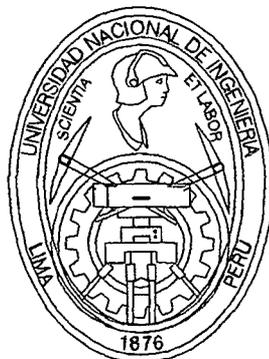


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA VARIACIÓN DEL ÁREA NETA EN  
LADRILLOS DE ARCILLA Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO  
SISMORRESISTENTE DE MUROS CONFINADOS**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**MÓNICA CONSUELO RAMÍREZ ORÉ**

**LIMA – PERÚ**

**Digitalizado por:**

**2001**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

A mis padres:

Carmen y Marcelo, por quererme y apoyarme.

A mis hermanas:

Mariella, Fiorella, Ornella y Melody, por todo su afecto.

A mi abuelita:

Consuelo, por su inmenso amor.

A mis tíos:

Manuel, Guillermo, Freddy, Gloria, Julio y Marcos

Por su esfuerzo y cariño.

A Carlos por su ayuda y apoyo incondicional

A mi asesor:

Dr. Ing. Carlos Zavala Toledo

Por su valiosa ayuda.

## **AGRADECIMIENTO**

Es muy difícil, en un país como el nuestro, realizar investigaciones de manera continua, sin embargo, existen instituciones como el CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, que ya sea por medios propios, con el apoyo de entidades particulares o gubernamentales logra realizar esta gran y difícil tarea.

En nuestro caso, inicialmente no fue fácil conseguir el financiamiento de esta investigación, sin embargo, gracias a la ayuda del Ing. Francisco Coronado del Águila, el Dr. Javier Piqué del Pozo y el Dr. Carlos Zavala Toledo se pudo conseguir una entrevista con el Ing. Meza Cuadra, en ese entonces Jefe de la oficina de Investigación y Normalización de SENCICO, los cuales estaban interesados en el tema. SENCICO, a través de la oportunidad que nos dio el Ing. Meza Cuadra, nos brindó el financiamiento económico, luego, este apoyo continuó a través de la Ing. Carmen Kuroiwa. El CISMID brindó las instalaciones del Laboratorio de Estructuras para la construcción de los especímenes y el equipo para la realización de los ensayos. A todos ellos mi profundo y sincero agradecimiento.

Considero necesario expresar mi infinito agradecimiento de manera muy especial para el Director del CISMID, el Dr. Carlos Zavala Toledo, por su asesoría en el inicio, desarrollo y culminación de esta investigación así como el haberme brindado la oportunidad y la confianza para desarrollarla. Mi agradecimiento se extiende no solo al profesional sino también a la persona, la cual se merece mi absoluta consideración, estima y respeto.

También debo agradecer al Dr. Rafael Torres Cabrejos y al Dr. Javier Piqué del Pozo, por aceptar mis consultas y dar sus sugerencias. Asimismo, al Ing. Jorge Gallardo Tapia (Jefe del Laboratorio de Estructuras del CISMID), por su orientación y consejos, así como por brindarme su confianza y las facilidades necesarias para realizar los diferentes ensayos.

Doy mi sincero agradecimiento a los ingenieros Patricia Gibu Yague y César Serida Morisaki por la información valiosa detallada en su tesis, que ha servido de base de comparación para el presente estudio.

Mi agradecimiento también al Sr. Germán Bautista Milla por su colaboración como técnico del Laboratorio de Estructuras, al Sr. Larry Cárdenas y al Sr. Fabián por su ayuda en el montaje de los muros.

No puedo olvidarme de agradecer a mis compañeros y amigos, con los cuales he compartido gratos momentos, por su oportuna ayuda en el desarrollo de los ensayos más dificultosos. Carlos Chunga, Claudia Honma, Luis Lavado, Dina Cotrado, Germán Valdivia, Patty Gibu, Christian Palomino, Guillermo Huaco, a ustedes muchas gracias. De igual manera al personal del CISMID, así

como de SENCICO que de manera directa o indirecta han colaborado con la realización de esta investigación.

Finalmente, y no por ello menos importante, quisiera agradecer a mi familia, en especial a mi madre por su apoyo incondicional, por su preocupación constante y por luchar para que sus hijas puedan tener la mejor arma para luchar y salir adelante "el estudio". No puedo dejar de mencionar a mi abuelita y a mis tíos, sin quienes, de seguro en la vida hubiera tenido muchísimo menos por lo cual agradecer.

# ÍNDICE

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivos	4
1.3 Organización de la Tesis	5
1.4 Estado Actual y Reglamentación del Área Neta (Norma Peruana de Albañilería E070)	7
1.5 Descripción del Programa Experimental	10

## CAPITULO II : COMPONENTES DE LA ALBAÑILERÍA

2.1 Características de los Materiales	13
2.1.1 La Unidad de Albañilería	13
2.1.1.1 Propiedades de las Unidades de Albañilería	15
2.1.1.1.1 Propiedades Mecánicas	16
Densidad	16
Absorción	17
Succión	18
2.1.1.1.2 Propiedades Físicas	18
Resistencia a la Compresión	18
Resistencia a la Tracción	19

2.1.2 El Mortero	19
2.1.2.1 Componentes	20
2.1.2.2 Propiedades del Mortero en estado endurecido	21
Adhesión	21
Durabilidad de la Adhesión	22
Resistencia a la Compresión	23

**CAPITULO III : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS UNIDADES,  
PILAS Y MURETES DE ALBAÑILERÍA**

3.1 Descripción de las Unidades a ser ensayadas	24
3.2 Ensayos de Clasificación de las Unidades de Albañilería según Norma Técnica Peruana	27
3.2.1 Variación de Dimensiones	30
Descripción del Ensayo	30
Equipo de Ensayo e Instrumentos	31
Resultados obtenidos	31
3.2.2 Alabeo	32
Descripción del Ensayo	32
Equipo de Ensayo e Instrumentos	33
Resultados obtenidos	33
3.2.3 Resistencia a la Compresión	34
Descripción del Ensayo	34
Equipo de Ensayo e Instrumentos	35
Resultados obtenidos	36

3.2.4	Densidad, Absorción, Absorción máxima, Coeficiente de Saturación y Succión.	39
	Descripción de los Ensayos	39
	Equipo de Ensayo e Instrumentos	41
	Resultados obtenidos	42
3.3	Ensayos en Pilas de Albañilería	46
3.3.1	Resistencia a la Compresión en Pilas	46
	Descripción de los Especímenes	48
	Descripción del Ensayo	48
	Equipo de Ensayo e Instrumentos	48
	Resultados obtenidos	49
	Tipo de Fallas que presentaron los Especímenes	50
3.3.2	Resistencia al Esfuerzo de Corte Directo	53
	Descripción de los Especímenes	53
	Descripción del Ensayo	53
	Equipo de Ensayo e Instrumentos	54
	Resultados obtenidos	55
	Tipo de Fallas que presentaron los Especímenes	55
3.4	Ensayo en Muretes de Albañilería	57
3.4.1	Resistencia a la Compresión Diagonal	57
	Descripción de los Especímenes	58
	Descripción del Ensayo	58
	Equipo de Ensayo e Instrumentos	59
	Resultados obtenidos	59

Tipo de Fallas que presentaron los Especímenes	60
---	----

## **CAPITULO IV : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA SOMETIDOS A CARGAS ESTÁTICO CÍCLICAS**

4.1 Características de los Especímenes	62
4.2 Estructura Mecano de Carga	68
4.3 Instrumentación y Sistema de aplicación de Carga	69
4.4 Historia de Desplazamientos a controlar	70
4.5 Procedimiento del Ensayo	77
4.6 Resultados de los Especímenes	79
4.6.1 Curvas de Histéresis	80
4.6.2 Curvas de Comportamiento	87
4.6.3 Degradación de Rigidez	95
4.6.4 Capacidad de Deformación	106
4.6.5 Deformación del Acero de Refuerzo	112
4.6.6 Pérdida de Energía	116
4.6.7 Patrón de Grietas	124

## **INVESTIGACIONES REALIZADAS EN MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS 127**

1. Influencia de la Geometría de la Unidad y el Área de la  
Cama del Mortero en la Resistencia a la Compresión de  
los Prismas.
2. Comportamiento de Muros de Ladrillos de Arcilla  
Multiperforados sometidos a Carga del Tipo Sísmica

**ANEXOS:**

**ANEXO I: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

**ANEXO II: FOTOS**

**REFERENCIAS**

---

## **CAPÍTULO I:**

### **INTRODUCCIÓN**

---

#### **1.1 Generalidades**

En el Perú, la albañilería confinada fue introducida después del terremoto de 1940 y por su facilidad constructiva y buen comportamiento sísmico (cuando existen alta densidad de muros) se ha convertido en uno de los sistemas estructurales más empleados. Para ciertos tipos de requerimientos como la construcción de viviendas, no obstante el conocimiento del acero y concreto armado, debe contemplarse la alternativa de emplear albañilería de ladrillos de arcilla cocida o de bloques, considerando que muchas veces resulta más económica. En nuestro país tenemos una gran variedad de sistemas constructivos, en donde las edificaciones destinadas a viviendas en las ciudades son principalmente de albañilería, de concreto armado y mixtas. Generalmente las edificaciones de albañilería son construidas con ladrillos de arcilla cocida y en menor proporción con ladrillos sílico calcáreos o concreto.

La albañilería ha sido utilizada para la construcción desde la antigüedad y desde los principios de la década de los 60 se apreció un interés creciente en

investigar sus propiedades en el Perú. Las exigencias arquitectónicas modernas y lo costoso de los materiales de construcción, han dado lugar a efectuar un diseño estructural racional buscando economía en este tipo de construcción, y es recién en la década del 80 que se inicia el estudio experimental de la albañilería confinada en el país, cuyo objeto es conocer su comportamiento sísmico empleando técnicas constructivas y materiales propios del país. Así que, en el año 1982 se promulgó nuestra 1ª norma de diseño en el campo específico de la albañilería estructural.

Tanto en el Perú como en el extranjero existe una variedad tremenda en las unidades de albañilería, estas han sufrido cambios principalmente en lo referente a su estructura alveolar, dimensiones de las unidades y calidad de los agregados empleados en su fabricación dependiendo su elaboración de si son artesanales o industriales. Los porcentajes de vacíos se incrementaron grandemente de lo que eran de 25% a 30% llegando actualmente a existir unidades de 40% a 48%. Actualmente, existe en el mercado una gran variedad de medidas, donde las dimensiones tradicionalmente usadas no corresponden a las dimensiones actuales. La producción de la industria ladrillera ha ido cambiando a través de los años, la variabilidad que existe actualmente se puede observar tanto en las dimensiones del ladrillo como en su estructura alveolar.

La Norma de albañilería E-070 establece que los muros portantes pueden ser construidos con ladrillos sólidos o huecos. Sin embargo, la tendencia a través de los años ha sido aumentar el área de vacíos en la unidad de albañilería, como es obvio se puede producir mayor cantidad de ladrillos con

la misma cantidad de insumos. Un punto a favor de los ladrillos con alvéolos lo constituye el hecho de que tienen una mejor cocción, otro es el que se generen llaves de engrapamiento entre el mortero y la unidad de albañilería. No obstante, la preocupación ante esto surge al observar que el tipo de falla en la albañilería con las unidades clasificadas como huecas son frágiles, lo cual puede atentar contra la seguridad de la estructura y por consiguiente contra la vida humana.

Actualmente, la albañilería confinada constituye el principal tipo de construcción en muchas ciudades del Perú, como por ejemplo Lima. Las unidades de albañilería de arcilla son las más empleadas para este tipo de construcción, la aceptación que tiene se debe a que es la más antigua y la más difundida, además de ser aparentemente la más económica para edificaciones de varios niveles. Si hacemos un recorrido por las calles de Lima y sus alrededores sería inevitable no encontrar viviendas construidas con este tipo de material, en las zonas urbanas, en las zonas populares, en las residenciales e incluso en los asentamientos humanos en las laderas de los cerros, la mayoría de la población (sobretudo el sector popular) está acostumbrada a su uso y es más, es muy renuente a cambiarlo.

Lo anteriormente expuesto nos plantea la necesidad de realizar investigaciones para evaluar las nuevas unidades, determinar sus propiedades físicas y mecánicas, así como su comportamiento sismorresistente en muros de albañilería y encontrar en que grado afectan tales modificaciones a un adecuado comportamiento de las edificaciones de albañilería con las nuevas unidades perforadas. Ante esta imperiosa necesidad y esta ardua tarea (En

1982 solo en la ciudad de Lima habían 50 ladrilleras incluyendo las clandestinas) surge el interés de diversos centros de investigación y universidades, uno de ellos el CISMID que viene investigando, entre otros, las estructuras construidas con unidades de albañilería.

## **1.2 Objetivos**

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de unidades de albañilería con porcentaje de vacíos que los clasifican como ladrillos huecos según la Norma Técnica Peruana, los cuales son utilizados en la construcción de muros portantes. Realizar ensayos en tres tipos de unidades procedentes de una misma ladrillera y que poseen porcentaje de vacíos distintos.
- Realizar ensayos estáticos cíclicos en muros (08) de albañilería confinada utilizando dos variantes, esto con la finalidad de determinar su comportamiento sismorresistente y compararlo con los resultados de muros standard.
- Los resultados de esta investigación sirvan de parámetro para establecer el límite adecuado de porcentaje de vacíos en el ladrillo para que pueda utilizarse en la construcción de muros portantes.

### **1.3 Organización de la Tesis**

El capítulo I presenta una breve introducción sobre el uso de la albañilería en el Perú, su importancia y el impacto que tiene en la población. Se realiza una escueta revisión de la Norma Técnica Peruana con respecto a la Reglamentación del área neta y su estado actual. Asimismo, se hace una breve descripción del programa experimental desarrollado en el presente estudio.

En el capítulo II se describen algunos conceptos sobre los componentes de la albañilería, así como algunos alcances de investigaciones realizadas por distintos autores.

El capítulo III presenta al detalle los ensayos realizados en unidades, pilas y muretes, los equipos e instrumentos utilizados, los procedimientos, así como los resultados obtenidos para los especímenes tipo A, B y C. También se presentan los resultados de los ensayos de compresión de prismas del ladrillo tipo standard (Gibu y Serida-Tesis UNI-CISMID 1993), este estudio no incluye ensayos en unidades y muretes.

Los resultados correspondientes a los ensayos en muros se encuentran en el capítulo IV, aquí podemos observar las curvas de histéresis, las curvas de comportamiento, las curvas de degradación de rigidez, la energía disipada, de cada uno de los muros, los valores de ductilidad también han sido calculados. En todos los casos se ha realizado una comparación de resultados de los muros ensayados con los del tipo standard (Gibu y Serida-Tesis UNI-CISMID 1993).

Finalmente, en el capítulo V se presenta las conclusiones generales de la presente investigación y algunas observaciones surgidas durante su desarrollo.

## 1.4 Estado Actual y Reglamentación del Área Neta

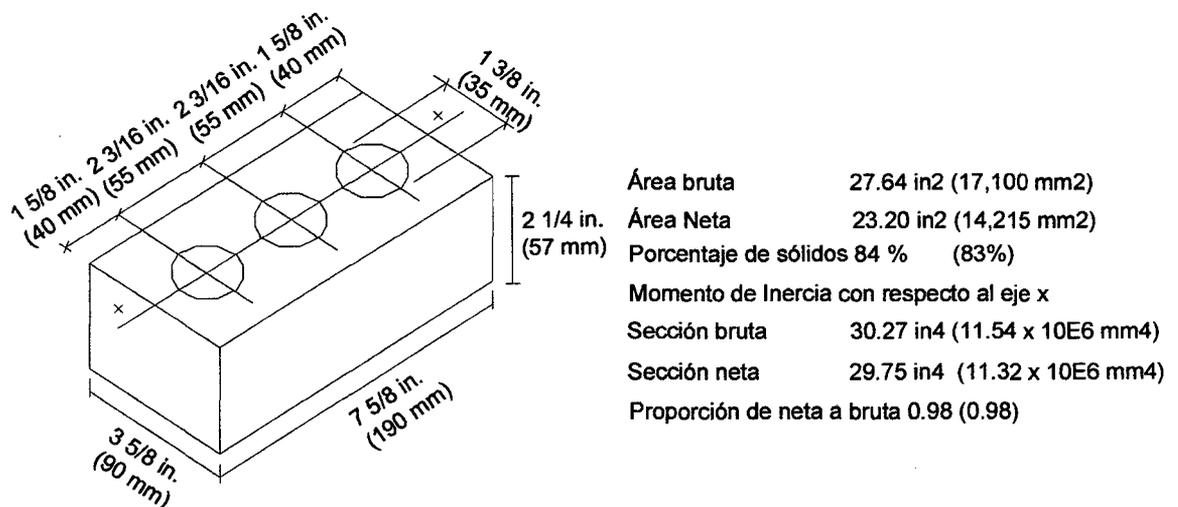
Internacionalmente las unidades de albañilería están clasificadas de acuerdo al porcentaje de vacíos que posee el área de asentado, es así que la Norma Peruana ha adoptado esta misma reglamentación y se rige bajo el mismo concepto.

Tradicionalmente, las propiedades de todas las unidades estuvieron basadas sobre el área bruta, sin considerar el grado de vacíos que tenían incorporadas. Sin embargo, se incrementó la sofisticación en los métodos de diseño estructural usados para determinar la esbeltez y flexión dando como resultado el uso del área neta de unidades huecas como el área efectiva en la resistencia de los esfuerzos. El área neta está definida usualmente como el área de una sección horizontal a través de la unidad, esto debido a que la albañilería está diseñada típicamente para resistir carga vertical axial, algunas veces ésta expresada como el porcentaje de sólido ( $100 * \text{área neta} / \text{área bruta}$ ) de la unidad.

Como se ilustra en la figura 1.1, pequeños núcleos o celdas cercanas al eje central de las unidades tienen muy poca influencia sobre el momento de inercia  $I$  o el módulo de sección  $S$  para la flexión con respecto al eje  $x$ . Por lo tanto, las unidades que tienen más del 75% de sólido generalmente son referidas como unidades sólidas con cálculos estructurales y propiedades basadas sobre las dimensiones de la sección bruta. Como se puede ver en la figura 1.1 la reducción en momento de inercia es relativamente pequeño y es mucho menor que la reducción en área. Con el esfuerzo en la unidad basado

sobre el área bruta, esta simplificación es conservadora pero no es altamente antieconómica para el cálculo de la capacidad del momento flector. Las unidades con menos del 75% de sólidos son llamadas unidades huecas y los cálculos están basados sobre el área neta.

Es interesante notar que las unidades pueden ser clasificadas como sólido basado en un 75% de sólido de área de asentado, pero tiene una sección transversal vertical mucho menor que 75% de sólido en cualquier plano del muro o a través del espesor. Esta característica tiene algún impacto en el comportamiento anisotrópico de la albañilería. (Ref. 10)



**Efectos del porcentaje de sólidos sobre las propiedades de la sección**  
 (Masonry Structures, Behavior and Design; Robert G. Drysdale, Ahmad A. Hamid, Lawrie R. Baker)

Figura 1.1

## **Clasificación de las Unidades de Albañilería según la Norma Peruana de Albañilería E-070:**

Las unidades de albañilería se clasifican:

- Según su forma:
  - a) Sólida o maciza: Unidad de albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente al 75% o más del área bruta en el mismo plano.
  - b) Perforada o hueca: Unidad de albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente a menos del 75% del área bruta en el mismo plano.
  - c) Tubular : Tiene perforaciones paralelas a la cara de asiento, sin limitaciones de área.
- Según la materia prima:
  - a) De arcilla.
  - b) De concreto
  - c) Sílico-calcáreo
- Según el método de fabricación:
  - a) Industrial
  - b) Artesanal

Cabe mencionar que la Norma Peruana de Albañilería E-070 en su acápite E.3, ítem b establece: Los muros portantes podrán ser de unidades sólidas o huecas, asentadas con mortero P1 o P2, con cal o sin cal.

Con respecto al diseño de los muros la Norma Peruana de Albañilería E-070 en el acápite E.12, en sus ítems b y c establece lo siguiente para el cálculo de los esfuerzos admisibles:

- b) En el caso de unidades de albañilería sólida se empleará la sección bruta sin descontar vacíos.
- c) En el caso de unidades de albañilería hueca se empleará la sección neta, teniéndose en cuenta como sección resistente aquellas cavidades que se especifican llenas de mortero, mortero fluido o concreto.

### **1.5 Descripción del Programa Experimental**

En el año 1993 se desarrolló una investigación en muros confinados construidos con unidades de albañilería sólidas de arcilla tipo IKARO de la fábrica REX de un porcentaje de sólidos de 75%, este estudio fue parte de la tesis de los ingenieros Patricia Gibu y César Serida, la cual fue desarrollada en el Laboratorio de Estructuras del CISMID. Teniendo como base comparativa los resultados correspondientes a los muros MCST1 y MCST2, se tomaron como referencia las especificaciones técnicas y detalles constructivos respectivos y se trabajó con la misma calidad de materiales (acero de refuerzo, cemento, arena y piedra). Para realizar los ensayos se eligieron tres tipos de ladrillos de

la misma industria ladrillera, esto con la finalidad de no tener variación alguna en los resultados debido a la influencia de la diferencia en la fabricación del ladrillo o de la materia prima empleada. Las tres unidades de albañilería estudiadas poseen un área neta menor al 75%, y han sido denominadas como del tipo A, B y C. La unidad de albañilería sólida será conocida como tipo "standard" de aquí en adelante. En la Tabla 1.1 se presentan las dimensiones nominales correspondientes a las unidades estudiadas:

Tipo de unidad	Dimensiones Nominales (mm)
Standard (*)	250x120x95
A	240x130x90
B	230x130x90
C	250x120x95

(\*) Gibu y Serida, CISMID-UNI, 1993

Tabla 1.1

Los ensayos fueron realizados utilizando especímenes construidos con los ladrillos tipo A, B y C. Se realizaron ensayos en unidades según la Norma Técnica Peruana para su clasificación. Además, se realizaron ensayos de compresión en pilas, corte directo en pilas y compresión diagonal en muretes de albañilería.

Para el desarrollo de esta investigación se han realizado los siguientes ensayos para cada uno de los tres tipos de ladrillos:

**Ensayos en unidades:**

- Variación de dimensiones (10 unidades)
- Alabeo. (10 unidades)

- Resistencia a la compresión (5 unidades)
- Densidad. (5 unidades)
- Absorción (5 unidades)
- Absorción máxima (5 unidades)

**Ensayos en pilas:**

- Ensayo de compresión en prismas (5 especímenes)
- Ensayo de corte directo (5 especímenes)

**Ensayo en muretes:**

- Ensayo de compresión diagonal (5 especímenes)

**Ensayo estático cíclico en muros de albañilería confinada:**

Se ensayaron en total ocho muros de las mismas características variando únicamente el ladrillo.

- Ensayo estático cíclico (8 especímenes)

Para la realización de los ensayos en muros se eligieron dos de las unidades de albañilería estudiadas, la de menor y mayor porcentaje de vacíos (ladrillos tipo A y B). Se realizó el ensayo estático cíclico en ocho muros (cuatro con cada tipo de ladrillo) con las mismas características.

---

## **CAPÍTULO II:**

### **COMPONENTES DE LA ALBAÑILERÍA**

---

La albañilería está definida como el conjunto de unidades unidas entre sí a través de un adhesivo que es el mortero.

#### **2.1 Características de los Materiales**

El primer paso para llegar al conocimiento de la albañilería es comprender las propiedades básicas de las unidades.

##### **2.1.1 La Unidad de Albañilería**

Las unidades empleadas en las construcciones de albañilería pueden ser de arcilla, sílico calcáreo o de concreto. De acuerdo a su tamaño se les denomina ladrillos o bloques, se les llama ladrillos cuando pueden ser manipulados y asentados con una mano; y bloques, cuando por su peso y dimensiones se tiene que emplear ambas manos.

Ya que el estudio trata exclusivamente sobre los ladrillos de arcilla veremos un poco más sobre ellos.

## **Fabricación de los Ladrillos de Arcilla**

Las arcillas empleadas como materia prima para la fabricación de los ladrillos se clasifican en calcáreas y no calcáreas. Las primeras contienen un 15 % de carbonato de calcio, que da lugar a unidades de color amarillento; en las segundas, predomina el silicato de alúmina con un 5% de óxido de hierro, que le proporciona un tono rojizo.

Las mejores arcillas contienen un 33% de arena y limo; es necesario que exista arena para reducir los efectos de contracción por secado de la arcilla.

Para la fabricación de estas unidades son necesarias varias etapas: la extracción del material, la molienda, el mezclado, el moldeado, el secado y el quemado. Todos estos procesos son comunes pero cabe señalar que cada uno de ellos es desarrollado de diversas maneras por los fabricantes dando como resultado unidades de tipo artesanal, semi-industrial e industrial.

La extracción del material en la cantera se hace con picos, lampas y carretillas (proceso artesanal); o usando palas mecánicas (proceso industrial). Posteriormente, se tamiza el material empleando mallas metálicas, para de este modo eliminar las piedras y otras materias extrañas.

La molienda de la materia prima puede ser apisonándola o con molinos.

El mezclado de la materia prima con agua y arena, se realiza dejando dormir la tierra durante un día (artesanal, como el adobe), o empleando máquinas dosificadoras al peso (industrial).

El moldeado se efectúa amasando la mezcla sobre moldes de madera (como el adobe), con prensas (a gran presión) o con extrusoras.

El proceso de secado se realiza colocando las unidades sobre un tendal, o introduciéndolas en un horno con temperatura regulable (desde la del medio ambiente hasta los 200 °C).

El quemado se efectúa en hornos abiertos con quemadores de leña o petróleo (colocados en la base), esto da lugar a diferencias de más de 100% entre la resistencia de las unidades ubicadas en la parte baja y alta del horno; o con hornos tipo túnel con quemadores de petróleo o de carbón molido, con cámaras de temperatura regulables (hasta 1200 °C) y de enfriamiento. Este proceso dura entre dos y cinco días. **(Ref. 9)**

#### **2.1.1.1 Propiedades de las Unidades de Albañilería**

Conocer las propiedades de las unidades de albañilería es importante en la medida que nos permite estimar la resistencia y, durabilidad de la albañilería ante el intemperismo. No obstante, la mejor unidad no nos garantiza la mejor albañilería, ya que su comportamiento está sujeto además a la calidad del mortero utilizado y a la mano de obra empleada en la construcción.

### **2.1.1.1.1 Propiedades Mecánicas**

#### **Densidad**

Se ha establecido a través de ensayos que existe un vínculo estrecho entre las propiedades del ladrillo y su densidad, cuando mayor es se obtienen mejores resultados en cuanto a sus propiedades de resistencia y de perfección geométrica. El peso de la unidad puede ser determinado simplemente pesando la unidad después de haberla secado por medio de un procedimiento estandarizado para remover la mayor parte de agua libre que pueda presentarse. Si el volumen está bien definido como por un prisma, unidad 100% sólida, entonces la densidad del material es simplemente el peso dividido por el volumen o, en unidades métricas, la masa dividida por el volumen.

Cuando las perforaciones en la unidad incorporan configuraciones curvas que varían a través de la altura de la unidad, es muy difícil obtener suficiente precisión en la medición de las dimensiones para calcular el volumen con precisión. No obstante, el volumen puede ser determinado experimentalmente. Teóricamente, la inmersión en agua es un método muy preciso en el cual la unidad es inmersa en agua a temperatura ambiente durante 24 horas. El peso del espécimen saturado sumergido es determinado. La unidad es sacada del agua y se deja escurrir por un minuto en una malla de alambre y el agua visible de la superficie es secada con una tela húmeda. El peso tomado inmediatamente en esta fase es el peso saturado. Posteriormente, la unidad es secada en un horno ventilado a una temperatura entre 100° a 115° C por no menos de 24 horas y hasta que pesadas sucesivas en intervalos de dos horas muestren una pérdida incremental no mayor que

0.2% del último peso previamente determinado. El peso tomado en este punto es el peso seco.

Este ensayo es relativamente fácil de realizar, pero puede tener bastante imprecisión si el agua absorbida rápidamente de la unidad elimina inmediatamente la condición sumergida. En tales casos el peso es subestimado, resultando en una sobreestimación de la densidad.

Para unidades con vacíos uniformes, el área neta de cualquier sección paralela a la superficie dada es constante a través de la altura de la unidad. De manera práctica, el área neta puede ser calculada midiendo las dimensiones o dividiendo el volumen por la altura de la unidad. **(Ref. 10)**

### **Absorción**

Existen normas que ponen límites a la absorción de las unidades. Para diferentes tipos de material, los propósitos de estos límites pueden ser minimizar el potencial de daños por congelamiento-deshelamiento, excesivos cambios volumétricos, o excesiva permeabilidad para la penetración del agua. En adición a la absorción, el ratio de absorción puede tener un efecto importante sobre la interacción entre el mortero fresco colocado y las unidades de albañilería.

La absorción de humedad por acción de la capilaridad en la unidad produce un efecto de succión que atrae el agua del mortero o el grout. Esta característica está definida por el ratio inicial de absorción o también conocido por nosotros como "succión". **(Ref. 10)**

## **Succión**

La succión es la medida de la velocidad inicial de absorción en la cara de asiento de la unidad de albañilería. La succión es indispensable para que exista adhesión con el mortero, ya que esta es responsable de que los solubles del cemento, disueltos en el agua absorbida, se incrusten y luego cristalicen en los microporos de la unidad de albañilería proveyendo así la adhesión con el mortero. Si no hay succión no hay adhesión entre mortero y unidad de albañilería. Sin embargo, cuando los ladrillos tienen una succión excesiva no se logra tener una unión adecuada con el mortero, cuando esto ocurre éste absorbe el agua del mortero con gran rapidez dejando al mortero endurecer y deformarse sin que halla una afinidad entre ambos, no permitiendo que haya un contacto completo entre el mortero y la cara del siguiente ladrillo. El resultado es una conexión pobre e incompleta, dejando uniones de baja resistencia y permeables al agua. **(Ref. 10)**

### **2.1.1.1.2 Propiedades Físicas**

#### **Resistencia a la Compresión**

La resistencia a la compresión de la albañilería es su propiedad más importante. En términos generales, define no sólo el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro. Los principales componentes de la resistencia a la compresión de la albañilería son: la resistencia a la compresión del ladrillo ( $f'b$ ), la perfección geométrica del ladrillo y la calidad de la mano de obra empleada. Debe tenerse en cuenta que la forma de falla a compresión en el ladrillo es diferente que en la prueba del prisma de albañilería. En el primer caso la falla ocurre por una combinación de compresión axial y tracción lateral (causada por

el escurrimiento del mortero de las juntas), mientras que en la prueba del ladrillo la falla ocurre por aplastamiento o corte. **(Ref. 10)**

### **Resistencia a la Tracción**

Al igual que la resistencia a la compresión,  $f_t$  sólo constituye una medida de la calidad de la unidad. Su evaluación debería realizarse cuando se esté en la incertidumbre de utilizar una unidad tipo IV o V, o cuando se tenga un alto alabeo que puede conducir a la unidad a una falla de tracción por flexión. **(Ref. 9)**

#### **2.1.2 El Mortero**

Así como para el concreto la propiedad fundamental es la resistencia, en el mortero la propiedad fundamental es la adhesividad, para lo cual tiene que ser: trabajable, retentivo y fluido. El agua da la trabajabilidad; la cal la retentividad, fluidez, cohesión y trabajabilidad; mientras que el cemento da la resistencia inicial a la tracción y adherencia.

Debe quedar claro que el mortero es un adhesivo que tiene como función principal unir las unidades de albañilería, es decir, proporcionar la afinidad individual de las unidades de albañilería dentro de un compuesto armado con la finalidad de resistir las condiciones impuestas de cargas y tiempo. El mortero también sirve para unir el refuerzo y ligar el metal de tal manera que ellos puedan actuar íntegramente con la albañilería. Además, sirve para absorber las irregularidades e imperfecciones que presentan las unidades, dependiendo de estas el espesor de las juntas, así como sellar las juntas contra la penetración del aire y la humedad. **(Ref. 9)**

### 2.1.2.1 Componentes

El mortero básicamente está compuesto por cemento portland tipo I, cal hidratada normalizada, arena gruesa y agua. El cemento y la cal funcionan como aglomerantes, mientras que la arena es un agregado inerte.

La función del cemento es proporcionar resistencia a la mezcla, en tanto que la cal le proporciona trabajabilidad y retentividad (evita que el agua se evapore rápidamente). La función de la arena es proporcionar estabilidad volumétrica a la mezcla, permitiendo el asentado de varias hiladas en una jornada de trabajo; adicionalmente, la arena atenúa la contracción por secado, por lo que se recomienda: no usar arena fina y lavar la arena gruesa si ella tuviese mucho polvo. La función del agua es proporcionar trabajabilidad a la mezcla, así como hidratar el cemento. **(Ref. 9)**

La Norma de Albañilería E-070 en su acápite C, ítem 1.5 establece las siguientes proporciones volumétricas para emplear en la mezcla del mortero:

Cuando se emplee cemento Portland tipo I y cal hidratada:

Tipo	Cemento	Cal	Arena
P1-C	1	1	4
P2-C	1	1	5
NP-C	1	1	6

Tabla 2.1

a) Cuando se emplee sólo cemento Portland tipo I:

Tipo	Cemento	Arena
P1	1	4
P2	1	5
NP	1	6

Tabla 2.2

**Nota : "P" es para empleo en muros portantes y "NP" es para los muros no portantes.**

La norma también indica que se podrán usar otras composiciones de mortero siempre y cuando se realicen pruebas de laboratorio suficientes para garantizar la resistencia de la albañilería análoga a las que se obtienen con las proporciones descritas y se asegure la durabilidad de la albañilería. **(Ref. 3)**

Es conveniente que el mortero tenga una resistencia a compresión semejante al de la unidad, a fin de evitar su falla por aplastamiento y tratar de dar homogeneidad a la albañilería. Por esta razón, se recomienda utilizar mortero 1:3 o 1:4 para edificaciones de 4 a 5 pisos (con unidades de alta resistencia a compresión), mientras que para edificaciones de 1 a 3 pisos puede usarse un mortero de 1:5. **(Ref. 9)**

#### **2.1.2.2 Propiedades del Mortero en estado endurecido**

Las propiedades más importantes del mortero endurecido que afectan la construcción de albañilería son la adhesión, el esfuerzo de compresión, los cambios de volumen y la durabilidad. De todas estas propiedades es la adhesión quizás el factor más crítico, porque influencia el largo plazo del esfuerzo y la servicialidad de la albañilería terminada. **(Ref. 10)**

#### **Adhesión**

La adhesión entre el mortero y las unidades de albañilería es realizada por trabas mecánicas y posiblemente algún grado de adhesión química, pero aún se desconoce grandemente la adhesión natural exacta. La multitud de parámetros que afectan la adhesión del mortero pueden ser clasificados por: el tipo de mortero, la proporción agua-cemento, las propiedades de las unidades de albañilería, la destreza en la construcción, y las condiciones de curado. Sin

embargo, la compatibilidad total de una mezcla de mortero con la unidad es la más crítica. Esta compatibilidad debe garantizar que se realice una buena adhesión inicial dentro de un día o menos después de la colocación. Como el mortero plástico hace contacto con la unidad absorbente, los solubles del cemento disueltos en el agua son absorbidos en la interface, a través del contacto íntimo con la unidad. Como resultado de ello obtenemos una adhesión inicial rápida, la cual, naturalmente, conduce satisfactoriamente a una adhesión final. Si las unidades son movidas o cambiadas en este primitivo escenario, el contacto íntimo es roto y la adhesión es perjudicada. **(Ref. 10)**

Es necesario que el mortero se extienda sobre toda la superficie (vertical y horizontal) de la unidad por asentar, para lo cual debe ser trabajable.

No existen métodos ni pruebas adecuadas para medir el valor de la adhesión como una característica independiente. **(Ref. 1)**

### **Durabilidad de la Adhesión**

Para ser durable, el mortero debe ser capaz de soportar las condiciones climáticas sin deterioración prematura. La causa principal de deterioración del mortero es la acción de la escarcha. La acción de la escarcha puede ser particularmente destructiva cuando la albañilería sufre muchos ciclos de congelamiento–deshelamiento. Aunque generalmente se cree que los morteros que tienen altos esfuerzos de compresión son más durables, esta suposición puede ser cuestionable cuando condiciones severas del tiempo incluyen las ocurrencias de ciclos de congelamiento-deshelamiento. Los archivos de comportamiento limitado a este campo indican que el esfuerzo medio, más

morteros trabajables que contienen aproximadamente 16% de aire muestran mejor durabilidad bajo severas condiciones ambientales. No obstante, la adhesión del mortero puede ser muy inferior con altos contenidos de aire en los morteros. **(Ref. 10)**

### **Resistencia a la Compresión**

El esfuerzo de compresión del mortero es importante porque tiene una influencia sobre el esfuerzo de compresión de la albañilería y porque es típicamente usado como una medida de control de calidad. De acuerdo a ASTM C109, el espécimen standard del mortero es un cubo de 2 pulgadas (50 mm) de lado moldeado en un molde no absorbente. Un mínimo de tres especímenes es típicamente requerido y estos son curados bajo condiciones específicas ensayados a los 7 o 28 días de edad. La falla típica envuelve una forma piramidal. Este tipo de ensayo no refleja las condiciones reales que se producen en las juntas por lo que sólo serviría como control de calidad del mortero. **(Ref. 10)**

---

## CAPITULO III:

# ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS UNIDADES, PILAS Y MURETES DE ALBAÑILERÍA

---

### 3.1 Descripción de las Unidades a ser ensayadas

Las tres unidades de albañilería estudiadas pertenecen a la fábrica REX, poseen un porcentaje de sólidos menor al 75%, y fueron denominadas como tipo A, B y C, tal como se observa en la Foto 3.1.

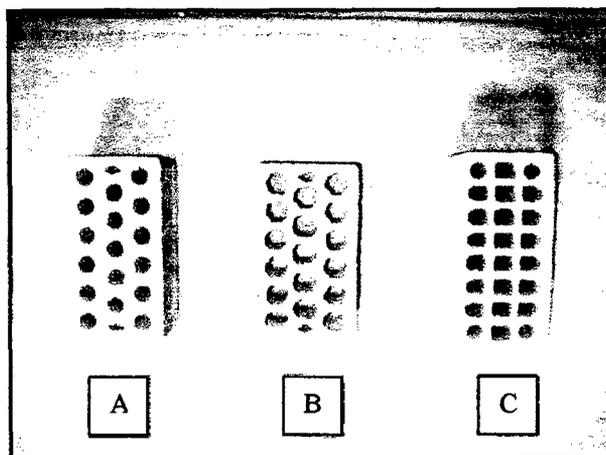


Foto 3.1 Se aprecian las unidades de albañilería de arcilla estudiadas.

## Determinación del Área Neta de las Unidades estudiadas

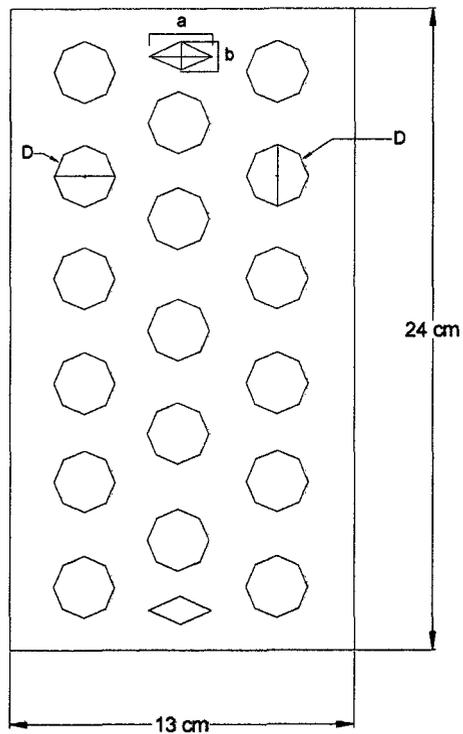
Con la finalidad de establecer el área neta de cada una de las unidades se tomaron las medidas con el pie de rey de tres muestras de cada uno de los tres distintos tipos de unidades, luego éstas áreas fueron promediadas para después obtener el valor del porcentaje de sólidos dividiendo el área neta entre el área bruta de la unidad. El acabado de los ladrillos estudiados presentaba en la orilla de los bordes de las perforaciones residuos del mismo material del ladrillo que hacían aparentar una menor área, por ello, se perfilaron los bordes hasta encontrar el área real de la perforación y luego se procedió a tomar las medidas para luego calcular las áreas aproximando los huecos a figuras geométricas conocidas o usando una superposición de ellas.

Tipo de Unidad	% de sólidos Promedio An prom	Desviación standard (S) (%)	Coefficiente de variación (C.V.) (%)	X =Anprom-S (%)
A	72.00	.2	.3	72
B	57.00	.9	2	56
C	61.00	1.35	2	60

Tabla 3.1

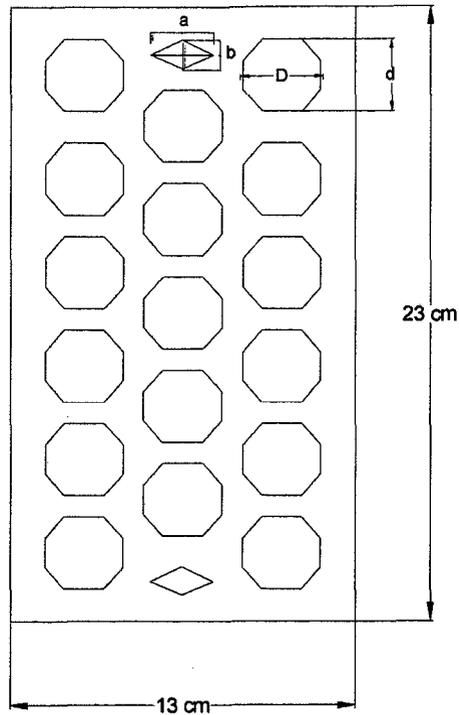
### Notas:

- Los cálculos respectivos se encuentran en las HOJAS DE RESULTADOS No 1, No 2 y No3.
- El área neta está descrita como el área total del ladrillo menos el área de los huecos.
- El porcentaje de sólidos es obtenido dividiendo el área neta entre el área bruta.
- La estructura alveolar de estas unidades se presentan en la figura 3.1.



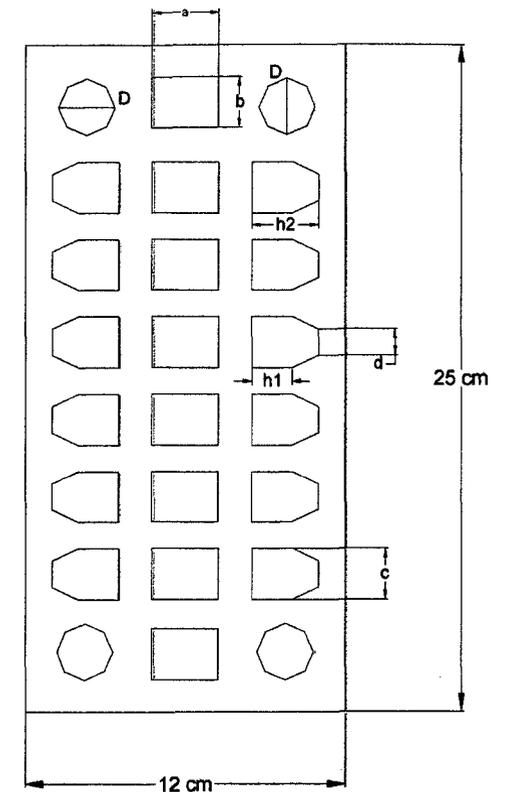
UNIDAD DE ALBAÑILERÍA TIPO A

$h = 9 \text{ cm}$



UNIDAD DE ALBAÑILERÍA TIPO B

$h = 9 \text{ cm}$



UNIDAD DE ALBAÑILERÍA TIPO C

$h = 9.5 \text{ cm}$

Figura 3.1 Se presentan las dimensiones nominales de las unidades así como su estructura alveolar. Las medidas correspondientes se encuentran en las HOJAS DE RESULTADOS N° 1, N° 2 Y N° 3.

### 3.2 Ensayos de Clasificación de las Unidades de Albañilería según Norma Técnica Peruana

La determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales individuales de la albañilería son necesarias para mantener las normas industriales y para el control de calidad en el sitio del trabajo. La Norma técnica Peruana ha establecido una serie de ensayos que nos permiten clasificar las unidades de albañilería de acuerdo a sus propiedades. En ITINTEC 331.019 se indica cómo debe realizarse el muestreo de acuerdo al lote de procedencia de las unidades a ser ensayadas. Se entiende como *lote* al conjunto de ladrillos de la misma forma y tamaño bajo condiciones similares de fabricación.

La Norma ITINTEC 331.019 indica lo siguiente: "Para cada lote de 50000 ladrillos o fracción se realizará la secuencia "A" de ensayos. Para lotes en exceso de 50000 ladrillos, se realizará la secuencia "A" para los primeros 50000 ladrillos y la secuencia "B" de ensayos, por cada grupo adicional de 100000 ladrillos o fracción". El número de muestras para cada ensayo está dado según la siguiente tabla.

Ensayos	Secuencia A	Secuencia B
Dimensiones y Alabeo	10	5
Resistencia a la Compresión	5	3
Densidad	5	3
Módulo de Ruptura	5	3
Absorción y Absorción máxima	5	3
Succión	5	3
Eflorescencia	10	6

Tabla 3.2

**Nota: Los ensayos de módulo de ruptura, succión y eflorescencia no forman parte de los requerimientos para la clasificación del ladrillo.**

Para el desarrollo del presente estudio se realizó la secuencia "A" de ensayos para cada uno de los tres tipos de unidades presentadas anteriormente.

- Variación de dimensiones (10 unidades)
- Alabeo. (10 unidades)
- Resistencia a la compresión. (5 unidades)
- Densidad. (5 unidades)

Además se realizaron ensayos de absorción (5), absorción máxima(5), y coeficiente de saturación (5).

La clasificación de la unidad está dada en la Norma Técnica Peruana ITINTEC 331.017 de la siguiente manera:

Tipo I.- Resistencia y durabilidad muy baja. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencias mínimas.

Tipo II.- Resistencia y durabilidad baja. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio moderadas.

Tipo III.- Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general.

Tipo IV.- Resistencia y durabilidad alta. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.

Tipo V.- Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

La Norma ITINTEC 331.018 establece los métodos de ensayo para determinar las propiedades de las unidades de albañilería de arcilla.

Para la ejecución de los ensayos en unidades se eligieron diez muestras de cada tipo de ladrillo (tipo A, B y C). Las cuales fueron denominadas A1, A2, ..., A10; B1, B2, ..., B10 y C1, C2, ... y C10. Los ensayos de variación de dimensiones y alabeo se realizaron para todas las muestras, luego de ello las cinco primeras (A1,...,A5; B1,..., B5; C1,...C5) fueron ensayadas a compresión y las restantes fueron utilizadas para hallar la densidad, absorción, absorción máxima, coeficiente de saturación y succión.

Cabe señalar que, además de obtener resultados promedio se ha determinado para la mayoría de ensayos la desviación standard (S) y el coeficiente de variación (C.V.) mediante las siguientes expresiones:

$$S = (\sum(X_i - X_{\text{prom}})^2 / (N-1))^{0.5}$$

$$\text{C.V.} = S / X_{\text{prom}}$$

$X_i$  es el valor obtenido para cada muestra.

$X_{\text{prom}}$  es el valor promedio de toda la muestra.

$N$  es el número de muestras ensayadas.

La resistencia característica de la albañilería ha sido obtenida restando una desviación standard al valor promedio de rotura tal como lo indican las normas ITINTEC.

### 3.2.1 Variación de Dimensiones

Generalmente, las dimensiones nominales de las unidades no coinciden con las dimensiones reales. Estas imperfecciones geométricas son absorbidas por las juntas de mortero, cuando mayores son las diferencias es mayor el espesor de las juntas. Se considera que la resistencia a compresión de la albañilería disminuye aproximadamente en 15% por cada incremento de 3 mm en el espesor de la junta de mortero, asimismo también disminuye la resistencia al corte. **(Ref. 4)**. Para la ejecución de este ensayo se ha tomado como referencia la Norma ITINTEC 331.018 (acápito 3.1).

#### Descripción del Ensayo

Este tipo de ensayo consiste en tomar las medidas del largo, ancho y alto de la unidad, se miden estas longitudes en cada espécimen con la precisión de 1 mm. Cada medida se obtiene como promedio de las cuatro medidas entre los puntos medios de los bordes terminales de cada cara (Obsérvese la foto 3.2).



