



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“ENSAYO A CARGA LATERAL DE UN MURO DE  
ALBAÑILERIA CONFINADA CONSTRUIDO CON BLOCKER II”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Bach. David Wilber Conde Copa

Bach. Rolando Chambi Chambi

**Asesor:** Ing. Dina Cotrado Flores

TACNA, 2017

## **AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA**

La presente tesis es el resultado de nuestro constante esfuerzo y dedicación, por ello queremos agradecer primeramente a nuestra asesora de tesis, Ingeniera Dina Cotrado Flores por darnos la oportunidad de formar parte de este proyecto, brindándonos su incondicional apoyo, a nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por los conocimientos adquiridos, el cual se refleja en cada línea de éste proyecto y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera nos ayudaron al desarrollo y culminación de nuestra tesis de investigación.

*A DIOS: Por permitirme llegar a este  
momento tan especial de mi vida.*

*A MIS PADRES Y HNO.<sup>(+)</sup>: Q.E.P.D. Por  
enseñarme a valorar la vida,  
a mis hermanos y sobrinos, por sus  
palabras de apoyo y compañía.*

*A MI NOVIA: Compañera inseparable  
de cada jornada, ella representó gran esfuerzo  
y tesón en momentos de decline y cansancio.*

*Y A MIS CLIENTES: Sin ellos no  
hubiera podido terminar la carrera, pues  
representaron mi solvencia económica,*

*David Wilber Conde Copa*

*Dedico la presente Tesis a Dios,*

*por darme la inteligencia.*

*A mis padres y mi abuela,*

*que día a día me apoyaron*

*en todo aspecto.*

*También a mis hermanos*

*menores que de arriba iluminaron*

*mi camino y*

*llevarme al éxito.*

*Rolando Chambi Chambi*

## RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo principal **“Evaluar el comportamiento de un muro de albañilería confinada, construido con la unidad hueca Blocker II”**, sometidos a ensayos a carga lateral cíclica, con la finalidad de determinar curvas de capacidad (gráficos de carga vs. desplazamiento) y sus características de falla, para si poder hacer una comparación con la Norma Técnica Peruana E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Este trabajo se realizó debido a que en la actualidad en la ciudad de Tacna se observa que en muchas de las viviendas se viene utilizando el ladrillo Bloquer II para la construcción de sus muros portantes, a pesar que el fabricante indica en sus especificaciones técnicas que este tipo de unidad se debe emplear en cercos perimétricos y muros livianos.

Por lo cual se construyó un muro de albañilería confinada a escala natural en el Laboratorio de Estructuras del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería. El ensayo consistió en aplicar al muro una carga lateral cíclica que simula la acción de un sismo con desplazamiento controlado por la máquina.

Con los resultados experimentales de dicho ensayo se determinaron las curvas de capacidad (gráficos de carga vs. desplazamiento) del muro de albañilería mediante las respuestas histeréticas del muro.

Al evaluar el comportamiento del muro, se determinó que el espécimen ensayado llega a una distorsión máxima de 0.0018 mm/mm ó 1/550, el cual no cumple con lo que

establece la Norma E0.70, según la norma la distorsión máxima es de 0.005 ó 1/200, que es la deriva máxima inelástica.

La rigidez lateral elástica (K) del muro de albañilería fue de 15,126.34 ton/m en el cálculo teórico, mientras que en el real (experimental) fue de 17,095 ton/m. Por lo tanto esta rigidez pudo predecirse con menos de 13.01% de error.

La resistencia al agrietamiento diagonal del muro fue de 9.80 ton. en el cálculo teórico y en el experimental fue de 9.19 ton. menor que el teórico. Esta resistencia pudo predecirse con un error de 6.64%.

La resistencia a tracción por flexión del muro fue de 9.04 ton. en el cálculo teórico, mientras que en el real (experimental) fue de 8.16 ton. La resistencia pudo predecirse con un 10.78% de error.

