Clasificación S.U.C.S.	: CL

Cemento y asfalto. Se usó cemento normal ASTM Tipo 1 y asfalto líquido RC-2.

Bloqueo. Se fabricaron con suelo M-2 con 1.5% de asfalto, de dimensiones 26.5 x 26.5 x 7.5 cm. y 36.5 x 36.5 x 7.5 cm.

Morteros. Se utilizó cuatro clases de mortero:

- 1:10:1% (por peso). Una parte de cemento, 10 de suelo y 1% del peso del suelo en peso de asfalto.
- S-2% (por peso). Suelo con 2% de su peso en peso de asfalto.
- 1:2:3:1/2 (por volumen). Una parte de cemento, dos de suelo, tres de arena gruesa y 1/2 galón de asfalto por saco de cemento.
- Simple. Mezcla no estabilizada de suelo y agua.

El suelo utilizado en estos morteros fué previamente tamizado por la malla N° 4.