Foto 3.2 Medición de las dimensiones de la unidad de albañilería con pie de rey

## Equipo de Ensayo e Instrumentos

- Calibrador de mordazas paralela provistas de una escala graduada entre 10 mm y 300 mm y con divisiones correspondientes a 1 mm.

## Resultados

Se calcula la variación en porcentaje de cada dimensión especificada en valor obtenido de promediar la dimensión de todas las muestras, dividiendo este valor por la dimensión especificada y multiplicando por 100.

$$V = \frac{DE - MP}{DE} * 100$$

DE

En donde:

V Variación de Dimensión, en porcentaje.

DE Dimensión especificada, en milímetros.

MP Medida promedio en cada dimensión, en milímetros.

Tipo de Unidad	Longitud promedio (mm)			Desviación standard (S) (mm)			Coeficiente de variación (C.V.) (%)			X = Lprom-S (mm)		
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	L	b	h
A	241	130	89	0	0	1	0	0	1	0	0	1
B	228	130	89	1	0	1	1	0	1	1	0	1
C	240	120	96	0	0	1	0	0	1	0	0	1

Tabla 3.3

**Nota:** Los cálculos respectivos se encuentran en las HOJAS DE RESULTADOS No 4, No 5 Y No 6.

Como podemos observar en la Tabla 3.3 la variación dimensional es mínima y los valores obtenidos para los tres tipos de unidades son similares.

### 3.2.2 Alabeo

El mayor alabeo (concavidad o convexidad) del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta; asimismo, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos en las zonas más alabeadas; o incluso, puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad. **(Ref. 9)**. Para la ejecución de este ensayo se ha tomado como referencia la Norma ITINTEC 331.018 (acápito 3.2).

#### Descripción del Ensayo

Según el alabeo se presentó como concavidad o convexidad en las dos caras mayores del ladrillo, se ha seguido el procedimiento que para cada caso se detalla a continuación.

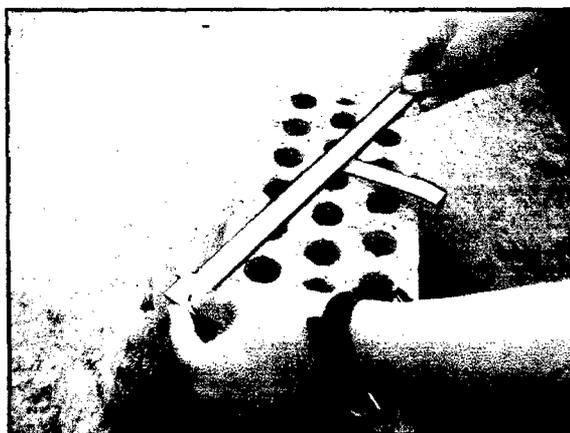


Foto3.3: Determinación del alabeo de la unidad.

#### Medición de Concavidad:

- Se coloca el borde recto de la regla sobre una diagonal de una de las caras mayores del ladrillo.
- Se introduce la cuña en el punto correspondiente a la flecha máxima.

- Se efectúa la lectura con la precisión de 1 mm y se registra el valor obtenido.

**Medición de Convexidad:**

- Se coloca el borde recto de la regla sobre dos aristas opuestas de una de las caras mayores del ladrillo.
- Se introduce en cada vértice la cuña y se busca el punto de apoyo de la regla sobre la diagonal, para el cual en ambas cuñas se obtiene la misma medida.

**Equipo de Ensayo e Instrumentos**

- Dos cuñas de acero graduadas al medio milímetro.

**Resultados**

Se indica el promedio de los valores correspondientes a concavidad y/o convexidad obtenido en milímetros enteros.

Como podemos observar en la Tabla 3.4 el alabeo promedio correspondiente a las unidades tipo A y C es de 1mm, mientras que para la unidad tipo B este tiende a cero.

Tipo de unidad	Alabeo (mm)
A	1
B	0
C	1

Tabla 3.4

**Nota:** Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 7.

### 3.2.3 Resistencia a la Compresión

Para la ejecución de este ensayo se ha tomado como referencia la Norma ITINTEC 331.018 (acápito 3.3).

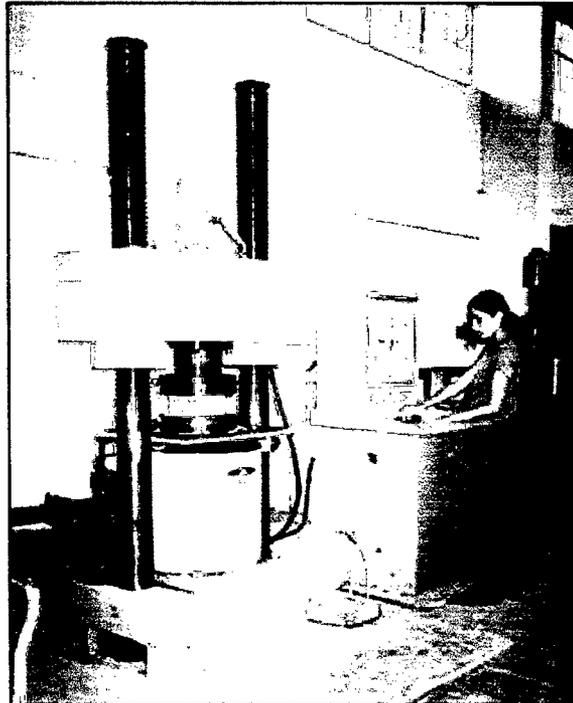


Foto 3.3 Ensayo de compresión en unidades

#### Descripción del Ensayo

El ensayo ha sido realizado de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se aplica una capa de recubrimiento de yeso en ambas caras del espécimen antes de ser ensayado, procurando siempre que ambas caras sean aproximadamente paralelas. Para realizar el ensayo se espera por lo menos dos horas.
- Se coloca el espécimen con una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina y se hace descender el vástago solidario al cabezal, se maniobra suavemente la rótula hasta obtener un contacto perfecto sobre la

cara superior del espécimen, se asegura que el eje del mismo coincida con el eje longitudinal del espécimen.

- Se aplica la carga cuidando que el espécimen llegue a la rotura dentro de los tres a cinco minutos después de iniciado el ensayo.

### **Equipo de Ensayo e Instrumentos**

- Se utilizó una máquina de compresión SHIMADZU, la cual se utiliza en el laboratorio para este tipo de ensayos, está provista para la aplicación de la carga de un rodillo de metal endurecido de asiento esférico y solidario con el cabezal superior de la máquina. El centro de la superficie del casquete esférico coincide con el centro de la superficie del bloque que se pone en contacto con el espécimen. Dicho bloque se mantiene inmóvil en su asiento esférico, pero puede girar libremente en cualquier dirección.

**Expresión de Resultados:** Se calcula la resistencia a compresión con la siguiente ecuación:

$$f' b = P / A$$

en donde:

$f' b$  es la resistencia a la compresión del ladrillo en Kg / cm<sup>2</sup>.

$P$  es la carga de rotura aplicada indicada por la máquina en Kg

$A$  es el promedio de las áreas brutas superior e inferior del espécimen en cm<sup>2</sup>.

En nuestro caso, por tratarse de ladrillos perforados, es necesario calcular el volumen del espécimen según la siguiente expresión:

$$A_n = \frac{V}{h}$$

en donde:

$A_n$  es el área neta del ladrillo en centímetros cuadrados

$V$  es el volumen del ladrillo en centímetros cúbicos

$h$  es la altura del ladrillo en centímetros

### Resultados obtenidos

Mientras mayor fue el área neta mayor fue la resistencia a la compresión obtenida, sin embargo, la relación no es exactamente lineal. Véase el gráfico 3.1.

Tipo de Unidad	$f'b$ promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación standard (S) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (C.V.) (%)	$X = f'b_{prom} - S$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
A	243	15	6	228
B	205	64	31	141
C	241	35	15	206

Tabla 3.5

**Nota:** Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 8.

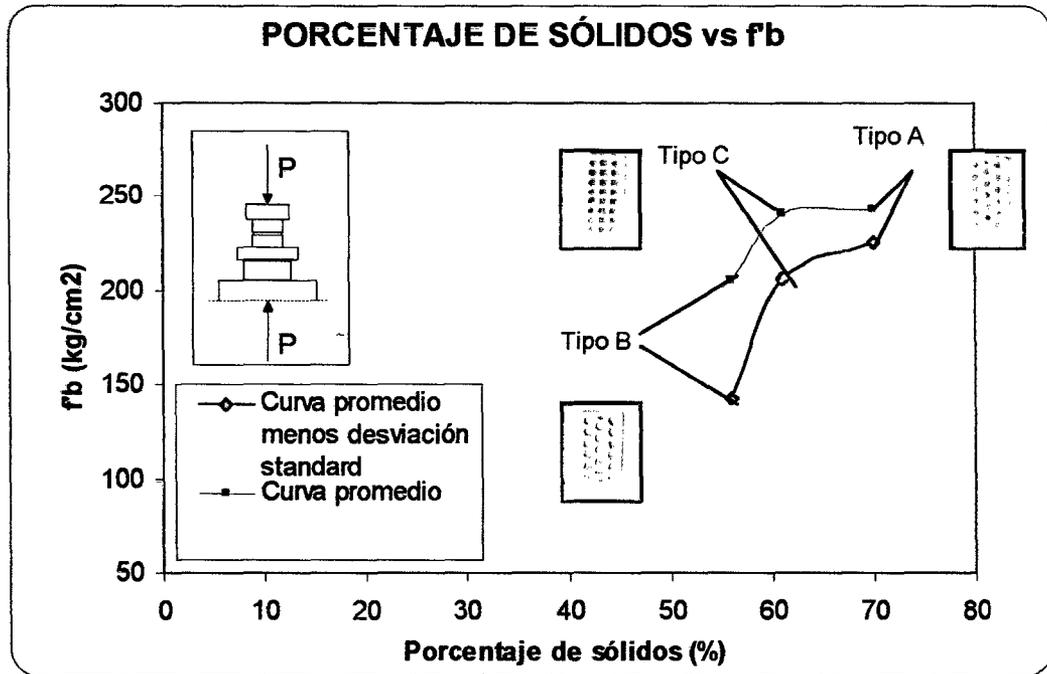


Gráfico 3.1 Relación entre el porcentaje de sólidos y la resistencia a la compresión de la unidad de albañilería

- Del gráfico 3.1 podemos notar que la relación entre el porcentaje de sólidos y la resistencia a la compresión de la unidad no es exactamente lineal, sin embargo al relacionar el primero con la máxima fuerza a la compresión que resiste obtenemos una tendencia lineal.
- Del gráfico 3.2, de acuerdo a la ecuación hallada para esta relación podemos decir que por cada 1% de aumento en el porcentaje de sólidos la resistencia a la compresión de la unidad aumenta en 1.30 Kg aproximadamente.

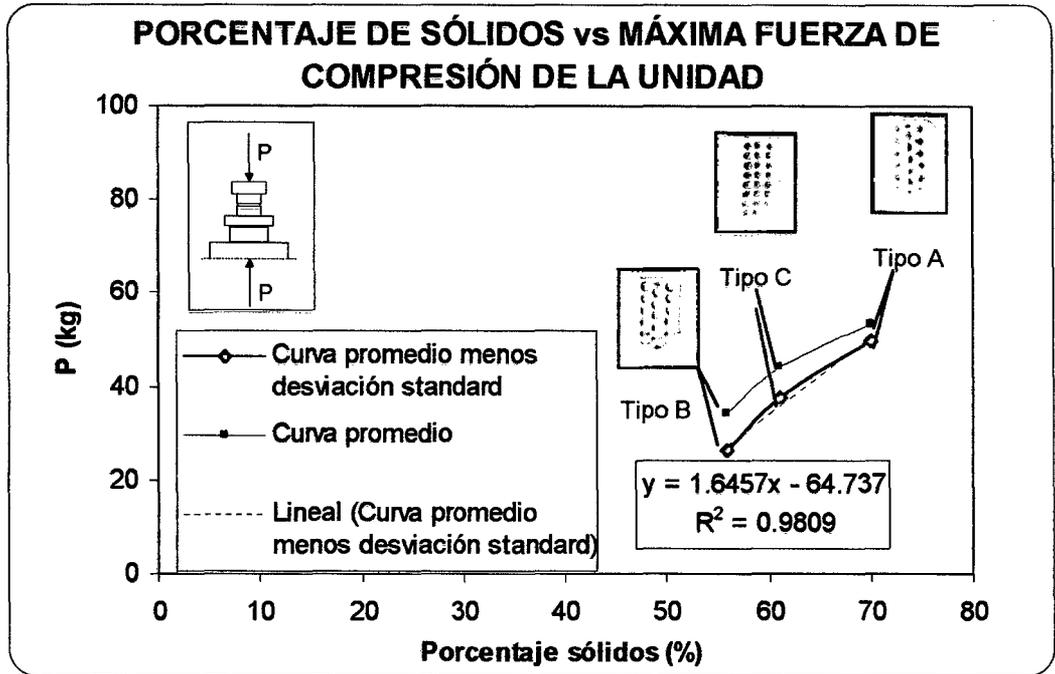


Gráfico 3.2 Relación entre el porcentaje de sólidos y la máxima fuerza a compresión de la unidad de albañilería

### **3.2.4 Densidad, Absorción, Absorción Máxima, Coeficiente de Saturación y Succión.**

La densidad está relacionada directamente con la resistencia a la compresión. Mientras que, hallando el coeficiente de saturación podemos medir la durabilidad de la unidad.

Para la realización de estos ensayos se ha tomado como referencia lo indicado por la Norma ITINTEC 331.018 en sus acápites 3.4, 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 respectivamente.

#### **Descripción de los Ensayos**

Para mayor facilidad en el desarrollo de la ejecución de éstos, han sido realizados siguiendo un cierto orden, de modo de obtener los resultados para los distintos ensayos y no realizar el mismo procedimiento varias veces. Esta idea es aportada por el Ing. Angel San Bartolomé en su libro "Construcciones de Albañilería". **(Ref. 9)**. A continuación se detalla el procedimiento seguido:

- Se pesa el espécimen en estado natural.
- Se coloca el espécimen en el horno para secarlo a una temperatura de 110°C, después se pesa (G3).
- Se sumerge el espécimen en una película de 3 mm de agua durante un minuto, durante lo cual está apoyado sobre dos barras de metal. Inmediatamente se pesa el espécimen. Se pesa antes y después (Gi y Gf).
- Se sumerge el espécimen durante 24 horas en una poza de agua fría, luego se toma el peso (G4).



Foto 3.4

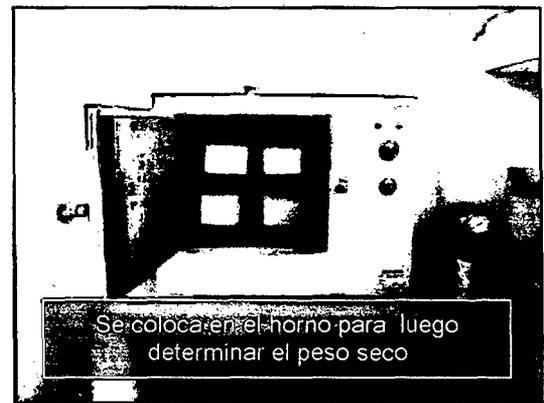


Foto 3.5



Foto 3.6



Foto 3.7



Foto 3.8

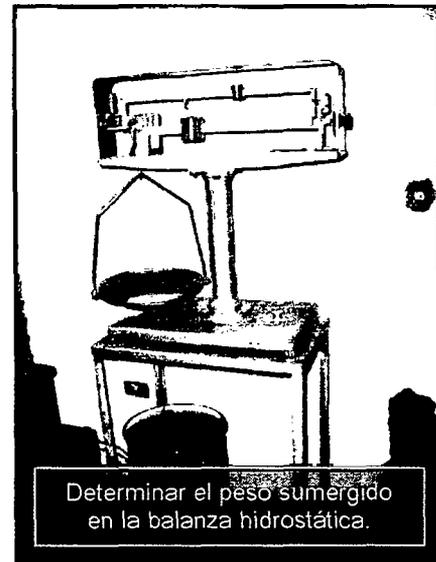


Foto 3.9

Procedimiento seguido para determinar la Densidad, Absorción, Absorción máxima, Coeficiente de saturación y Succión.

- Se coloca el espécimen en un recipiente lleno de agua, se calienta gradualmente hasta llegar al punto de ebullición, luego se deja hervir durante 5 horas. Cuando el recipiente se ha enfriado se retira el espécimen y se seca el agua superficial con un trapo húmedo, inmediatamente se pesa (G1, G5).
- Finalmente, se pesa el espécimen sumergido, equilibrando previamente la balanza con el dispositivo de suspensión y el espécimen sumergido (G2).

### **Equipo de Ensayo e Instrumentos**

- Balanza con capacidad no menor de 2 Kg y que permita efectuar pesadas con una precisión de 0,5 g.
- Recipiente de agua que pueda contener las muestras completamente sumergidas.
- Horno con libre circulación de aire que permita mantener una temperatura comprendida entre 110°C y 115°C.
- Bandeja o recipiente para agua, con una profundidad interior de no mayor de 12.5 mm.
- Dos barras idénticas de metal no corrosible, con sección rectangular de 5 mm de altura y de un ancho no mayor de 10 mm.
- Cronómetro calibrado en segundos.

### **Cálculo de Resultados**

Los cálculos se realizan de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$D = G3/V$$

$$V = G1-G2$$

$$A = \frac{G4-G3 \times 100}{G3}$$

$$B = \frac{G5-G3 \times 100}{G3}$$

$$C = \frac{G4 - G3}{G5 - G3}$$

$$S = \frac{200W}{Lb}$$

En donde:

- V es el volumen en centímetros cúbicos
- D es la densidad del espécimen en gramos por centímetro cúbico.
- A es la absorción del espécimen en porcentaje
- B es la absorción máxima del espécimen en porcentaje
- C es el coeficiente de saturación del espécimen (sin unidades)
- \*S es la succión del espécimen en gr/200 cm<sup>2</sup>-min

\*La Norma Técnica Peruana utiliza "A" como nomenclatura para el valor de la succión, aquí se ha optado por usar "S" con la finalidad de no repetir la misma que para la absorción y, evitar crear confusiones.

### **Resultados obtenidos**

Los valores de densidad, absorción, absorción máxima, coeficiente de saturación y succión obtenidos resultan ser muy similares para los tres tipos de unidades, lo cual resulta lógico ya que éstas provienen de la misma ladrillera y, además estas propiedades no dependen directamente de la estructura alveolar de las unidades.

Tipo de Unidad	Densidad promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación standard (S) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (C.V.) (%)	X = D - S (Kg/cm <sup>2</sup> )
A	1.94	0.05	2.4	1.89
B	1.90	0.06	3.1	1.84
C	1.88	0.04	2.0	1.84

Tabla 3.6

Nota: Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 9.

Los valores de absorción obtenidos no exceden el límite de 22% recomendado por algunos autores.

Tipo de Unidad	Absorción promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación standard (S) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (C.V.) (%)	X = A - S (Kg/cm <sup>2</sup> )
A	13	0.2	1	12.8
B	14	1.5	11	12.5
C	13	0.3	2	12.7

Tabla 3.7

Nota: Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 10.

Tipo de Unidad	Absorción máxima Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación standard (S) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (C.V.) (%)	X = B - S (Kg/cm <sup>2</sup> )
A	13	0.5	4	12.5
B	13	0.7	5	12.3
C	14	0.5	4	13.5

Tabla 3.8

Nota: Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 11.

Tipo de Unidad	C.S. promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación standard (S) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (C.V.) (%)	X = C - S (Kg/cm <sup>2</sup> )
A	1.01	0.04	4	0.97
B	1.04	0.11	11	0.93
C	0.97	0.04	5	0.93

Tabla 3.9

Nota: Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 12.

Las unidades estudiadas poseen una succión promedio mayor de 20gr/200cm<sup>2</sup> por minuto por lo cual los ladrillos han sido regados antes de ser asentados.

Tipo de Unidad	Succión promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación standard (S) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coficiente de variación (C.V.) (%)	X = *S - S (Kg/cm <sup>2</sup> )
A	51	16	31	35
B	47	5	11	42
C	53	4	8	49

Tabla 3.10

**Nota:** Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 13.

Aprovechando los datos obtenidos de los ensayos anteriores hallaremos el porcentaje de sólidos de las unidades de una manera más precisa:

Tipo de Unidad	Porcentaje de sólidos V/h (%)	Porcentaje de sólidos An/Abruta (Mediciones con pie de rey) (%)
A	70	72
B	56	57
C	61	61

Tabla 3.11

Como podemos observar no existen diferencias significativas entre uno y otro método, por lo que sí se tiene la necesidad de conocer el área neta, es recomendable por ser más fácil y práctico, usar el método presentado inicialmente que, como hemos visto, resulta confiable si se desarrolla correctamente.

## Resumen de Resultados de los Ensayos en Unidades

Clasificaremos las unidades de acuerdo a los requisitos obligatorios, es decir según los valores obtenidos para la variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión y densidad. Para poder clasificar las unidades debemos comparar dichos resultados con la siguiente tabla:

Tipo de unidad	Variación dimensional (máxima en %)			Alabeo Máximo (mm)	Compresión mínima (Kg/cm <sup>3</sup> )	Densidad mínima (gr/cm <sup>3</sup> )
	≤10 cm	≤15 cm	≥15 cm			
I	± 8	± 6	± 4	10	60	1.50
II	± 7	± 6	± 4	8	70	1.55
III	± 5	± 4	± 3	6	95	1.60
IV	± 4	± 3	± 2	4	130	1.65
V	± 3	± 2	± 1	2	180	1.70

Tabla 3.12 Valores límites dados por E-070 e ITINTEC

Los valores correspondientes a la variación dimensional, alabeo y densidad están dentro de los límites correspondientes al ladrillo tipo V para las unidades tipo A, B y C. Si se considera la resistencia a la compresión promedio de la unidad podríamos decir que los tres tipos de unidades clasifican como tipo V, sin embargo, se ha encontrado referencias de que para clasificar a la unidad por su resistencia ( $f'b$ ), el resultado promedio menos una desviación standard debe ser mayor al límite inferior especificado por la Norma ITINTEC.

Entonces tenemos:

Tipo de unidad	Variación dimensional (máxima en %)			Alabeo Máximo (mm)	Compresión mínima (Kg/cm3)	Densidad mínima (gr/cm3)
	L	b	h			
A	0	0	1	1	228	1.89
B	1	0	1	0	141	1.84
C	0	0	1	1	206	1.84

Tabla 3.13 Resultados obtenidos de los ensayos en unidades

De acuerdo a ello, las unidades estarían clasificando de la siguiente manera:

Tipo de unidad	Clasificación según E-070 e ITINTEC
A	Tipo V-Hueco-241x130x89
B	Tipo IV-Hueco-228x130x89
C	Tipo V-Hueco-249x120x96

Tabla 3.14

### 3.3 Ensayos en Pilas de Albañilería

La albañilería ensamblada muestra interacciones muy complejas. La predicción exacta de su comportamiento usando las propiedades de los materiales que la constituyen depende del uso de las propiedades adecuadas y de la medición correcta de éstas.

#### 3.3.1 Resistencia a la Compresión en Pilas

Como con el concreto, es usual describir la calidad estructural de la albañilería en términos de la resistencia a la compresión especificada como  $f'm$ . La resistencia a la compresión es comúnmente de principal importancia en

estructuras sometidas a cargas, lo cual demanda el uso de materiales de alta resistencia. Los ensayos de compresión de prismas de albañilería son usados como la base para determinar el esfuerzo de diseño y, en algunos casos, como una medida del control de calidad. La capacidad de la máquina de ensayo y los límites de altura del espécimen, así como otras consideraciones prácticas nos conducen al uso de los prismas como el tipo principal de espécimen para pruebas de compresión antes que especímenes a escala natural, por conveniencia se usa comúnmente el modelo apilable mostrado.

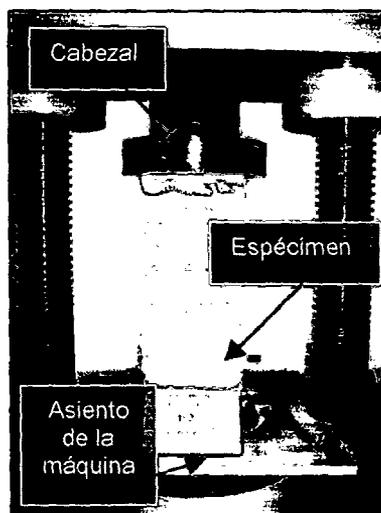


Foto 3.10 Ensayo de uno de los especímenes

La ASTM E447 describe el equipo, procedimientos, e información para las pruebas de los prismas, un prisma standard es usualmente una albañilería de longitud unitaria, de un espesor unitario y puede ser fabricado para varias alturas (generalmente entre 1.5 a 5 veces el espesor) usando diferentes cantidades de unidades y juntas. **(Ref. 10)**

### **Descripción de los Especímenes**

Se construyeron quince prismas en total para este tipo de ensayo, cinco con cada tipo de unidades presentadas (A, B y C), el mortero usado es tipo P-2 sin cal (Cemento:Arena 1:5) y junta de 2 cm de espesor. Los materiales y la mano de obra utilizados en la construcción de éstos fue el mismo que el utilizado en la construcción de los muros. Cada uno de los prismas estaba conformado por cinco ladrillos.

### **Descripción del Ensayo**

El procedimiento fue similar al ensayo de compresión de la unidad, la fuerza de aplicación del ensayo tuvo una velocidad de 5 toneladas por minuto aproximadamente.

### **Equipo de Ensayo e Instrumentos**

- La máquina de ensayo utilizada fue la misma que para el ensayo de compresión de unidades. Para mejor ilustración véase la Figura 3.2.

### **Mecanismos Generales de Falla**

Las pruebas de compresión de prismas con bajas relaciones de altura/espesor (por ejemplo, menores que aproximadamente 2:1) tienden a producir la falla cónica tipo corte-compresión similares a las fallas cónicas observadas para cilindros de concreto ensayados y está relacionado a los efectos de la cabeza de confinamiento en las placas de apoyo. Alternativamente, los prismas con suficiente altura para minimizar los efectos de los extremos muestran grietas verticales a través de las unidades de

albañilería. Este patrón de grietas es consistente con fallas observadas en ensayos de muros a escala natural.

**Prismas de Unidades Sólidas o Huecas llenas de Mortero.-** La resistencia a la compresión de los prismas de albañilería son mucho más altos que la resistencia a la compresión de cubos de mortero y consistentemente más bajo que la resistencia de las unidades de albañilería. Este fenómeno tiene explicación considerando las desigualdades entre los dos materiales. Bajo la compresión, el mortero más débil tiende a extenderse lateralmente a una mayor proporción que la unidad de albañilería. Para mejor ilustración véase la Figura 3.3.

### Resultados obtenidos

Para el cálculo de la resistencia característica de la albañilería se ha seguido lo establecido en el acápite 11 de la Norma de Albañilería E-070. De acuerdo a ello los resultados han sido corregidos multiplicándolos por un coeficiente que depende de la relación altura/espesor del prisma. Además, si el coeficiente de variación de las muestras probadas excede de 0.10 el valor  $f'm$  ha sido obtenido multiplicando el promedio de todos los resultados por un coeficiente de acuerdo a la siguiente expresión:  $C = 1 - 1.5(V - 0.10)$ .

Donde  $V$  es el coeficiente de variación.

Tipo de unidad	$f'm$ corregido (Kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$E = 500 * f'm$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$G = 0.4E$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Standard (*)	108	24	54000	21600
A	108	11	54000	21600
B	82	10	41000	16400
C	91	6	45500	18200

Tabla 3.15

Nota: Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 14.

El  $f'm$  ha sido obtenido dividiendo la carga por rotura entre el área bruta de la sección de la unidad, esto se ha considerado debido a que los alvéolos estaban llenos de mortero, cabe señalar éstos fueron llenados de manera natural al ir asentando las unidades, ya que ese no era el objetivo.

En el Gráfico 3.3 se observa la curva obtenida de la relación entre el porcentaje de sólidos de las unidades estudiadas y la resistencia a la compresión del prisma ( $f'm$ ), también se presenta la ecuación de la curva de tendencia que mejor representa los resultados obtenidos.

#### **Tipos de Falla que se presentaron en los Especímenes:**

En los prismas contruidos con ladrillo tipo A y C se apreciaron fallas típicas de fisuras verticales en las unidades, ocasionada al fallar en tracción transversal al tratar de impedir la expansión lateral del mortero. Los prismas del tipo B presentaron una falla localizada por desconchamiento en la unidad en algunos casos. Para mayor ilustración véase el anexo de fotos.

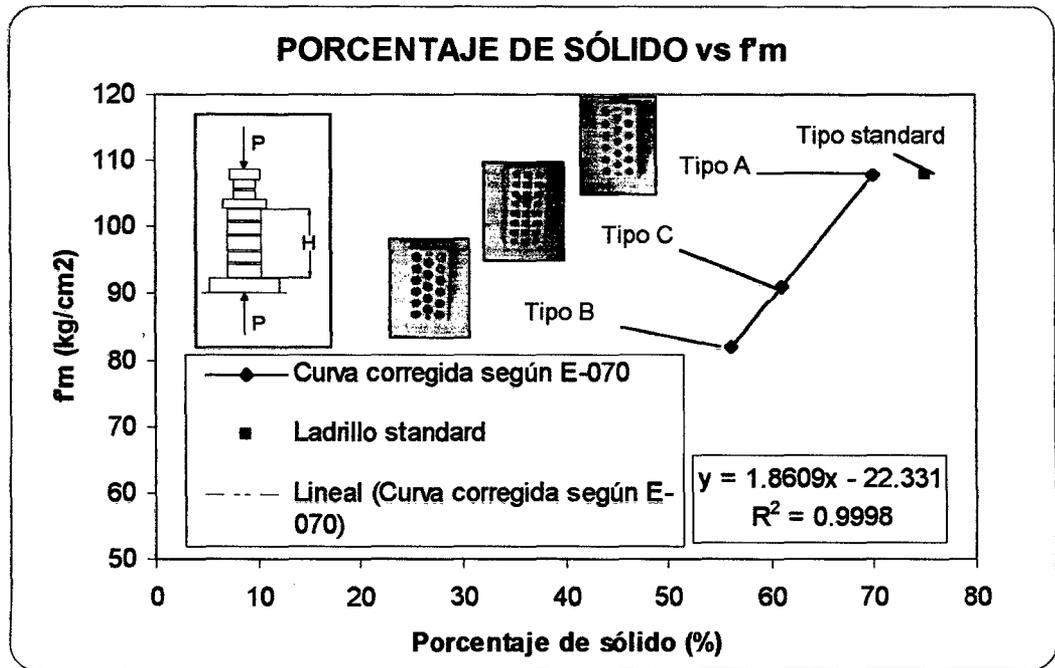


Gráfico 3.3 Relación entre el porcentaje de sólidos y la resistencia a la compresión de la albañilería

- Del gráfico puede deducirse una relación lineal entre el porcentaje de sólidos y la resistencia a la compresión de prismas ( $f_m$ ). La ecuación determinada posee un alto coeficiente de regresión. Podemos decir que por cada 1% de disminución en el porcentaje de sólidos, la resistencia a la compresión  $f_m$  está disminuyendo 1.86 Kg/cm<sup>2</sup>. El resultado correspondiente al ladrillo standard no ha sido correlacionado, podemos observar en la HOJA DE RESULTADOS N° 14 que los resultados para los ladrillos tipo A y standard, luego de ser corregidos muestran valores aproximadamente iguales.

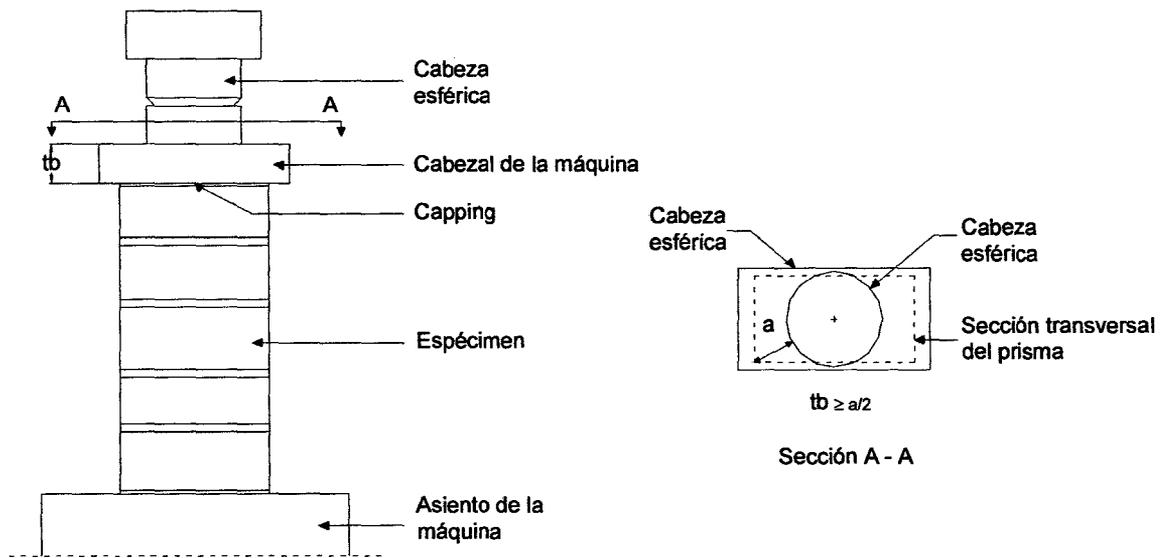


Figura 3.2 Máquina para el ensayo a compresión

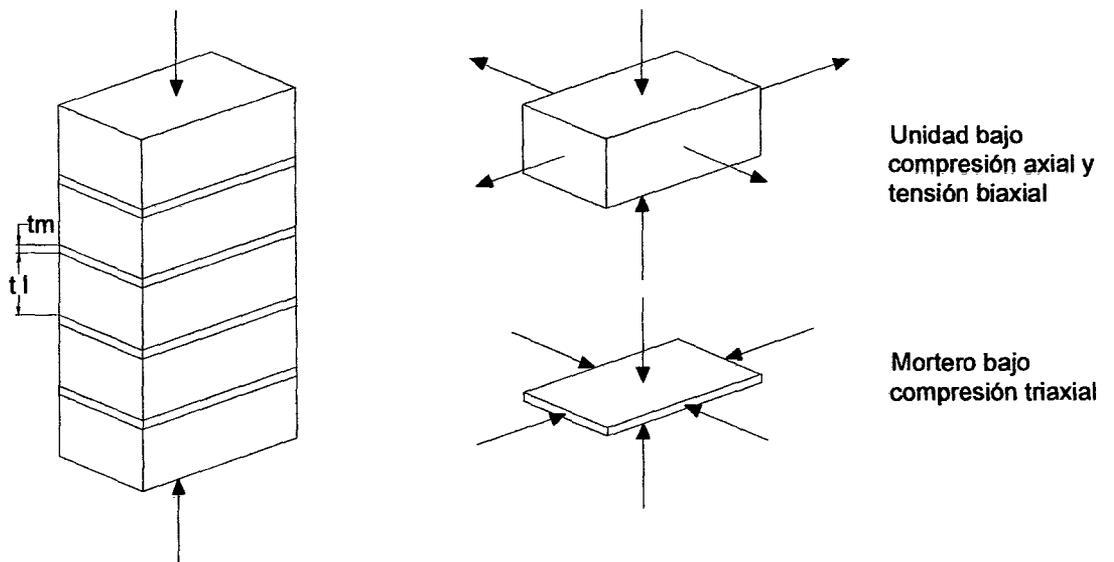


Figura 3.3 Estados de esfuerzo de las unidades y el mortero

### **3.3.2 Resistencia al Esfuerzo de Corte Directo**

El ensayo de corte directo en pilas de albañilería nos permite determinar la adherencia que existe entre la unidad de albañilería y el mortero. **(Ref. 9)**

#### **Descripción de los Especímenes**

Se construyeron quince prismas en total para este tipo de ensayo, cinco con cada tipo (A, B y C), se usó mortero sin cal tipo P-2 (Cemento: Arena 1:5) y juntas de 2 cm de espesor. Los materiales y la mano de obra utilizados en la construcción de éstos han sido los mismos que los utilizados en la construcción de los muros. Cada una de los prismas estaba conformado por tres hiladas, la hilada central estaba constituida por dos medios ladrillos separados una distancia de 1.5 cm aproximadamente.

#### **Descripción del Ensayo**

- Se colocó el capping en el espécimen en las zonas de contacto de aplicación de la fuerza.
- Se colocó el espécimen considerando que su eje central vertical coincidiera con el eje del actuador. En la base, la cabeza y los costados de éste se colocaron planchas de acero que permitieron una mejor distribución de la fuerza.
- Los prismas han sido ensayados aplicando una presión de confinamiento constante de 4Kg/cm<sup>2</sup> a través de un actuador de 25 t de capacidad, la carga lateral fue aplicada en la zona lateral central por medio de gatos hidráulicos.

## Equipo de Ensayo e Instrumentos

- Actuador de 25 t de capacidad.
- Dos gatos hidráulicos.
- Planchas de acero.

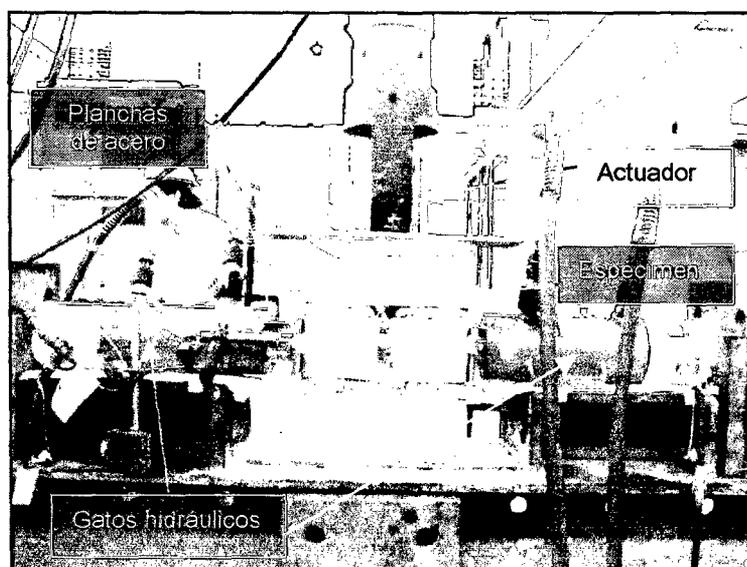


Foto 3.11: Se muestra el espécimen y el equipo de ensayo.

## Resultados

El esfuerzo de corte fue obtenido mediante la siguiente expresión:

$$v = \frac{P}{2(A - 1.5h)}$$

Donde:

$v$  = Esfuerzo de corte, en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$

$P$  = Carga de falla, en Kg.

$A$  = Área bruta del ladrillo empleado en  $\text{cm}^2$ .

$h$  = Profundidad del ladrillo empleado, en cm.

## Resultados obtenidos

Se hallaron los siguientes resultados:

Tipo de unidad	$v_{prom}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	S (Kg/cm <sup>2</sup> )	C.V. (%)	X(Kg/cm <sup>2</sup> )
A	6.47	1.65	25	4.8
B	7.47	0.74	10	6.7
C	8.52	1.53	18	7.0

Tabla 3.16

**Nota:** Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 15.

El esfuerzo de corte característico ( $v$ ) es el valor promedio menos la desviación standard. En el Gráfico 3.4 se observa la curva obtenida de la relación entre el porcentaje de sólidos de las unidades estudiadas y la resistencia al corte ( $v$ ), también se presenta la ecuación de la curva de tendencia que mejor representa los resultados obtenidos.

### Tipo de Falla que presentaron los Especímenes

El tipo de falla que se presentó en general fue un cizalle por la junta entre mortero y unidad; involucrando uno o ambos lados de la junta, mayormente ocurrió en el lado superior de la junta. Para mayor ilustración véase el anexo de fotos.

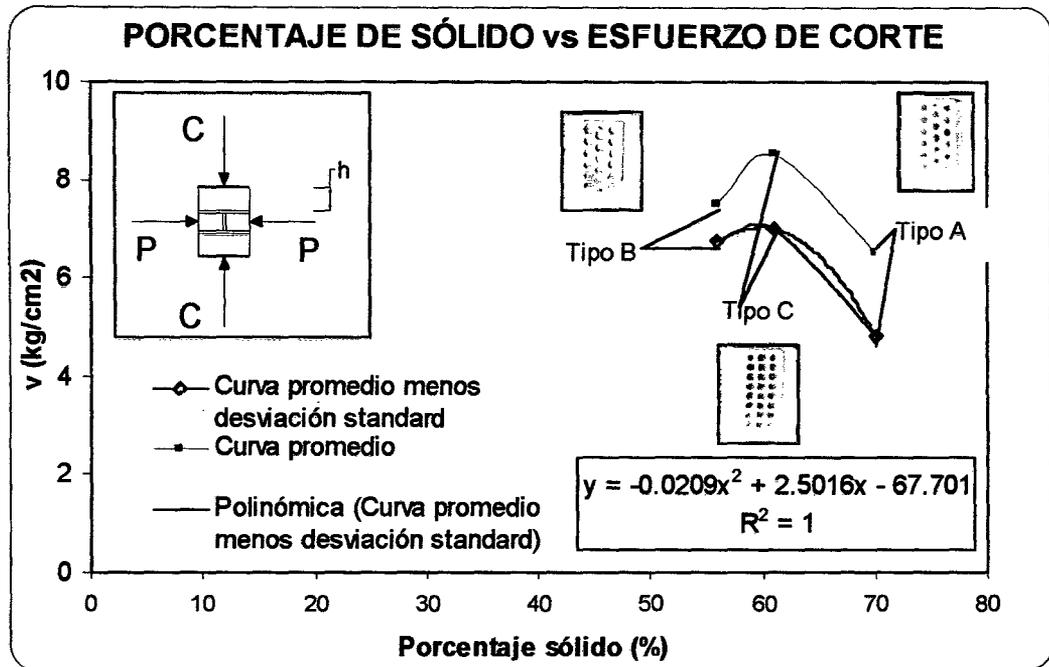


Gráfico 3.4 Relación entre el porcentaje de sólidos y la resistencia al corte de un prisma de albañilería

- El mayor valor obtenido para el esfuerzo de corte es de 6.99, el cual corresponde al ladrillo del tipo C. Del gráfico se puede deducir que el esfuerzo de corte aumenta cuando disminuye el porcentaje de sólidos, al menos esto sucede entre el 70% y 61%, luego de ello el esfuerzo de corte disminuye ligeramente entre el 61% y 56%, sin embargo, la diferencia en este último rango es mínima.
- Considerando el mayor esfuerzo de corte como el 100% y comparándolo con los otros se puede observar que con respecto al 61% de porcentaje de sólido un aumento del 9% equivale a una disminución del esfuerzo de corte de 31%, y una disminución del 5% equivale a una disminución del esfuerzo de corte de 4%.

### **3.4 Ensayo en Muretes de Albañilería**

#### **3.4.1 Resistencia a la Compresión Diagonal**

La combinación de una resistencia a la tensión relativamente baja y el comportamiento frágil de la albañilería dan como resultado que sea susceptible a grietas de tensión. En realidad, en edificios de albañilería sometidos a cargas, o en los muros de corte que soportan cargas verticales y resisten las cargas laterales en el plano debido a sismos, la causa de la mayor parte de las fallas es la grieta de tensión. Esta combinación de cargas crea esfuerzos de tensión importantes en el muro conduciendo a grietas de tensión cuando la resistencia a la tensión de la albañilería es excedida.

La prueba de compresión diagonal está basado sobre un murete de sección cuadrada el cual es cargado a través de zapatos de carga sobre dos esquinas opuestas de la diagonal del espécimen, tal como lo describe la ASTM E519. El modo de falla para esta prueba es usualmente a través de la formación de la grieta diagonal paralela a la línea de acción de la fuerza de compresión. **(Ref. 10)**

Una dificultad con la prueba de tensión diagonal es que el campo de tensión tiende a obligar a las grietas a seguir la línea de acción de la carga de compresión. Esta no puede ser la trayectoria de resistencia última para otras condiciones límite. Además, los zapatos de carga en los extremos opuestos de la diagonal pueden transferir carga de compresión a través de un puntal de compresión bastante grande formado después de la aparición de las grietas diagonales. Algunas veces este puntal de compresión puede llevar a cargas mucho más altas que aquellas requeridas para producir la grieta diagonal.

### **Descripción de los Especímenes**

Se construyeron cinco muretes para cada tipo de ladrillo (A, B, y C), cada uno de seis hiladas con dos unidades y media por cada hilada, se usó mortero sin cal tipo P-2 (Cemento: Arena 1:5) y una junta de 2cm, los cuales han sido ensayados a compresión diagonal. Los materiales y la mano de obra utilizados en la construcción de estos fue el mismo que el utilizado en la construcción de los muros.

### **Descripción del Ensayo**

El ensayo ha sido realizado de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Antes de ensayar los especímenes se coloca un recubrimiento de diablo fuerte en dos de los extremos diagonales del espécimen, de manera que se nivelen a 90° las esquinas sobre las cuales se colocan los zapatos de carga.

Los zapatos se empernan en la base de apoyo y en la parte inferior del actuador, éstos deben coincidir con los ejes centrales de las superficies inferior y superior de la máquina de ensayo.

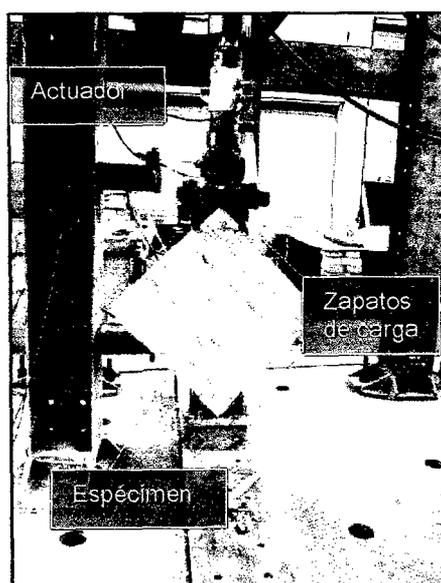


Foto 3.12 Se muestra el espécimen y el equipo de ensayo

- Finalmente, se fija el espécimen y se procede a cargar de manera continua hasta llegar a la rotura a una velocidad aproximada de 1 tonelada por minuto.

### **Mecanismos Generales de Falla**

Se espera que la orientación del esfuerzo principal de tensión y las magnitudes relativas a los esfuerzos afecten en el plano la fuerza de tensión de la albañilería. Sin embargo, una investigación comprehensiva del agrietamiento de tensión en el plano exige un gran número de grandes especímenes de prueba para incluir todos los efectos. Por consiguiente, un compromiso entre la representación directa y la viabilidad nos ha llevado al uso del ensayo de rotura por tensión para proporcionar aproximaciones razonables del esfuerzo y de los modos de falla.

### **Equipo de Ensayo e Instrumentos**

- Actuador de 25 t de capacidad.
- Dos zapatos de carga de acero.

### **Resultados obtenidos**

El esfuerzo de compresión diagonal ha sido obtenido mediante la siguiente expresión:

$$f_d = 0.707 * P / ((H+L)/2) / b$$

Donde:

P = Máxima fuerza actuante

L, H, b = ancho, altura y espesor del espécimen

Se ha dividido la fuerza de rotura entre el área bruta ya que los alvéolos se encontraban llenos de mortero, cabe señalar que éstos fueron llenados de manera natural al ir asentando las unidades, ya que ese no era el objetivo.

Se hallaron los siguientes resultados:

Tipo de unidad	fd prom (Kg/cm <sup>2</sup> )	S (Kg/cm <sup>2</sup> )	C.V. (%)	X (Kg/cm <sup>2</sup> )
A	20	4.9	25	14.9
B	12	0.1	1	12.0
C	14	1.0	7	13.1

Tabla 3.17

**Nota:** Los cálculos respectivos se encuentran en la HOJA DE RESULTADOS No 16.

El esfuerzo de compresión diagonal característico de los muretes (fd) es el valor promedio menos la desviación standard. En el Gráfico 3.5 se observa la curva obtenida de la relación entre el porcentaje de sólidos de las unidades estudiadas y la resistencia a la compresión del murete (fd), también se presenta la ecuación de la curva de tendencia que mejor representa los resultados obtenidos.

### **Tipo de Fallas que presentaron los Especímenes**

El tipo de falla que se presentó en general fue el de una grieta principal aproximadamente diagonal que recorrió las juntas en algunas zonas y atravesó el ladrillo en otras. Para una mejor ilustración véase el anexo de fotos.