Se determinó que la deriva máxima de un muro de albañilería confinada construido con Blocker II sometido a carga lateral cíclica se da a una distorsión de 1/550 o 0.0018 mm/mm, para un desplazamiento de 4 mm.

El patrón del tipo de falla para el muro fue el mismo que el ensayo a compresión diagonal en Muretes, en ambos casos fue del tipo escalonado pasando las grietas por la junta entre bloque y bloque. El patrón de ambos muros fue el mismo, cumpliéndose el tipo de falla teórico, el cual fue por Corte.

## **ABSTRACT**

This research has as main objective " To evaluate the behavior of a wall confined brick built with the hollow unit Blocker II" under cyclic lateral loading tests, in order to determine capacity curves (load charts vs displacement plots) and its fault characteristics, in order to be able to make a comparison with Peruvian Technical Standard E.070 of the National Building Regulations.

This work was carried out because at the present time in the city of Tacna, it is observed that in many of the houses the brick Blocker II has been used for the construction of its supporting walls, although the manufacturer indicates in its technical specifications that this type of unit should be used in perimetric fences and light walls.

For that reason a wall of masonry confined to natural scale was constructed in the Laboratory of Structures of the CISMID of the National University of Engineering. The test consisted in applying to the wall a lateral cyclical load that simulates the action of an earthquake with displacement controlled by the machine.

With the experimental results of this test the capacity curves (load charts vs. displacement plots) of the masonry wall were determined by the hysteretic responses of the wall.

In evaluating the behavior of the wall, it was determined that the specimen tested reaches a maximum distortion of 0.0018 mm / mm or 1/550, which does not comply with the E0.70 standard, according to the norm the maximum distortion is 0.005 or 1/200, which is the maximum inelastic drift.

The elastic lateral stiffness (K) of the masonry wall was 15,126.34 ton/m in the theoretical calculation, while in the experimental (real) it was 17,095 ton / m. Therefore, this rigidity could be predicted with less than 13.01% error.

The resistance to diagonal cracking of the wall was 9.80 tons. In the theoretical calculation, and in the experimental calculations was 9.19 tons. less than the theoretical one. This resistance could be predicted with a 6.64% error.

The flexural tensile strength of the wall was 9.04 tons. in the theoretical calculation, while in the real (experimental) was 8.16 tons. Resistance could be predicted with a 10.78% error.

It was determined that the maximum drift of a confined masonry wall constructed with Blocker II subjected to cyclic lateral loading is given at a distortion of 1/550 or 0.0018 mm / mm, for a displacement of 4 mm.

The pattern of the failure type for the wall was the same as the diagonal compression test at walls, in both cases it was of the stepped type passing the cracks through the joint between block and block. The pattern of both walls was the same, complying the type of theoretical fault, which was by cut.



## INDICE DE CONTENIDOS

<b>AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VII</b>
<b>INDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>IX</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	2
1.3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	2
1.3.1 Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros construidos con Blocker II.....	2
1.3.2 Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla.. .....	8
1.3.3 Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica.. .....	9
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1 DEFINICIONES .....	11
2.2 REQUISITOS MÍNIMOS .....	12
2.2.1 Clasificación de las unidades para fines estructurales.....	12
2.2.2 Limitaciones en su uso. ....	13
2.2.3 Pruebas en unidades .....	13
2.3 RESISTENCIA DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA .....	14
2.4 TIPOS DE FALLAS EN MUROS DE ALBAÑILERIA.....	16
2.5 COMPORTAMIENTO SÍSMICO EXPERIMENTAL.....	17
2.5.1 Estudio Preliminar.....	17
2.5.2 Construcción, traslado, montaje y ensayos de control .....	18
2.5.3 Técnicas de ensayo.....	20
2.5.3.1 Ensayo de carga lateral monotónicamente creciente (ensayo estático) .....	20
2.5.3.2 Ensayo de carga lateral cíclica y comportamiento de los muros.....	21
a. Fisura de tracción por flexión.....	23
b. Rotura diagonal .....	24
c. Límite de reparación. ....	24
d. Falla final .....	25
e. Evaluación del factor de reducción «R» experimentalmente.....	26