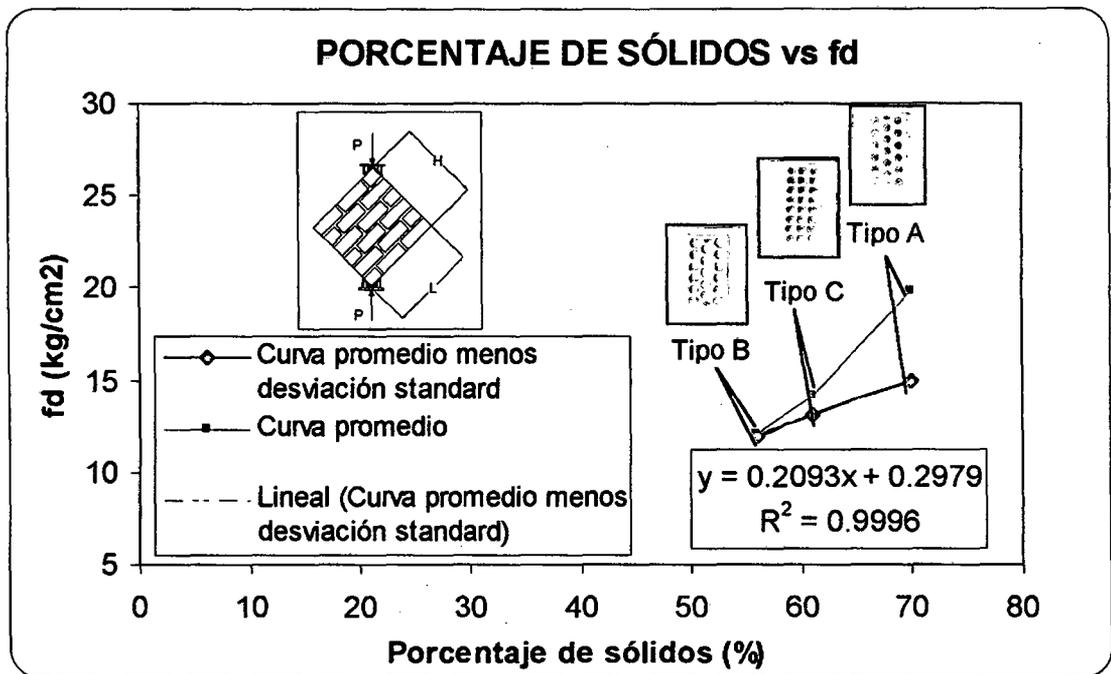


Gráfico 3.5 Relación entre el porcentaje de sólidos y la resistencia a la compresión diagonal de un murete de albañilería

- Del gráfico puede deducirse una relación lineal entre el porcentaje de sólidos y la resistencia a la compresión diagonal ( $v'm$ ). La ecuación determinada posee un alto coeficiente de regresión. Podemos decir que por cada 1% de disminución en el porcentaje de sólidos, la resistencia a la compresión diagonal está disminuyendo 0.21 Kg/cm².

---

## **CAPÍTULO IV :**

# **ESTUDIO EXPERIMENTAL DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA SOMETIDOS A CARGAS ESTÁTICO CÍCLICAS**

---

### **4.1 Características de los Especímenes**

El estudio realizado por Gibu y Serida en el año 1993 ha servido de parámetro para desarrollar la presente investigación, en ese entonces se ensayaron ocho muros de albañilería de arcilla de diferentes características constructivas utilizando unidades de albañilería que clasificaron como sólido según la Norma Técnica Peruana, de todos éstos, los muros MCST1 y MCST2 son los que hemos tomado como modelos comparativos, los cuales de ahora en adelante los denominaremos Muro Standard1 y Muro Standard2.

Se ha tratado, en lo posible, de crear las mismas condiciones de trabajo que el estudio realizado por Gibu y Serida, para lo cual se ha empleado los mismos tipos de materiales: cemento ANDINO, acero corrugado SIDER-PERU,

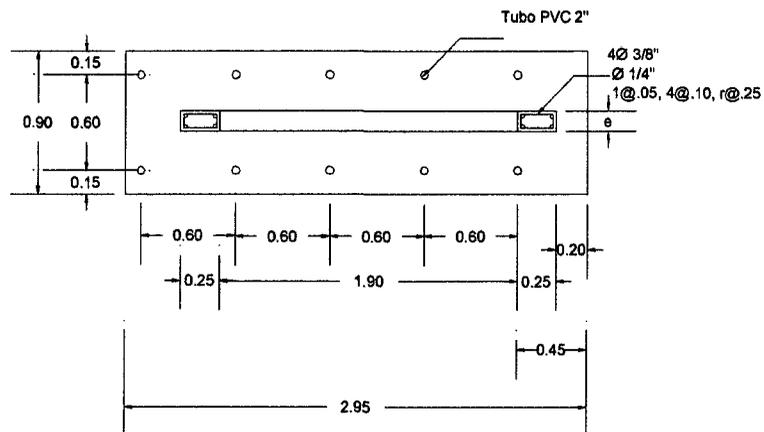
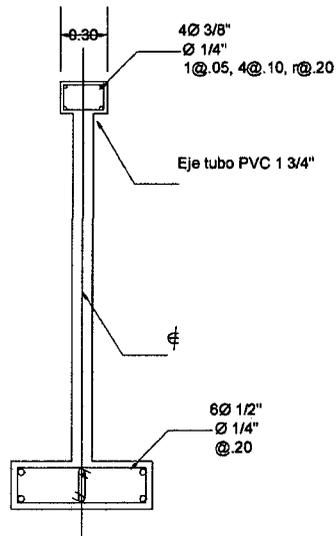
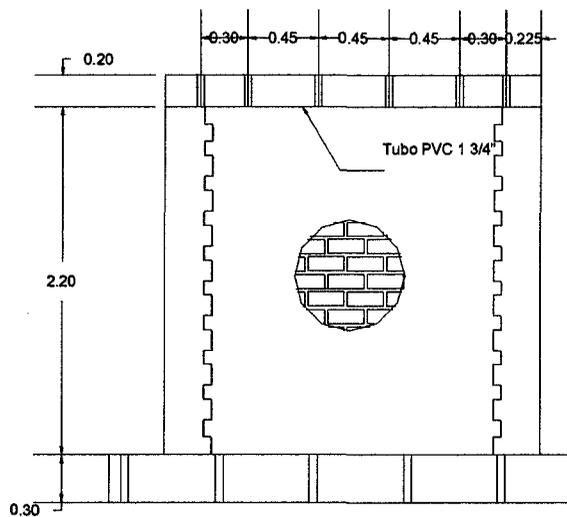
ladrillos de la fábrica REX y agregados que cumplan las exigencias de las normas. Las dimensiones de los muros del tipo A y B son de 240 cm de longitud, 240 cm de altura y de 13 cm de espesor; los muros del tipo Standard poseen las mismas características geométricas a excepción del espesor que es de 12 cm.

Para la realización de los ensayos en muros se eligieron dos de las unidades de albañilería estudiadas, la de menor y mayor porcentaje de vacíos (ladrillo tipo A y B), las cuales ya se han descrito en el capítulo anterior. Se realizó el ensayo estático cíclico en ocho muros (cuatro con cada tipo de ladrillo) basados en las mismas características y especificaciones técnicas de los muros Standard, las cuales se muestran en las Láminas 01 y 02. El concreto utilizado tiene una resistencia promedio de  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$  (Tabla 4.1), la dosificación fue calculada de acuerdo a las características del agregado, para lo cual se realizaron los ensayos en arena y piedra respectivos.

### **Proceso Constructivo**

Para la construcción de los especímenes se siguieron los procedimientos comunes utilizados en obra para muros de albañilería, de acuerdo a las siguientes etapas:

- Debido a que el espécimen fue construido en las instalaciones del Laboratorio de Estructuras del CISMID directamente sobre la losa, se colocó plástico impermeable en el área destinada para la construcción con el fin de evitar la adherencia con la base del espécimen.



### ESPECIFICACIONES

RESISTENCIA DEL CONCRETO  $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIA DEL ACERO  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

MORTERO 1:5

EXTREMOS DEL MURO: ENDENTADO DE 5 cm

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA VARIACION DEL AREA NETA EN LADRILLOS DE ARCILLA Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO SIMORESISTENTE DE MUROS CONFINADOS

TESISTA: RAMÍREZ ORÉ MÓNICA C.

ASESOR: Dr. CARLOS ZAVALA TOLEDO

**L-01**

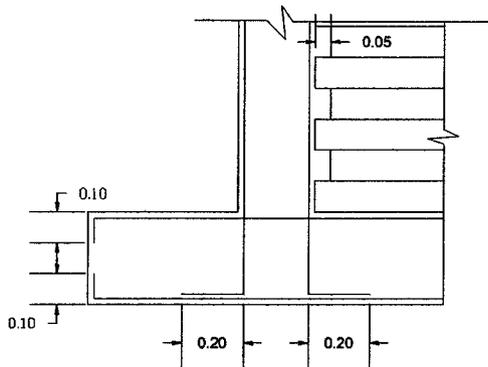
LAMINA: MURO CONFINADO

DETALLES

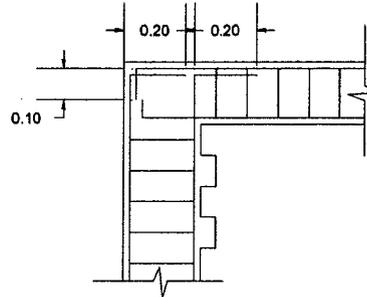
ESCALA: S/E

DIBUJO: M.R.O.

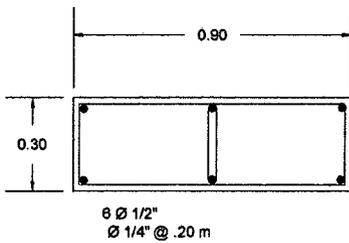
FECHA: DICIEMBRE 1998



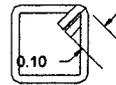
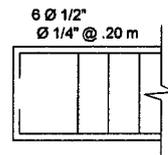
DETALLE DE ANCLAJE DE LA COLUMNA EN LA CIMENTACION



DETALLE CONEXION VIGA COLUMNA



DETALLE DE REFUERZO EN CIMENTACION



DETALLE TIPICO DE GANCHO

## ESPECIFICACIONES GENERALES

### 1) MATERIALES:

RESISTENCIA DEL CONCRETO  $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

RESISTENCIA DEL ACERO  $f_y = 4\,200 \text{ Kg/cm}^2$

MORTERO 1 : 5

### 2) RECUBRIMIENTOS

VIGAS Y LOSAS: 2 cm

COLUMNAS : 2 cm

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA VARIACION DEL AREA NETA EN LADRILLOS DE ARCILLA Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO SISMORESISTENTE DE MUROS CONFINADOS

TESISTA: RAMÍREZ ORÉ MÓNICA C.

ASESOR: Dr. CARLOS ZAVALA TOLEDO

L-02

LAMINA: MURO CONFINADO

DETALLES

ESCALA: S/E

DIBUJO: M.R.O.

FECHA: DICIEMBRE 1998

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

IDENTIFICACION	M1-A	M2-A	M3-A	M4-A	M1-B	M2-B	M3-B	M4-B
ALTURA ( cm )	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
DIAMETRO ( cm )	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
AREA ( cm <sup>2</sup> )	176.72	176.72	176.72	176.72	176.72	176.72	176.72	176.72
CARGA ( Kg )	31880.00	29520.00	31420.00	30100.00	29460.00	32280.00	32260.00	32360.00
RESISTENCIA ( Kg/cm <sup>2</sup> )	180.40	167.05	177.80	170.33	166.71	182.67	182.55	183.12
RELACION ALTURA /DIAMETRO	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
FACTOR DE CORRECCION	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RESISTENCIA FINAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	180	167	178	170	167	183	183	183

Tabla 4.1: Se muestran los valores de los ensayos de compresión en probetas de concreto endurecido tomado de cada uno de los muros ensayados.

- Se habilitó el acero de construcción para las bases, columnas, vigas, ganchos de anclaje y estribos de acuerdo a las especificaciones técnicas detalladas.
- Se habilitó el encofrado de la base, después se colocó el acero de refuerzo de ésta y los tubos de PVC que sirvieron para alojar los pernos de anclaje que conectaron la base a la losa de ensayo.
- Se colocó el fierro de las columnas y los ganchos de anclaje amarrándolos con alambre en las posiciones correspondientes.
- Se realizó el vaciado del concreto de la base, siguiendo las recomendaciones del diseño de mezcla. Se extrajeron probetas que fueron ensayadas a compresión para verificar la resistencia a la compresión del concreto. Se efectuó la compactación y vibración de la mezcla con la finalidad de hacerla homogénea y evitar las cangrejeras. La zona central de la base sobre la que se levantaría el muro se rayó antes de fraguar el concreto para obtener una mejor adhesión con el ladrillo.
- La superficie de asentado se limpió de partículas sueltas y humedeció antes de asentar la primera hilada. Se extendió el mortero en el área en que se construiría el muro y luego se colocaron "las maestras", se chequeó el nivel con el cordel fijado mediante clavos en los extremos. Se asentó ladrillo por ladrillo sobre la "cama de asiento" con el mango de la picota, chequeando asimismo la verticalidad con la plomada. Las unidades de albañilería fueron asentadas después de una hora de haber sido regadas con agua. El mortero se colocó procurando que todas las juntas horizontales y verticales quedaran llenas de mortero.
- Los muros se construyeron a plomo y en línea con la finalidad de evitar excentricidades del tipo accidental y fallas prematuras por aplastamiento del

mortero. Se asentó como máximo hasta la mitad de la altura de entresuelo (1.2 m) en una jornada de trabajo. Se dejó una conexión dentada de 5 cm en los extremos del muro.

- Una vez que se terminó el asentamiento del muro se procedió al encofrado y vaceado de las columnas. En el caso de los muros M4-A y M4-B previamente se colocaron los strain gauges en el acero de refuerzo.
- Finalmente, se encofró la viga y se colocaron los tubos de PVC que sirvieron para empujar la viga de aplicación de carga al espécimen, luego se procedió con el vaceado del concreto, también se extrajeron probetas para ser ensayadas.

#### **4.2 Estructura Mecano de Carga**

El Laboratorio de Estructuras del CISMID cuenta con una losa y un muro de reacción contruidos de concreto pretensado con las características necesarias para poder soportar las fuerzas aplicadas a través de los especímenes. La losa de ensayo, tiene un área de 22.00x11.00 m<sup>2</sup> y un espesor de 0.80 m, tiene capacidad para soportar una carga distribuida de 10 t/m<sup>2</sup> y un momento flector de 1500 t-m. El muro de reacción, tiene un área de 9.00x11.00 m<sup>2</sup> y una capacidad de 450 t por corte y 3300 t-m por flexión. La losa y el muro poseen conductos de 100 mm de diámetro espaciado cada 600 mm en direcciones ortogonales, éstos sirven para que a través de ellos pasen los pernos de acero que fijarán el espécimen a la losa y el actuador al muro.

### **4.3 Instrumentación y Sistema de Aplicación de Carga**

Los actuadores SHIMADZU de aplicación de carga tienen la función de simular el peso que soporta el espécimen (actuador vertical) o la acción de la fuerza sísmica o de viento (actuador horizontal), tienen una capacidad de +/- 25 t y de +/- 200 mm de carrera del émbolo. Estos actuadores son controlados por un sistema de servo-control electro - hidráulico SHIMADZU 9525.

El sistema de servo control está conformado por un panel selector de alimentación, un módulo de entrada, un servocontrolador y una servo válvula. La entrada, dada como carga o desplazamiento, es aplicada al módulo de entrada en forma manual o a partir de diversas fuentes externas tales como generadores de funciones, lectoras de tipo magnético o computadora conectados en línea con el sistema de servo control. La señal de entrada, incremento de carga o desplazamiento, es convertida en un cambio de voltaje en el servo controlador. A la vez esta señal eléctrica es convertida por medio de la servo válvula para regular el flujo del fluido a una gran presión.

Con la finalidad de evaluar el comportamiento estructural de los especímenes es necesaria la medida de los desplazamientos mediante transductores. Las señales de los transductores de desplazamiento son transmitidas primero al scanning box, luego las señales son enviadas a la unidad de adquisición de datos UCAM 5BT Kyowa en la sala de control. En la unidad de adquisición de datos las señales analógicas son amplificadas y convertidas a digitales por medio de los convertidores A/D (analógico-digital) a través de una tarjeta de GPIB. Estos datos digitalizados son almacenados en el

disco duro de la computadora IBM de procesamiento de datos, la cual está conectada con el convertidor A/D. **(Ref. 6)**

Cuando el espécimen a ser ensayado es a escala natural o a escala grande es necesario usar el procedimiento de ensayo con computadoras en línea, esto se debe a que en estos casos hay una gran cantidad de adquisición de datos de cargas, desplazamientos y esfuerzos durante el ensayo, de esta manera podemos desarrollar el ensayo de forma más eficaz. Este sistema de ensayo con computadora en línea está compuesto de una computadora para el servo control, los servo controladores, los actuadores, la unidad de adquisición de datos y una computadora para el procesamiento de datos. La computadora del procesamiento de datos está conectada a la unidad de adquisición de datos y a la computadora del servo control. Esta computadora está compuesta del cerebro principal, del sistema de teclado, una impresora y una pantalla gráfica. La computadora recibe los datos de la unidad de adquisición, los cuales son seleccionados y reducidos mediante un programa de cómputo y los datos procesados pueden ser enviados a los dispositivos de salida. **(Ref. 11)**

#### **4.4 Historia de Desplazamientos a Controlar**

El ensayo realizado fue el estático cíclico, para ello se aplicaron cargas cuasi-estáticas laterales cíclicas. Para cada nivel de distorsión se tomaron dos ciclos y fueron controlados a través de desplazamientos calculados por medio de las siguientes distorsiones angulares:  $1/3200$ ,  $1/1600$ ,  $1/800$ ,  $1/400$ ,  $1/200$  y  $1/100$ . Para efectos del presente estudio se definió como distorsión a la relación del desplazamiento horizontal medido en el centro de la viga a la altura del centro de medición tomado desde la base a la cimentación tal como se

muestra en la Figura 4.1. Cabe mencionar que los desplazamientos calculados con dichas distorsiones son los llamados "objetivos iniciales", los cuales no pueden ser cumplidos con exactitud debido a que: el actuador se controla mediante una señal analógica obtenida de un convertidor D/A que tiene 12 bits, de lo que resulta que solo se puede ubicar el cabezal en posiciones a intervalos discretos; el sistema hidráulico no permite mantener tampoco el actuador en una posición fija, observándose vibraciones alrededor de la posición media; y la conexión del actuador al espécimen no es infinitamente rígida. Por ello, la historia de desplazamientos registrada para el espécimen resulta ser ligeramente distinta a la historia de desplazamiento teórica. **(Ref 17)**. El Gráfico 4.1 nos muestra la historia de desplazamiento teórica, en los Gráficos 4.2 al 4.9 podemos observar la historia de desplazamiento real registrada para cada uno de los especímenes.



Gráfico 4.1

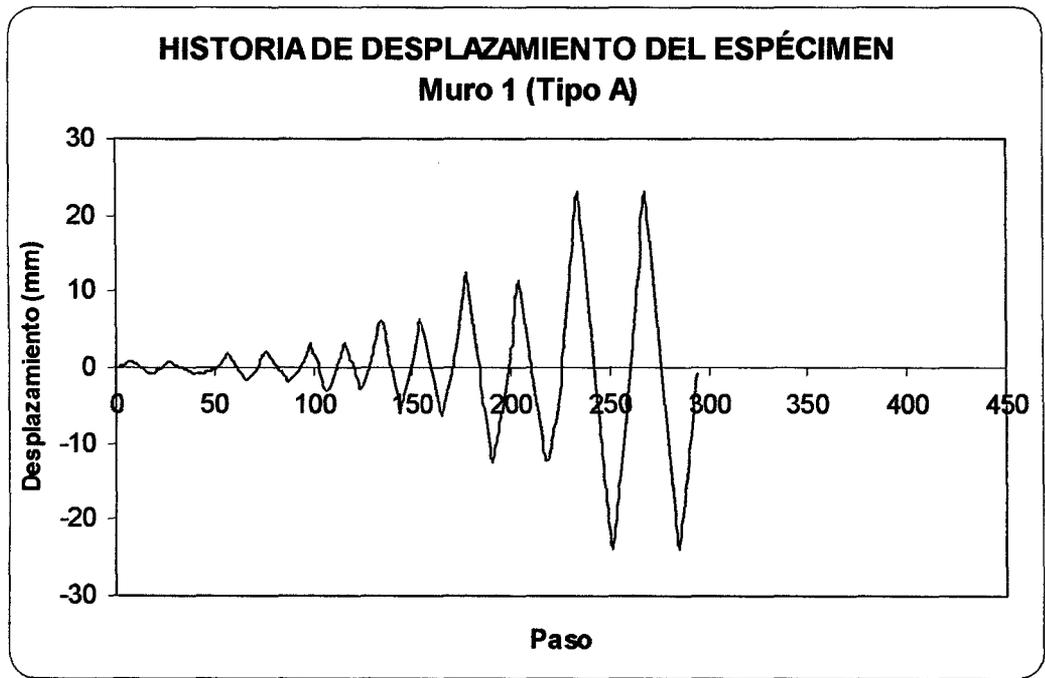


Gráfico 4.2

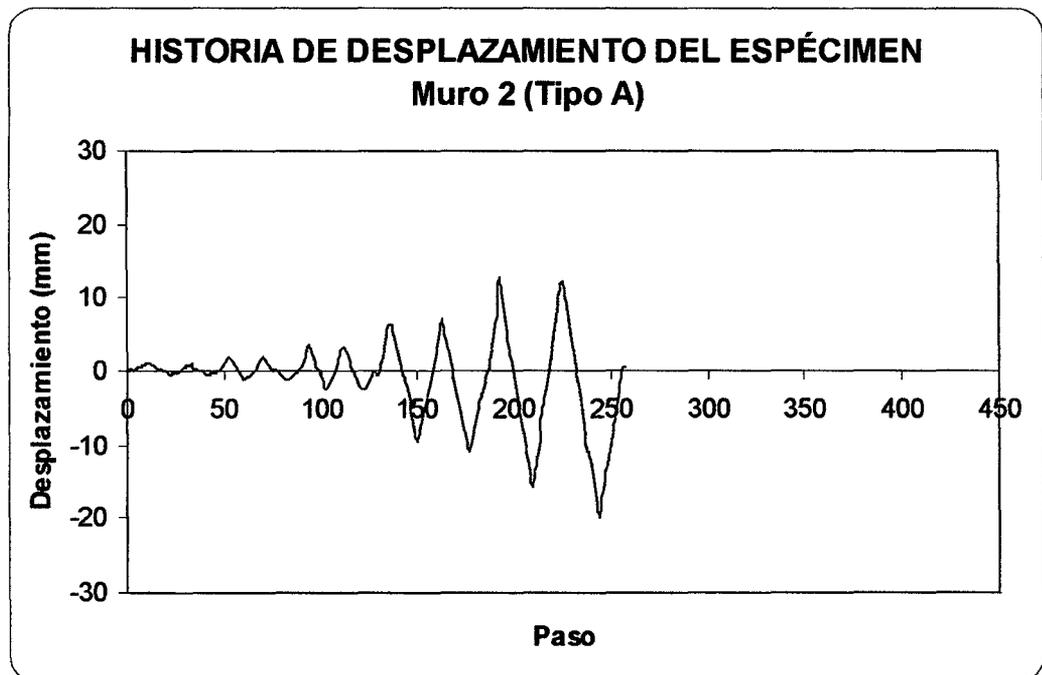


Gráfico 4.3

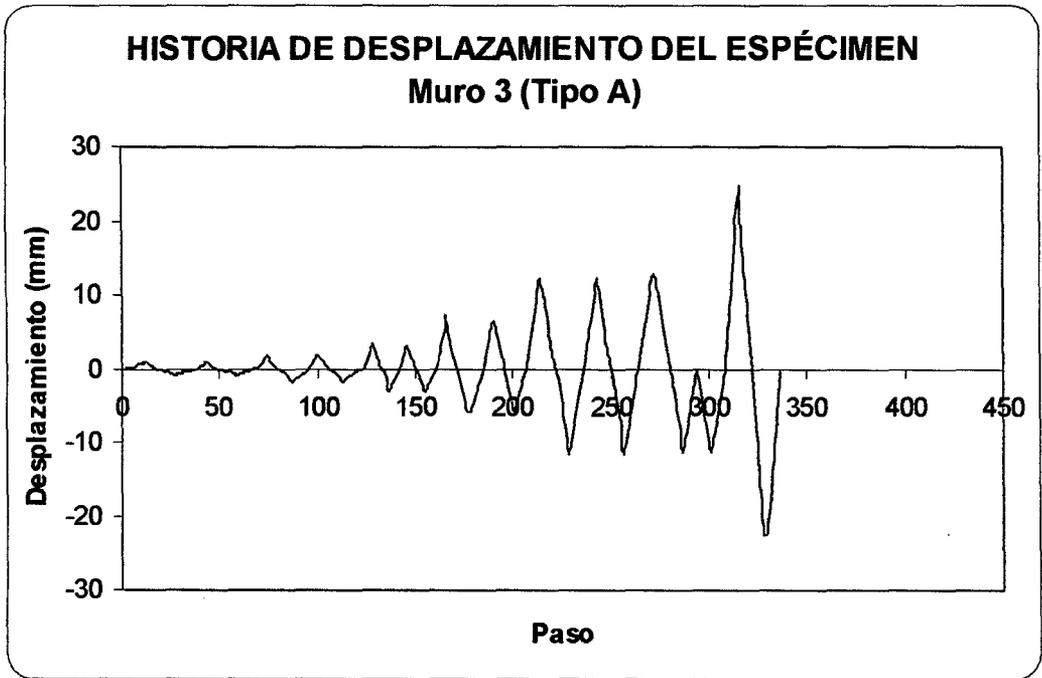


Gráfico 4.4

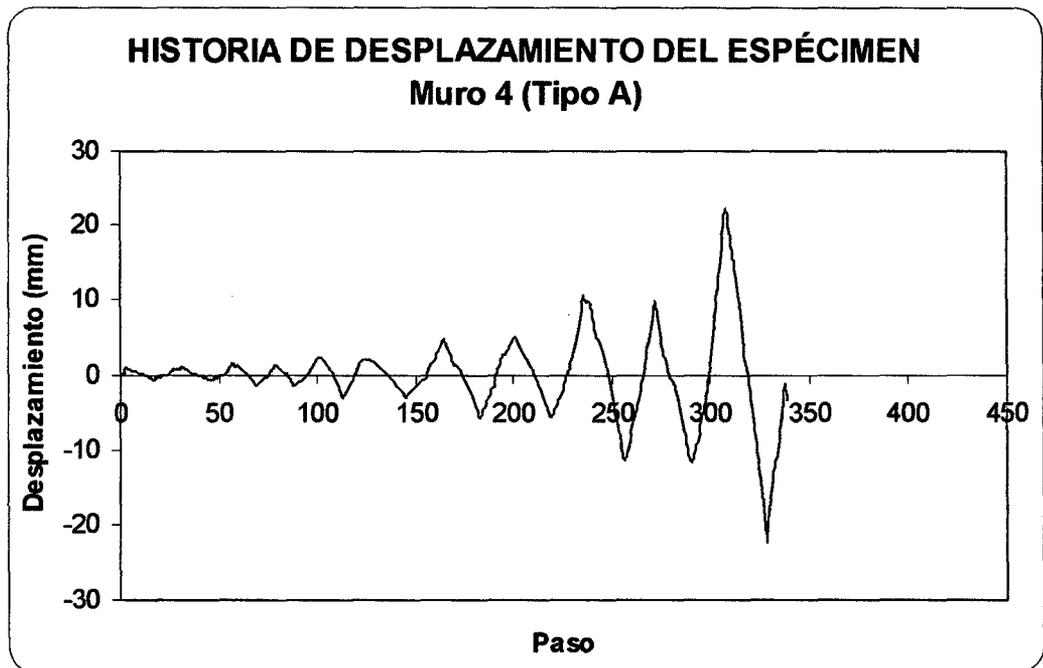


Gráfico 4.5

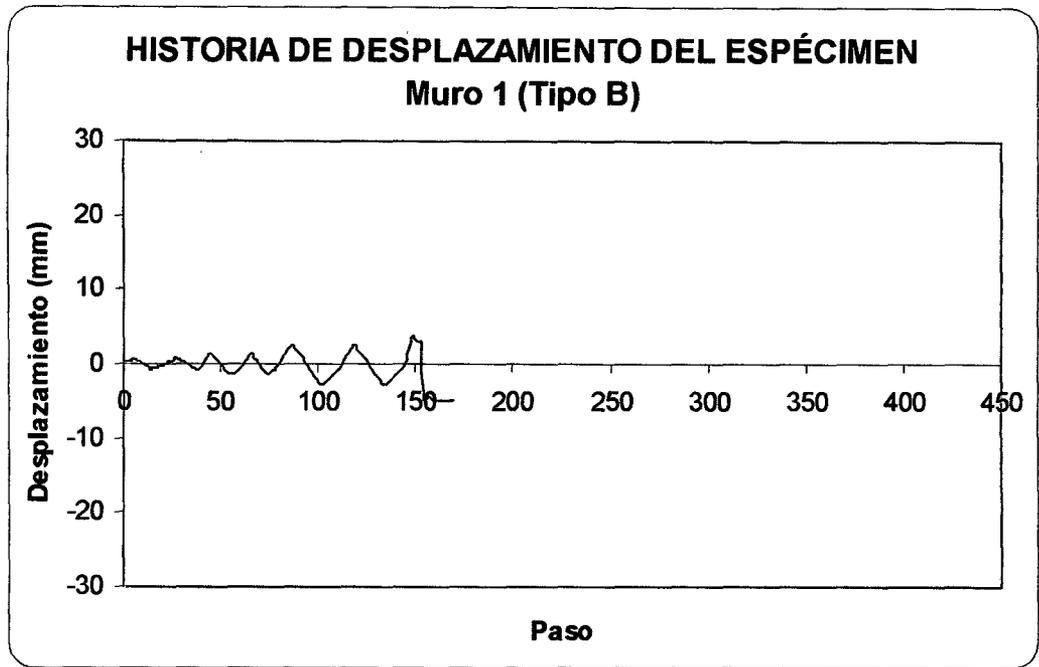


Gráfico 4.6

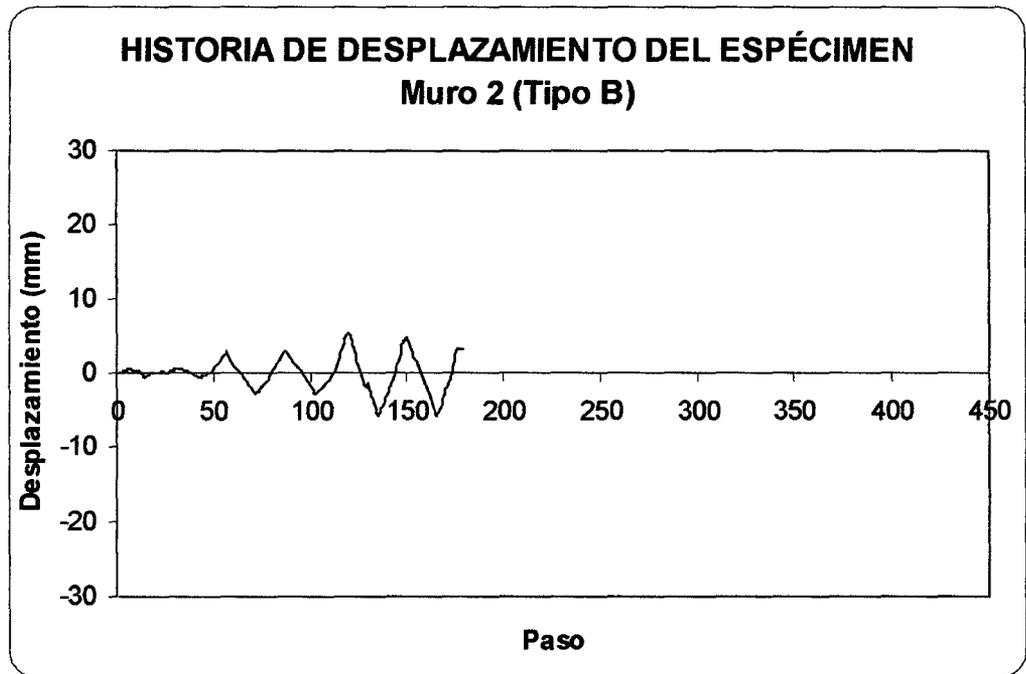


Gráfico 4.7

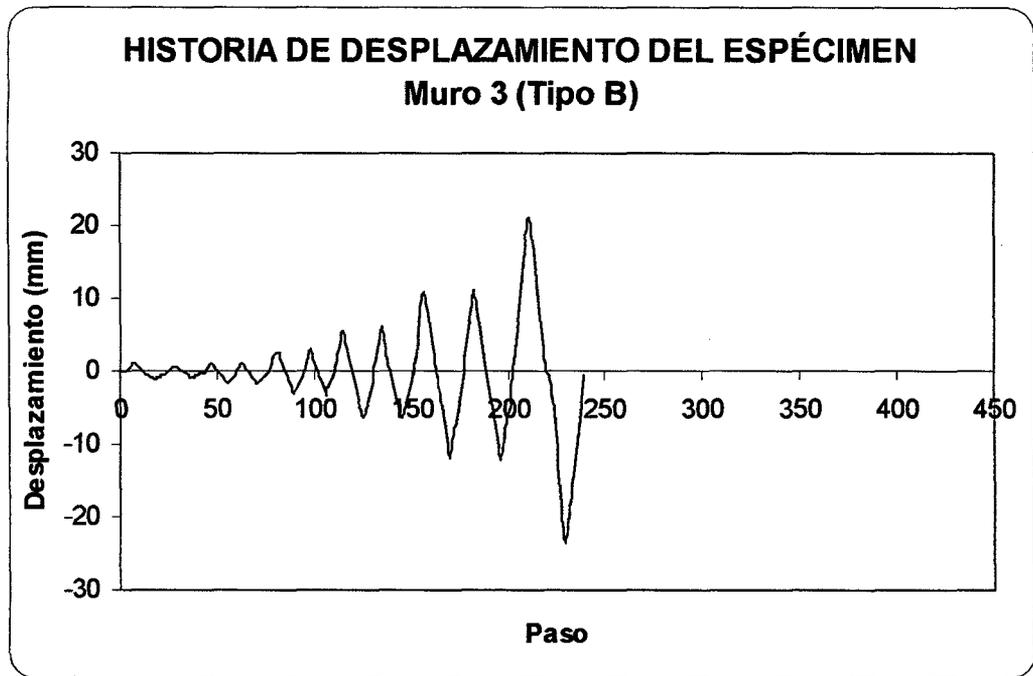


Gráfico 4.8

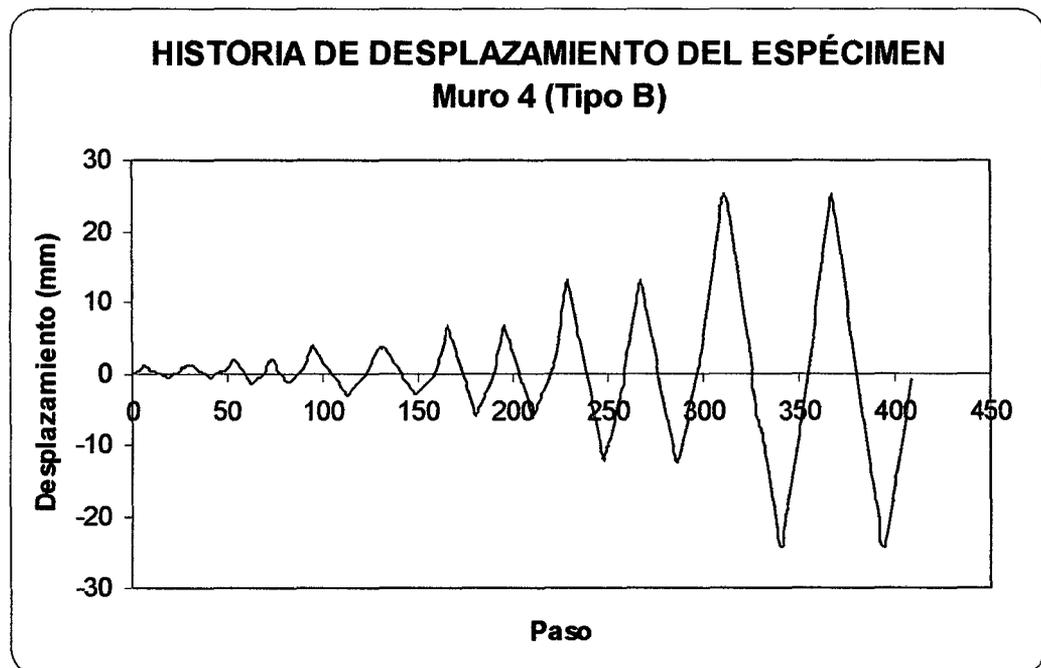


Gráfico 4.9

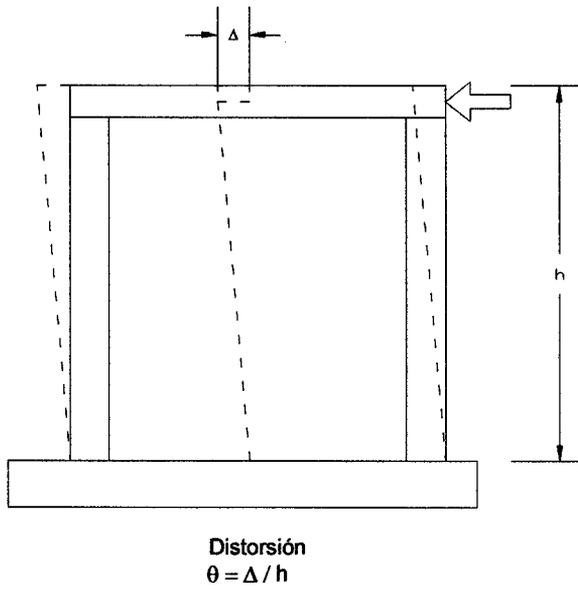


Figura 4.1: Cálculo de la distorsión angular

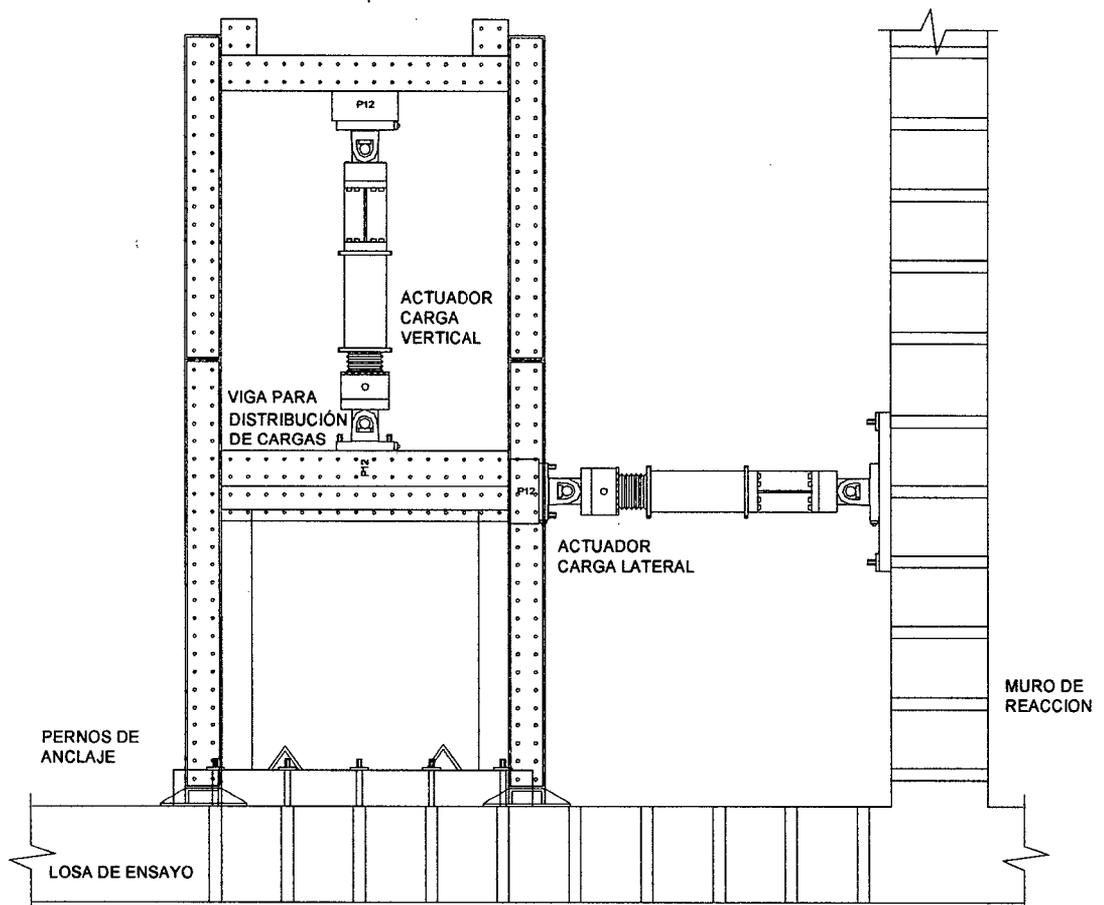


Figura 4.2: Especimen y Sistema de Carga

#### 4.5 Procedimiento del Ensayo

Los ensayos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Estructuras del CISMID de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los muros fueron transportados desde el lugar donde fueron construidos hasta la losa de ensayo mediante el puente grúa que posee el laboratorio, para ello se colocaron cables en los ganchos de anclaje ubicados en la losa de cimentación para tal cometido. Antes de colocar el muro se esparce una capa de arena fina en la losa de ensayo con la finalidad de lograr una mejor fijación del muro.

Cada uno de los especímenes se construyó sobre una viga de cimentación de concreto armado que sirve para anclarlo a la losa de ensayo a través de pernos especiales de acero, además de una viga superior que a su vez sirve para fijar una viga de acero que nos permite una distribución uniforme de la carga vertical y horizontal aplicada en el muro. Uno de los actuadores es fijado en la parte lateral del espécimen a través de planchas y pernos de acero, este a su vez se encuentra empernado al muro de reacción. La carga de aplicación vertical fue de 12 t correspondiente a una edificación de tres niveles aplicada a través del actuador vertical, el cual se encuentra sujeto a un castillo de acero que es montado para realizar este ensayo. **(Ref. 8)**

En la Figura 4.3 el transductor de desplazamiento de cuerpo rígido en la base es el "111", utilizado para corregir los desplazamientos absolutos de los transductores ubicados a los costados del muro, convirtiéndolos en

desplazamientos relativos. Los transductores “101”, “102”, “103” y “104” corresponden a los medidores de desplazamiento horizontal cuando el espécimen es jalado y empujado. Se colocaron también dos transductores de medición horizontal principales en el eje central de la viga de acero de aplicación de carga, éstos midieron el desplazamiento principal en el sentido de la carga y son los llamados “100” y “monitor”. Los transductores “105”, “106”, “107”, “108”, “109” y “110” forman parte de la roseta de deformaciones, la cual consiste en instalar un marco central en una de las caras del muro, de un tamaño tal que represente el tamaño de éste, para ello se colocaron cuatro planchas de acero en cada uno de los vértices, en los cuales se colocó el hilo metálico de forma diagonal tal como lo indica la Figura 4.3, éstos transductores son los que pueden medir las deformaciones del plano del muro. Todos los transductores fueron fijados a la mitad de su carrera antes de iniciar el ensayo para poder medir los desplazamientos correspondientes en ambos sentidos (empujando y jalando). (Ref. 17)

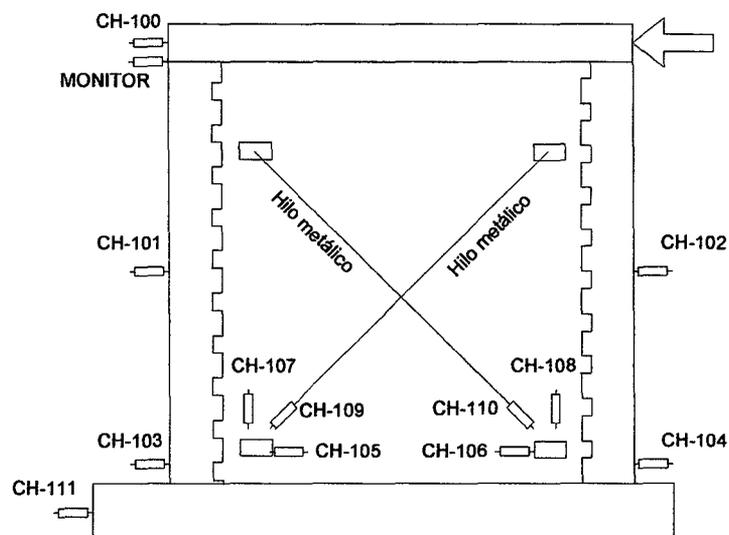


Figura 4.3 Ubicación de los transductores en el espécimen

Además, en cada uno de los muros M4-A y M4-B se colocaron cuatro strain gauges (dos en cada una de las varillas de refuerzo exteriores de las columnas) aproximadamente a 5 cm sobre la base de cimentación, con la finalidad de obtener la deformación unitaria en el acero de refuerzo tal como lo indica la Figura 4.4. Para mayor detalle del procedimiento seguido véanse las fotos correspondientes.

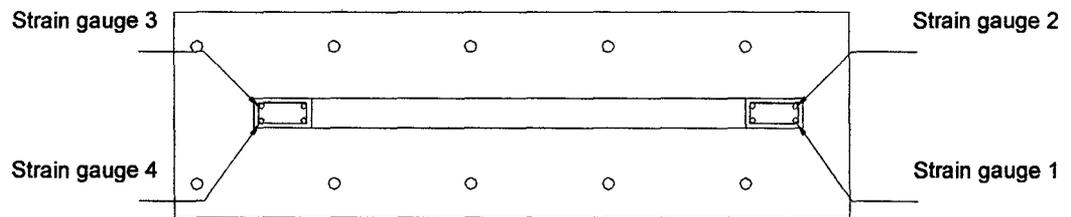


Figura 4.4 Posición de los strain gauges en planta.

En cada uno de los puntos se irán registrando paso a paso los desplazamientos obtenidos para cada incremento de carga durante el ensayo. Los desplazamientos y las cargas son almacenados por el sistema de adquisición de datos para su procesamiento posterior.

#### 4.6 Resultados de los Especímenes:

A continuación se presentan los resultados correspondientes a cada uno de los especímenes, luego de haber procesado los datos. Para cada nivel de distorsión se realizaron dos ciclos de carga y descarga. Una vez obtenida la respuesta del espécimen a través de los desplazamientos y la correspondiente fuerza aplicada se pueden obtener las curvas de histeresis, las curva de comportamiento, las curvas de degradación de rigidez y la de disipación de energía para cada uno de ellos.

#### 4.6.1 Curvas de Histeresis

La curva de histeresis es presentada de manera individual para cada uno de los muros en la gráfica de la Carga Lateral Aplicada vs el desplazamiento del espécimen, como podemos observar este gráfico ocupa el primer y tercer cuadrante, es decir, existen cargas laterales positivas y negativas, lo cual ocurre ya que éste es un ensayo estático cíclico y la carga se aplica tanto empujando como jalando.

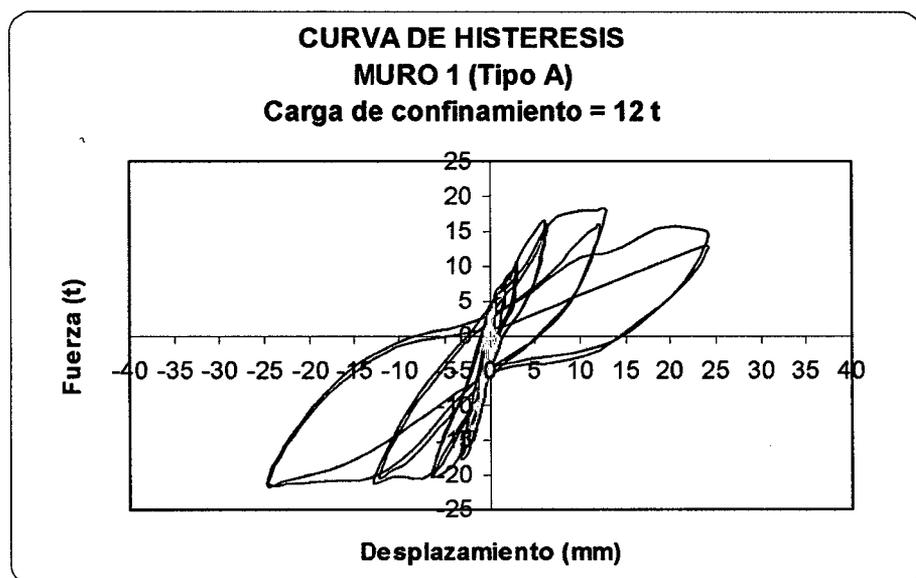


Gráfico 4.10: Este muro fue ensayado hasta llegar a una distorsión máxima de 1/100.

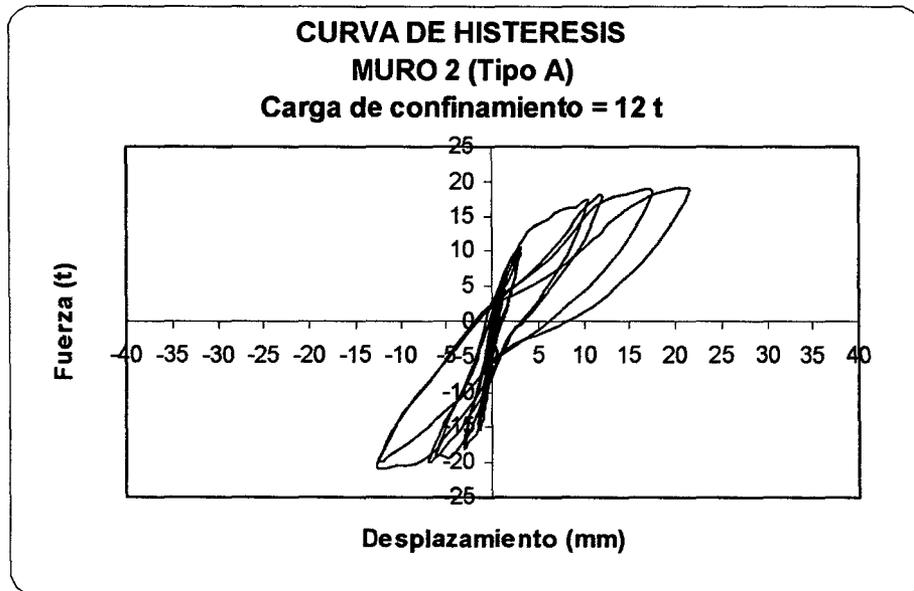


Gráfico 4.11: Este muro fue ensayado hasta llegar a una distorsión máxima de 1/200. Una de sus columnas presentó problemas de cangrejas en la zona central, ésta fue resanada picando la zona, removiendo los gránulos sueltos, humedeciéndola y rellenándola de concreto.

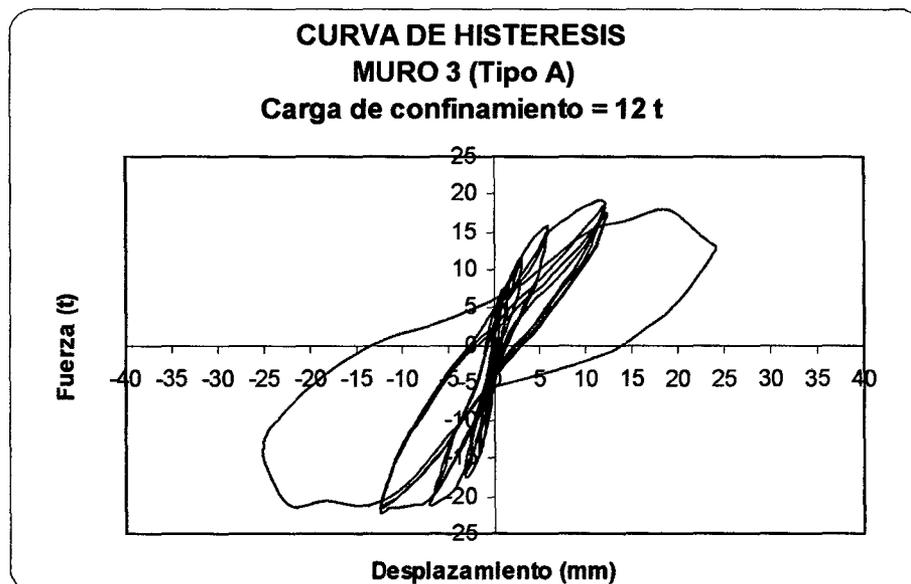


Gráfico 4.12: Este muro fue ensayado hasta llegar a una distorsión máxima de 1/100.

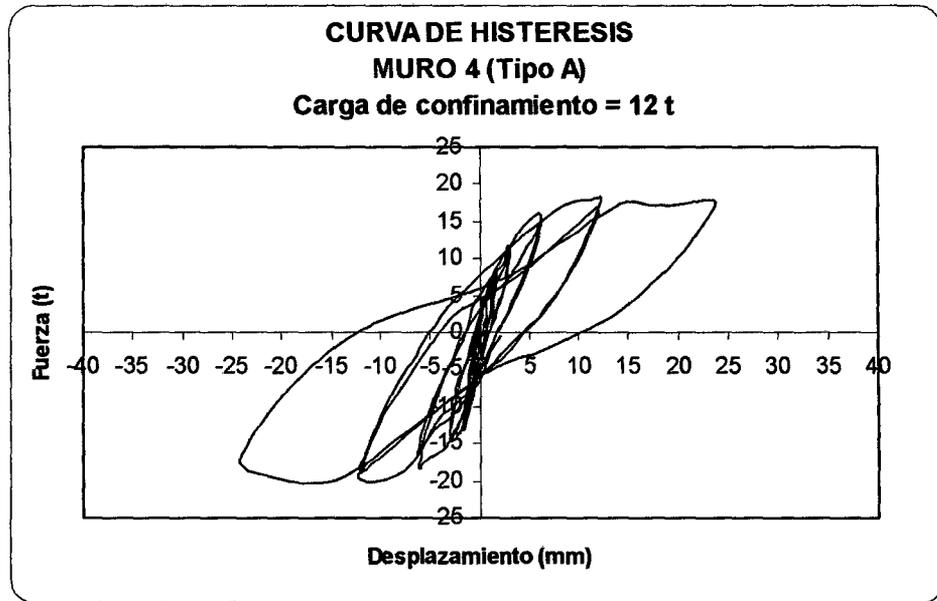


Gráfico 4.13: Este muro fue ensayado hasta llegar a una distorsión máxima de 1/100.

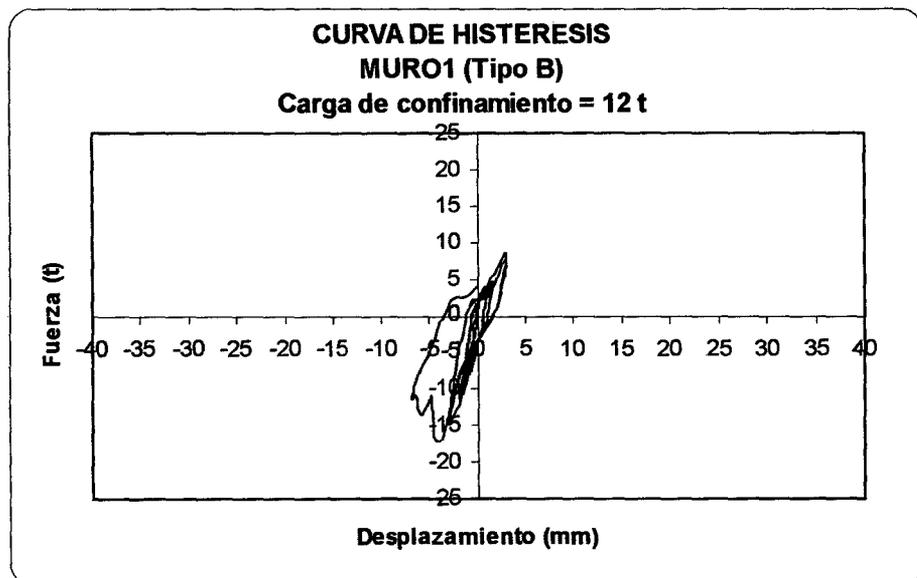


Gráfico 4.14: Este muro fue ensayado hasta llegar a una distorsión máxima de 1/800.

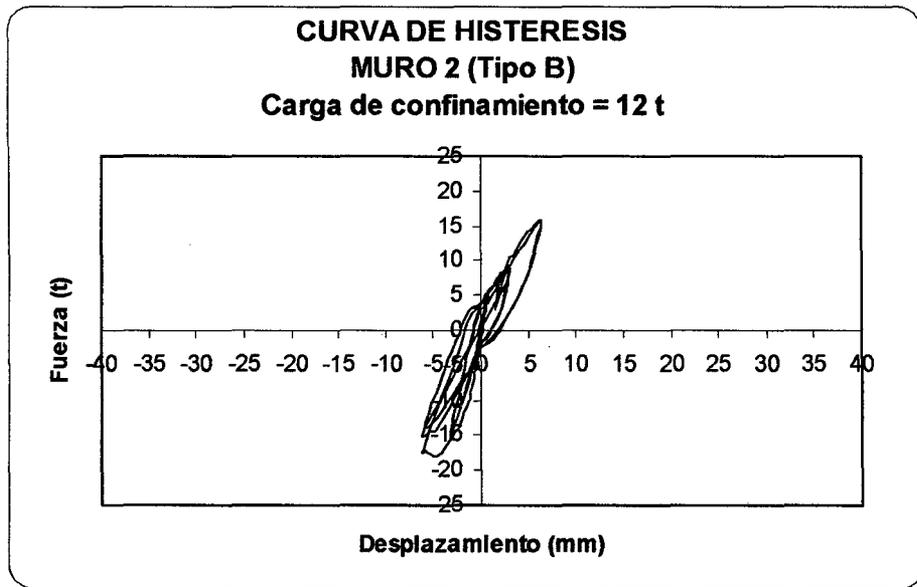


Gráfico 4.15: Este muro fue ensayado hasta llegar a una distorsión máxima de 1/400.

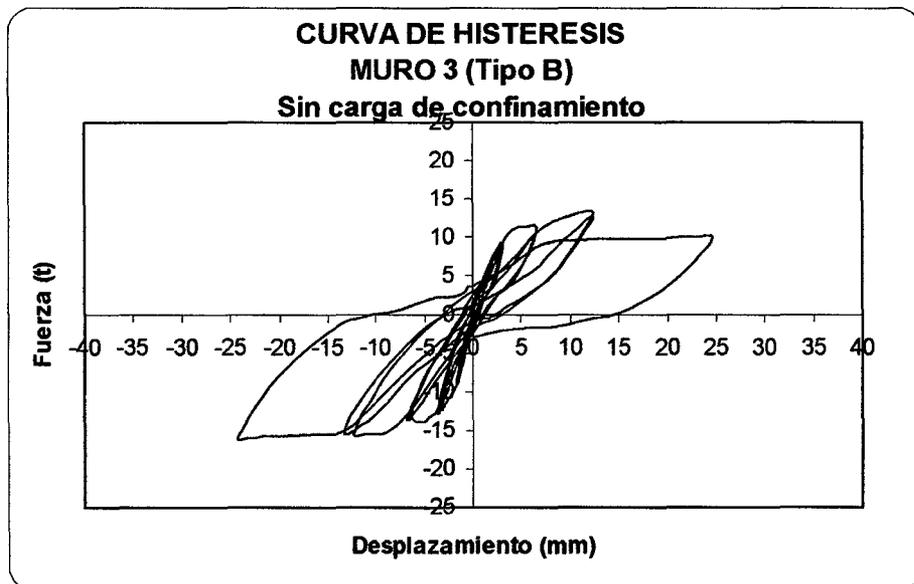


Gráfico 4.16: Este muro fue ensayado hasta llegar a una distorsión máxima de 1/100.

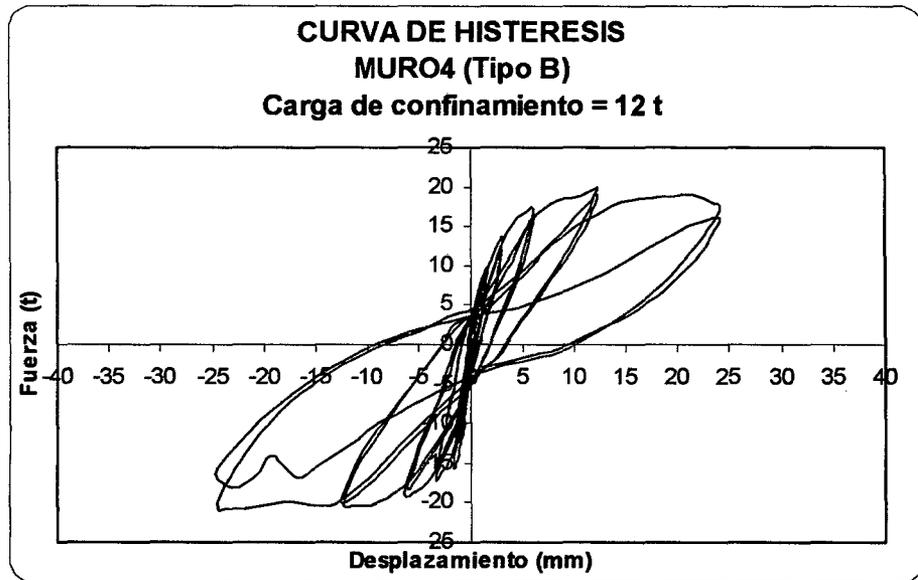
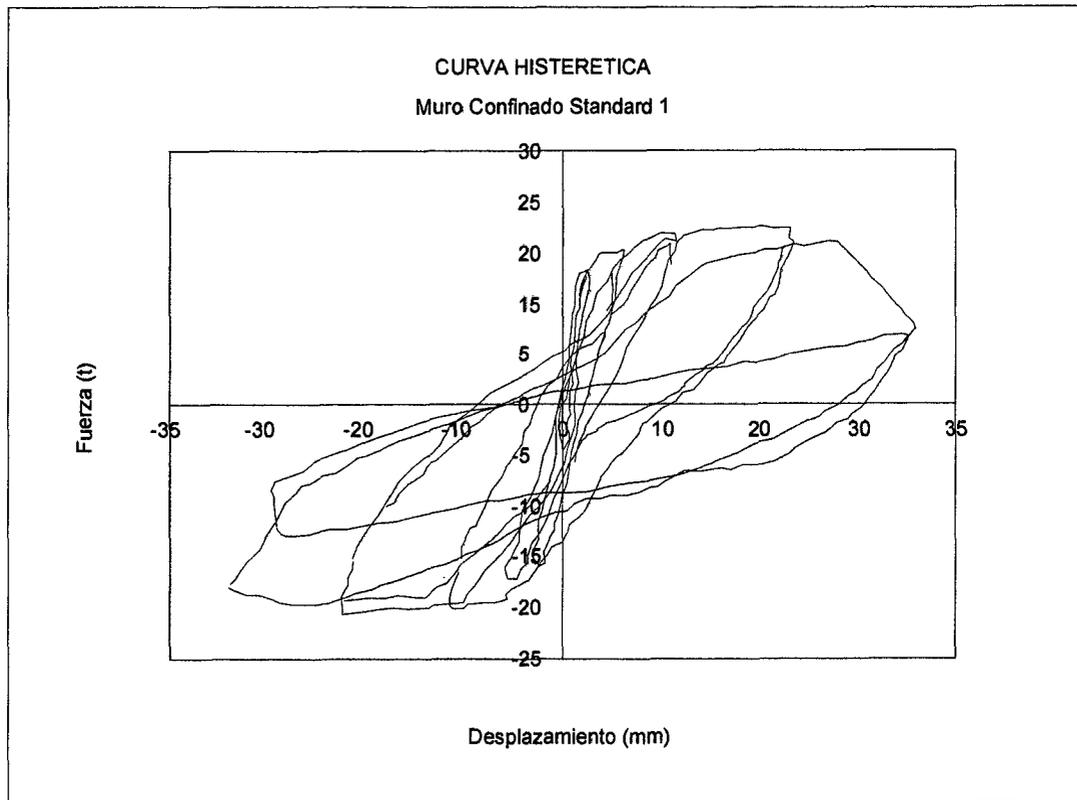
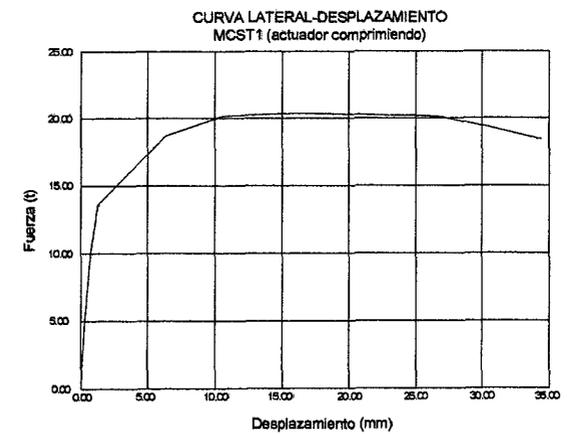
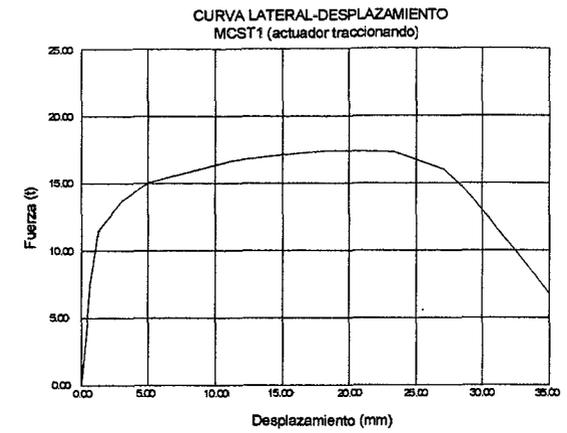


Gráfico 4.17: Este muro fue ensayado hasta llegar a una distorsión máxima de 1/100.

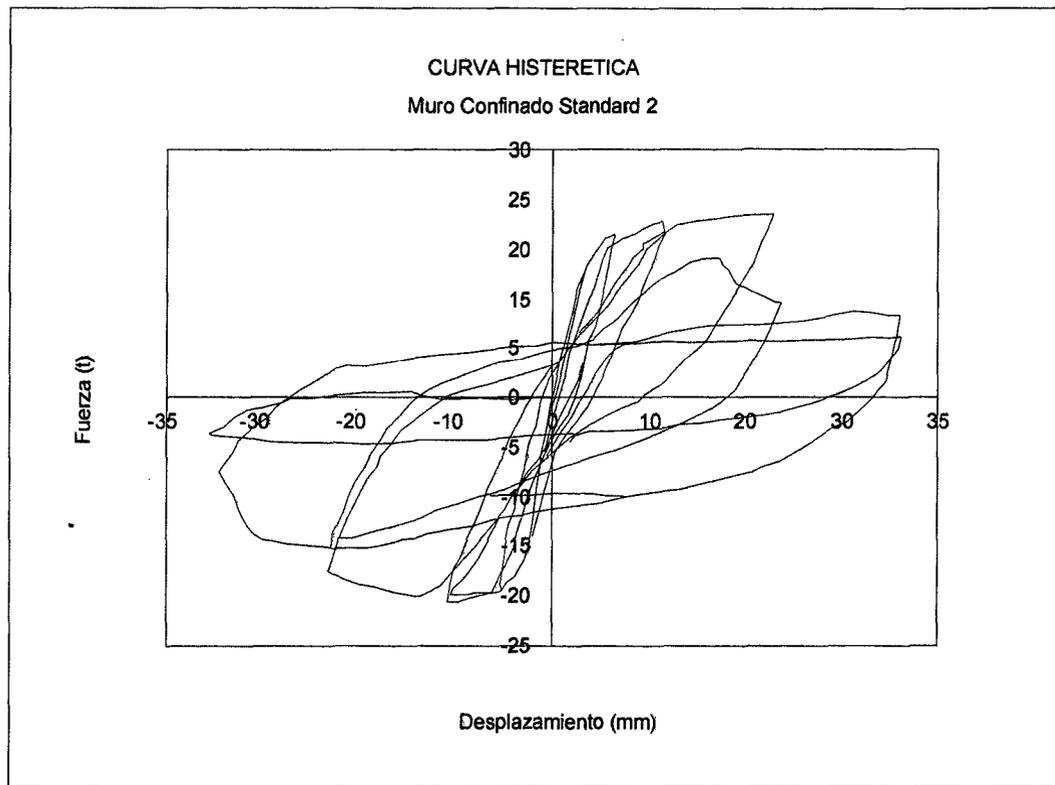


(a)

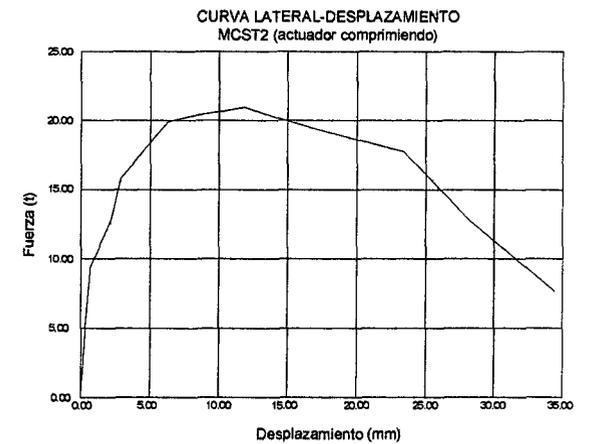
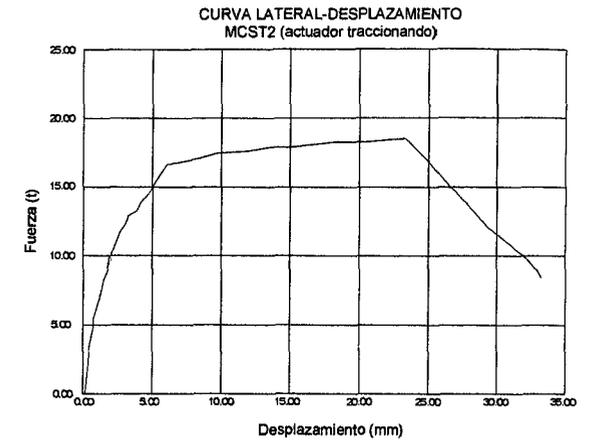


(b)

Figura 4.6: Características del Muro Standard 1 (Gibu y Serida, CISMID-UNI, 1993)  
 (a) Se observa la curva de histeresis. (b) Se observan las curvas de comportamiento.



(a)



(b)

Figura 4.7: Características del Muro Standard 2 (Gibu y Serida, CISMID-UNI, 1993)

(a) Se observa la curva de histeresis. (b) Se observan las curvas de comportamiento.

#### 4.6.2 Curvas de Comportamiento

La curva de comportamiento es obtenida de la curva de histeresis tomando solo los puntos de la envolvente de respuesta del espécimen. Para fines comparativos también se muestra la curva de histeresis de todos los especímenes en el Gráfico 4.28 en términos del Esfuerzo Cortante vs la Distorsión Angular. El esfuerzo cortante ha sido calculado dividiendo la carga lateral aplicada por el área bruta de la sección transversal del muro. Para mejor apreciación también se muestra en los Gráficos 4.26 y 4.27 las Curvas de Comportamiento de los especímenes del tipo A y los del tipo B respectivamente en comparación con las curvas de los especímenes Standard.

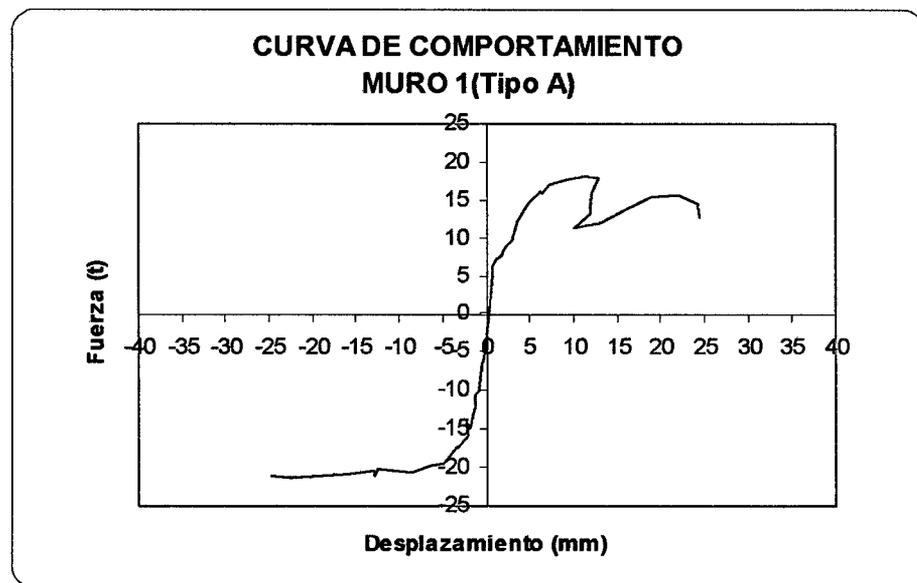


Gráfico 4.18

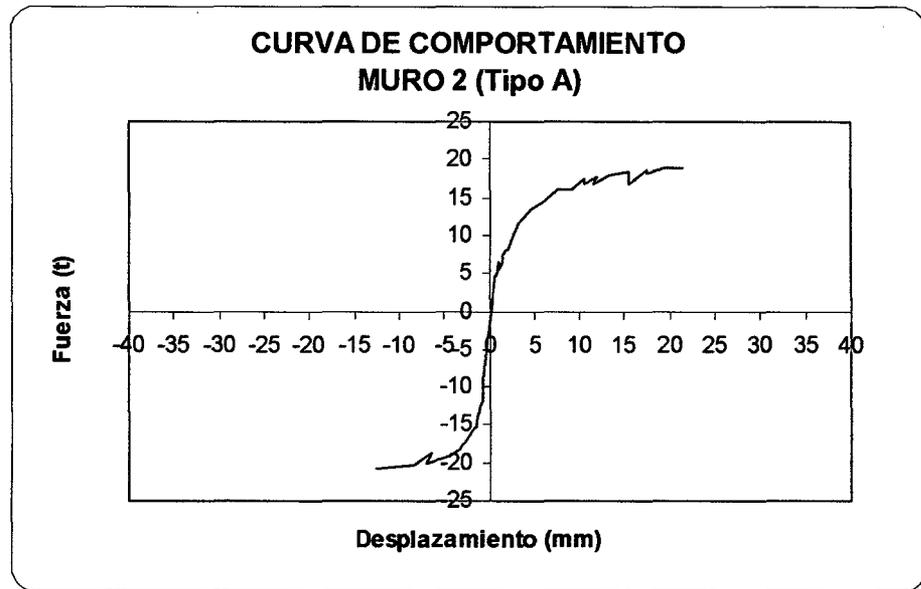


Gráfico 4.19

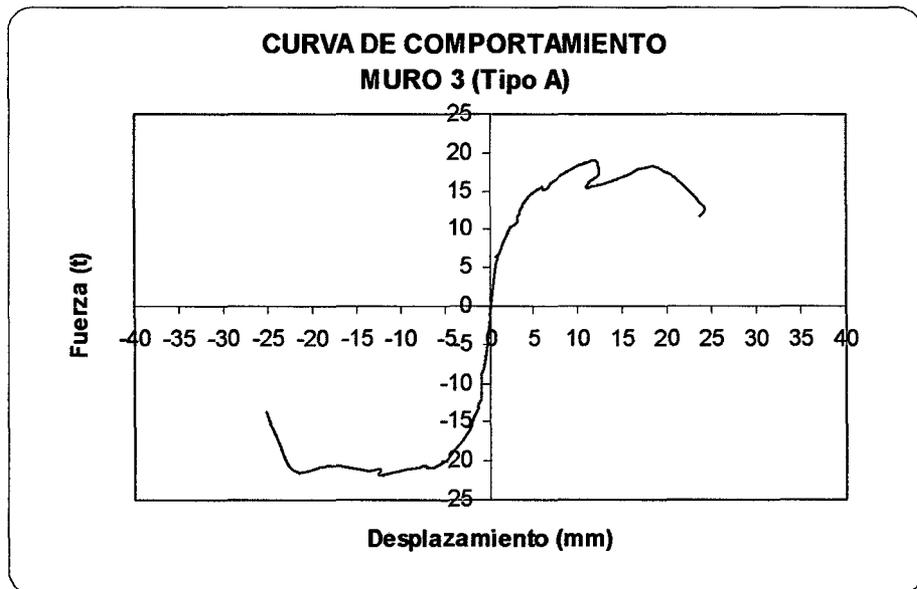


Gráfico 4.20

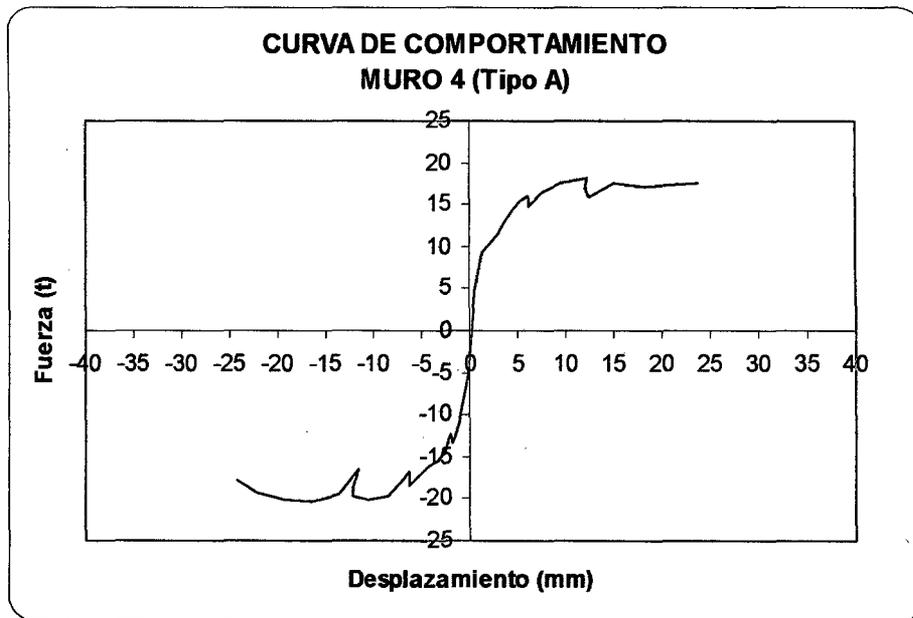


Gráfico 4.21

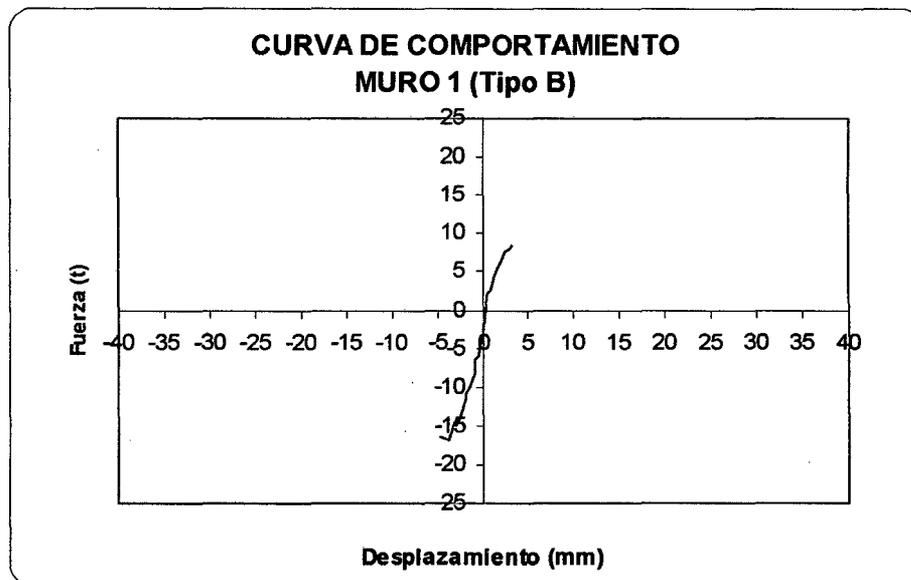


Gráfico 4.22

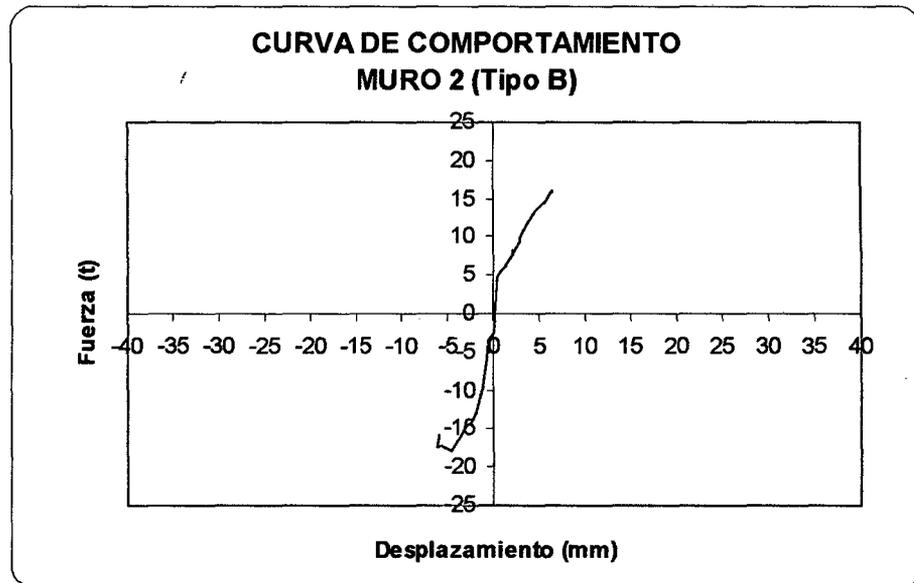


Gráfico 4.23

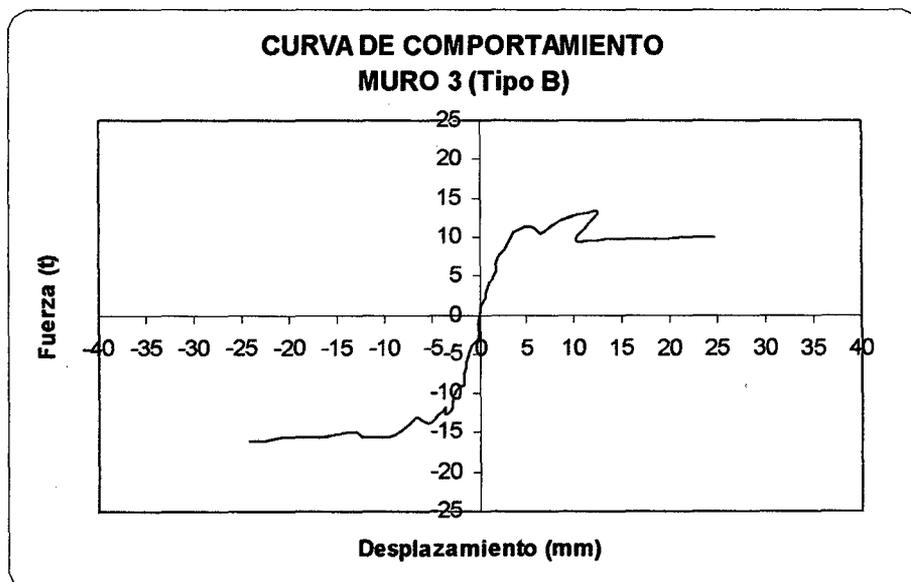


Gráfico 4.24

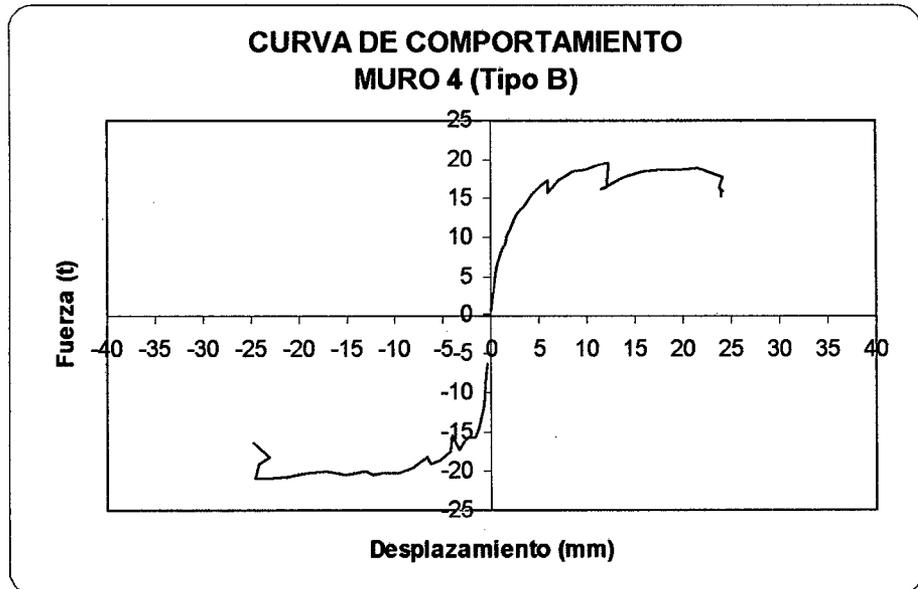


Gráfico 4.25

### ESFUERZO CORTANTE vs DISTORSIÓN ANGULAR

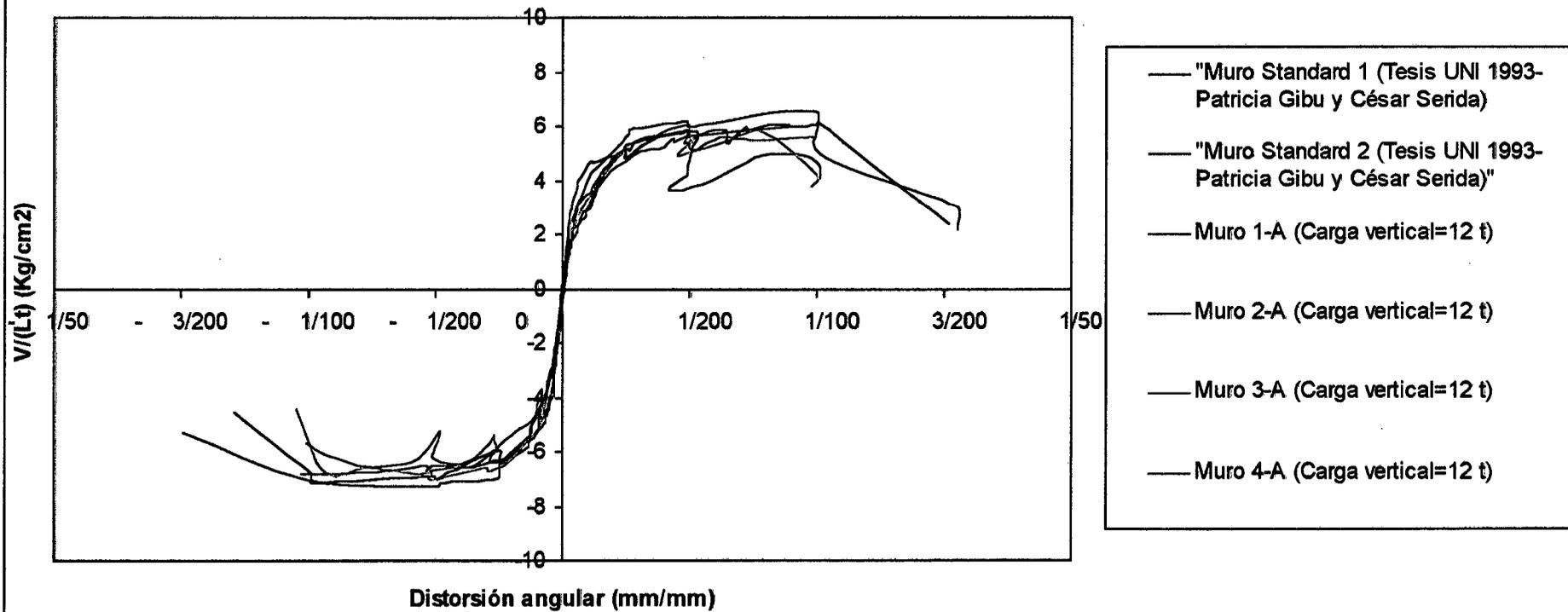


Gráfico 4.26 Curvas de comportamiento de los especímenes del tipo A y tipo Standard

### ESFUERZO CORTANTE vs DISTORSIÓN ANGULAR

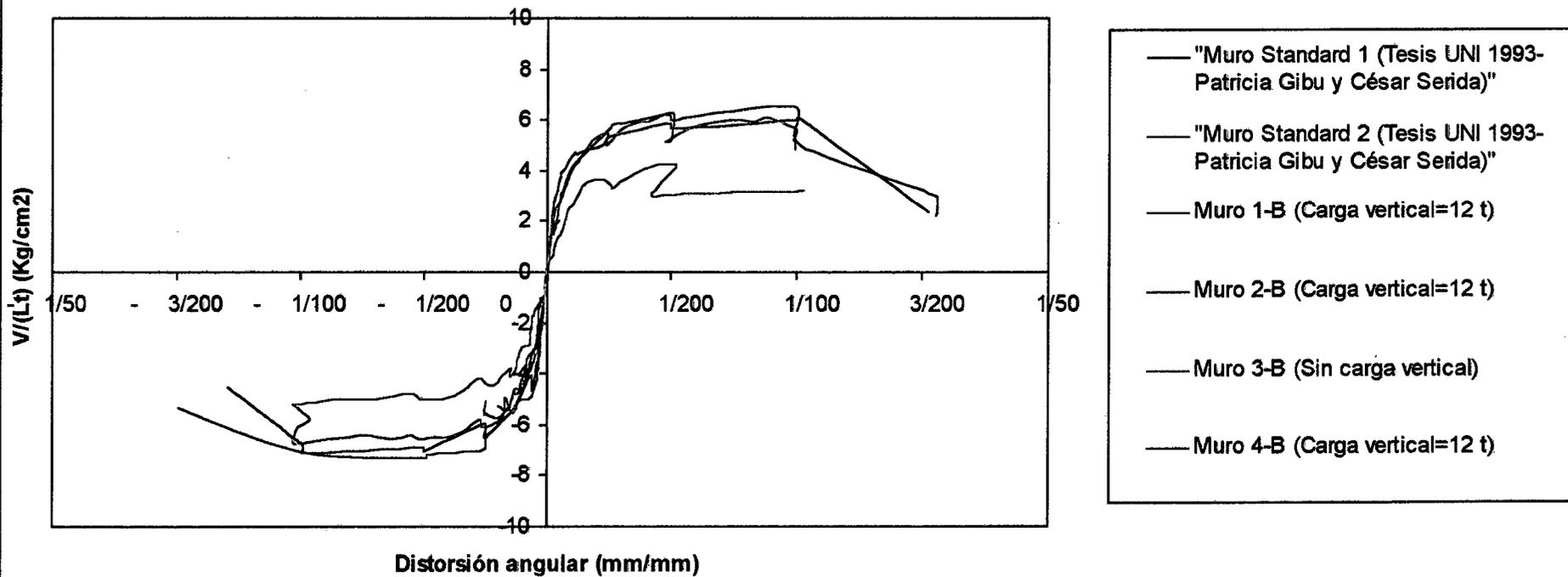
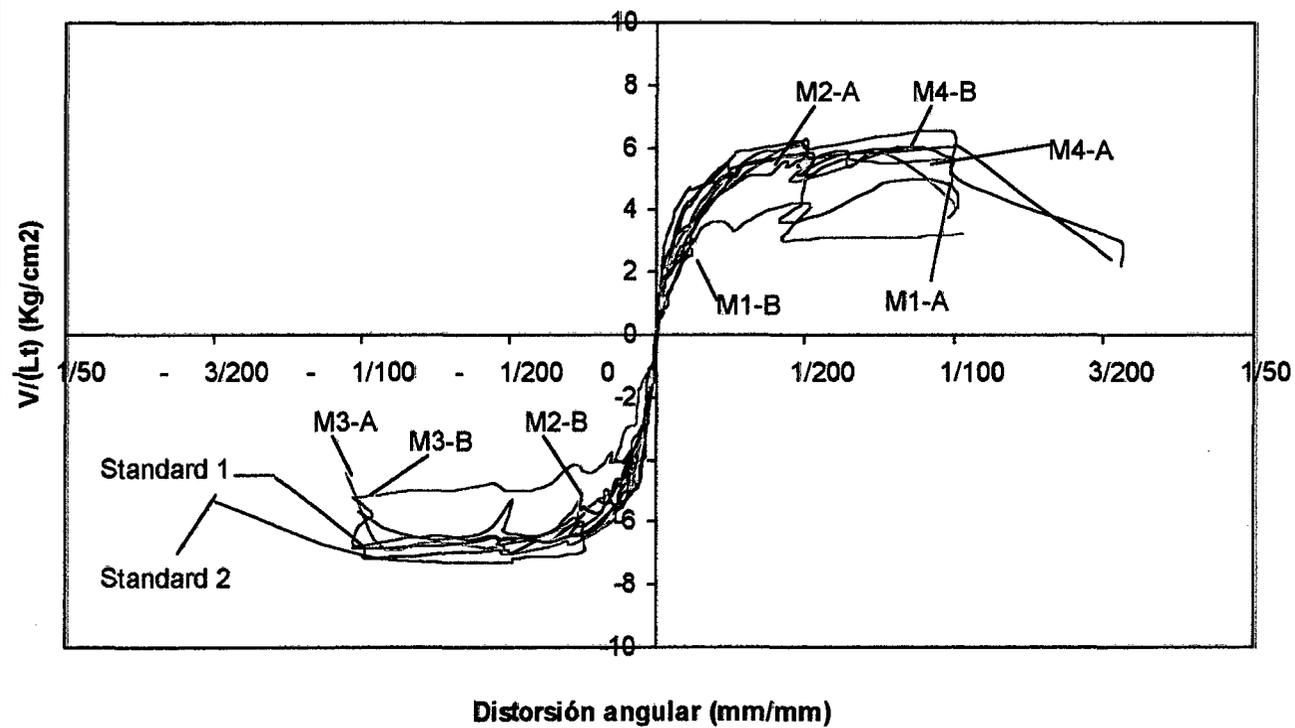


Gráfico 4.27 Curvas de comportamiento de los especímenes del tipo B y tipo Standard

### ESFUERZO CORTANTE vs DISTORSIÓN ANGULAR



- "Muro Standard 1 (Tesis UNI 1993- Patricia Gibu y César Serida)"
- "Muro Standard 2 (Tesis UNI 1993- Patricia Gibu y César Serida)"
- Muro 1-A (Carga vertical=12 t)
- Muro 2-A (Carga vertical=12 t)
- Muro 3-A (Carga vertical=12 t)
- Muro 4-A (Carga vertical=12 t)
- Muro 1-B (Carga vertical=12 t)
- Muro 2-B (Carga vertical=12 t)
- Muro 3-B (Sin carga vertical)
- Muro 4-B (Carga vertical=12 t)

Gráfico 4.28 Curvas de comportamiento de todos los especímenes

### 4.6.3 Degradación de Rigidez

La degradación de rigidez es calculada obteniendo la rigidez pico a pico de cada uno de los lazos histeréticos de la curva de histeresis. Las gráficas son presentadas en términos de la distorsión angular vs la rigidez obtenida. Se trabajó con la rigidez secante propuesta por Mayes y Clough para cada ciclo de histeresis. **(Ref. 6 y 17)**. Este cálculo se realiza encontrando la pendiente de los puntos máximos de desplazamiento, de carga y descarga de acuerdo a la siguiente expresión:

$$K_i = \frac{| \text{Máxima carga positiva} | + | \text{Máxima carga negativa} |}{| \text{Máx. desplazamiento positivo} | + | \text{Máx. desplazamiento negativo} |}$$

La Tabla 4.2 nos muestra los valores de rigidez, como podemos observar no existe una aparente relación entre la rigidez hallada y el tipo de ladrillo utilizado, si bien es cierto el mayor valor corresponde al Muro Standard, el siguiente mayor valor le corresponde al muro M4-B.

En la Tabla 4.4 podemos observar la degradación de rigidez en términos del porcentaje con respecto al mayor valor obtenido para cada caso. Podemos notar que el espécimen M3-B se degrada en menor proporción, este corresponde al muro que no se le aplicó carga vertical. Los valores de los demás especímenes tienen cierta similitud para el mismo nivel de distorsión.

En los Gráficos 4.29 al 4.31 se presenta la degradación de rigidez para los especímenes del tipo Standard, A y B respectivamente. La mayor diferencia entre los especímenes del tipo Standard es apreciada en los niveles de distorsión inicial hasta 1/1600 aproximadamente, luego de lo cual los valores

obtenidos son muy similares. Para los especímenes del tipo A los valores obtenidos resultan bastante aproximados entre sí, esto se hace aún más notorio a partir de una distorsión de 1/800. Para los especímenes del tipo B las diferencias se hacen bastante notorias, en este caso debemos comparar solo los especímenes M1-B, M2-B y M4-B (los que tienen carga de confinamiento vertical), para una distorsión de 1/3200 se ha calculado una rigidez de 6.40 t/mm, 8.32 t/mm y 10.66 t/mm respectivamente, si continuamos comparando para cada nivel de distorsión veremos que para una distorsión de 1/800 los valores están más próximos pero el valor correspondiente al muro M4-B aún despunta un poco, en el nivel 1/400 solo tenemos la posibilidad de comparar el muro M2-B y M4-B que como vemos tienen valores bastante similares.

El Gráfico 4.32 presenta la curva de degradación promedio, la cual ha sido determinada promediando las rigideces promedio correspondiente a la misma distorsión angular, así tenemos tres curvas promedio: de los especímenes Standard1 y Standard2; de los especímenes M1-A, M2-A, M3-A y M4-A; de los especímenes M1-B, M2-B y M3-B.

El Gráfico 4.33 muestra la comparación de la degradación de rigidez de todos los especímenes, como podemos observar todas las curvas tienen la misma tendencia. Los menores valores corresponden al espécimen sin carga de confinamiento M3-B. Los demás especímenes muestran una diferencia apreciable entre sí en los niveles iniciales, que conforme se va incrementando el nivel de distorsión, se va estrechando.

Finalmente se presenta la curva que relaciona el Porcentaje de Sólidos con la Rigidez Inicial Promedio en el Gráfico 4.34, nótese una cierta tendencia lineal, sin embargo los resultados individuales muestran algunas diferencias considerables entre sí. Los valores promedio obtenidos son de 10.80 t/mm, 9.90 t/mm y 8.46 t/mm con un coeficiente de variación de 26%, 6% y 25% para los especímenes Standard, A y B respectivamente.

**RIGIDEZ PICO A PICO (t/mm)**

Distorsión	Muro Standard 1	Muro Standard 2	M1-A	M2-A	M3-A	M4-A	M1-B	M2-B	M3-B	M4-B
1/3200	12.58	8.77	9.19	10.55	9.52	8.90	7.13	8.58	4.86	10.19
1/3200	13.00	8.82	10.34	10.25	11.24	9.22	5.66	8.07	5.26	11.13
1/1600	9.17	6.92	6.65	7.38	7.07	6.72	4.71	5.48	4.67	7.77
1/1600	8.15	6.67	6.20	6.99	7.02	6.32	4.78		4.55	7.43
1/800	5.18	4.69	4.46	4.62	4.65	4.32	3.92	4.04	3.52	4.69
1/800	5.07	4.81	4.33	4.48	4.58	4.08	3.70	3.95	3.27	4.57
1/400	2.95	3.10	2.92	2.76	2.81	2.80	-	2.69	1.87	2.93
1/400	2.81	3.00	2.80	2.23	2.81	2.53	-	2.43	1.83	2.82
1/200	1.61	1.72	1.52	1.56	1.67	1.52	-	-	1.16	1.62
1/200	1.57	1.66	1.48	1.34	1.62	1.51	-	-	1.09	1.56
1/100	0.83	0.79	0.73	-	0.74	0.74	-	-	0.53	0.79
1/100	0.81	0.70	0.69	-	-	-	-	-	-	0.66
1/65	0.52	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-
1/65	0.31	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.2

### RIGIDEZ PROMEDIO (t/mm)

Distorsión	Muro Standard 1	Muro Standard 2	M1-A	M2-A	M3-A	M4-A	M1-B	M2-B	M3-B	M4-B
1/3200	12.79	8.80	9.76	10.40	10.38	9.06	6.40	8.32	5.06	10.66
1/1600	8.66	6.80	6.43	7.19	7.05	6.52	4.74	5.48	4.61	7.60
1/800	5.12	4.75	4.39	4.55	4.62	4.20	3.81	3.99	3.39	4.63
1/400	2.88	3.05	2.86	2.49	2.81	2.66	-	2.56	1.85	2.87
1/200	1.59	1.69	1.50	1.45	1.64	1.51	-	-	1.13	1.59
1/100	0.82	0.75	0.71	-	0.74	0.74	-	-	0.53	0.73
1/65	0.41	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.3

### DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ (%)

Distorsión	Muro Standard 1	Muro Standard 2	M1-A	M2-A	M3-A	M4-A	M1-B	M2-B	M3-B	M4-B
1/3200	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/1600	67.72	77.26	65.83	69.13	67.89	71.98	74.14	65.89	91.12	71.30
1/800	40.07	54.01	44.99	43.78	44.49	46.35	59.59	48.00	67.09	43.43
1/400	22.50	34.68	29.32	23.99	27.03	29.42	-	30.77	36.52	26.95
1/200	12.44	19.22	15.34	13.93	15.84	16.69	-	-	22.27	14.95
1/100	6.38	8.47	7.29	-	7.08	8.13	-	-	10.57	6.80
1/65	3.23	2.10	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.4

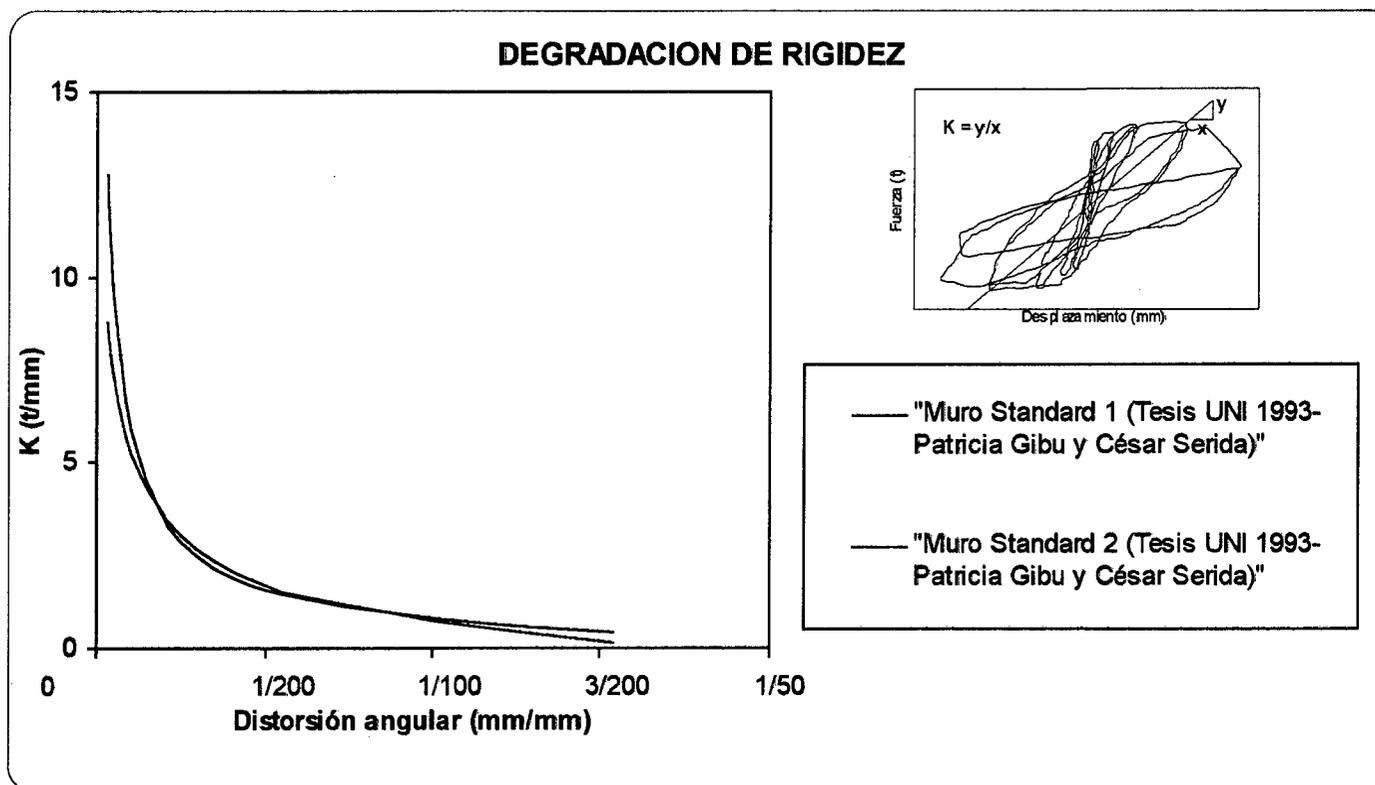


Gráfico 4.29: Degradación de rigidez de los especímenes tipo Standard

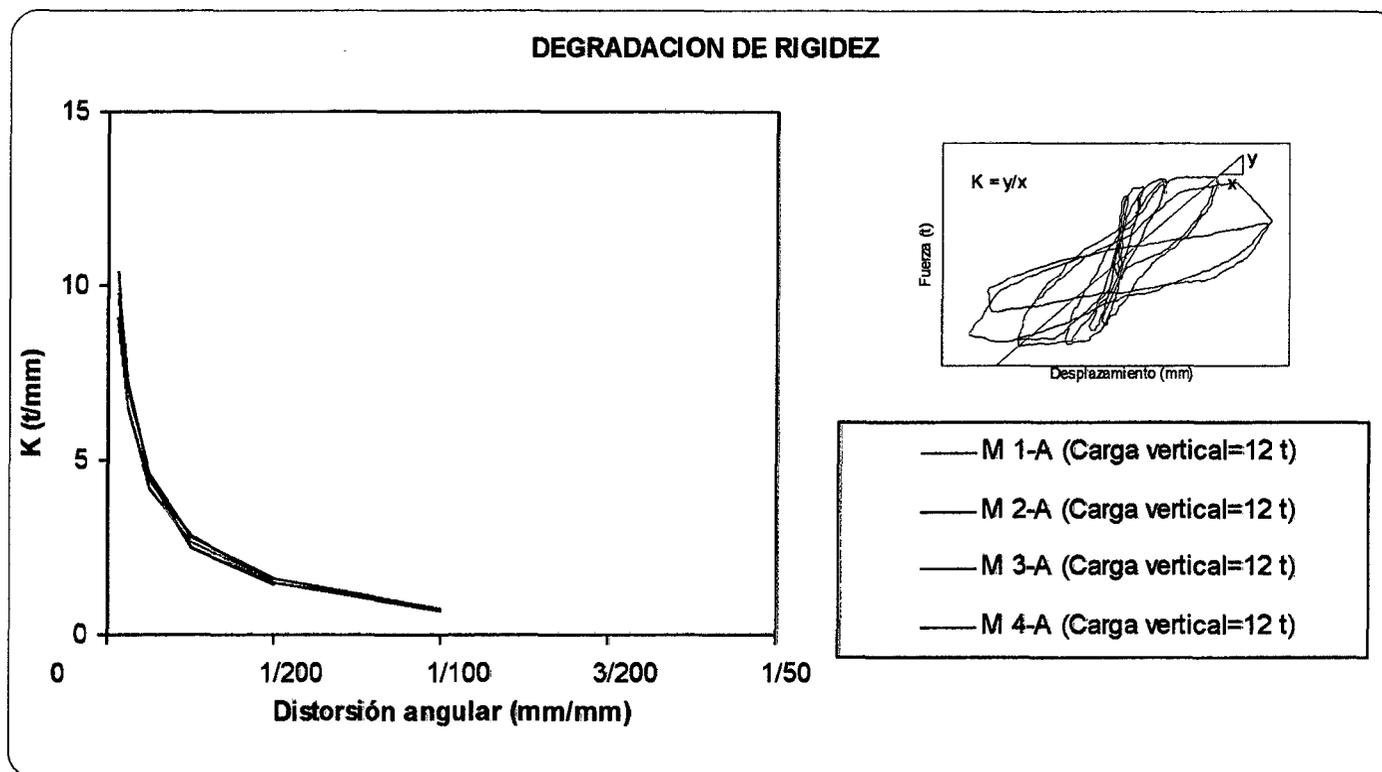


Gráfico 4.30: Degradación de rigidez de los especímenes tipo A

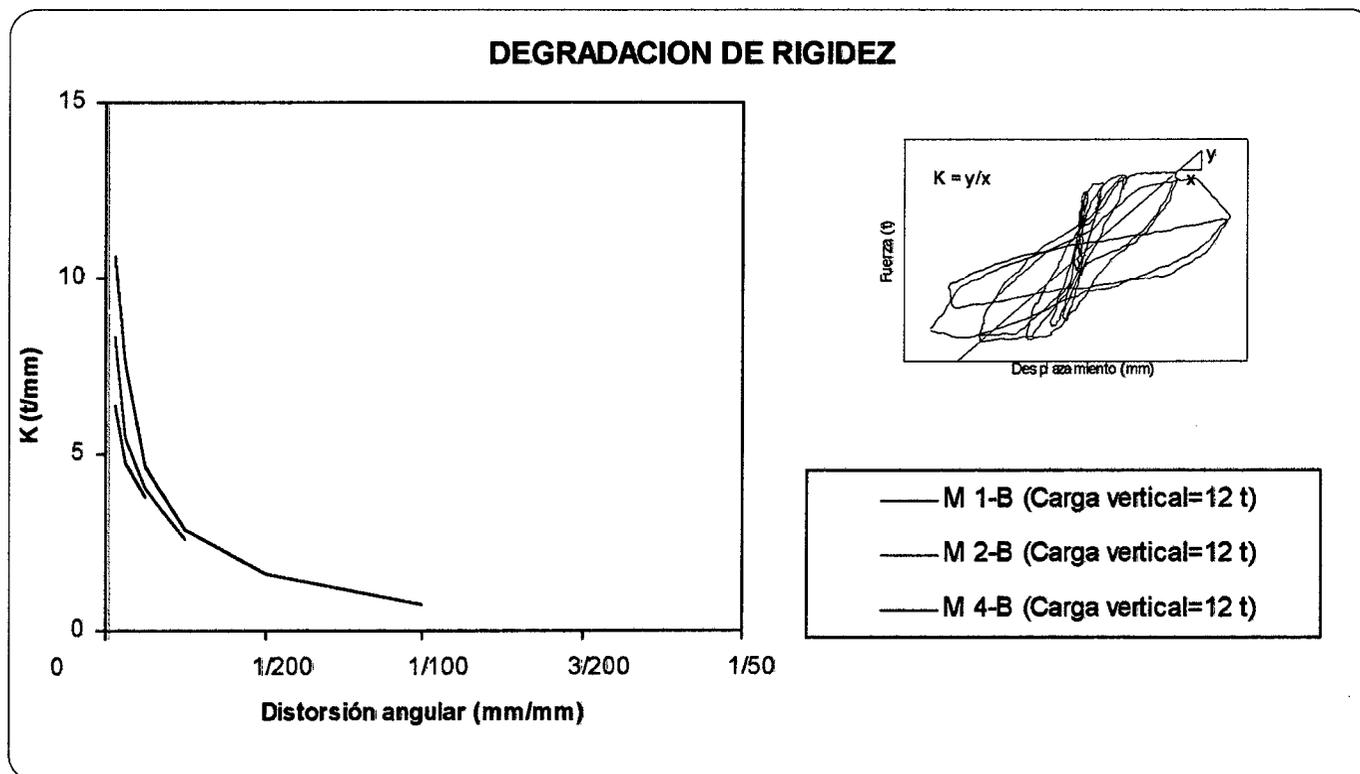


Gráfico 4.31: Degradación de rigidez de los especímenes tipo B

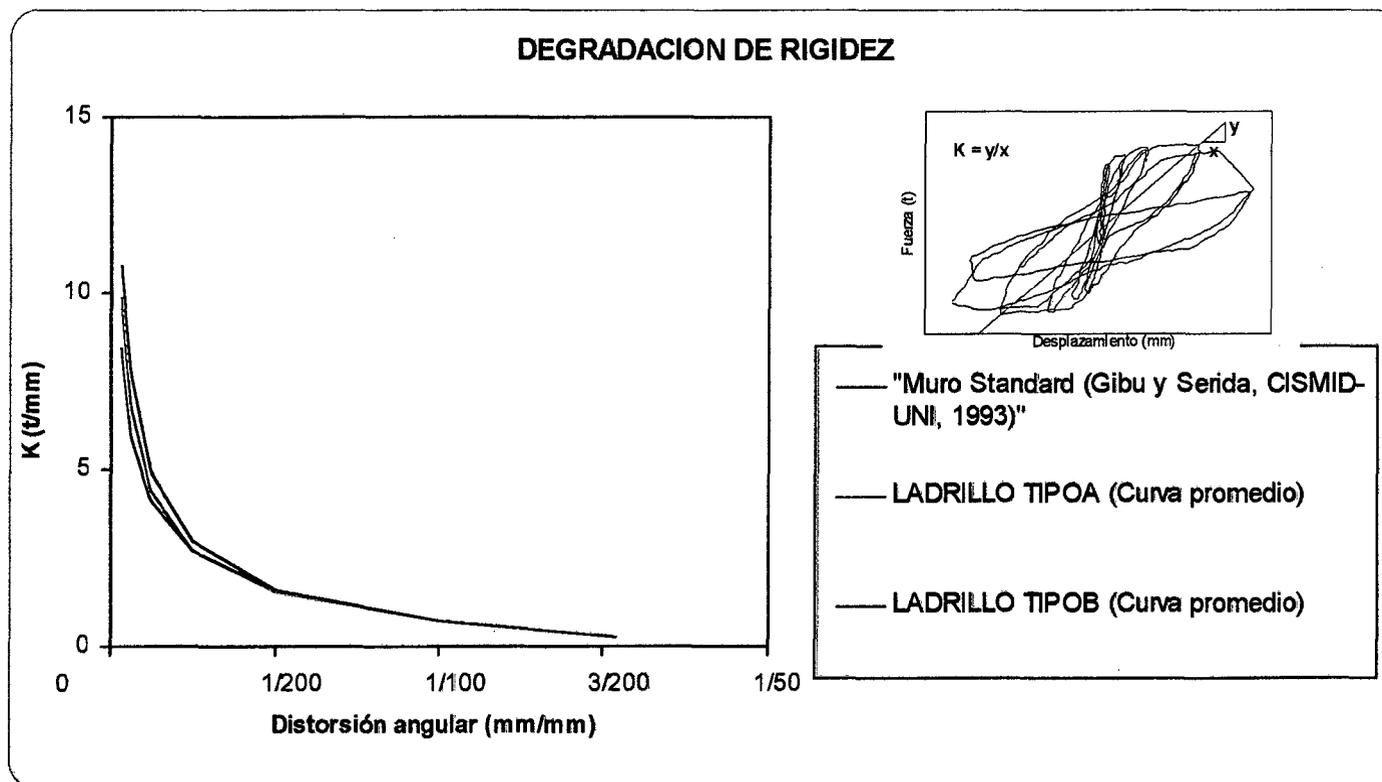


Gráfico 4.32: Curva promediode la degradación de rigidez

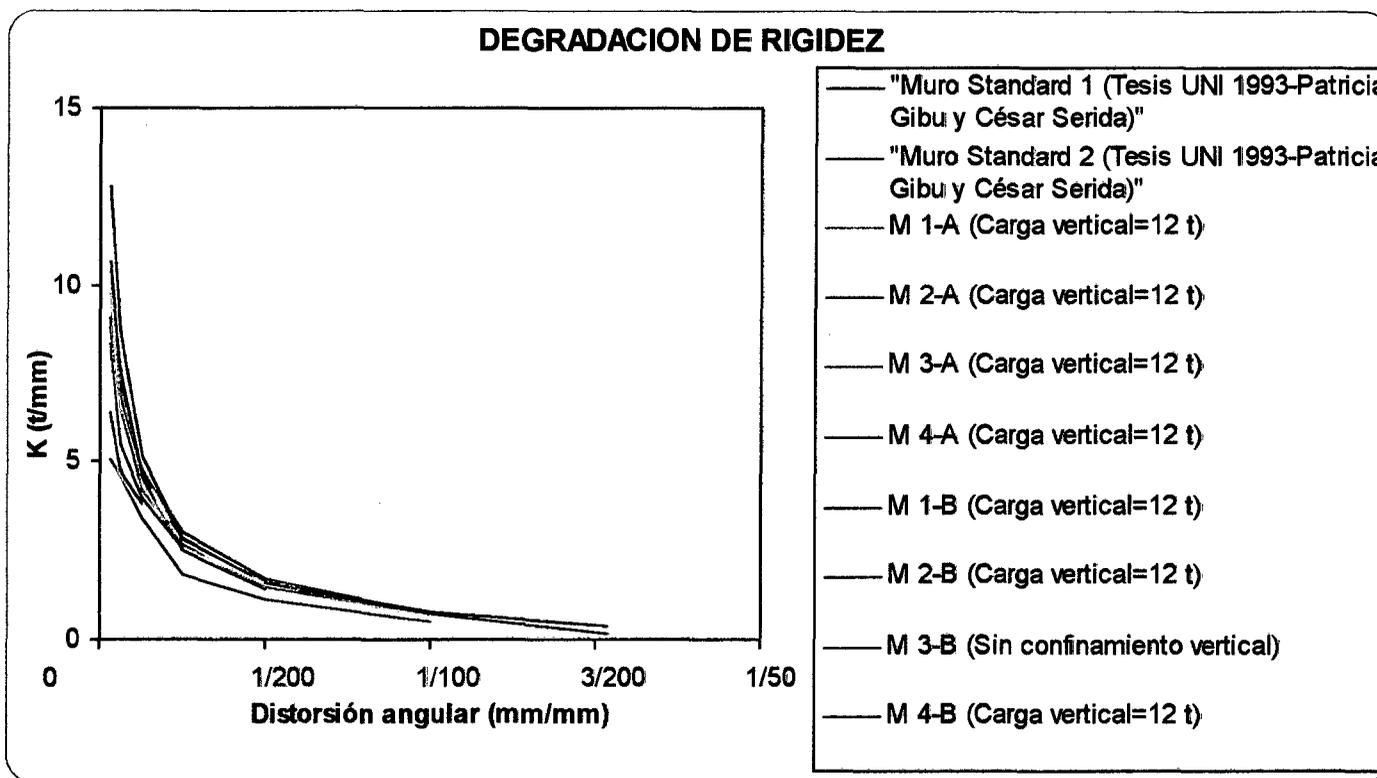


Gráfico 4.33: Comparación gráfica de la degradación de rigidez de todos los especímenes

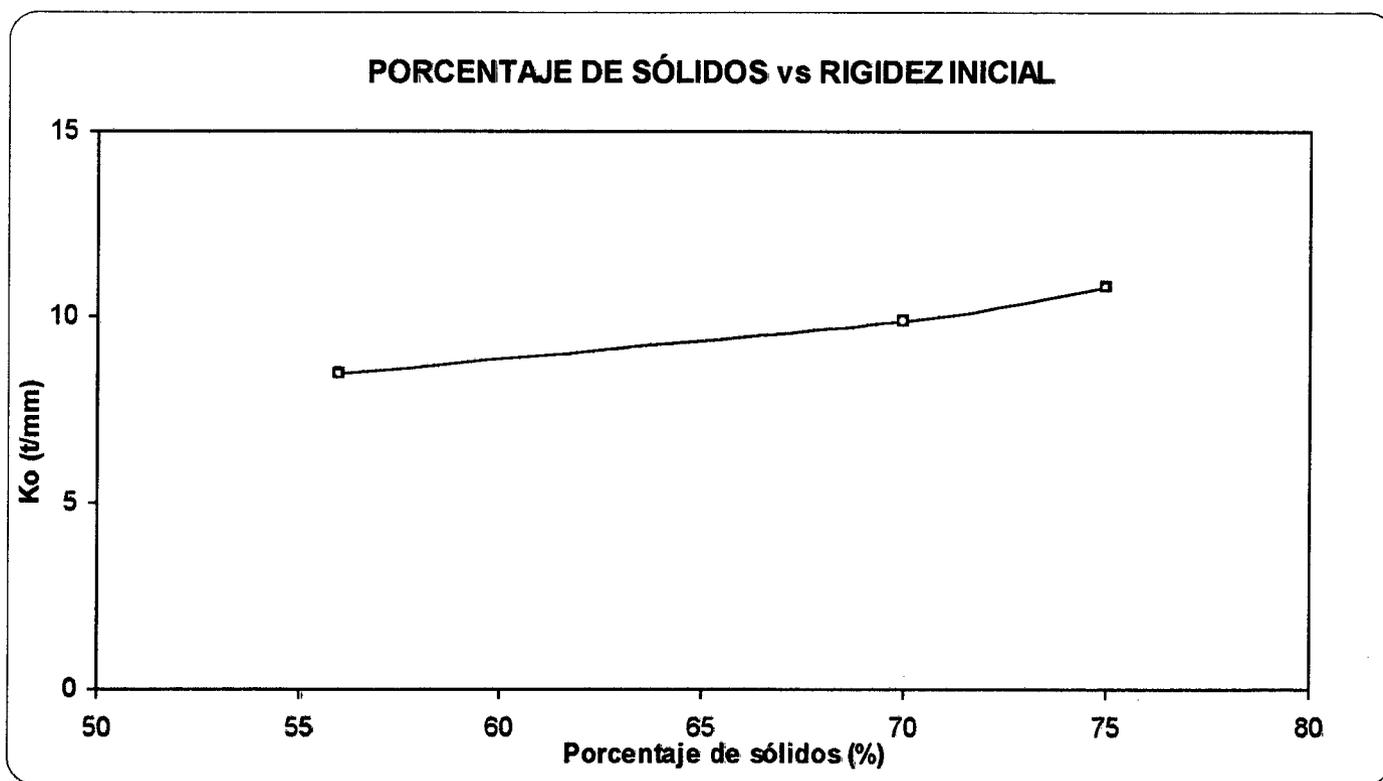


Gráfico 4.34 Se presenta la curva del Pocerntaje de Sólidos vs la Rigidez Inicial Promedio de los especímenes

#### 4.6.4 Capacidad de Deformación

Las estructuras deben ser capaces de mantener una alta proporción de su esfuerzo inicial cuando un sismo mayor impone grandes deformaciones, con la finalidad de minimizar los daños ocurridos durante estos eventos y, garantizar la supervivencia de los edificios con resistencia moderada respecto a las fuerzas laterales. Estas deformaciones pueden estar mucho más allá del límite elástico. Esta capacidad de la estructura o sus componentes, o de los materiales usados para ofrecer resistencia en el dominio inelástico de respuesta, es descrita por lo general con el término ductilidad. Incluye la habilidad para mantener grandes deformaciones, y una capacidad para absorber energía por comportamiento histerético.

El límite para ductilidad, como se muestra por ejemplo en la Figura 4.7 por el desplazamiento  $\Delta u$ , corresponde típicamente a un límite específico para degradación de esfuerzo. Aunque conseguir este límite terminó algunas veces en fracaso, deformaciones inelásticas adicionales significativas pueden sin embargo ser posibles sin colapso estructural. Por lo tanto, una falla dúctil debe ser contrastada con una falla frágil, representada en la misma figura por las curvas punteadas. La falla frágil implica la pérdida casi completa de resistencia, a menudo desintegración completa, y la ausencia de una adecuada advertencia. Por razones obvias, la falla frágil, la cual puede ser antedicha sea la causa agobiante para el colapso de edificios en sismos, y la consecuente pérdida de vidas, debe ser evitada.

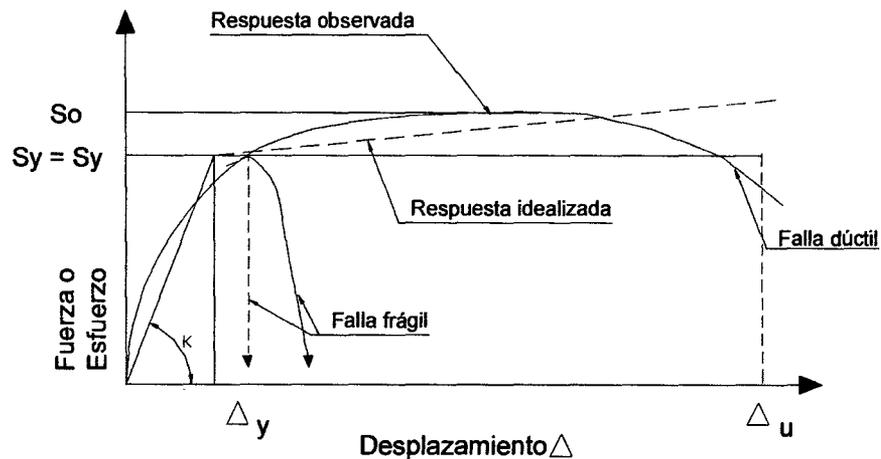


Figura 4.7: Relación Carga Típica vs Desplazamiento para un elemento de concreto reforzado.

La ductilidad está definida por el ratio del desplazamiento total  $\Delta$  en algún instante para el cual ocurre la fluencia  $\Delta y$ , usando la idealización de la Figura 4.7, esto es:

$$\mu = \Delta / \Delta y > 1$$

Los desplazamientos  $\Delta y$  y  $\Delta$  en la ecuación anterior pueden representarse por deformación, curvatura rotación o deflexión. La ductilidad  $\mu_u = \Delta u / \Delta y$  se desarrollará cuando la falla es inminente.

La ductilidad en miembros estructurales puede ser desarrollada únicamente si el mismo material que lo constituye es dúctil. De este modo es relativamente fácil lograr la ductilidad deseada si la resistencia es provista por el acero en tensión. No obstante, necesita precauciones para tomarla cuando el acero está sujeto a compresión, para asegurar que el doblez prematuro no interfiera con el desarrollo de las grandes deformaciones inelásticas deseadas

en compresión. El concreto y la albañilería son inherentemente materiales frágiles. Aunque su esfuerzo de tensión no puede ser asegurado por una fuente principal de resistencia, ellos son eminentemente convenientes para lograr esfuerzos de compresión. Sin embargo, las deformaciones máximas desarrolladas en compresión son algo limitadas a no ser que sean tomadas precauciones especiales. La aspiración principal de los detalles de estructuras compuestas consistentes de concreto o albañilería y acero es combinar estos materiales de tal manera que produzca miembros dúctiles, con lo cual son capaces de satisfacer las demandas de deformación inelástica impuestas por sismos severos. **(Ref. 7)**

Para nuestro caso la ductilidad de los especímenes ha sido determinada de tres formas de acuerdo a la representación en la Figura 4.8, los valores son presentados en la Tabla 4.5. Si hacemos una comparación de la ductilidad con respecto al muro Standard 1 (Véase la Tabla 4.6) encontramos que el espécimen M3-B (sin carga de confinamiento vertical) obtuvo un 68%, 55% y 92% de  $du_1$ ,  $du_2$  y  $du_3$  respectivamente, éstos valores son los máximos alcanzados entre los especímenes tipo A y B. Los especímenes del tipo A muestran valores que resultan similares entre sí (a excepción del M2-A), los cuales varían entre el 41% y 45% para  $du_1$ , entre el 34% y 36% para  $du_2$ , y entre el 56% y 62% para  $du_3$ . Se presume que el problema de cangrejeras que se presentó en una de las columnas del muro afectó la ductilidad del espécimen M2-A. El espécimen M4-B tiene valores muy similares de ductilidad a los especímenes del tipo A. El muro Standard 2 a pesar de haber sido construido bajo las mismas condiciones presenta valores de ductilidad bastante

diferentes al Standard 1, dichos valores resultan más próximos a los especímenes tipo A y B.

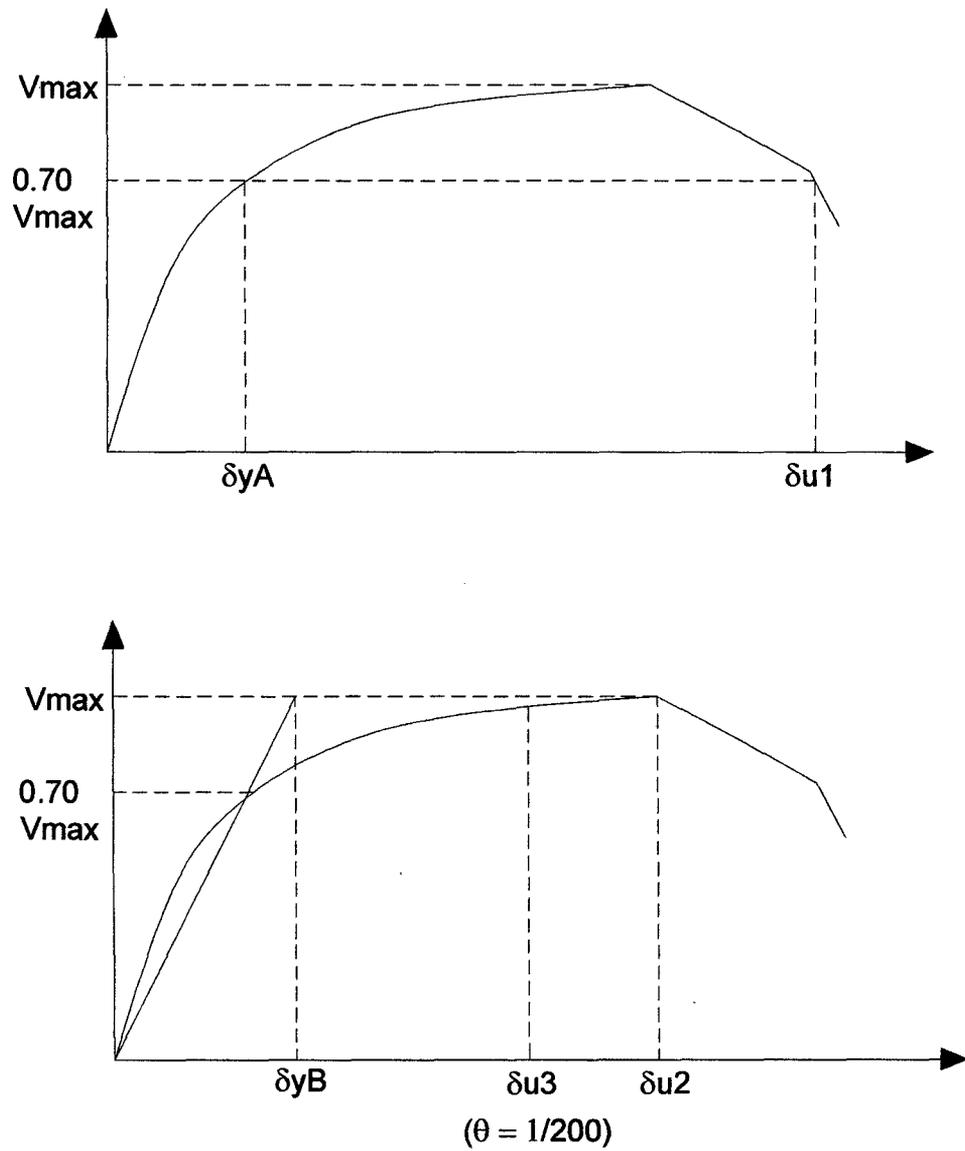


Figura 4.8: Representación gráfica de los parámetros para el cálculo de la ductilidad.

Se calcularon los valores de ductilidad para los especímenes (actuador traccionando):

Donde:

dyA = Basado en la primera fluencia

dyB = Basado en la rigidez elastoplástica con rigidez inicial reducida

du1 = el muro ha sufrido una pérdida del 30 % de la máxima fuerza alcanzada

du2 = la correspondiente a la fuerza máxima alcanzada

du3 = limitando la rotación o distorsión a  $\theta = 1/200$

Muro	Vmax (t)	dmax (mm)	Vy (t) 0.7Vmax	dyA (mm)	dyB (mm)	du1 (mm)	du2 (mm)	du3 (mm)	du1=du1/dyA	du2=du2/dyB	du3=du3/dyB
STANDARD 1	17.56	23.22	12.29	1.90	2.80	30.70	20.00	11.50	16.16	7.14	4.11
STANDARD 2	18.86	22.74	13.20	3.30	4.80	28.30	22.80	11.50	8.58	4.75	2.40
M1-A	18.01	12.86	12.61	3.63	5.18	24.33	12.86	12.00	6.70	2.48	2.32
M2-A	18.93	21.53	13.25	4.43	6.34	24.01	21.53	12.00	5.41	3.40	1.89
M3-A	18.48	12.13	12.94	3.46	4.94	24.01	12.13	12.00	6.94	2.45	2.43
M4-A	19.63	12.18	13.74	3.31	4.73	24.08	12.18	12.00	7.27	2.57	2.54
M3-B	13.24	12.42	9.27	2.23	3.18	24.66	12.42	12.00	11.06	3.90	3.77
M4-B	18.14	12.14	12.70	3.44	4.91	23.64	12.14	12.00	6.88	2.47	2.44

Nota: Los especímenes M1-B y M2-B no fueron considerados por no haber llegado al rango inelástico debido a fallas constructivas.

Tabla 4.5

Espécimen	du1especimén/ du1Standard 1 (%)	du2especimén/ du2Standard 1 (%)	du3especimén/ du3Standard 1 (%)
Standard 1	100	100	100
Standard 2	53	67	58
M1-A	41	35	56
M2-A	34	48	46
M3-A	43	34	59
M4-A	45	36	62
M3-B	68	55	92
M4-B	43	35	60

Tabla 4.6: Porcentaje de ductilidad con respecto a los valores obtenidos para el muro

Standard 1

#### 4.6.5 Deformación del Acero de Refuerzo

Los medidores de deformación usados en el ensayo son catalogados como medidores de resistencia eléctrica, que se adhieren en este caso al acero de refuerzo en la dirección conocida de la tensión. Estos son sensibles y capaces de detectar una deformación de una longitud finita. Cada medidor tiene un factor de medida (FM), definiendo a éste factor como la relación entre el cambio de resistencia eléctrica por unidad al cambio de longitud por unidad:

$$FM = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = \frac{1 + 2\nu + d\rho / \rho}{\Delta L / L}$$

Donde la resistividad está dada por la  $\rho$ , la resistencia  $R$ , el cambio total de resistencia y longitud,  $\Delta R$  y  $\Delta L$  respectivamente. **(Ref.17)**

Los strain gauges deben ser manipulados y colocados con sumo cuidado, son dispositivos muy sensibles que, en caso contrario, no funcionarán adecuadamente. Previamente al ensayo se chequearon los strain gauges con un medidor de voltaje, el cual debía marcar aproximadamente 125 V, encontrándose que el número "1" colocado en el espécimen M4-A no funcionaba. Las curvas de histeresis del acero de refuerzo pueden ser apreciadas en los Gráficos 4.35 al 4.38 para el espécimen M4-A y 4.39 al 4.41 para el espécimen M4-B. En la Tabla 4.7 se presentan los valores de la deformación unitaria al final del primer ciclo y la que corresponde a la mayor fuerza lateral.

Espécimen	Strain gauge	Deformación unitaria al final del 1er ciclo	Fuerza (t) (+) y (-)	Deformación unitaria correspondiente a la fuerza máxima	Fuerza máx. (t)
M4-A	1 (+)	0.0005100	5.92	0.0020597	18.14
	1 (-)	-0.0002000	-8.49	-0.0021020	-20.21
	2 (+)	0.0005270	5.92	-0.0016161	18.14
	2 (-)	-0.0008600	-8.49	-0.0013878	-20.21
	3 (+)	0.0001800	5.92	0.0025668	18.14
	3 (-)	-0.0005600	-8.49	-0.0021082	-20.21
	4 (+)	0.0002010	5.92	0.0037789	18.14
	4 (-)	-0.0001673	-8.49	0.0027000	-20.21
M4-B	2 (+)	0.0003210	6.63	0.00202178	19.63
	2 (-)	-0.0005300	-10.08	-0.00422091	-20.87
	3 (+)	0.0004890	6.63	0.00838572	19.63
	3 (-)	-0.0002500	-10.08	0.00052833	-20.87
	4 (+)	0.0003150	6.63	0.00261839	19.63
	4 (-)	-0.0002500	-10.08	-0.00215785	-20.87

Tabla 4.7

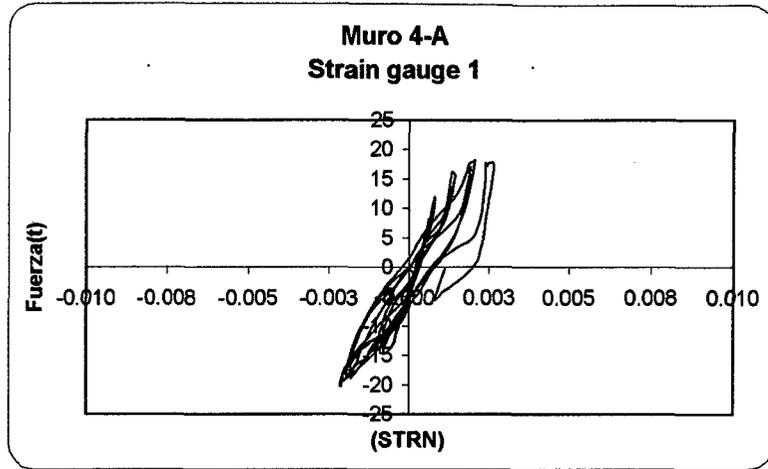


Gráfico 4.35

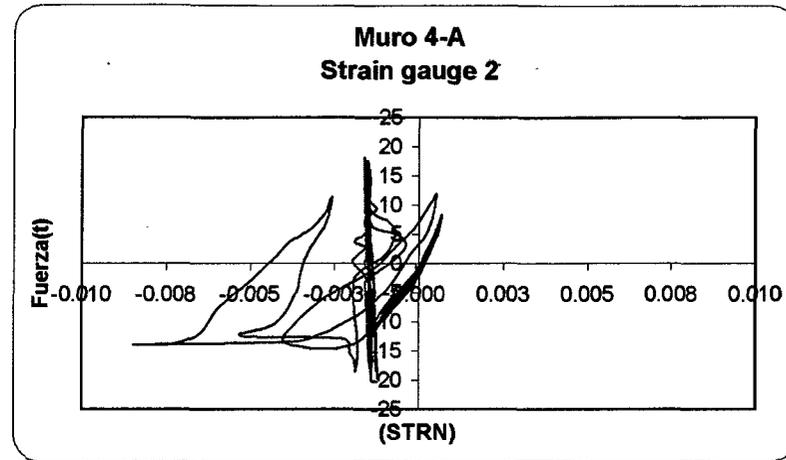


Gráfico 4.36

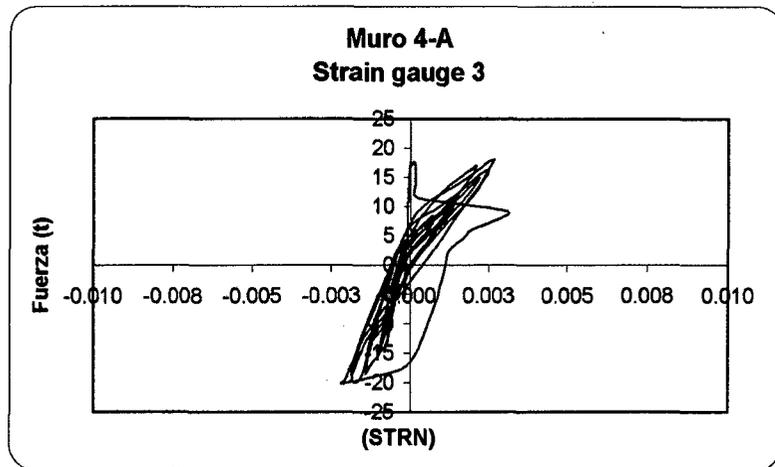


Gráfico 4.37

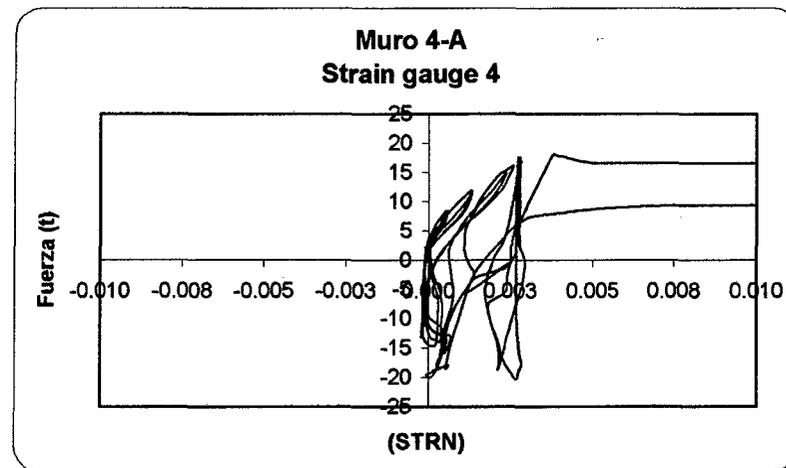


Gráfico 4.38

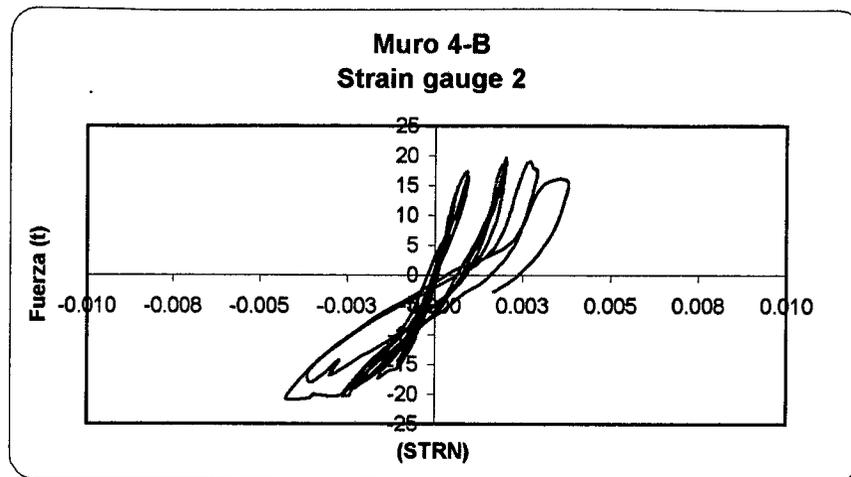


Gráfico 4.39

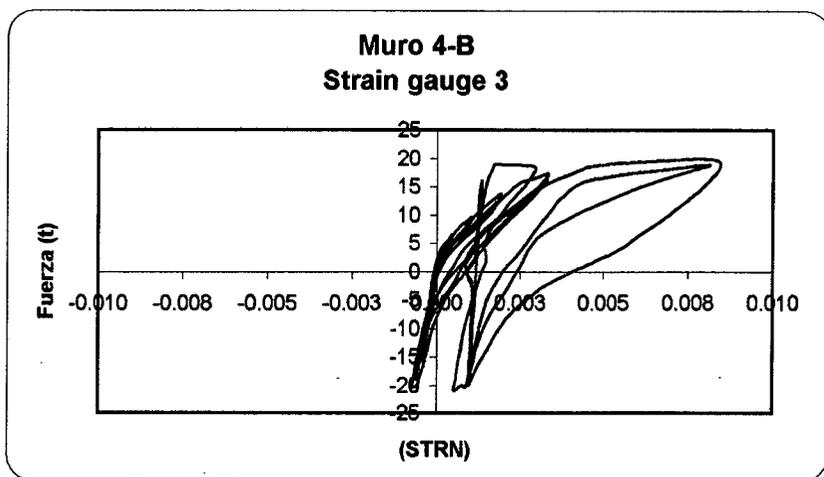


Gráfico 4.40

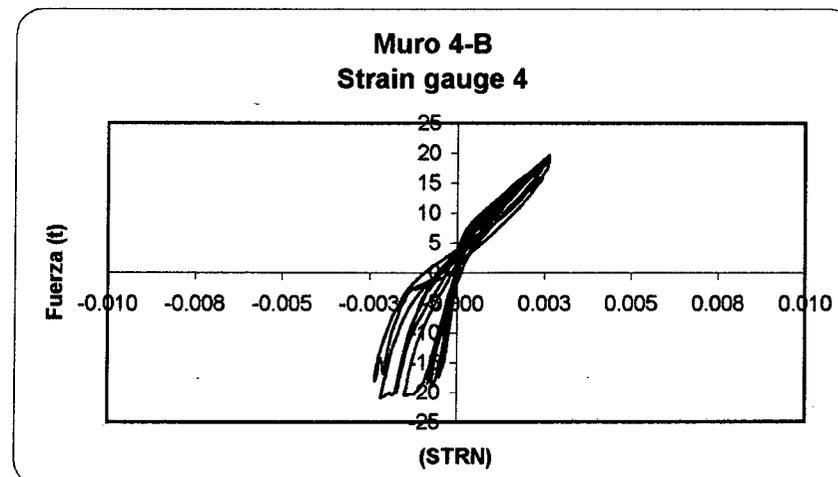


Gráfico 4.41

#### 4.6.6 Pérdida de Energía

La energía disipada acumulada y la energía de deformación fue calculada como la suma de las áreas encerradas en las curvas de histéresis Desplazamiento vs Carga Lateral tal como se indica en la Figura 4.9. (Ref. 6 y 17). Además también se calculó la energía relativa y el factor de amortiguamiento de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$E.R. = \frac{E.Di}{E.De}$$

$$F.A. = \frac{E.R.}{2\pi}$$

Donde:

E.R. es la energía relativa

E.Di. es la energía disipada

E.De. es la energía de deformación

F.A. es el factor de amortiguamiento

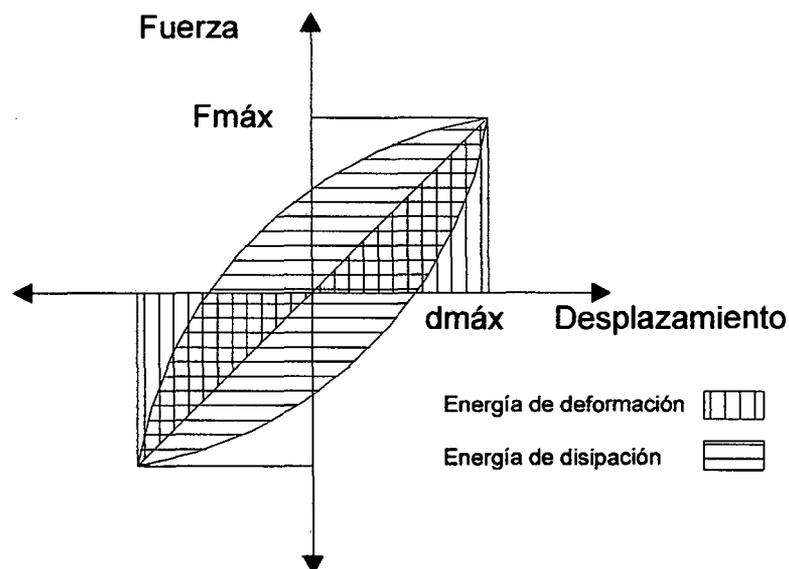


Figura 4.9

Los valores de Energía Disipada, Energía de deformación, Energía Relativa, la Energía de Disipación Promedio y el Amortiguamiento son mostrados en las Tablas 4.8 a 4.12 respectivamente. Los Gráficos 4.42 y 4.43 nos enseñan la energía de disipación de cada uno de los especímenes del tipo A y B en comparación con los del tipo Standard. Para distorsiones menores, hasta aproximadamente  $3/400$  los especímenes del tipo A disipan mayor energía que los del tipo standard, para distorsiones mayores los valores de disipación con respecto a los standard van disminuyendo. En tanto, los especímenes del tipo B muestran mucha similitud con las curvas standard correspondientes hasta un nivel de distorsión de  $1/200$  aproximadamente, luego de lo cual los valores de disipación empiezan a disminuir. En general, la energía de disipación es mínima en los primeros lazos histeréticos y va aumentando conforme se incrementa la distorsión, en los lazos finales los especímenes del tipo Standard disipan más energía que los del tipo A y éstos a su vez disipan más energía que los del tipo B.

### ENERGÍA DE DISIPACIÓN PARA CADA CICLO HISTERÉTICO (t.mm)

Distorsión	Muro Standard 1	Muro Standard 2	M1-A	M2-A	M3-A	M4-A	M1-B	M2-B	M3-B	M4-B
1/3200	2.96	3.06	4.01	2.86	4.62	3.94	5.47	1.75	3.54	3.94
1/3200	2.85	2.65	4.07	2.27	4.06	4.87	6.86	1.58	1.91	3.04
1/1600	11.82	7.54	16.17	11.69	14.54	14.12	13.14	13.93	4.47	13.93
1/1600	8.15	6.22	17.27	8.34	13.00	12.27	12.24	11.48	3.81	11.48
1/800	29.77	26.61	34.72	28.57	30.87	35.31	31.15	32.59	19.25	40.72
1/800	20.69	17.64	25.98	20.44	22.74	29.12	24.39	23.35	14.69	27.77
1/400	82.47	89.40	84.24	129.23	81.34	95.28	-	79.37	64.16	90.51
1/400	54.64	56.88	58.89	97.17	50.07	68.59	-	76.59	29.23	60.59
1/200	200.82	196.74	263.64	253.18	212.45	270.17	-	-	143.01	215.81
1/200	163.30	124.46	161.16	240.41	142.13	179.29	-	-	81.11	144.65
1/100	619.67	549.64	586.66	-	713.54	604.41	-	-	404.79	564.60
1/100	508.77	518.65	394.88	-	*480.28	*406.82	-	-	*262.85	364.33
1/65	955.15	1004.38	-	-	-	-	-	-	-	-
1/65	549.85	483.59	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Estos valores han sido calculados en base a comparaciones con los demás especímenes, como podemos observar el segundo lazo siempre disipa menos energía, si no consideráramos esto estaríamos sobrevalorando la energía promedio para estos especímenes.

Tabla 4.8

**ENERGÍA DE DEFORMACIÓN PARA CADA CICLO HISTERÉTICO (t.mm)**

Distorsión	Muro Standard 1	Muro Standard 2	M1-A	M2-A	M3-A	M4-A	M1-B	M2-B	M3-B	M4-B
1/3200	6.053	5.013	5.600	6.518	6.486	5.862	4.348	3.403	5.894	6.834
1/3200	5.843	4.570	5.586	7.162	6.751	6.363	5.728	3.846	4.104	6.953
1/1600	16.773	13.715	17.360	17.421	17.888	15.741	12.934	12.812	11.440	20.658
1/1600	15.855	14.461	20.870	17.627	17.791	17.918	14.120	0.000	10.940	17.923
1/800	40.666	40.311	45.101	44.933	44.423	40.247	35.646	38.979	33.554	51.150
1/800	37.906	39.189	42.089	42.662	42.129	38.892	35.871	38.172	37.555	43.865
1/400	97.854	110.369	113.065	103.784	120.880	106.096	-	104.092	79.180	111.839
1/400	89.906	103.420	116.515	103.187	107.490	98.621	-	96.049	79.763	106.150
1/200	212.856	221.054	251.302	227.390	250.609	223.899	-	-	177.963	247.195
1/200	209.886	218.359	222.392	202.091	242.656	221.983	-	-	180.416	242.522
1/100	437.458	419.575	439.741	-	393.213	421.761	-	-	320.100	468.583
1/100	423.518	294.690	417.644	-	-	-	-	-	-	393.545
1/65	629.256	281.340	-	-	-	-	-	-	-	-
1/65	314.557	198.192	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.9

## ENERGÍA RELATIVA

Distorsión	Muro Standard 1	Muro Standard 2	M1-A	M2-A	M3-A	M4-A	M1-B	M2-B	M3-B	M4-B
1/3200	0.49	0.61	0.72	0.44	0.71	0.67	1.26	0.51	0.60	0.58
1/3200	0.55	0.58	0.73	0.32	0.60	0.77	1.20	0.41	0.47	0.44
1/1600	0.70	0.55	0.93	0.67	0.81	0.90	1.02	1.09	0.39	0.67
1/1600	0.52	0.43	0.83	0.47	0.73	0.68	0.87		0.35	0.64
1/800	0.73	0.66	0.77	0.64	0.69	0.88	0.87	0.84	0.57	0.80
1/800	0.54	0.45	0.62	0.48	0.54	0.75	0.68	0.61	0.39	0.63
1/400	0.83	0.81	0.75	1.25	0.67	0.90	-	0.76	0.81	0.81
1/400	0.62	0.55	0.51	0.94	0.47	0.70	-	0.80	0.37	0.57
1/200	0.94	0.89	1.05	1.11	0.85	1.21	-	-	0.80	0.87
1/200	0.78	0.57	0.72	1.19	0.59	0.81	-	-	0.45	0.60
1/100	1.45	1.31	1.33	-	1.81	1.43	-	-	1.26	1.20
1/100	1.20	1.76	0.95	-	-	-	-	-	-	0.93
1/65	1.86	3.57	-	-	-	-	-	-	-	-
1/65	2.27	2.44	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.10

### ENERGÍA DE DISIPACIÓN PROMEDIO (Joules)

Distorsión	Muro Standard 1	Muro Standard 2	M1-A	M2-A	M3-A	M4-A	M1-B	M2-B	M3-B	M4-B
1/3200	29	28	40	25	43	43	60	16	27	34
1/1600	98	68	164	98	135	129	124	125	41	125
1/800	248	217	298	240	263	316	272	274	167	336
1/400	673	718	702	1110	645	804	-	765	458	741
1/200	1786	1576	2084	2421	1739	2205	-	-	1099	1768
1/100	5535	5240	4814	-	5856	4960	-	-	3275	4556
1/65	7382	7299	-	-	-	-	-	-	-	-

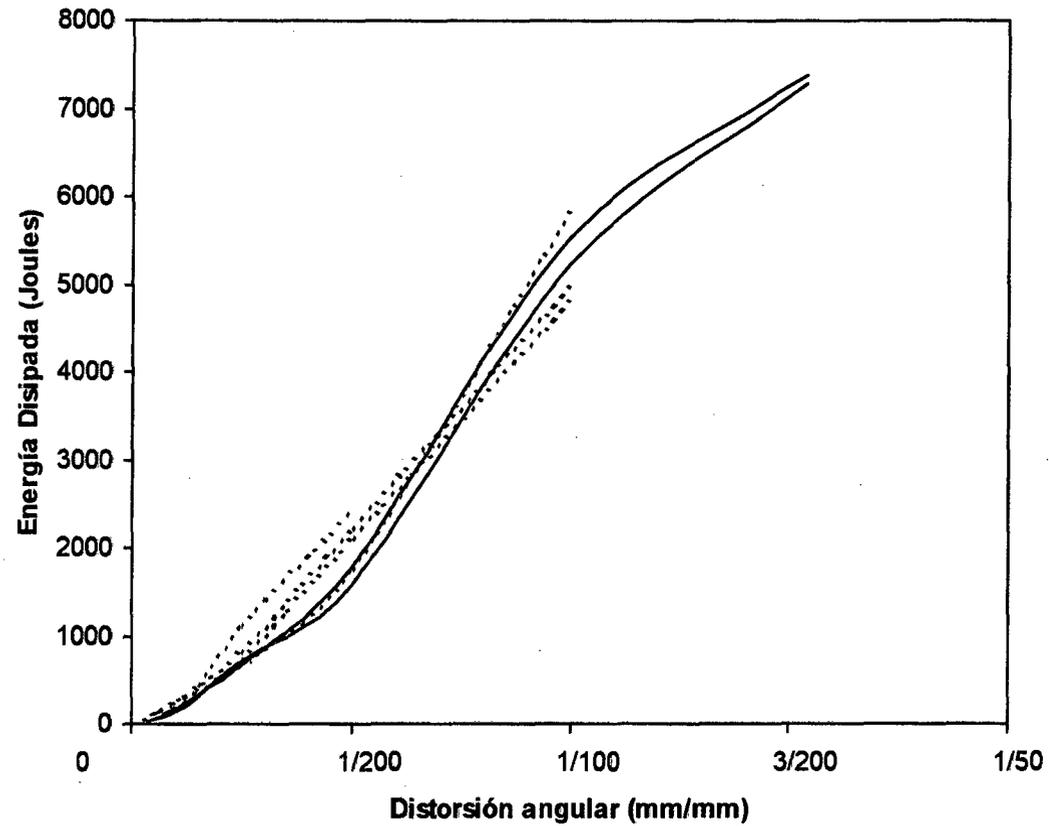
Tabla 4.11

### AMORTIGUAMIENTO

Distorsión	Muro Standard 1	Muro Standard 2	M1-A	M2-A	M3-A	M4-A	M1-B	M2-B	M3-B	M4-B
1/3200	0.08	0.10	0.11	0.07	0.11	0.11	0.20	0.08	0.10	0.09
1/3200	0.09	0.09	0.12	0.05	0.10	0.12	0.19	0.07	0.07	0.07
1/1600	0.11	0.09	0.15	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.06	0.11
1/1600	0.08	0.07	0.13	0.08	0.12	0.11	0.14	-	0.06	0.10
1/800	0.12	0.10	0.12	0.10	0.11	0.14	0.14	0.13	0.09	0.13
1/800	0.09	0.07	0.10	0.08	0.09	0.12	0.11	0.10	0.06	0.10
1/400	0.13	0.13	0.12	0.20	0.11	0.14	-	0.12	0.13	0.13
1/400	0.10	0.09	0.08	0.15	0.07	0.11	-	0.13	0.06	0.09
1/200	0.15	0.14	0.17	0.18	0.13	0.19	-	-	0.13	0.14
1/200	0.12	0.09	0.12	0.19	0.09	0.13	-	-	0.07	0.09
1/100	0.23	0.21	0.21	-	0.29	0.23	-	-	0.20	0.19
1/100	0.19	0.28	0.15	-	-	-	-	-	-	0.15
1/65	0.30	0.57	-	-	-	-	-	-	-	-
1/65	0.36	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.12

### ENERGÍA DE DISIPACIÓN



- "Muro Standard 1 (Tesis UNI 1993- Patricia Gibu y César Serida)"
- "Muro Standard 2 (Tesis UNI 1993- Patricia Gibu y César Serida)"
- ..... "Muro 1-A (Carga vertical=12 t)"
- ..... "Muro 2-A (Carga vertical=12 t)"
- ..... "Muro 3-A (Carga vertical=12 t)"
- ..... "Muro 4-A (Carga vertical=12 t)"

Gráfico 4.42

### ENERGÍA DE DISIPACIÓN

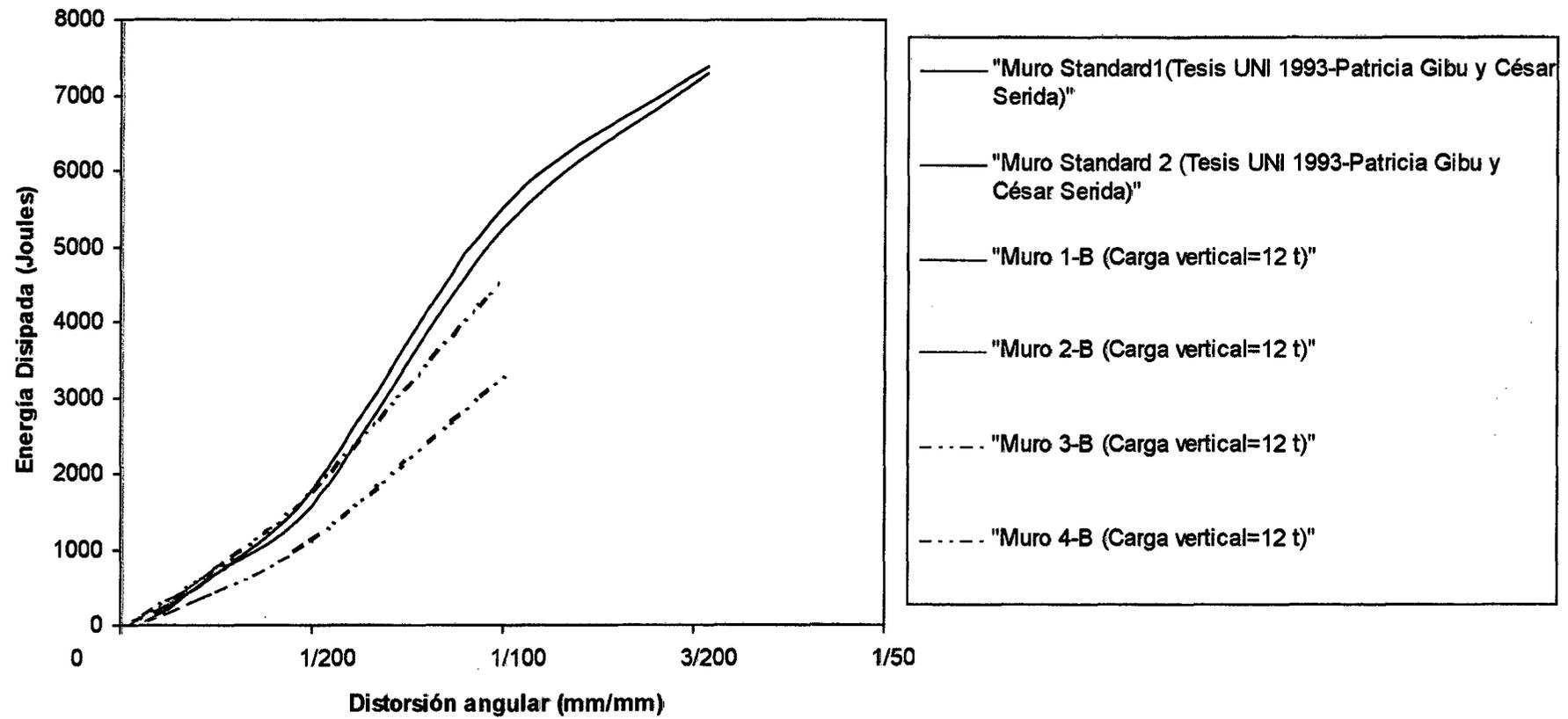
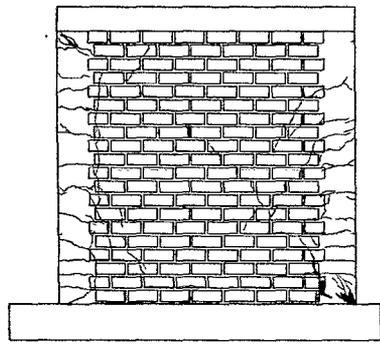


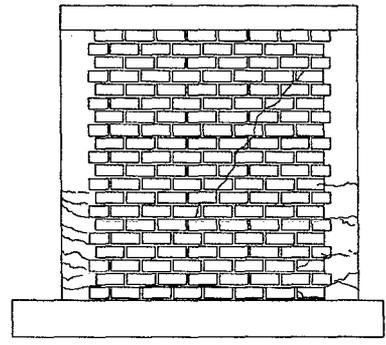
Gráfico 4.43

#### 4.6.7 Patrón de Grietas

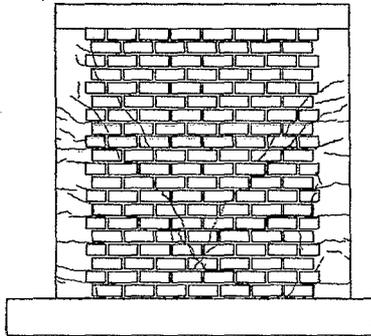
Los patrones de grietas fueron registrados durante el ensayo, desde que aparecieron las primeras fisuras hasta que estuvo próxima al colapso, luego de lo cual resultaba muy peligroso realizar el registro inmediato. Los especímenes que pudieron ser ensayados hasta llegar a distorsiones de 1/100 fallaron principalmente por corte, los especímenes M1-B y M2-B presentaron deslizamiento entre la primera hilada y la base ocasionando cierta flexión que inclinó hacia un lado los especímenes haciendo imposible continuar con su ensayo. Los patrones finales de grietas son mostrados en la Figura 4.10, además en las Figuras 4.11 a la 4.15 se puede comparar la secuencia de agrietamiento para los muros Standard 1, Standard 2, M4-A y M4-B. En general, las primeras fallas que se presentaron en el ensayo fueron debidas a flexión, las primeras fisuras aparecieron en las columnas de confinamiento desde abajo hacia arriba de manera horizontal (falla por flexión) a una distorsión aproximada de 1/1600, luego aparecieron las fallas debido a tracción diagonal que se presentaron en forma escalonada a través de las juntas o cortando la unidad de albañilería, el daño estuvo concentrado principalmente en dos grandes grietas inclinadas que se iniciaron en la zona central del muro y finalmente se extendieron hasta las columnas. Luego de formarse el patrón de grietas en X el muro disminuyó su capacidad para soportar cargas verticales y laterales. En los muros del tipo B además se presentaron fallas localizadas debidas a la compresión por lo cual el ladrillo se encuentra triturado en algunas zonas.



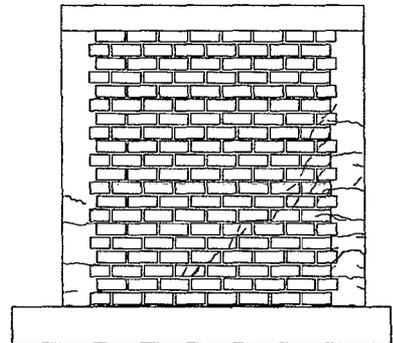
M-1 (TIPO A)



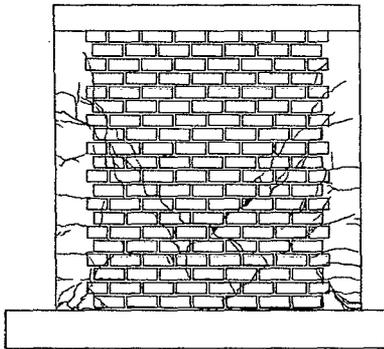
M-1 (TIPO B)



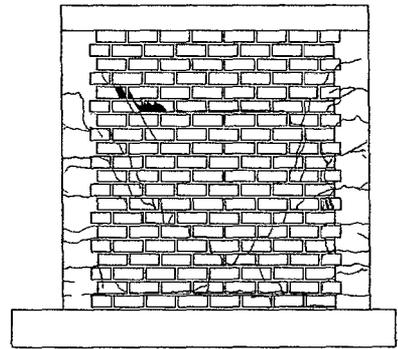
M-2 (TIPO A)



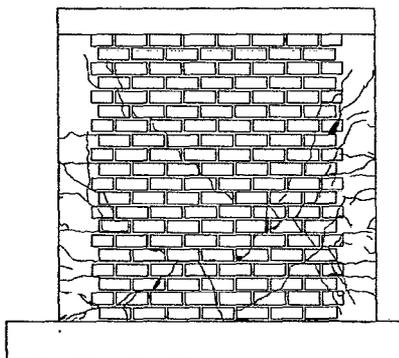
M-2 (TIPO B)



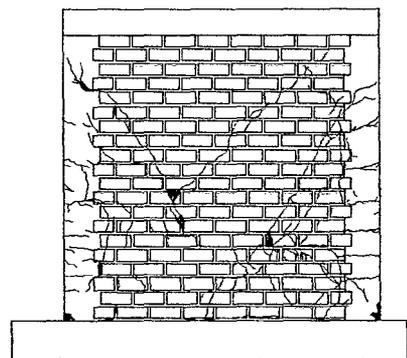
M-3 (TIPO A)



M-3 (TIPO B)



M-4 (TIPO A)



M-4 (TIPO B)

Figura 4.10: Patron de grietas al final del ensayo

## Resumen de las Propiedades Estructurales de los Especímenes

Espécimen	Vmax (t)	dmax (mm)	$v=V/(Lt)$ Kg/cm <sup>2</sup>	Ko (t/mm)	v / v Standard1
Standard 1	20.49	22.80	7.1	12.79	1.00
Standard 2	20.93	23.23	7.3	8.8	1.03
1-A	21.36	24.81	6.8	9.76	0.96
2-A	20.82	12.60	6.7	10.40	0.94
3-A	21.18	12.33	6.8	10.78	0.96
4-A	19.61	12.27	6.3	9.06	0.89
1-B	**14.99	3.05	4.8	6.40	0.68
2-B	**17.46	6.11	5.6	8.32	0.79
*3-B	16.13	24.31	5.2	5.06	0.73
4-B	20.87	24.66	6.7	10.66	0.94

\* Sin carga axial

Tabla 4.13

Nota: Los Vmax se presentaron en la rama negativa de la curva (actuador comprimiendo)

Vmax = Fuerza máxima obtenida como respuesta del muro.

dmax = Desplazamiento en el que se presentó la fuerza máxima.

v = Esfuerzo de corte obtenido según Reglamento dividiendo la fuerza lateral aplicada entre el área bruta de la sección transversal del muro.

Ko = Rigidez inicial obtenida de la curva de histeresis.

## **INVESTIGACIONES REALIZADAS EN MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS**

Se han realizado algunas investigaciones en Estados Unidos y México relacionadas al tema desarrollado en esta tesis, por ello creo conveniente incluirlas aún cuando no se rigen por los mismos parámetros de comparación. A continuación se presenta un breve resumen de dichos reportes:

### **1. Influencia de la Geometría de la Unidad y Área de la Cama del Mortero en la Resistencia a la Compresión de los Prismas (Masonry Structures Behavior and Design; Robert G. Drysdale, Ahmad A Hamid, Lawrie R. Baker; Editorial Prentice Hall; 1994)**

Debido a que las grietas verticales en los prismas están relacionadas con el desarrollo de los esfuerzos de tensión lateral de las unidades de albañilería, las magnitudes de estos esfuerzos están afectados por la geometría de la unidad. Por ejemplo, los ladrillos de arcilla que tienen perforaciones verticales producirán prismas de resistencias menores que los ladrillos de arcilla sólidos de igual resistencia. La diferencia puede ser explicada considerando la relación entre el área de mortero sometido a esfuerzo de compresión vertical y la sección vertical mínima resistente a tensión lateral. Como se muestra en la figura 1 un 15% de reducción en el área de la cama del mortero puede resultar en un 45% de reducción en la sección vertical mínima a través de las perforaciones.

Sobre una base simplística, ignorando las concentraciones de esfuerzos y otros factores, la reducción del área productora de esfuerzo neto a lo largo de la cama de la junta de 85% comparada al área resistente de esfuerzo neto de 55% a través de la unidad sugieren que las perforaciones reducirán la

resistencia del prisma a  $55/85 = 0.65$  del valor para unidades sólidas. Este tipo de reducción es mostrado en los resultados del ensayo mostrado en la Figura 2.

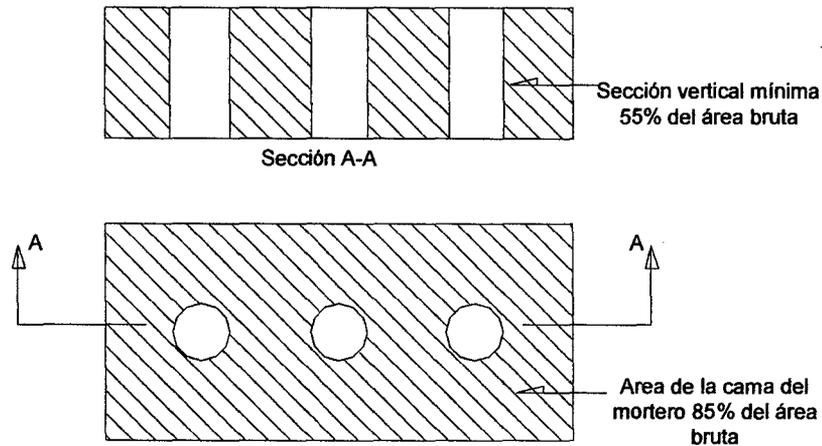


Figura 1

Para la junta de mortero de  $\frac{3}{4}$  in (10 mm), los prismas de ladrillos sólidos y ladrillos perforados tienen resistencias relativas de 0.49 y 0.74, respectivamente (en relación a las resistencia de las unidades), resultando una proporción de 0.66. Basado sobre perforaciones que producen un 69% de ladrillo sólido con un 47% de sección vertical sólida a lo largo de la longitud, la proporción  $0.47/0.69 = 0.69$  es muy cercana al valor observado.

El efecto neto de las perforaciones es usualmente mínimo a causa del incremento de la resistencia del material debido a la mejor cocción de la arcilla en unidades perforadas. Además, el mejoramiento de la durabilidad debido a la mejor cocción puede ser mucho más significativo que los cambios en la ya alta resistencia a la compresión.

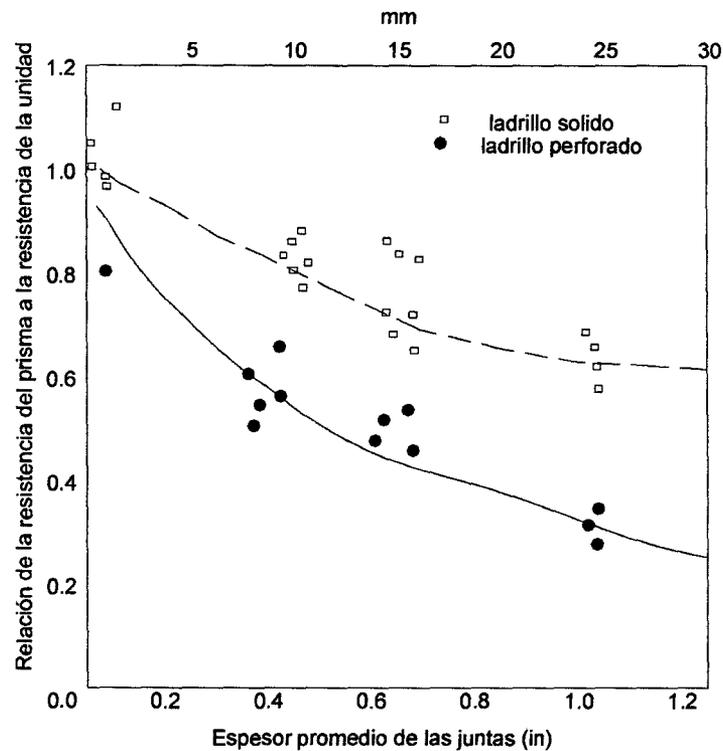


Figura 2

**2. Comportamiento de Muros de Ladrillos de Arcilla Multiperforados sometidos a Carga del Tipo Sísmica (Alcocer, S.M. Zepeda, y M. Ojeda; Estudio de la factibilidad técnica del uso del tabique Vintex y Multex para vivienda económica. CENAPRED Internal Report IEG/01/97, 126)**

**Resumen**

En México, la calidad del comportamiento sísmico de muros construidos con ladrillos multiperforados fue puesta en duda por diseñadores y contratistas. Particularmente, fue expresado lo concerniente sobre la falla frágil de ladrillos cuando son cargados en corte.

Se dirigieron una serie de ensayos del material y muros con la finalidad de evaluar el comportamiento y desarrollar pautas de análisis y diseño. Para ello, se ensayaron cuatro muros a escala natural construidos con ladrillos de

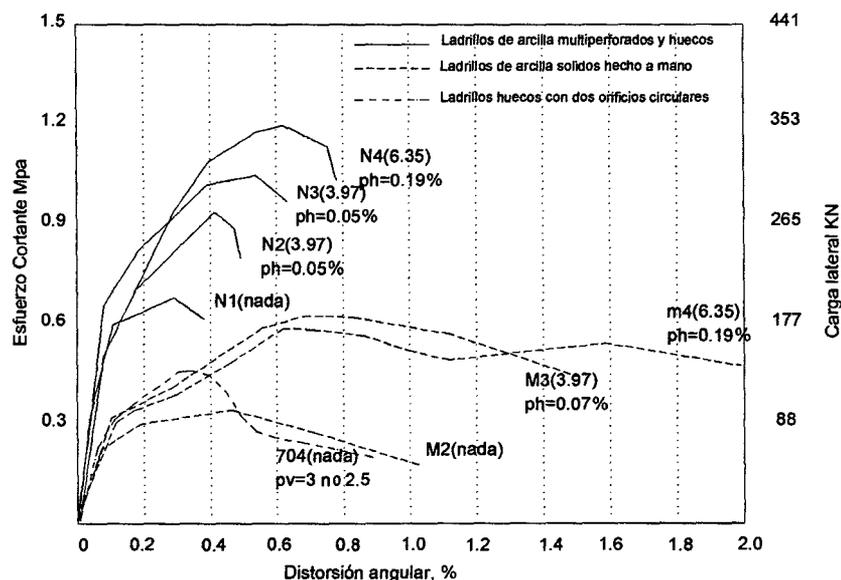
arcilla multiperforados bajo carga de tipo sísmica. Se usó un tipo de ladrillo únicamente disponible en México. Los muros incluyen variables como: la cantidad del refuerzo horizontal, el tamaño y tipo de columnas de confinamiento y la calidad del mortero. Los muros fueron ensayados bajo esfuerzo axial constante, aplicando y siempre incrementando la historia de carga cíclica. Las dimensiones promedio de los ladrillos fueron 240x120x60 mm; la proporción del área neta al área bruta de los ladrillos multiperforados y huecos fueron 0.7 y 0.54, respectivamente.

Los resultados indican que los ladrillos multiperforados de arcilla pueden ser usados para resistencia sísmica, si una cantidad mínima de refuerzo horizontal y detalles apropiados de la unión con la columna son provistos.

Los especímenes ensayados tenían las siguientes características:

Especímen	Mortero <sup>a</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	v*m Kg/cm <sup>2</sup>	ph (%)	phfy(Kg/cm <sup>2</sup> )
N1	1 : 0 : 3	260	10.8	---	---
N2	1 : 1/2 : 3	191	10.5	0.05	2.9
N3	1 : 1/2 : 3	192	7.9	0.05	2.9
N4	1 : 1/4 : 3	291	4.9	0.19	11.2

<sup>a</sup> cemento : limo : arena (proporción en volumen)



## **Conclusiones:**

1. La resistencia a la compresión diagonal de la albañilería, relacionada al esfuerzo de corte de diseño, varía con la cantidad de la penetración del mortero dentro de los ladrillos multiperforados. Las mayores resistencias fueron obtenidas con morteros fluidos.
2. La primera grieta inclinada ocurrió para un ángulo de distorsión de 0.1 %, desestimando la cantidad de refuerzo horizontal, así como el tipo y detalle de la conexión con la columna.
3. Las deformaciones por corte gobernaron el comportamiento del muro.
4. Los especímenes reforzados horizontalmente mostraron un patrón de grietas más uniforme comparados al control de la estructura no reforzada. El uso de alambre de 4 mm de diámetro le dio un incremento sustancial a la capacidad de fuerza y deformación. La efectividad del refuerzo depende de la proporción del refuerzo. Las columnas exteriores contribuyen a aumentar la fuerza, la rigidez, la capacidad de deformación y la estabilidad del comportamiento cíclico del muro.
5. El incremento en la resistencia lateral no fue linealmente proporcional a la cantidad de refuerzo horizontal.
6. La contribución del refuerzo horizontal,  $phfyh$  a la resistencia lateral del muro fue una función del desplazamiento lateral y el tipo de unión de la columna.
7. Comparando los muros con columnas internas y el espécimen con columnas externas, se tiene que este último exhibe una mayor resistencia lateral, rigidez, disipación de energía y capacidad de deformación y, un comportamiento más estable.
8. Las medidas de las resistencias laterales fueron considerablemente más altas que las predicciones del código.

9. Las columnas con refuerzo transversal de alambre doblado en frío Grado 60 se deforman mucho menos que las que tienen acero dulce N° 2 (6.35 mm) Grado 25.

**Recomendaciones:**

1. Se desarrolló una ecuación para calcular el esfuerzo de corte del muro que considera la efectividad del refuerzo horizontal, la resistencia lateral nominal de muros reforzados horizontalmente con alambre doblado en frío puede ser calculada como:

$$V_n = 0.5 v^* m A_t + 0.3 P + n p_h f_y h A_t$$

$v^* m$  es el esfuerzo de diseño por corte (obtenido del ensayo de compresión diagonal).

$A_t$  es el área de la sección transversal del muro

$P$  es la carga vertical actuante sobre el muro

$n$  es la eficiencia del refuerzo horizontal (se recomienda que  $n = 2/3$  para  $p_h f_y h$  por encima de  $60 \text{ Kg/cm}^2$ , e igual a  $0.4$  para  $p_h f_y h$  mayor que  $90 \text{ Kg/cm}^2$ ; para valores de  $p_h f_y h$  entre  $60$  y  $90 \text{ Kg/cm}^2$ , es permitida la interpolación lineal). Los resultados usando esta fórmula concuerdan bien con los datos de la prueba.

2. Si el refuerzo horizontal es usado,  $p_h$  debe estar entre  $0.05\%$  y  $0.15\%$ .

3. El esfuerzo de diseño por corte debe ser menor que  $60 \text{ Kg/cm}^2$ . La resistencia del cubo de mortero debe ser mayor que  $120 \text{ Kg/cm}^2$ . La fluidez del mortero debe ser mayor de  $110\%$ .

---

## **CAPÍTULO V :**

### **OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES**

---

#### **5.1 Observaciones**

- La Norma de Albañilería E-070 aprobada en 1982 establece que los muros portantes pueden ser construidos con ladrillos sólidos o huecos. Desde entonces hasta la actualidad se han dado varios cambios: la variabilidad en las dimensiones se ha incrementado, asimismo el área neta de la unidad ha sido reducida. Como consecuencia de ello, se tiene nuevas unidades con características distintas.
- La falta de una estandarización de las unidades de albañilería dificulta el control de calidad de éstas y la tarea por conocer su comportamiento sismorresistente. Por ello se considera recomendable un proceso de estandarización de manera paulatina y a largo plazo, de esta manera se lograría optimizar los resultados ya que se limitarían las variaciones existentes.

- Debemos observar que la manera correcta de clasificar las unidades por su resistencia a la compresión es con respecto al valor promedio de los ensayos menos la desviación standard de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (ITINTEC 331.019).
- El área neta se ha determinado de dos maneras: midiendo los alvéolos con el pie de rey y; hallando el volumen y dividiéndolo entre la altura. Los resultados obtenidos mediante ambos procedimientos resultan bastante aproximados. El primero de ellos resulta más práctico y el segundo es más confiable, aunque cabe señalar que las diferencias encontradas en los resultados de uno y otro son mínimas.
- La resistencia característica ha sido determinada como el valor promedio menos la desviación standard en todos los casos, a excepción de la resistencia a la compresión de prismas que ha sido corregida siguiendo las indicaciones de la Norma de Albañilería E-070.
- El muro fue diseñado de acuerdo a la Norma de Albañilería E-070. Las resistencias laterales medidas fueron considerablemente más altas que el valor teórico dado por dicha Norma.
- Para una mejor comprensión de los resultados antes expuestos, a continuación se explica brevemente algunos conceptos básicos:

**La resistencia**, de una estructura es la fuerza de oposición a una fuerza aplicada y cuando existe una fuerza externa, como por ejemplo la ocasionada por un evento sísmico se manifiestan este tipo de reacciones. Como podemos notar en los gráficos correspondientes esta resistencia fue disminuyendo a medida que el elemento se iba deteriorando y agrietando. La fuerza es aplicada lateralmente ya que es en este eje que el elemento proporciona mayor resistencia.

**La rigidez**, es la fuerza que se necesita para que la estructura tenga cierto desplazamiento. En nuestro caso, se ha calculado la rigidez lateral. El ensayo realizado nos permite registrar los valores de fuerza correspondiente para cada desplazamiento de principio a fin tomado en el eje de aplicación de la carga.

**La resistencia y la capacidad de disipación** de energía de un marco con muros confinados son mucho mayores que los del marco solo y, por consiguiente, un marco con muros confinados resulta efectivo contra los sismos, aún cuando las fuerzas introducidas se incrementen debido a la alta rigidez. Las estructuras de albañilería se caracterizan por una alta rigidez y gran peso. Como resultado, la disipación de energía hacia el interior es grande; a pesar de todo, la respuesta sísmica es alta debido al periodo corto. Al igual que en otros tipos de estructuras, se puede lograr un diseño económico en las estructuras de albañilería si se supone que la disipación de energía ocurrirá como consecuencia de un comportamiento dúctil. Es difícil lograr ductilidad en las estructuras de albañilería, en comparación con las de concreto reforzado. Sin embargo, es posible si el acero se combina

en forma efectiva con la albañilería y los detalles se diseñan con cuidado. La fricción de cuerpo es grande en los muros de albañilería confinados cuando éstos se agrietan y proporcionan una resistencia sísmica muy efectiva. *(Ref. 18)*

## 5.2 Conclusiones:

- Las unidades tipo A, B y C estudiadas clasifican como ladrillo Tipo V-Hueco-241x130x89, Tipo IV-Hueco-228x130x89 y Tipo V-Hueco-249x120x96 respectivamente, de acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos de clasificación según la Norma Técnica Peruana. La unidad tipo standard estudiada en el año 1993 clasifica como Tipo V-Sólido-25x12x9.5. El ladrillo tipo V está definido como de resistencia y durabilidad muy altas y el tipo IV como de resistencia y durabilidad alta.
- No se encontró una relación predecible entre el  $f_b$  y el porcentaje de sólidos de la unidad (Véase el Gráfico 3.1), sin embargo, se pudo establecer una tendencia lineal relacionando la máxima fuerza a la compresión de la unidad y su porcentaje de sólidos. Así tenemos que por cada 1% de disminución en el porcentaje de sólidos hay una disminución aproximada de 1.3 Kg en la resistencia característica a la compresión de la unidad. En la Tabla 5.1 se presenta la comparación de los resultados obtenidos a través de ensayos y la ecuación hallada:

Tipo de unidad	Porcentaje de Sólidos (%)	P (Kg)	$Y=1.6457x-64.737$ $R = 0.98$
A	70	49.8	50.4
B	56	26.2	27.4
C	61	37.5	35.7

R = Coeficiente de regresión

Tabla 5.1

- La resistencia a la compresión de las pilas es mayor mientras mayor sea el porcentaje de sólidos de la unidad de albañilería, los resultados obtenidos nos han permitido encontrar una relación lineal entre ambos parámetros. En el Gráfico 3.2 podemos observar la curva, los resultados han sido corregidos de acuerdo a la Norma Peruana de Albañilería E-070, por cada 1% de disminución en el porcentaje de sólidos la resistencia a la compresión característica de las pilas disminuye en 1.86 Kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente. La Tabla 5.2 presenta la comparación de los resultados obtenidos a través de ensayos y la ecuación hallada, el valor correspondiente a los especímenes del tipo standard no ha sido correlacionado:

Tipo de Unidad	Porcentaje de Sólidos (%)	f'm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Y=1.8609x-22.331 R = 1
Standard	75	108	-
A	70	108	108
B	56	82	82
C	61	91	91

R = Coeficiente de regresión

Tabla 5.2

- El menor valor obtenido para el esfuerzo de corte característico de la albañilería corresponde al espécimen tipo A, es decir el que tiene mayor área neta. Si únicamente tuviéramos los resultados obtenidos para los especímenes del tipo A y B se podría pensar que a mayor porcentaje de sólidos es menor el esfuerzo de corte, sin embargo, esto cambia al observar el Gráfico 3.4, como podemos ver el valor más alto de esfuerzo de corte corresponde al espécimen del tipo C. Debemos observar que la estructura alveolar de la unidad del tipo C posee mayor número de celdas (Véase la Foto 3.1 o la Figura 3.1), lo cual, se presume, ha ayudado a que las llaves de engrapamiento (la conexión de las unidades a través del mortero que ha

llenado el volumen de vacíos), aporten mayor resistencia que en los otros casos.

- La resistencia a la compresión diagonal de muretes es mayor mientras mayor sea el área neta de la unidad de albañilería, los resultados obtenidos nos han permitido encontrar una relación lineal entre el área neta y el esfuerzo de compresión diagonal del murete. Por cada 1% de disminución en el porcentaje de sólidos la resistencia a la compresión diagonal característica de los muretes disminuye en 0.21 Kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente. A continuación se presenta la comparación de los resultados obtenidos a través de ensayos y la ecuación hallada:

Tipo de unidad	Porcentaje de Sólidos (%)	v'm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Y=0.2093x+0.2979 R = 1.00
A	70	15	15
B	56	12	12
C	61	13	13

R = Coeficiente de regresión

Tabla 5.3

- Si realizamos una breve descripción de la curva de comportamiento de los muros podemos decir lo siguiente: la curva de comportamiento del muro standard inicialmente muestra una mayor resistencia y una mayor rigidez para un mismo nivel de distorsión con respecto al muro tipo A y B, esto ocurre hasta llegar a una distorsión de 1/800 aproximadamente; luego de esta etapa se observa una disminución en el incremento de la rigidez y resistencia en el muro standard hasta llegar a un nivel de distorsión de 1/100 aproximadamente, que es cuando empieza la pérdida de resistencia y de rigidez, en los muros del tipo A y tipo B ocurre lo mismo pero hasta

llegar a una distorsión de 1/200 aproximadamente.

- Los niveles de distorsión correspondientes al cortante máximo en los muros del tipo A y B ocurren generalmente a una distorsión aproximada de 1/200, en esta etapa el muro standard aún no ha llegado a alcanzar su máxima resistencia. El nivel de distorsión límite para la reparabilidad de los muros de albañilería corresponde a 1/200.
- La rigidez inicial de los muros calculada para una distorsión de 1/3200 mediante la fórmula de Mayes & Clough resultó:

Tipo de espécimen	Ko (t/mm)
Standard1	12.79
Standard2	8.80
M1-A	9.76
M2-A	10.40
M3-A	10.78
M4-A	9.06
M1-B	6.40
M2-B	8.32
M3-B	5.06
M4-B	10.66

Tabla 5.4

- La rigidez inicial promedio fue calculada para cada grupo de especímenes del mismo tipo, encontrándose valores promedio de 10.8 t/mm para los especímenes del tipo standard, 9.9 t/mm para los del tipo A y de 8.46 t/mm para los del tipo B, con un coeficiente de variación de 26%, 6% y 25% respectivamente. A pesar de que los resultados individuales no muestran mucha homogeneidad para un mismo tipo de espécimen, los resultados promedio muestran una clara tendencia lineal al relacionar la rigidez inicial con el porcentaje de sólidos (Véase el gráfico 4.34).

- Con respecto a la degradación de rigidez podemos observar que la diferencia existente va de más a menos, es decir, a menor distorsión angular mayor es la diferencia. Esto sucede hasta llegar a un nivel aproximado de 1/200. El buen o mal comportamiento del espécimen tiene mayor incidencia para la degradación de rigidez en su etapa inicial, en la etapa final la respuesta es similar independientemente de cómo empezó.
- También se halló la rigidez del muro encontrando una ecuación lineal de la correlación de valores para los dos primeros lazos histeréticos (distorsión de 1/3200), se encontró lo siguiente:

<b>Tipo de espécimen</b>	<b>Ecuación (etapa elástica)</b>	<b>R (Coeficiente de regresión)</b>	<b>Ko (t/mm)</b>
Standard1	$y = 12.882x - 0.705$	0.978	12.88
Standard2	$y = 8.294x - 0.635$	0.949	8.29
M1-A	$y = 8.7576x - 0.8349$	0.936	8.78
M2-A	$y = 10.396x - 3.3239$	0.985	10.40
M3-A	$y = 9.3246x - 0.9129$	0.921	9.32
M4-A	$y = 8.1627x - 0.7894$	0.940	8.16
M1-B	$y = 5.2747x - 1.7849$	0.818	5.27
M2-B	$y = 8.0072x - 0.0173$	0.967	8.01
M3-B	$y = 4.5733x - 0.6451$	0.959	4.57
M4-B	$y = 10.3710x - 1.9600$	0.964	10.37

Tabla 5.5

- De acuerdo a los resultados de la Tabla 5.5 la rigidez inicial promedio fue calculada para cada grupo de especímenes del mismo tipo, encontrándose valores promedio de 10.6 t/mm para los especímenes del tipo standard, 9.2 t/mm para los del tipo A y de 7.9 t/mm para los del tipo B, con un coeficiente de variación de 22%, 5% y 19% respectivamente.
- La fuerza cortante del muro sin confinamiento vertical es aproximadamente el 70% de un muro confinado del mismo tipo.

- Si comparamos la ductilidad con la del muro Standard1 tenemos:

Espécimen	$du_{1x}/(du_{1Standard1})$ (%)	$du_{2x}/(du_{2Standard1})$ (%)	$du_{3x}/(du_{3Standard1})$ (%)
Standard 1	100	100	100
Standard 2	53	67	58
M1-A	41	35	56
M2-A	34	48	46
M3-A	43	34	59
M4-A	45	36	62
M3-B	68	55	92
M4-B	43	35	60

Tabla 5.6

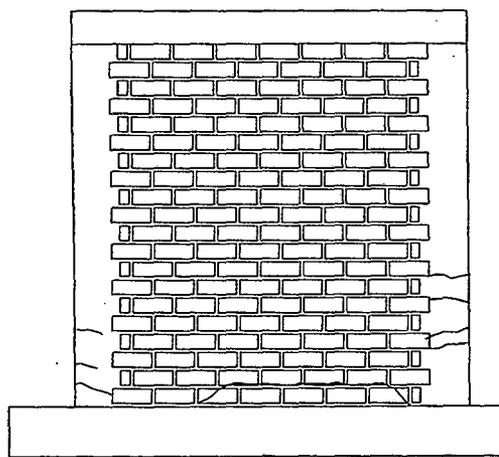
- La ductilidad obtenida para los muros del tipo A varía entre el 34% y 62% con respecto al muro Standard, para los muros del tipo B resultó entre 35% y 60% y el 55% y 92% para el muro con y sin carga vertical respectivamente. Los valores más altos obtenidos corresponden al muro M3-B (sin confinamiento vertical). Los valores más bajos obtenidos pertenecen al muro M2-A, el cual presentó problemas de cangrejeras en la etapa constructiva.
- La ductilidad para un muro con carga vertical es del orden del 60 al 65% de un muro sin carga vertical construido con el mismo tipo de ladrillo y las mismas características técnicas.
- El muro construido con el ladrillo tipo standard demostró mayor ductilidad en su comportamiento, la incursión en el rango inelástico ocurrió para una distorsión de 1/100 mientras que en los muros construidos con los ladrillos tipo A y B sucedió generalmente para una distorsión de 1/200.

- El esfuerzo a compresión de los prismas del tipo A fue muy similar al del tipo Standard, sin embargo demostraron un comportamiento ligeramente distinto en la respuesta de los muros.
  
- Las estructuras deben ser capaces de mantener una alta proporción de su esfuerzo inicial cuando un sismo mayor impone grandes deformaciones, a esta capacidad se le denomina ductilidad, esto también incluye la capacidad para absorber energía por comportamiento histerético. Se ha calculado la ductilidad de tres maneras: la primera considerando una degradación del 30 % del cortante máximo ( $du_1$ ); la segunda correspondiente a la fuerza máxima alcanzada; y la tercera limitando la distorsión angular a 1/200. Según estas definiciones se calculó que para los muros del tipo A  $du_1$  está entre el 34% y 45%,  $du_2$  entre el 35% y 48% y  $du_3$  entre el 46% y 62% con respecto al muro standard. Para el muro del tipo B con carga de confinamiento vertical se calculó en 43%, 35% y 60%. Para el muro del tipo B sin carga de confinamiento vertical se calculó en 68%, 55% y 92%. Para todos los casos los muros construidos con los ladrillos del tipo A y B resultan ser más frágiles que los construidos con el tipo standard.
  
- La energía de disipación calculada nos muestra que los especímenes que poseen mayor porcentaje de sólidos disipan más energía en los lazos finales, lo cual puede ser observado en el Gráfico 4.42 y 4.43.
  
- En la secuencia de agrietamiento se puede apreciar que para el muro standard aún no se ha producido la grieta diagonal por corte para una

distorsión de 1/100, mientras que para esta misma distorsión los muros del tipo A y B ya presentaban este tipo de falla y el ladrillo estaba ya triturado debido a la acción de corte-compresión, esto era más notable en el muro del tipo B (menor porcentaje de área neta). Al respecto se puede mencionar que ya en el año 1974 Meli mencionó que el deterioro de la resistencia es más seria para la mampostería hueca que para la mampostería sólida, debido a la fractura y el descascaramiento de las paredes. Para mejor ilustración véase la secuencia de agrietamientos en las figuras 5.1 a 5.5.

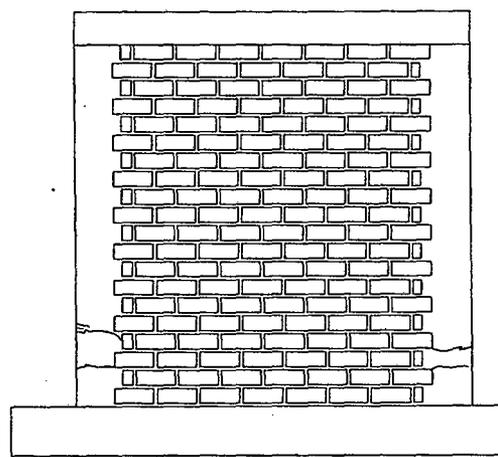
- Evidentemente la mano de obra y la calidad de los materiales empleados han cumplido un papel importante en el resultado de los ensayos, aún más por cuanto el comportamiento de la albañilería es muy susceptible a éstas variables. Sin embargo, se ha tratado de crear las mismas condiciones con respecto a los materiales utilizados y con respecto a la mano de obra, los resultados obtenidos demuestran diferencias aceptables.
- Durante la realización de los ensayos se pudo comprobar que los alvéolos de las unidades se encontraban rellenos de mortero, esto sucedió de manera natural ya que no era esa la finalidad de este estudio.
- Los valores de esfuerzo cortante máximo obtenidos para los muros resultan bastante similares independientemente del tipo de espécimen que fueran.  
(Véase la Tabla 4.13)
- En la curva de histéresis de los muros puede apreciarse una diferencia entre la máxima fuerza de respuesta jalando y empujando entre 10% a 15%

para un mismo nivel de distorsión en un mismo espécimen, esto puede ser originado por cierta flexión producida al jalar el espécimen debido a la posición del actuador.



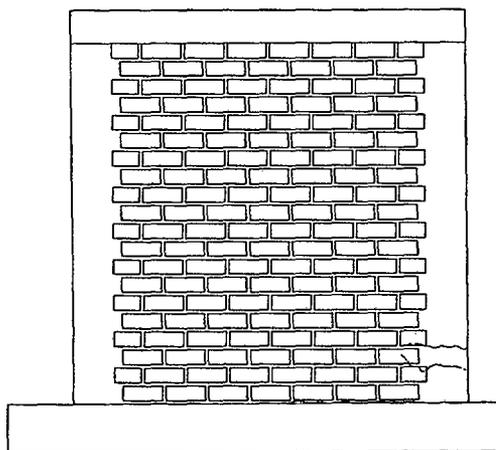
$\theta = 1/1600$

(a)



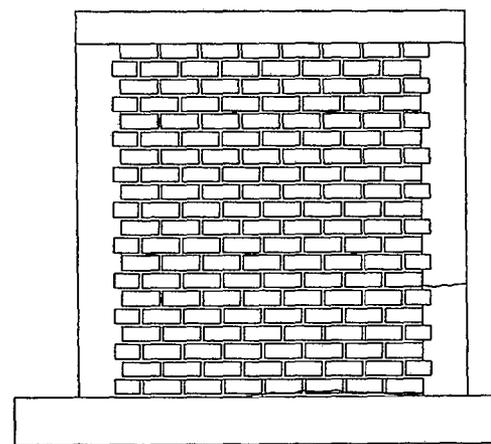
$\theta = 1/1600$

(b)



$\theta = 1/1600$

(c)



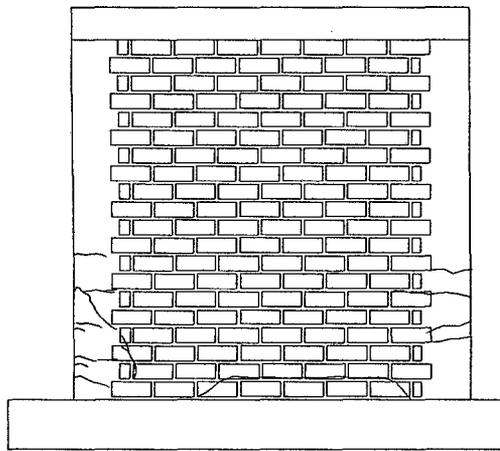
$\theta = 1/1600$

(d)

Figura 5.1

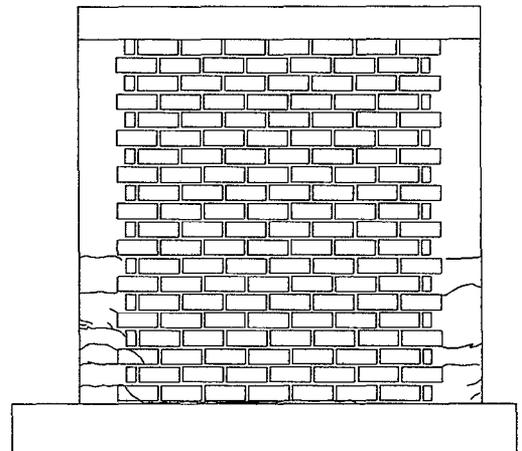
AGRIETAMIENTO PARA UNA DISTORSIÓN ANGULAR DE 1/1600

- (a) Muro standard1 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993)  
(b) Muro standard2 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993). (c) Muro M4-A (d) Muro M4-B



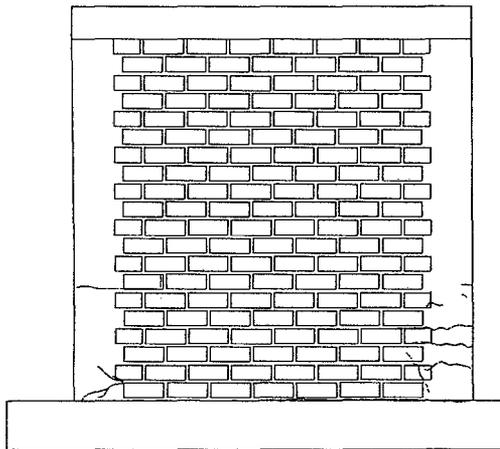
$\theta = 1/800$

(a)



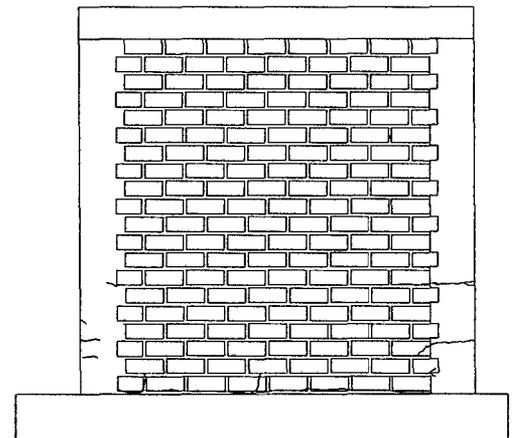
$\theta = 1/800$

(b)



$\theta = 1/800$

(c)



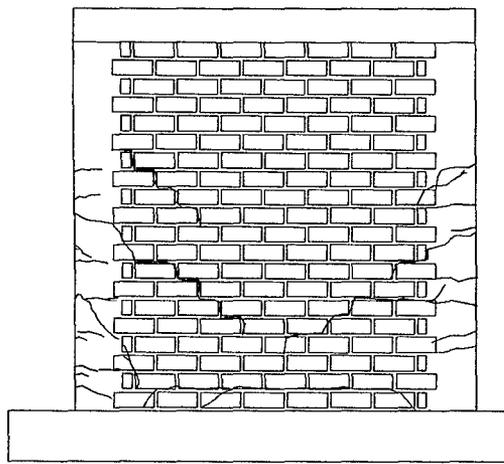
$\theta = 1/800$

(d)

Figura 5.2

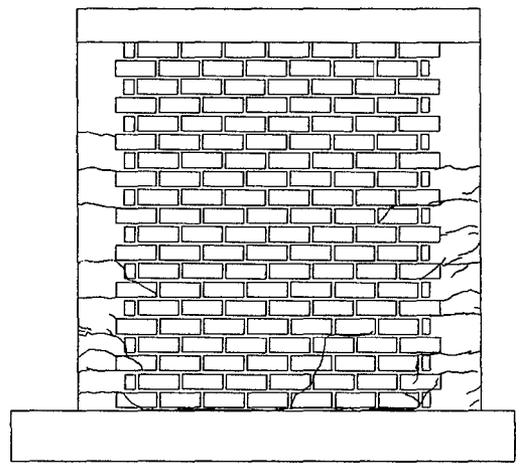
**AGRIETAMIENTO PARA UNA DISTORSIÓN ANGULAR DE 1/800**

- (a) Muro standard1 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993).  
(b) Muro standard2 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993). (c) Muro M4-A (d) Muro M4-B



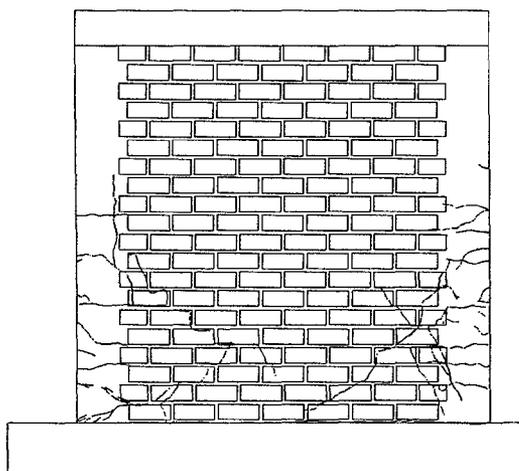
$\theta = 1/400$

(a)



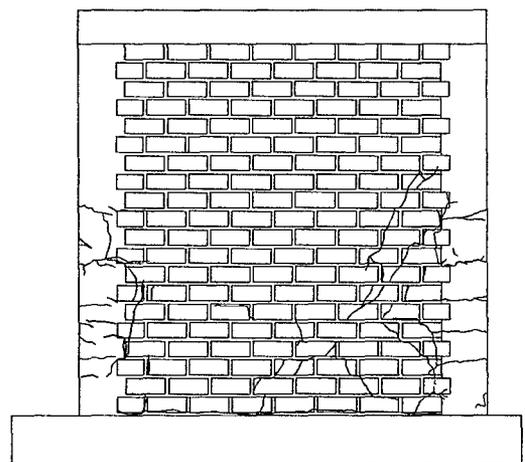
$\theta = 1/400$

(b)



$\theta = 1/400$

(c)



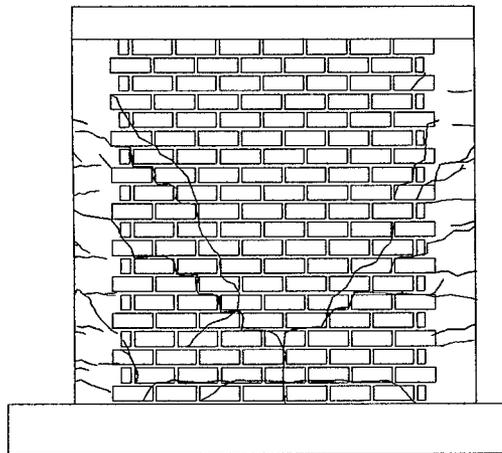
$\theta = 1/400$

(d)

Figura 5.3

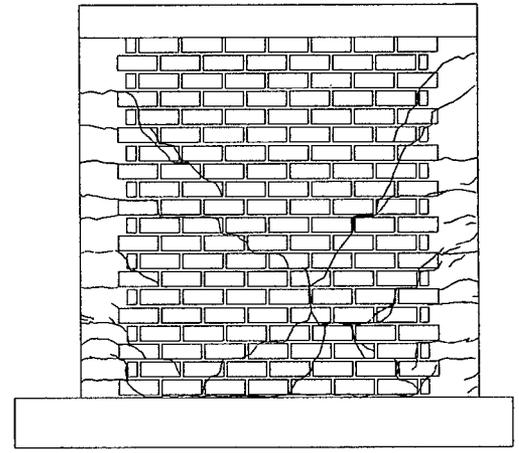
AGRIETAMIENTO PARA UNA DISTORSIÓN ANGULAR DE 1/400

- (a) Muro standard1 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993).  
(b) Muro standard2 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993). (c) Muro M4-A (d) Muro M4-B



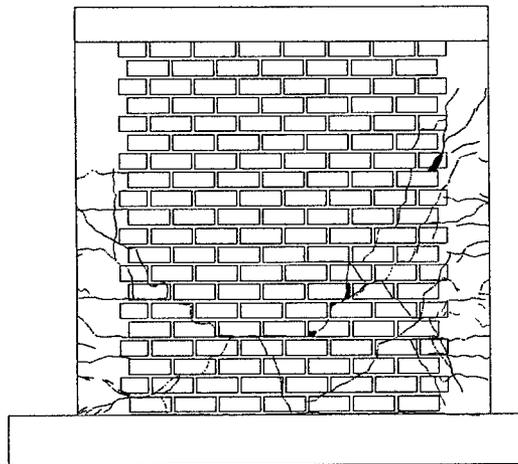
$\theta = 1/200$

(a)



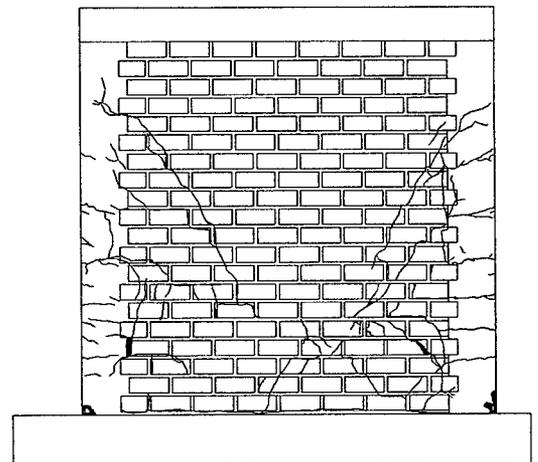
$\theta = 1/200$

(b)



$\theta = 1/200$

(c)



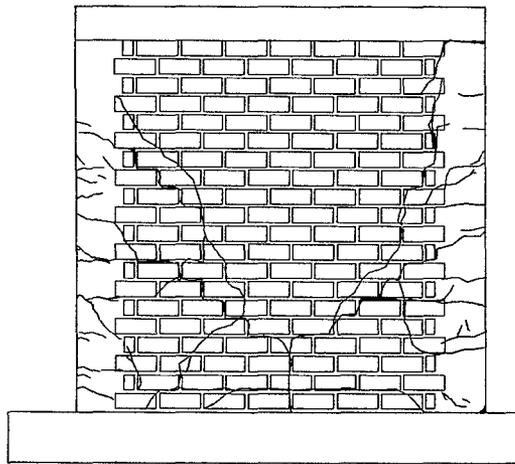
$\theta = 1/200$

(d)

Figura 5.4

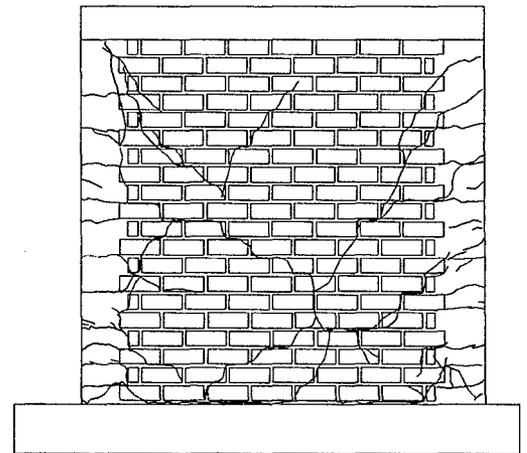
AGRIETAMIENTO PARA UNA DISTORSIÓN ANGULAR DE 1/200

(a) Muro standard1 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993).  
(b) Muro standard2 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993). (c) Muro M4-A (d) Muro M4-B



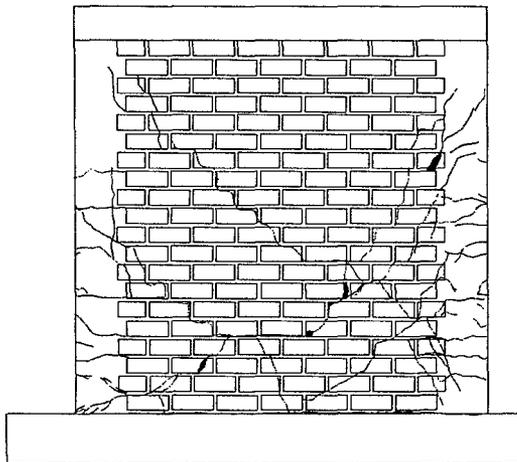
$\theta = 1/100$

(a)



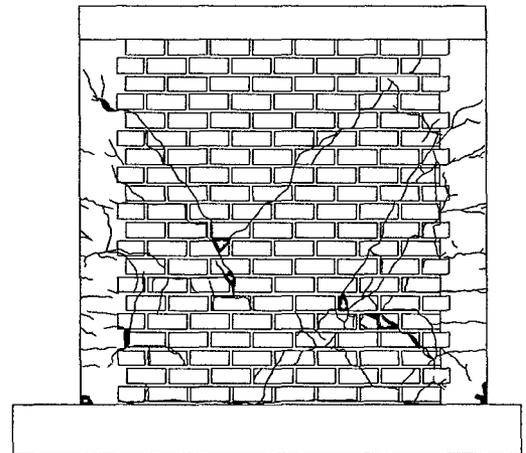
$\theta = 1/100$

(b)



$\theta = 1/100$

(c)



$\theta = 1/100$

(d)

Figura 5.5

AGRIETAMIENTO PARA UNA DISTORSIÓN ANGULAR DE 1/200

- (a) Muro standard1 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993).  
(b) Muro standard2 (Gibu y Serida, UNI-CISMID, 1993). (c) Muro M4-A (d) Muro M4-B

**ANEXO I:**

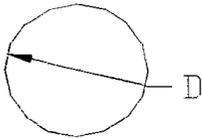
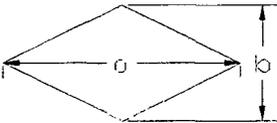
**RESULTADOS DE**

**LOS ENSAYOS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA-FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES  
**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**  
HOJA DE RESULTADOS No 1

**DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ÁREA NETA EN LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA**

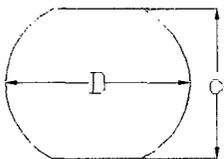
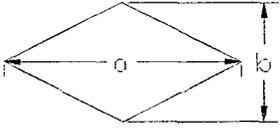
TIPO DE LADRILLO:           A

Detalles Gráficos	A-7			A-9			A-10		
	D (mm)		Área(mm <sup>2</sup> )	D (mm)		Área(mm <sup>2</sup> )	D (mm)		Área(mm <sup>2</sup> )
 <p>Área circular</p>	25.00		490.88	25.30		502.73	25.00		490.88
	25.10		494.81	24.85		485.00	24.75		481.11
	25.00		490.88	25.25		500.74	25.10		494.81
	25.10		494.81	25.30		502.73	25.10		494.81
	25.25		500.74	24.75		481.11	24.75		481.11
	Área promedio			<b>494.4</b>	Área promedio		<b>494.5</b>	Área promedio	
 <p>Área del rombo</p>	a(mm)	b(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	a(mm)	b(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	a(mm)	b(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )
	26.45	13.85	183.17	29.00	13.25	192.13	27.35	14.35	196.24
	27.45	13.60	186.66	25.40	13.00	165.10	26.25	13.00	170.63
	25.50	15.00	191.25	28.60	13.50	193.05	25.80	11.90	153.51
	26.90	13.80	185.61	25.90	12.65	163.82	26.00	14.35	186.55
	26.00	12.45	161.85	28.00	13.50	189.00	27.30	13.45	183.59
Área promedio			<b>181.71</b>	Área promedio		<b>180.62</b>	Área promedio		<b>178.10</b>
Área hueca (mm <sup>2</sup> )=	8768.59			8767.07			8661.41		
Área bruta (mm <sup>2</sup> ) =	31178.00			31200.00			31200.00		
% de área neta =	<b>71.88</b>			<b>71.90</b>			<b>72.24</b>		
(x-xprom)^2 =	<b>573.62</b>			<b>574.80</b>			<b>591.16</b>		
Resultados	<b>Xprom = 72%</b>			<b>S= 0.2%</b>			<b>CV = .3</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA-FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES  
**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**  
**HOJA DE RESULTADOS No 2**

**DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ÁREA NETA EN LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA**

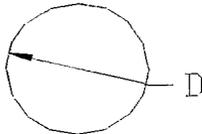
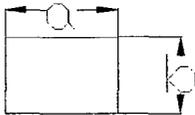
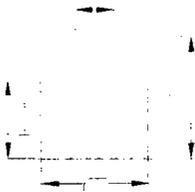
TIPO DE LADRILLO:            B

Detalles Gráficos	B-7			B-8			B-10		
	D (mm)	d (mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	D (mm)	d (mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	D (mm)	d (mm)	Área(mm <sup>2</sup> )
 <b>Área circular</b>	31.00	27.75	724.50	30.00	30.00	706.86	29.50	28.00	674.16
	31.00	28.15	729.86	30.25	28.30	704.17	30.00	30.00	706.86
	31.25	28.55	743.91	30.75	29.25	733.11	32.00	29.25	780.24
	32.50	29.50	802.04	30.25	28.40	705.76	32.50	28.50	787.38
	30.10	28.00	696.00	30.75	28.00	719.12	30.25	28.25	704.17
	Área promedio		<b>739.3</b>	Área promedio		<b>713.8</b>	Área promedio		<b>730.6</b>
 <b>Área del rombo</b>	a(mm)	b(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	a(mm)	b(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	a(mm)	b(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )
	25.75	14.50	186.69	26.00	14.2	184.60	29.00	13.25	192.13
	27.25	14.75	200.97	25.50	13.75	175.31	25.40	13.00	165.10
	25.75	13.90	178.96	26.60	14.00	186.20	28.60	13.50	193.05
	27.00	14.10	190.35	27.00	14.25	192.38	25.90	12.65	163.82
	26.50	14.65	194.11	26.75	15.00	200.63	28.00	13.50	189.00
Área promedio		<b>190.22</b>	Área promedio		<b>187.82</b>	Área promedio		<b>180.62</b>	
Área hueca (mm <sup>2</sup> )=	12947.89			12510.31			12780.79		
Área bruta (mm <sup>2</sup> ) =	29868.00			29999.00			29640.00		
% de área neta =	<b>56.65</b>			<b>58.30</b>			<b>56.88</b>		
(x-xprom)^2 =	<b>0.39</b>			<b>1.04</b>			<b>0.16</b>		
Resultados	<b>Xprom = 57^%</b>			<b>S= 0.89%</b>			<b>CV = 2</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA-FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES  
**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**  
**HOJA DE RESULTADOS No 3**

**DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ÁREA NETA EN LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA**

TIPO DE LADRILLO: C

Detalles Gráficos	C-7			C-9			C-10		
	D (mm)		Área(mm <sup>2</sup> )	D (mm)		Área(mm <sup>2</sup> )	D (mm)		Área(mm <sup>2</sup> )
 <p>Área circular</p>	20.85		341.43	22.50		397.61	21.25		354.66
	21.70		369.84	22.50		397.61	21.35		358.00
	21.75		371.54	22.00		380.13	22.00		380.13
	22.10		383.60	22.25		388.82	21.45		361.36
	22.00		380.13	22.35		392.32	22.50		397.61
	Área promedio		<b>369.3</b>	Área promedio		<b>391.3</b>	Área promedio		<b>370.4</b>
 <p>Área del rectángulo</p>	a(mm)	b(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	a(mm)	b(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	a(mm)	b(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )
	26.40	20.75	547.80	27.00	20.75	560.25	26.00	19.95	518.70
	26.50	21.50	569.75	26.00	20.75	539.50	26.30	20.90	549.67
	26.70	21.50	574.05	26.00	21.10	548.60	26.00	20.00	520.00
	26.20	20.10	526.62	26.75	21.80	583.15	25.75	20.55	529.16
	26.50	21.50	569.75	26.50	21.60	572.40	26.50	20.25	536.63
	Área promedio		<b>557.59</b>	Área promedio		<b>560.78</b>	Área promedio		<b>530.83</b>
	h1(mm)	c (mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	h1(mm)	c (mm)	Área(mm <sup>2</sup> )	h1(mm)	c (mm)	Área(mm <sup>2</sup> )
	18.80	20.75	390.10	16.40	21.00	344.40	16.50	20.50	338.25
	16.40	21.50	352.60	16.60	21.00	348.60	15.50	20.50	317.75
	16.95	20.25	343.24	16.70	21.25	354.88	17.20	21.00	361.20
	15.25	21.10	321.78	16.75	21.00	351.75	16.00	20.75	332.00
	16.75	20.50	343.38	18.15	21.50	390.23	16.25	20.50	333.13
	Área promedio		<b>350.22</b>	Área promedio		<b>357.97</b>	Área promedio		<b>336.47</b>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA-FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES  
**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**  
**HOJA DE RESULTADOS No 3**

TIPO DE LADRILLO:           C

**DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ÁREA NETA EN LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA**

Área compuesta (Trapecio + Rectángulo)	h2(mm)	d (mm)	Área(mm2)	h2(mm)	d (mm)	Área(mm2)	h2(mm)	d (mm)	Área(mm2)		
	26.30	9.40	113.06	26.30	10.40	155.43	26.05	8.50	138.48		
	25.85	9.55	146.71	26.25	9.50	147.16	26.60	8.65	161.78		
	25.00	9.70	120.55	26.70	9.85	155.50	24.80	8.90	113.62		
	25.00	10.25	152.83	26.75	9.45	152.25	26.10	9.25	151.50		
	24.40	10.15	117.24	27.00	9.20	135.85	26.80	9.65	159.04		
	Área promedio		<b>130.08</b>	Área promedio		<b>149.24</b>	Área promedio		<b>144.88</b>		
	Área hueca (mm2)=			11701.53			12137.93			11504.25	
Área bruta (mm2) =			30250.00			29880.00			30250.00		
% de área neta =			<b>61.32</b>			<b>59.38</b>			<b>61.97</b>		
(x-xprom)^2 =			<b>0.18</b>			<b>2.28</b>			<b>1.17</b>		
Resultados			Xprom = 61%			S= 1.35%			CV = 2		

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No 4**

**ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

ENSAYO: VARIACION DE DIMENSIONES  
REFERENCIA : N.T.P.-ITINTEC 331.018-ITEM 3.1  
TIPO DE LADRILLO: A

$$V = \frac{(DE - MP)}{DE} \times 100$$

V = Variación de dimensión (%)  
DE=Dimensión especificada (mm)  
MP=Medida promedio (mm)

MUESTRA	L (mm)	b (mm)	h (mm)	Lprom(mm)	bprom(mm)	hprom(mm)
A-1	242	130	88			
	241	130	89			
	242	130	88			
A-2	241	130	90	242	130	89
	243	130	89			
	241	131	90			
	243	130	89			
A-3	242	131	90	242	131	90
	243	131	89			
	241	130	89			
	242	131	90			
A-4	242	130	89	242	131	89
	242	130	89			
	241	131	91			
	242	130	88			
A-5	241	131	89	242	131	89
	242	130	88			
	242	130	89			
	242	130	88			
A-6	241	130	89	242	130	89
	237	130	89			
	237	131	90			
	240	130	88			
A-7	239	131	90	238	131	89
	239	130	89			
	239	130	90			
	240	130	89			
A-8	239	130	90	239	130	90
	241	130	89			
	240	130	90			
	240	131	89			
A-9	241	130	90	241	130	90
	240	130	90			
	238	130	88			
	242	130	89			
A-10	238	130	88	240	130	89
	242	130	88			
	240	130	89			
	241	129	88			
	236	129	90	240	130	89

DIMENSIONES ESPECIFICADAS			DIMENSIONES PROMEDIO		
240	130	90	241	130	89
V (%)			0	0	1

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

HOJA DE RESULTADOS No 5

ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA

ENSAYO: VARIACION DE DIMENSIONES  
REFERENCIA : N.T.P.-ITINTEC 331.018-ITEM 3.1  
TIPO DE LADRILLO: B

$$V = \frac{(DE - MP)}{DE} \times 100$$

V = Variación de dimensión (%)  
DE=Dimensión especificada (mm)  
MP=Medida promedio (mm)

MUESTRA	L (mm)	b (mm)	h (mm)	Lprom(mm)	bprom(mm)	hprom(mm)
B-1	229	130	89			
	229	130	88			
	229	130	88			
	229	130	87	229	130	88
B-2	229	128	88			
	226	128	86			
	229	128	88			
B-3	225	129	86	227	128	87
	228	131	88			
	227	130	87			
	226	130	87			
B-4	225	130	87	227	130	87
	233	130	90			
	230	130	88			
	232	130	89			
B-5	229	130	89	231	130	89
	229	129	87			
	224	129	88			
	228	129	87			
B-6	226	129	88	227	129	88
	228	130	89			
	225	131	90			
	229	130	90			
B-7	226	130	92	227	130	90
	229	131	89			
	226	130	90			
	228	131	90			
B-8	228	131	90	228	131	90
	229	131	87			
	229	130	89			
	228	130	88			
B-9	229	131	89	229	131	88
	230	130	89			
	230	130	89			
	231	130	91			
B-10	226	130	89	229	130	90
	229	129	89			
	227	130	90			
	229	130	89			
	226	130	90	228	130	90

DIMENSIONES ESPECIFICADAS			DIMENSIONES PROMEDIO		
230	130	90	228	130	89
V (%)			1	0	1

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

HOJA DE RESULTADOS No 6

ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA

ENSAYO: VARIACION DE DIMENSIONES  
REFERENCIA : N.T.P.-ITINTEC 331.018-ITEM 3.1  
TIPO DE LADRILLO: C

$$V = \frac{(DE - MP)}{DE} \times 100$$

V = Variación de dimensión (%)  
DE=Dimensión especificada (mm)  
MP=Medida promedio (mm)

MUESTRA	L (mm)	b (mm)	h (mm)	Lprom(mm)	bprom(mm)	hprom(mm)
C-1	246	120	95			
	247	119	96			
	247	121	95			
	247	120	95	247	120	95
C-2	250	121	97			
	249	121	96			
	250	121	97			
C-3	250	120	97	250	121	97
	249	121	95			
	248	119	95			
	249	120	95			
C-4	249	119	96	249	120	95
	249	121	96			
	249	121	98			
	249	121	98	249	121	97
C-5	250	120	98			
	248	121	96			
	249	121	98			
C-6	248	121	97	249	121	97
	250	121	96			
	250	121	97			
	250	121	96			
C-7	249	120	98	250	121	97
	250	120	96			
	249	120	96			
	249	121	95			
C-8	250	119	96	250	120	96
	250	121	96			
	252	122	97			
	250	121	97			
C-9	250	120	95	251	121	96
	248	121	96			
	249	120	96			
	249	120	97			
C-10	248	120	97	249	120	97
	251	121	97			
	250	120	98			
	250	121	97			
	249	121	98	250	121	98

DIMENSIONES ESPECIFICADAS			DIMENSIONES PROMEDIO		
250	120	95	249	120	96
V (%)			0	0	-1

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No 7**

**ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

ENSAYO: ALABEO  
REFERENCIA : N.T.P.-ITINTEC 331.018- ITEM 3.2

TIPO DE LADRILLO: A

MUESTRA	CONCAVIDAD (mm)		CONVEXIDAD (mm)	
	CARA1	CARA2	CARA1	CARA2
A-1	0	1	1	0
A-2	0	0	0	1
A-3	0	0	0	1
A-4	0	2	1	0
A-5	0	1	1	0
A-6	1	0	0	0
A-7	0	0	0	1
A-8	0	1	0	0
A-9	0	0	0	0
A-10	0	1	0	1
ALABEO				
1				

TIPO DE LADRILLO: B

MUESTRA	CONCAVIDAD (mm)		CONVEXIDAD (mm)	
	CARA1	CARA2	CARA1	CARA2
B-1	0	0	0	0
B-2	1	0	1	0
B-3	0	1	0	0
B-4	0	0	0	0
B-5	1	0	0	1
B-6	1	0	1	0
B-7	0	0	1	0
B-8	0	0	0	1
B-9	1	0	0	1
B-10	0	0	0	0
ALABEO				
0				

TIPO DE LADRILLO: C

MUESTRA	CONCAVIDAD (mm)		CONVEXIDAD (mm)	
	CARA1	CARA2	CARA1	CARA2
C-1	0	1	1	0
C-2	1	0	0	0
C-3	0	0	1	0
C-4	1	0	1	0
C-5	1	0	0	0
C-6	0	1	1	0
C-7	0	1	1	0
C-8	1	0	0	0
C-9	1	0	0	0
C-10	1	0	1	0
ALABEO				
1				

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No 8**

**ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

**ENSAYO:** RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
**REFERENCIA :** N.T.P.-ITINTEC 331.018 - ITEM 3.3

**TIPO DE LADRILLO:** A

MUESTRA	An (cm <sup>2</sup> )	P (t)	f'b (Kg/cm <sup>2</sup> )
A-1	218.49	56.16	257.04
A-2	218.49	47.92	219.32
A-3	218.49	52.44	240.01
A-4	218.49	53.24	243.67
A-5	218.49	55.60	254.47

f'bprom = 243 Kg/cm<sup>2</sup>

S = 15 Kg/cm<sup>2</sup>

CV = 6%

**TIPO DE LADRILLO:** B

MUESTRA	An (cm <sup>2</sup> )	P (t)	f'b (Kg/cm <sup>2</sup> )
B-1	166.69	28.80	172.78
B-2	166.69	39.86	239.13
B-3	166.69	34.24	205.41
B-4	166.69	24.20	145.18
B-5	166.69	43.74	262.40

f'bprom = 205 Kg/cm<sup>2</sup>

S = 64 Kg/cm<sup>2</sup>

CV = 31%

**TIPO DE LADRILLO:** C

MUESTRA	An (cm <sup>2</sup> )	P (t)	f'b (Kg/cm <sup>2</sup> )
C-1	182.23	43.52	238.82
C-2	182.23	33.62	184.49
C-3	182.23	50.68	278.11
C-4	182.23	47.66	261.54
C-5	182.23	44.26	242.88

f'bprom = 241Kg/cm<sup>2</sup>

S = 35 Kg/cm<sup>2</sup>

CV = 15%

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No 9**

**ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

**ENSAYO:** DENSIDAD  
**REFERENCIA :** N.T.P.-ITINTEC 331.018-ITEM 3.4

$$D = \frac{G3}{V}$$
$$V = G1 - G2$$

D es la densidad en gramos por centímetros cúbicos  
V es el volumen en centímetros cúbicos  
G1 es la masa del espécimen saturado (3 horas de ebullición), en gramos  
G2 es la masa del espécimen saturado sumergido, en gramos.  
G3 es la masa del espécimen seco, en gramos.

**TIPO DE LADRILLO:** A

MUESTRA	G1 (gr)	G2 (gr)	G3 (gr)	V (cm3)	D (gr/cm3)
A - 6	4230.0	2300.0	3705.0	1930.00	1.92
A - 7	4300.0	2345.0	3789.0	1955.00	1.94
A - 8	4300.0	2355.0	3798.0	1945.00	1.95
A - 9	4293.0	2310.0	3793.0	1983.00	1.91
A - 10	4235.0	2325.0	3758.0	1910.00	1.97

Dprom = 1.94 gr/cm3  
S = 0.05 gr/cm3  
CV = 2.40%

**TIPO DE LADRILLO:** B

MUESTRA	G1 (gr)	G2 (gr)	G3 (gr)	V (cm3)	D (gr/cm3)
B-6	3205.0	1740.0	2835.0	1465.00	1.94
B-7	3203.0	1645.0	2825.0	1558.00	1.81
B-8	3155.0	1685.0	2780.0	1470.00	1.89
B-9	3200.0	1750.0	2854.0	1450.00	1.97
B-10	3169.5	1695.0	2805.0	1474.50	1.90

Dprom = 1.90 gr/cm3  
S = 0.06 gr/cm3  
CV = 3.10%

**TIPO DE LADRILLO:** C

MUESTRA	G1 (gr)	G2 (gr)	G3 (gr)	V (cm3)	D (gr/cm3)
C-6	3775	1965	3328.0	1810.00	1.84
C-7	3665	1955	3225.0	1710.00	1.89
C-8	3738	1990	3275.0	1748.00	1.87
C-9	3687	1960	3237.0	1727.00	1.87
C-10	3792	2040	3337.0	1752.00	1.90

Dprom = 1.88 gr/cm3  
S = 0.04 gr/cm3  
CV = 2.00%

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No10**

**ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

**ENSAYO:** ABSORCIÓN  
**REFERENCIA :** N.T.P.-ITINTEC 331.018-ITEM 3.6

$$A = \frac{(G4 - G3)}{G3} \times 100$$

A es el contenido de agua absorbida, en porcentaje.  
G3 es la masa del espécimen seco, en gramos.  
G4 es la masa del espécimen saturado luego de 24 h de inmersión en agua fría, en gramos.

**TIPO DE LADRILLO:** A

MUESTRA	G3 (gr)	G4 (gr)	A (%)
A - 6	3705.0	4206.0	13.52
A - 7	3789.0	4295.0	13.35
A - 8	3798.0	4310.0	13.48
A - 9	3793.0	4315.0	13.76
A - 10	3758.0	4258.0	13.30

Aprom = 13%  
S = 0.2%  
CV = 1%

**TIPO DE LADRILLO:** B

MUESTRA	G3 (gr)	G4 (gr)	A (%)
B-6	2835.0	3198.0	12.80
B-7	2825.0	3195.0	13.10
B-8	2780.0	3150.0	13.31
B-9	2854.0	3205.0	12.30
B-10	2805.0	3255.0	16.04

Aprom = 14%  
S = 1.5%  
CV = 11%

**TIPO DE LADRILLO:** C

MUESTRA	G3 (gr)	G4 (gr)	A (%)
C-6	3328.0	3760.0	12.98
C-7	3225.0	3661.0	13.52
C-8	3275.0	3720.0	13.59
C-9	3237.0	3670.0	13.38
C-10	3337.0	3785.0	13.43

Aprom = 13%  
S = 0.3%  
CV = 2%

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No 11**

**ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

**ENSAYO:** ABSORCIÓN MÁXIMA  
**REFERENCIA :** N.T.P.-ITINTEC 331.018-ITEM 3.7

$$B = \frac{(G5 - G3)}{G3} \times 100$$

B es el contenido de agua absorbida, en porcentaje.  
G3 es la masa del espécimen seco, en gramos.  
G5 es la masa del espécimen saturado luego de 5 h de ebullición, en gramos.

**TIPO DE LADRILLO:** A

MUESTRA	G3 (gr)	G5 (gr)	B (%)
A - 6	3705.0	4230.0	14.17
A - 7	3789.0	4300.0	13.49
A - 8	3798.0	4300.0	13.22
A - 9	3793.0	4293.0	13.18
A - 10	3758.0	4235.0	12.69

Bprom = 13%  
S = 0.5%  
CV = 4%

**TIPO DE LADRILLO:** B

MUESTRA	G3 (gr)	G5 (gr)	B (%)
B-6	2835.0	3205.0	13.05
B-7	2825.0	3203.0	13.38
B-8	2780.0	3155.0	13.49
B-9	2854.0	3200.0	12.12
B-10	2805.0	3169.5	12.99

Bprom = 13%  
S = 0.7%  
CV = 5%

**TIPO DE LADRILLO:** C

MUESTRA	G3 (gr)	G5 (gr)	B (%)
C-6	3328.0	3775	13.43
C-7	3225.0	3665	13.64
C-8	3275.0	3738	14.14
C-9	3237.0	3687	13.90
C-10	3337.0	3792	13.64

Bprom = 14%  
S = 0.5%  
CV = 4%

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No 12**

**ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

ENSAYO: COEFICIENTE DE SATURACIÓN  
REFERENCIA : N.T.P.-ITINTEC 331.018-ITEM 3.8

$$C = \frac{(G4 - G3)}{(G5 - G3)}$$

- C es el coeficiente de saturación, sin unidades.  
G3 es la masa del espécimen seco, en gramos.  
G4 es la masa del espécimen saturado luego de 24 h de inmersión en agua fría.  
G5 es la masa del espécimen saturado luego de 5 h de ebullición, en gramos.

TIPO DE LADRILLO: A

MUESTRA	G3 (gr)	G4 (gr)	G5 (gr)	C (%)
A - 6	3705.0	4206.0	4230.0	0.95
A - 7	3789.0	4295.0	4300.0	0.99
A - 8	3798.0	4310.0	4300.0	1.02
A - 9	3793.0	4315.0	4293.0	1.04
A - 10	3758.0	4258.0	4235.0	1.05

Cprom = 1.01  
S = 0.04  
CV = 4%

TIPO DE LADRILLO: B

MUESTRA	G3 (gr)	G4 (gr)	G5 (gr)	C (%)
B-6	2835.0	3198.0	3205.0	0.98
B-7	2825.0	3195.0	3203.0	0.98
B-8	2780.0	3150.0	3155.0	0.99
B-9	2854.0	3205.0	3200.0	1.01
B-10	2805.0	3255.0	3169.5	1.23

Cprom = 1.04  
S = 0.11  
CV = 11%

TIPO DE LADRILLO: C

MUESTRA	G3 (gr)	G4 (gr)	G5 (gr)	C (%)
C-6	3328.0	3760.0	3775	0.97
C-7	3225.0	3661.0	3665	0.99
C-8	3275.0	3720.0	3738	0.96
C-9	3237.0	3670.0	3687	0.96
C-10	3337.0	3785.0	3792	0.98

Cprom = 0.97  
S = 0.04  
CV = 5%

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No 13**

**ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

**ENSAYO:** SUCCIÓN  
**REFERENCIA :** N.T.P.-ITINTEC 331.018-ITEM 3.9

\* Cuando el área del espécimen difiere en más de +- 2.5% de 200 cm<sup>2</sup> se calculará con la siguiente expresión:

$$S = \frac{200 \cdot W}{A_n}$$

Donde:

- S es el aumento de peso corregido en gramos.
- W es el aumento de peso, en gramos.
- A<sub>n</sub> es el área efectiva de la unidad, en cm<sup>2</sup>.
- G<sub>i</sub> Peso de la unidad antes de colocarlo en la bandeja con agua.
- G<sub>f</sub> Peso de la unidad luego de un minuto en contacto con el agua.

**TIPO DE LADRILLO:** A

MUESTRA	G <sub>f</sub> (gr)	G <sub>i</sub> (gr)	V (cm <sup>3</sup> )	h <sub>prom</sub> (cm)	A <sub>n</sub> (cm <sup>2</sup> )	W (gr)	S (gr)
A - 6	3785.0	3705.0	1930.00	8.90	216.85	80.08	73.86
A - 7	3829.0	3789.0	1955.00	8.90	219.66	40.17	36.57
A - 8	3853.0	3798.0	1945.00	8.90	218.54	54.78	50.13
A - 9	3857.5	3793.0	1983.00	8.90	222.81	64.33	57.74
A - 10	3797.5	3758.0	1910.00	8.90	214.61	39.45	36.76

Succión = 51 gr  
S = 16 gr  
CV = 31%

**TIPO DE LADRILLO:** B

MUESTRA	G <sub>f</sub> (gr)	G <sub>i</sub> (gr)	V (cm <sup>3</sup> )	h <sub>prom</sub> (cm)	A <sub>n</sub> (cm <sup>2</sup> )	W (gr)	S (gr)
B-6	2875.1	2835.0	1465.00	8.90	164.61	40.13	48.76
B-7	2866.2	2825.0	1558.00	8.90	175.06	41.23	47.10
B-8	2819.9	2780.0	1470.00	8.90	165.17	39.89	48.30
B-9	2894.1	2854.0	1450.00	8.90	162.92	40.11	49.24
B-10	2840.3	2805.0	1474.50	8.90	165.67	35.25	42.55

Succión = 47 gr  
S = 5 gr  
CV = 11%

**TIPO DE LADRILLO:** C

MUESTRA	G <sub>f</sub> (gr)	G <sub>i</sub> (gr)	V (cm <sup>3</sup> )	h <sub>prom</sub> (cm)	A <sub>n</sub> (cm <sup>2</sup> )	W (gr)	S (gr)
C-6	3378.2	3328.0	1810.00	9.60	188.54	50.21	53.26
C-7	3270.1	3225.0	1710.00	9.60	178.13	45.14	50.68
C-8	3325.9	3275.0	1748.00	9.60	182.08	50.94	55.95
C-9	3286.9	3237.0	1727.00	9.60	179.90	49.89	55.47
C-10	3381.9	3337.0	1752.00	9.60	182.50	44.93	49.24

Succión = 53 gr  
S = 4 gr  
CV = 8%

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

HOJA DE RESULTADOS No 14  
ENSAYO DE COMPRESIÓN EN PRISMAS DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA

ENSAYO: COMPRESIÓN DE PRISMAS  
REFERENCIA : NORMA DE ALBAÑILERÍA E-070 - ACÁPITE11  
NORMA ASTM E-447

$$f'm = \frac{P}{A}$$

- A = Área de asiento del espécimen  
b = ancho del espécimen  
H = Altura del espécimen  
L = Longitud del espécimen  
f'm = Esfuerzo de compresión  
P = Carga aplicada  
F.C. = Factor de corrección por esbeltez  
V = Coeficiente de variación  
C = Factor de corrección debido a la variación de resultados

PILA TIPO STANDARD 25x12x9.5

PILA	L (cm)	b (cm)	H (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Esbeltez	F.C.	P (t)	f'm (Kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	24.8	11.9	53.0	295.12	4.5	0.98	43.46	143.91
P-2	24.7	11.8	53.4	291.46	4.5	0.98	36.00	121.23
P-2	24.9	12.0	53.0	298.80	4.4	0.98	55.40	180.77
P-5	25.0	11.8	53.1	295.00	4.5	0.98	27.60	91.69
P-5	25.0	12.0	53.2	300.00	4.4	0.98	44.99	146.37

V = 0.24 136.79

C = 1-1.5\*(V-0.1) = 0.79 107.83

PILA TIPO A 24x13x9

PILA	L (cm)	b (cm)	H (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Esbeltez	F.C.	P (t)	f'm (Kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	23.50	12.70	52.00	298.45	4.1	0.96	37.25	119.28
P-2	23.50	12.50	52.00	293.75	4.2	0.96	31.90	104.21
P-3	24.00	12.50	52.00	300.00	4.2	0.96	36.40	116.43
P-4	24.00	13.00	51.50	312.00	4.0	0.95	29.85	90.67
P-5	23.30	12.50	51.60	291.25	4.1	0.96	34.04	111.93

V = 0.11 108.50

C = 1-1.5\*(V-0.1) = 0.99 107.56

PILA TIPO B 23x13x9

PILA	L (cm)	b (cm)	H (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Esbeltez	F.C.	P (t)	f'm (Kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	22.30	12.60	52.30	280.98	4.2	0.96	24.54	83.76
P-2	22.40	12.60	51.00	282.24	4.0	0.95	24.50	82.71
P-3	23.00	12.50	51.00	287.50	4.1	0.95	25.26	83.89
P-4	23.00	12.80	52.00	294.40	4.1	0.95	21.08	68.29
P-5	22.60	12.60	52.00	284.76	4.1	0.96	26.44	88.92

V = 0.10 82

C = 1-1.5\*(V-0.1) = 1.01

PILA TIPO C 25x12x9.5

PILA	L (cm)	a (cm)	H (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Esbeltez	F.C.	P (t)	f'm (Kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	24.80	11.70	55.00	290.16	4.7	0.99	27.92	95.07
P-2	24.70	11.80	55.00	291.46	4.7	0.99	28.44	96.57
P-3	25.00	11.90	54.50	297.50	4.6	0.99	28.00	94.12
P-4	24.80	11.80	55.20	292.64	4.7	0.99	24.30	83.04
P-5	25.00	12.00	55.00	300.00	4.6	0.99	26.25	87.50

V = 0.06 91

C = 1-1.5\*(V-0.1) = 1.06

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No 15**

**ENSAYO DE COMPRESIÓN EN PRISMAS DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

**ENSAYO:** CORTE DIRECTO DE PRISMAS  
**REFERENCIA :** TESIS TITO IZQUIERDO-UNI-FIC

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN PRISMAS**

$$v = \frac{P}{2(A-1.5d)}$$

v = Esfuerzo de corte, en Kg/cm<sup>2</sup>

P = Carga de falla

A = Area bruta del ladrillo empleado, en cm<sup>2</sup>

h = Profundidad del ladrillo empleado en cm

**PILA TIPO A**                      24x13x9

MUESTRA	h (cm)	P (Kg)	A (cm <sup>2</sup> )	v (Kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	9.00	4275.0	313.3	7.1
P-2	9.00	3200.0	313.3	5.3
P-3	9.00	5275.0	313.3	8.8
P-4	9.00	2725.0	313.3	4.5
P-5	9.00	3925.0	313.3	6.5

v = 6.5 Kg/cm<sup>2</sup>

S = 1.65 Kg/cm<sup>2</sup>

CV = 25%

**PILA TIPO B**                      23x13x9

MUESTRA	h (cm)	P (Kgf)	A (cm <sup>2</sup> )	v (Kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	9.00	3225.0	296.4	7.7
P-2	9.00	3275.0	296.4	7.8
P-3	9.00	2675.0	296.4	6.4
P-4	9.00	3350.0	296.4	8.0
P-5	9.00	*	296.4	-

\* Mal ensayo

v = 7.5 Kg/cm<sup>2</sup>

S = 0.74 Kg/cm<sup>2</sup>

CV = 10%

**PILA TIPO C**                      25x12x9.5

MUESTRA	h (cm)	P (Kgf)	A (cm <sup>2</sup> )	v (Kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	9.50	2800.0	298.8	6.6
P-2	9.50	3550.0	298.8	8.4
P-3	9.50	4025.0	298.8	9.5
P-4	9.50	4425.0	298.8	10.5
P-5	9.50	3200.0	298.8	7.6

v = 8.5 Kg/cm<sup>2</sup>

S = 1.53 Kg/cm<sup>2</sup>

CV = 18%

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

**HOJA DE RESULTADOS No 16**

**ENSAYO EN MURETES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA**

**ENSAYO:** COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES  
**REFERENCIA :** NORMA ASTM E-519

$$A=(L+H)*a*n/2$$

$$fd=0.707*P/A$$

A = Área del espécimen  
L = ancho del espécimen  
H = Altura del espécimen  
b = Espesor del espécimen  
n = (1) alvéolos llenos de mortero  
fd = Esfuerzo de compresión diagonal  
P = Carga aplicada

**TIPO DE LADRILLO:** A

MUESTRA	H (cm)	L (cm)	b (cm)	n (cm)	P (Kgf)	A (cm <sup>2</sup> )	fd (Kg/cm <sup>2</sup> )
A-1	61.7	63.4	12.9	1.00	*	806.9	-----
A-2	61.6	63.5	12.7	1.00	21200.0	794.4	18.9
A-3	61.8	63.2	12.7	1.00	19600.0	793.8	17.5
A-4	62.2	63.4	12.7	1.00	17920.0	797.6	15.9
A-5	62.0	63.7	12.8	1.00	30520.0	804.5	26.8

\* Mal ensayo

$$fdprom = 19.8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 4.86 \text{ Kg/cm}^2$$

$$CV = 25\%$$

**TIPO DE LADRILLO:** B

MUESTRA	W (cm)	h (cm)	b (cm)	n (cm)	P (Kgf)	Av (cm <sup>2</sup> )	v'm (Kg/cm <sup>2</sup> )
B-1	63.5	60.4	12.9	1.00	*	799.2	-----
B-2	63.0	60.8	12.9	1.00	13500.0	798.5	12.0
B-3	64.0	60.7	12.8	1.00	13600.0	798.1	12.0
B-4	64.0	60.5	12.9	1.00	13800.0	803.0	12.1
B-5	63.0	60.5	13.0	1.00	13852.0	802.8	12.2

\* Mal ensayo

$$fdprom = 12.09 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 0.11 \text{ Kg/cm}^2$$

$$CV = 1\%$$

**TIPO DE LADRILLO:** C

MUESTRA	W (cm)	h (cm)	b (cm)	n (cm)	P (Kgf)	Av (cm <sup>2</sup> )	v'm (Kg/cm <sup>2</sup> )
C-1	67.0	66.5	11.9	1.00	16400.0	794.3	14.6
C-2	67.0	65.0	11.9	1.00	15825.0	785.4	14.2
C-3	65.0	66.6	11.8	1.00	17177.0	776.4	15.6
C-4	66.6	65.0	11.9	1.00	14708.0	783.0	13.3
C-5	66.5	65.5	11.9	1.00	14557.0	785.4	13.1

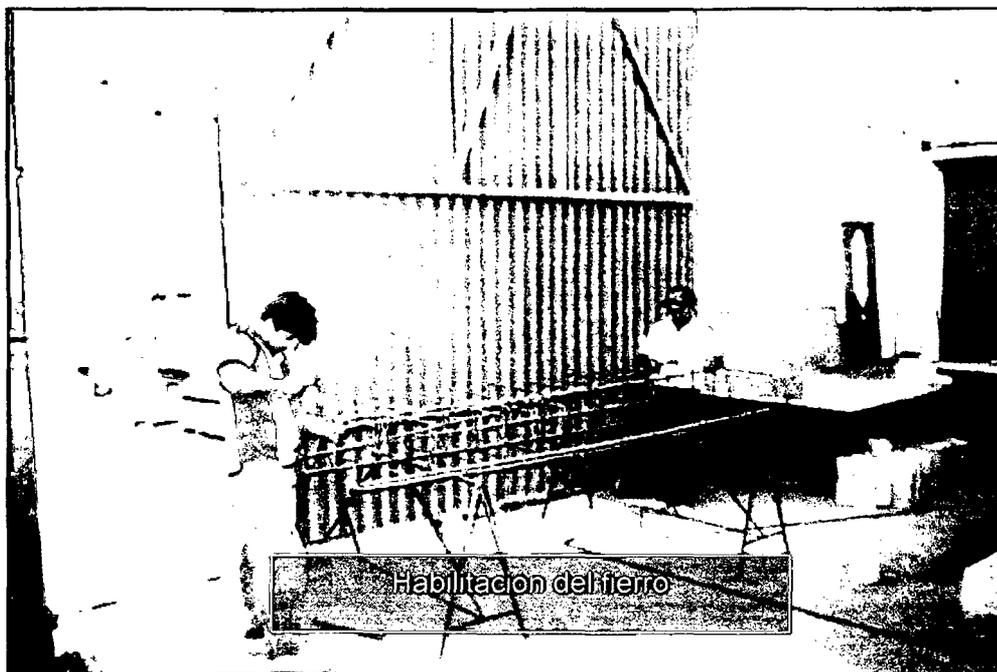
$$fdprom = 14.17 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 1.03 \text{ Kg/cm}^2$$

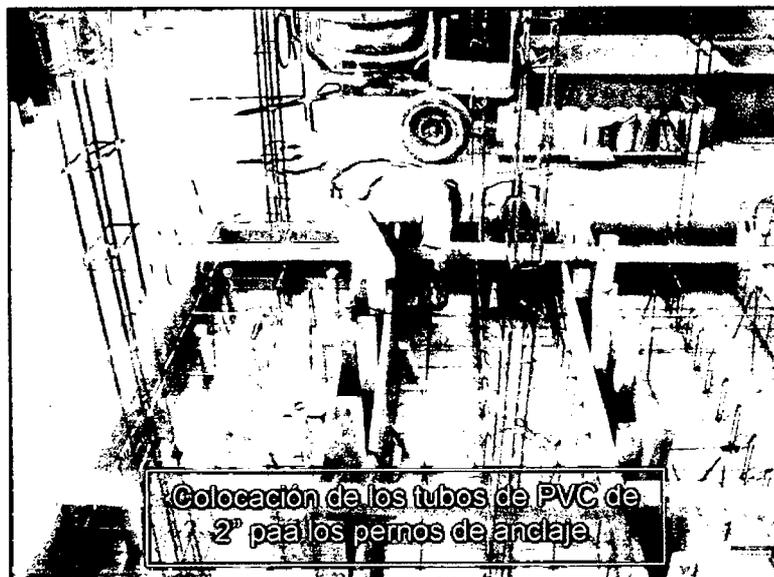
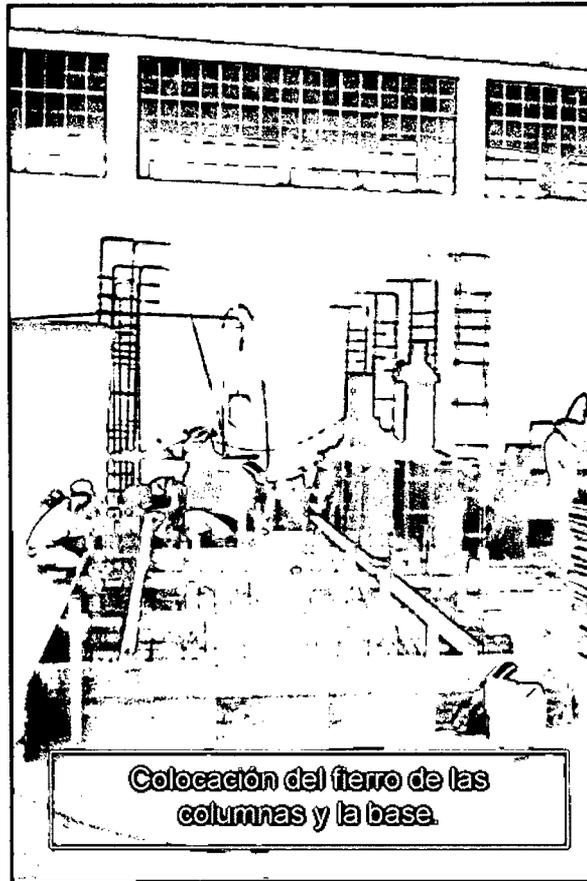
$$CV = 7\%$$

**ANEXO II:**

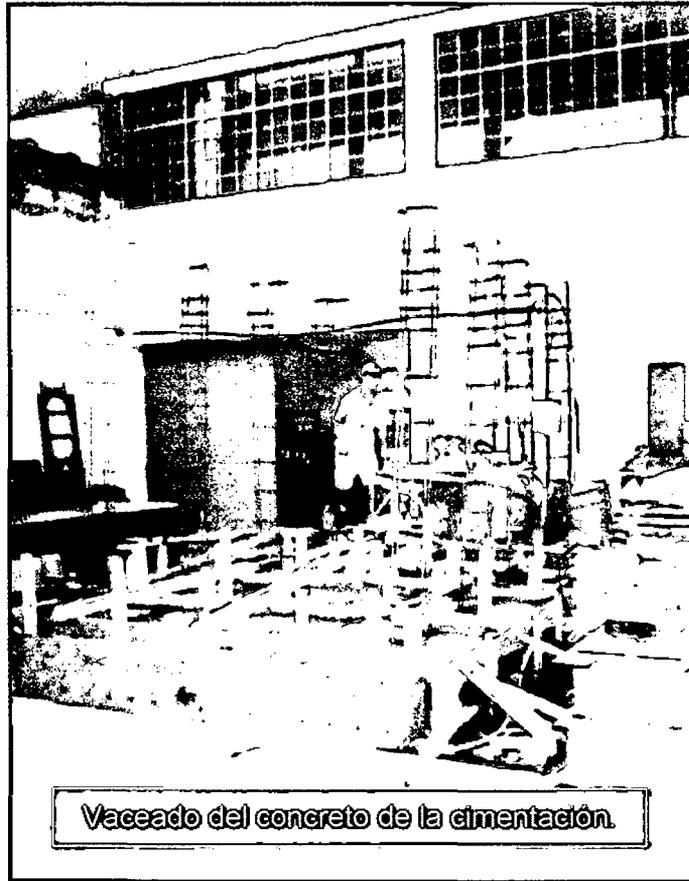
**FOTOS**



CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES: MUROS



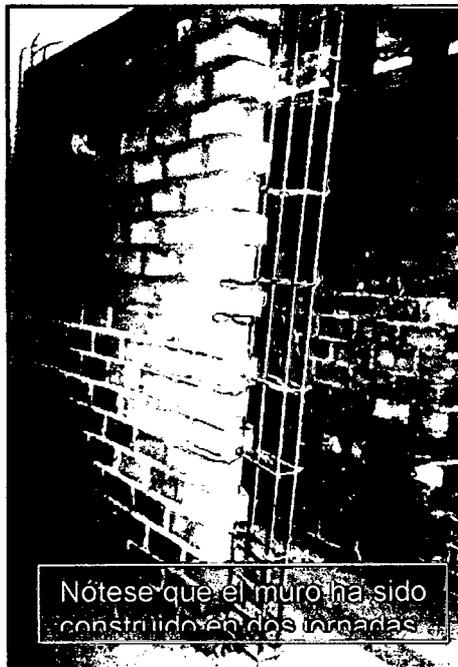
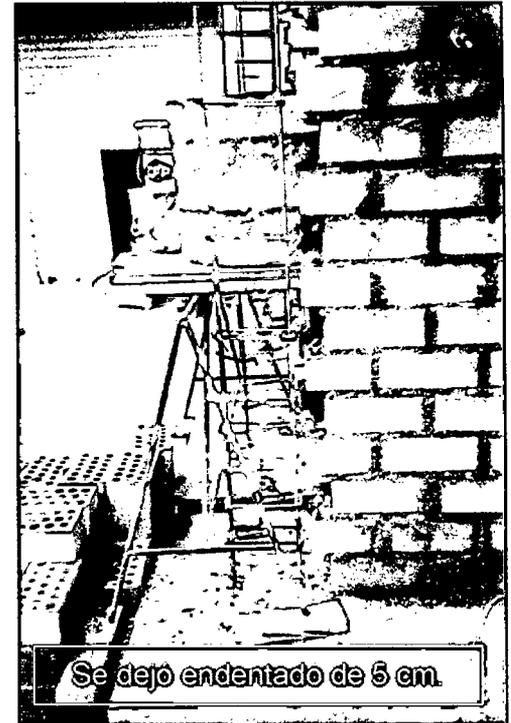
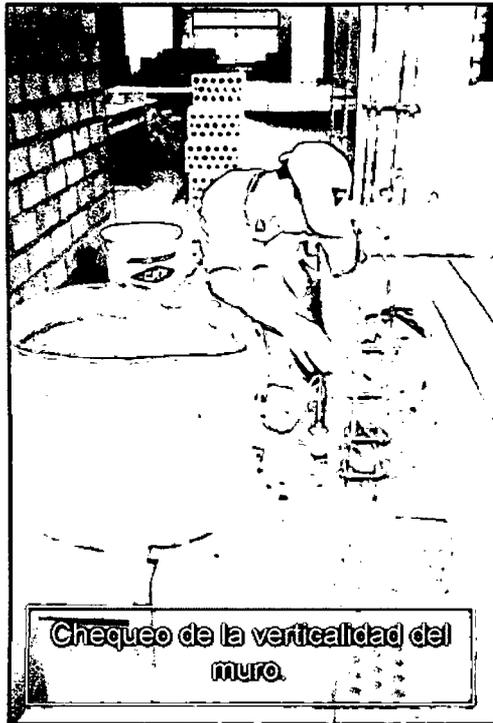
CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES: MUROS



CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES: MUROS



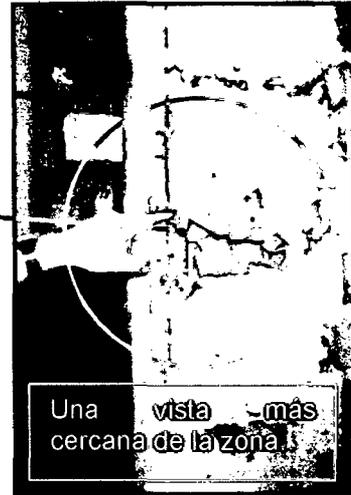
CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES: MUROS



## CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES: MUROS



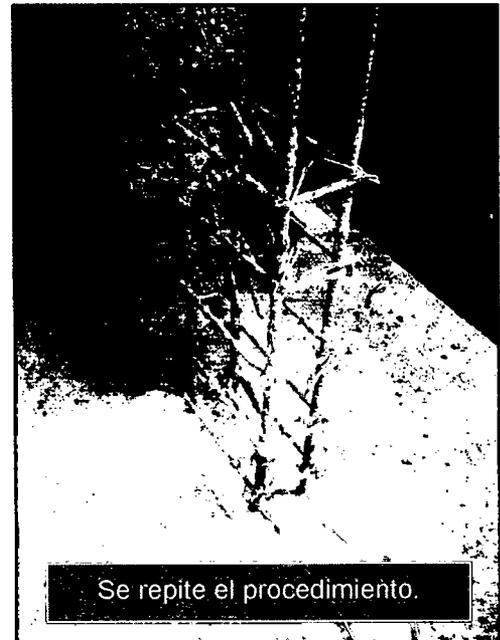
## CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES: MUROS



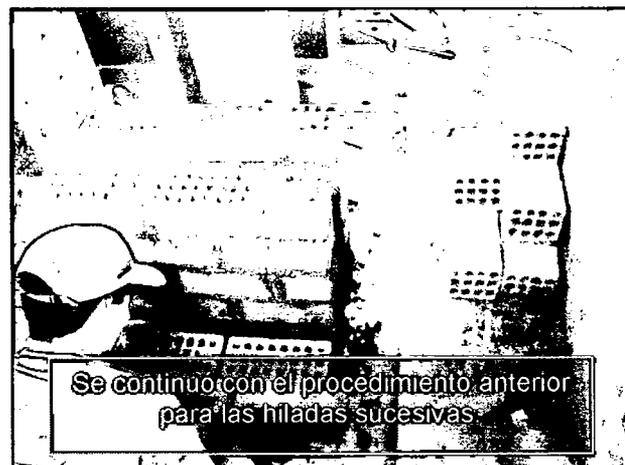
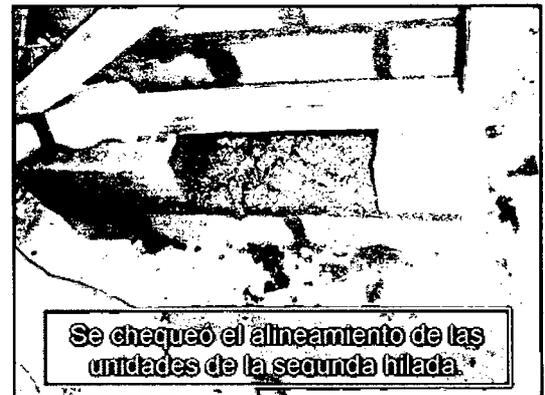
SE PRESENTARON PROBLEMAS DE CANGREJERAS EN EL MURO M2-A



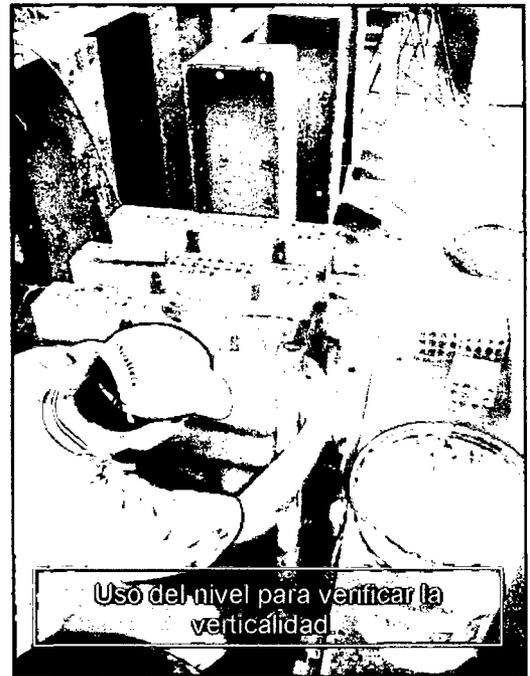
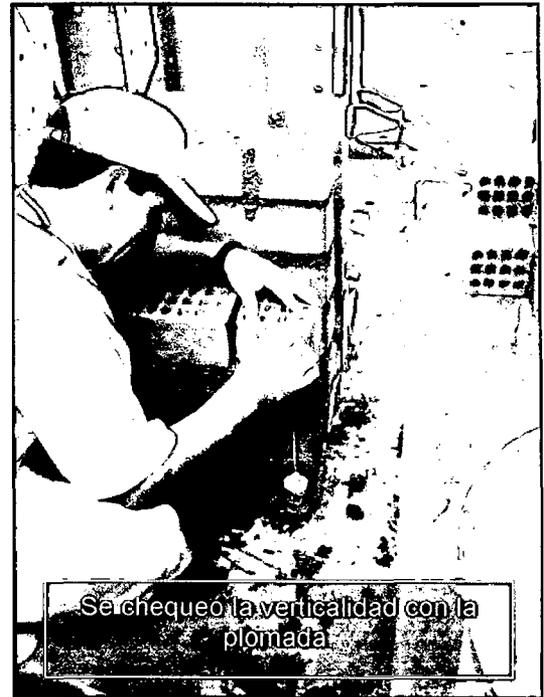
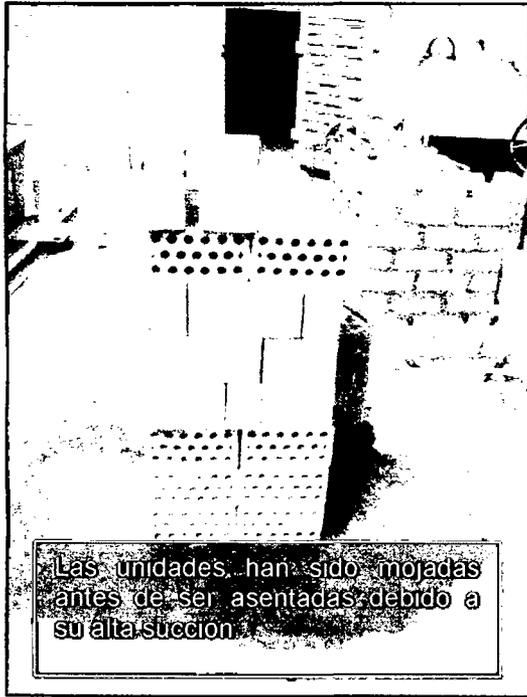
COLOCACIÓN DEL STRAIN GAUGE EN EL ACERO DE REFUERZO DE LA COLUMNA



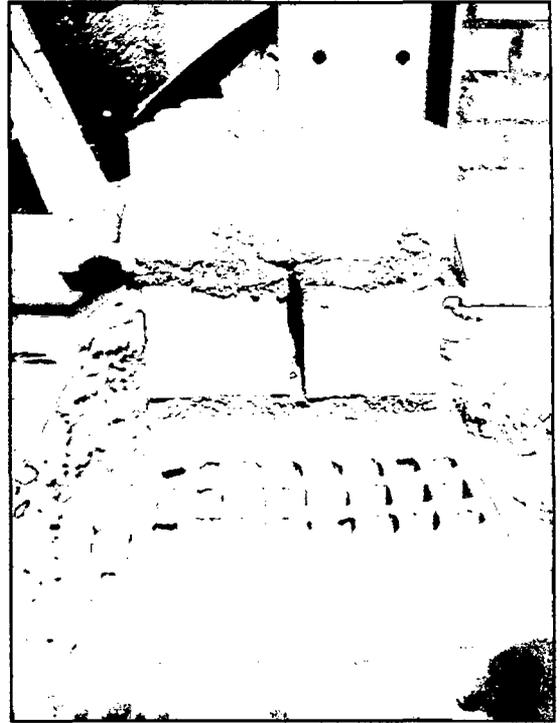
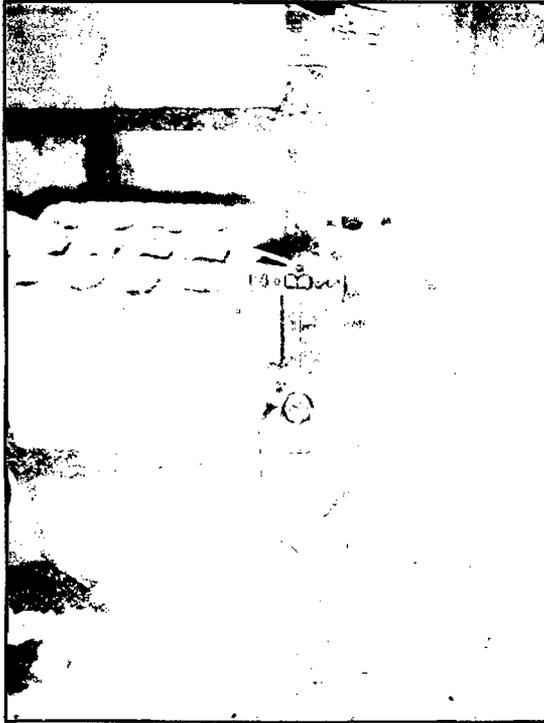
**COLOCACION DE LOS STRAIN GAUGES EN EL ACERO DE REFUERZO DE LAS COLUMNAS**



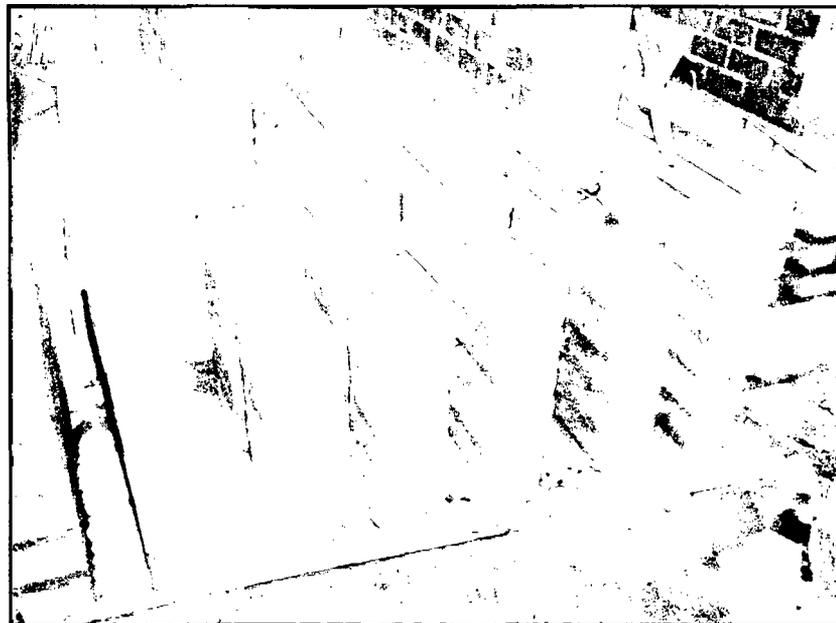
## CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES: MURETES



## CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES: MURETES

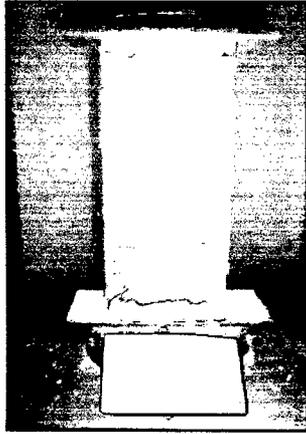


**Construcción de las pilas para el ensayo de Corte Directo**

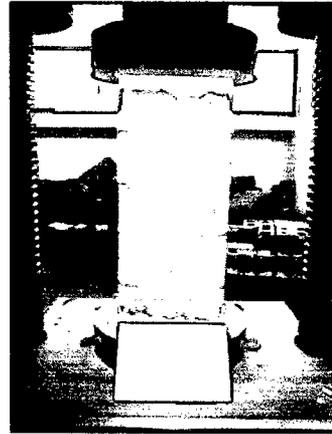


**En la foto superior pueden apreciarse algunos de los especímenes ya terminados.**

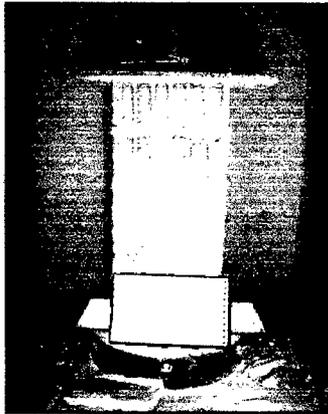
**CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES: PILAS Y MURETES**



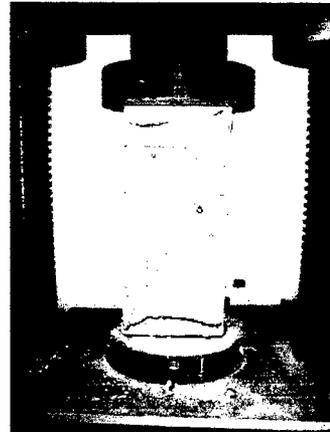
(a)



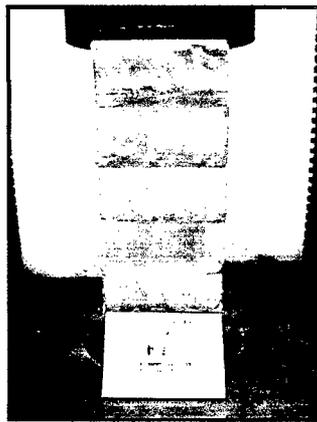
(b)



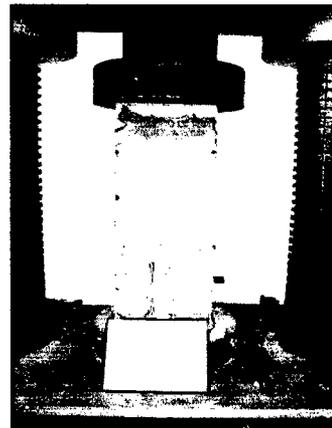
(c)



(d)



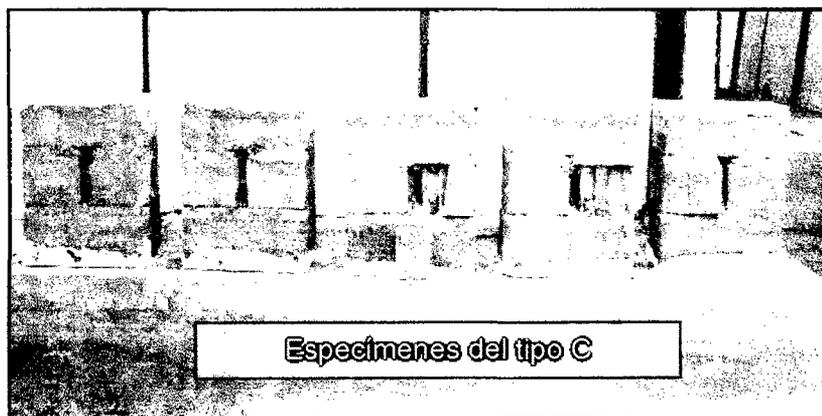
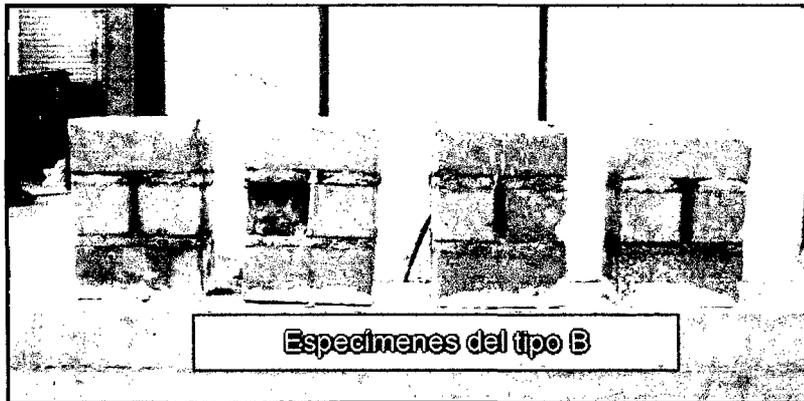
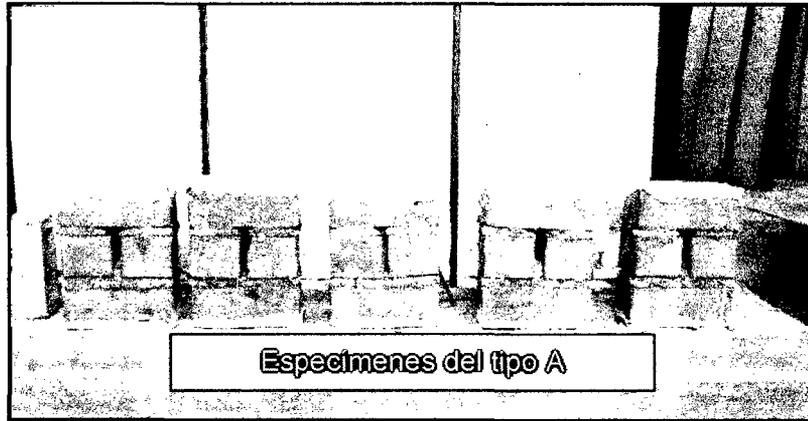
(e)



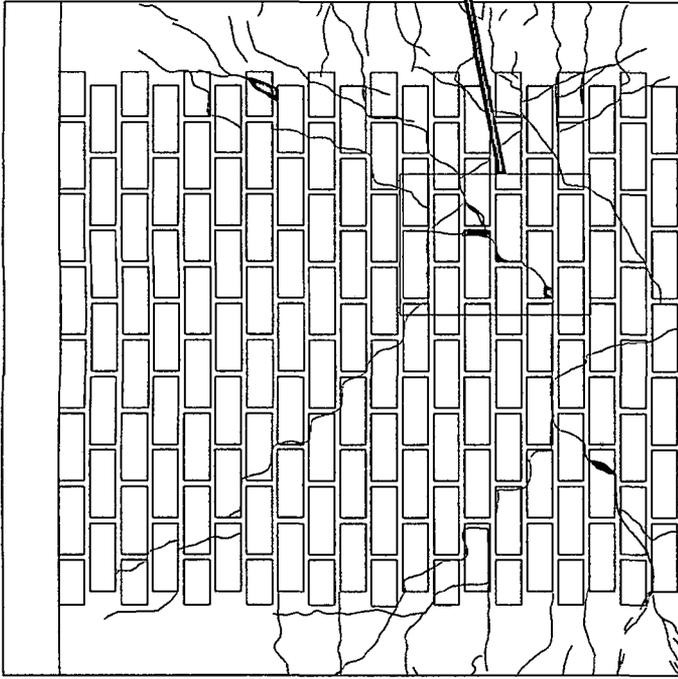
(f)

(a y b) Ensayo de compresión en prismas. (c y d) Fallas producidas en prismas del tipo A. Fallas producidas en prismas del tipo B. (e y f) Fallas producidas en prismas del tipo C.

ESTADO FINAL DE LAS PILAS DESPUÉS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN



**ESTADO FINAL DE LAS PILAS DESPUÉS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

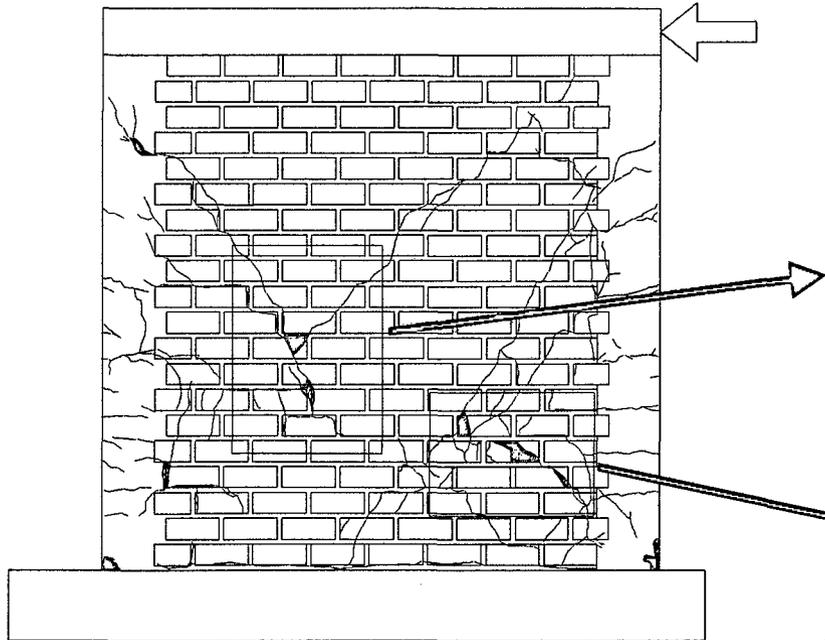


MURO M4-A: GRIETAS AL FINAL DEL ENSAYO

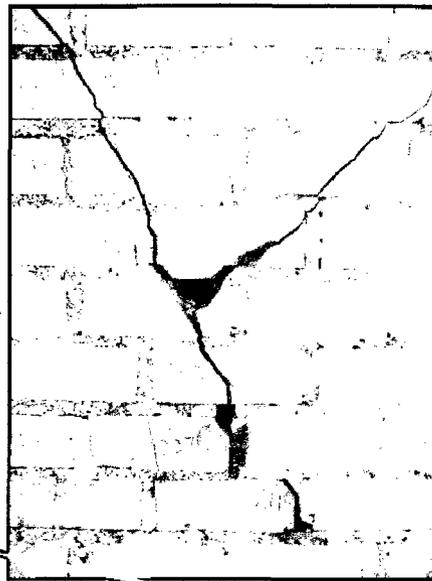


El agrietamiento diagonal en este muro se presenta de manera escalonada en gran parte.

M4-A: NÓTESE QUE LA GRIETA ATRAVIESA LA UNIDAD O SIGUE A TRAVÉS DE LA JUNTA DE MORTERO



MURO M4-B: GRIETAS AL FINAL DEL ENSAYO

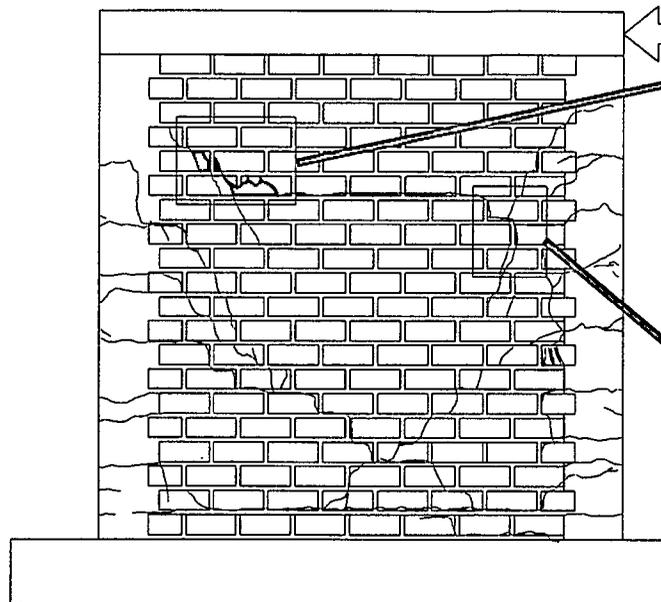


En la foto superior, obsérvese que el agrietamiento diagonal está cortando las unidades, lo cual nos indica una buena adherencia con el mortero.

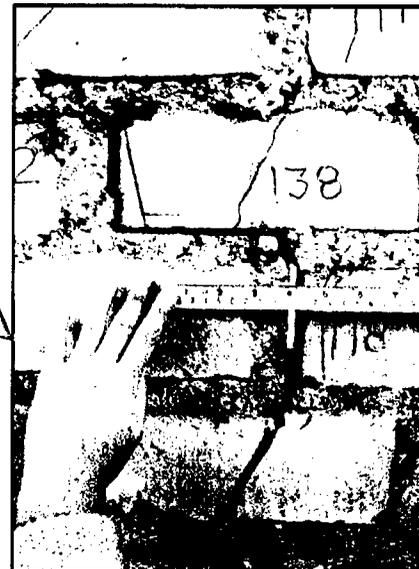
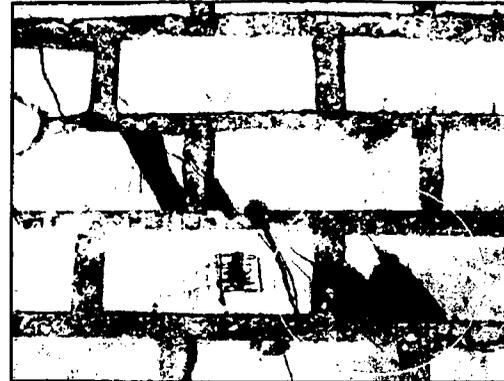
En la foto inferior, puede apreciarse como el ladrillo ha sido triturado. Nótese también como el mortero ha penetrado en los alvéolos de la unidad.



M4-B NÓTESE EN LAS FOTOS LA MAGNITUD DEL AGRIETAMIENTO



MURO M3-B: GRIETAS AL FINAL DEL ENSAYO

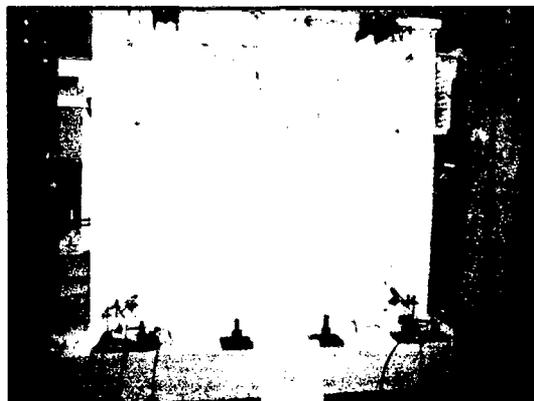


Este muro fue ensayado sin carga de confinamiento vertical, es decir el caso de un muro de cerco perimetrico. La propagación de grietas fue más rápida en comparación con los muros con 12t de confinamiento.

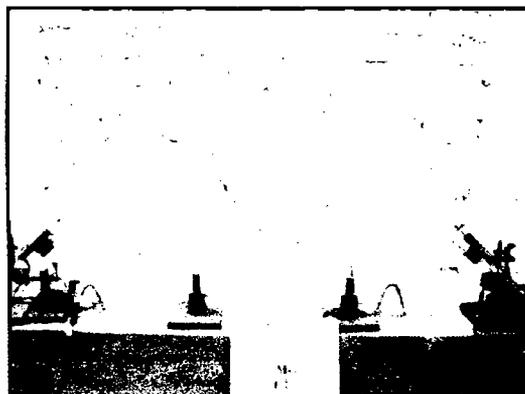
M3-B OBSÉRVESE LAS GRIETAS EN EL MURO AL FINAL DEL ENSAYO, EL LADRILLO HA SIDO TRITURADO



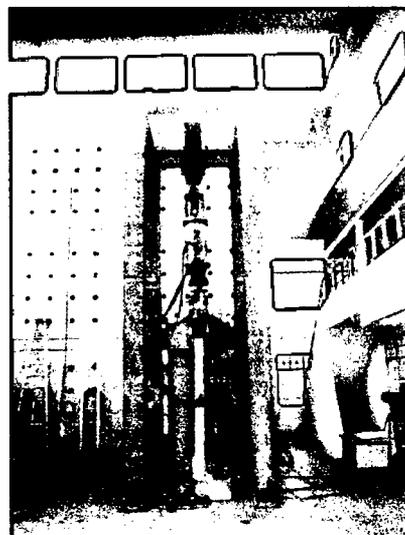
(a)



(b)



(c)



(d)



(e1)



(e2)

(a) M2-B para una distorsión de 1/400. (b) M3-B para una distorsión de 1/400.  
(c) M3-A para una distorsión de 1/100. (d) vista lateral del ensayo. (e1 y e2) vista de los muros M4-A y M4-B para un mismo nivel de distorsión (1/100) equivalente a un desplazamiento de 24 mm.

**ESTADO FINAL DE LOS MUROS DESPUES DEL ENSAYO ESTÁTICO CÍCLICO**

## REFERENCIAS:

1. DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE ALBAÑILERÍA; Héctor Gallegos; Auspiciado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología;
2. Norma de Albañilería E-070.
3. Reinforced Masonry Design, R Schneider, W Dickey, Prentice Hall, 1984.
4. Norma Técnica Peruana (ININVI – 82). Normas ASTM.
5. Albañilería Estructural, H. Gallegos. Fondo Editorial PUCP, 1989.
6. Effect on uniaxial behavior of grouted prism affected by geometry of masonry units. Osamu Senbu, Akio Baba and Yasuyuki Matsushima. Fourth Meeting of the U.S. – Japan . Joint Technical Coordinating Committee on Masonry Research. San Diego, CA, USA October 17, 18, 19.
7. SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AND MASONRY BUILDINGS; T. Paulay , M. J. N. Priestley; JOHN WILEY & SONS,INC.- 1992.
8. “Ensayos realizados en muros de albañilería confinada”; Patricia Gibu Yague, César Serida Morisaki; Tesis UNI 1993.
9. CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA – Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural; Angel San Bartolomé; Editorial de la Pontifica Universidad Católica del Perú; 1994
10. Masonry Structures Behavior and Design; Robert G. Drysdale, Ahmad A Hamid, Lawrie R. Baker; Editorial Prentice Hall; 1994
11. Técnicas para ensayos a escala natural en el Laboratorio de Estructuras del CISMID-FIC-UNI; Vicente Chariarse C., Carlos Cuadra I., Alberto Zavala T.;

12. Mampostería y el reto del futuro; Richard E. Klingner; Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Civil (X-CONIC), Lima – Perú 21 al 24 Noviembre 1994.
13. “Correlaciones para determinar propiedades físicas y mecánicas de unidades o especímenes de Albañilería”; Juan Carlos Tito Izquierdo; Tesis UNI 1995.
14. Earthquake-Resistant Construction with multi-perforated clay brick walls; Alcocer S. M. ; CENAPRED; 1999.
15. Behavior of multi-perforated clay brick walls under earthquake – type loading; Alcocer S. M. and José A. Zepeda; 8<sup>th</sup> North American Masonry Conference; Austin, Texas; June 6-9 1999.
16. Diagonal Tests of unreinforced clay brick masonry; R. Zarnic and V. Bosiljkov; 8<sup>th</sup> North American Masonry Conference; Austin, Texas; June 6-9 1999.
17. “Estudio Experimental de la Rigidez y Resistencia de Losas Aligeradas sujetas a Fuerzas Cortantes en su Plano”; Miguel Isaac Céspedes Bravo; Tesis UNI 1996.
18. Diseño de Estructuras Sismorresistentes; Minoru Wakabayashi, Enrique Martínez Romero; Editorial McGraw-Hill; México 1988.