f. Parámetros analizados experimentalmente .....	27
2.5.3.3 Ensayo de simulación sísmica .....	28
2.5.3.4 Ensayo pseudo-dinámico .....	32
<b>CAPÍTULO 3: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL MURO DE ALBAÑILERÍA. 35</b>	
3.1 DESCRIPCIÓN DEL MURO .....	35
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL MURO .....	35
3.3 PROCESO CONSTRUCTIVO .....	39
3.3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN .....	39
3.3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MURO .....	43
3.3.3 CONSTRUCCIÓN DE COLUMNAS .....	45
3.3.4 CONSTRUCCIÓN DE VIGA SOLERA. ....	48
<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS TEÓRICO DEL MURO A ESCALA NATURAL..... 51</b>	
4.1 MÓDULO DE CORTE Y ELASTICIDAD .....	52
4.2 RIGIDEZ LATERAL .....	53
4.3 FISURACIÓN EN TRACCIÓN POR FLEXIÓN .....	55
4.4 AGRIETAMIENTO DIAGONAL TEÓRICO .....	56
4.5 MOMENTO FLECTOR NOMINAL MÁXIMO .....	57
4.6 TIPO DE FALLA ESPERADA .....	58
<b>CAPÍTULO 5: ENSAYO CICLICO DE CARGA LATERAL Y RESULTADOS... 59</b>	
5.1 ENSAYO CICLICO DE CARGA LATERAL .....	59
5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO DE CARGA .....	59
5.1.2 SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA .....	60
5.1.3 INSTRUMENTACIÓN Y MONTAJE DEL MURO .....	61
5.1.3.1 INSTRUMENTACION .....	61
5.1.3.2 MONTAJE .....	63
5.1.3.3 PROTOCOLO DE DESPLAZAMIENTOS .....	67
5.2 RESULTADOS .....	68
5.2.1 COMPORTAMIENTO DEL MURO .....	69
5.2.2 CURVA HISTERÉTICA DEL ESPÉCIMEN MBAT-1 .....	77
5.2.3 CURVA DE CAPACIDAD DEL ESPÉCIMEN MBAT-1 .....	77
<b>CAPÍTULO 6: COMPARACIÓN DE RESULTADOS..... 80</b>	
6.1 RIGIDEZ LATERAL ELÁSTICA K .....	80
6.2 ROTURA DIAGONAL .....	81
6.3 DISTORSIÓN ANGULAR .....	82
6.4 FISURACIÓN DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN .....	82
6.5 CARGA MÁXIMA SOPORTADA .....	82
6.6 DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ .....	83

<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
7.1 CONCLUSIONES .....	85
7.2 RECOMENDACIONES .....	87
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>89</b>
PANEL FOTOGRÁFICO .....	90
MAPEO DE GRIETAS MBAT-1 .....	93
SUSTENTO DEL DISEÑO DEL MURO ENSAYADO .....	100

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b> Ensayos de dimensionamiento - Largo .....	3
<b>Tabla 1-2</b> Ensayos de dimensionamiento – Ancho .....	4
<b>Tabla 1-3</b> Ensayos de dimensionamiento - Alto .....	4
<b>Tabla 1-4</b> Ensayos de Alabeo.....	4
<b>Tabla 1-5</b> Resistencia a la compresión $f^b$ .....	5
<b>Tabla 1-6</b> Porcentaje de vacíos.....	5
<b>Tabla 1-7</b> Resultados de ens. de resist. a la compresión de muestras de mortero.....	5
<b>Tabla 1-8</b> Identificación de los especímenes (Pilas de Albañilería).....	6
<b>Tabla 1-9</b> Determinación de $f^m$ y $E_m$ .....	6
<b>Tabla 1-10</b> Resultados de los ensayos de compresión diagonal de los muretes .....	6
<b>Tabla 1-11</b> Resumen de ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes.....	7
<b>Tabla 2-1</b> Clase de unidad de albañilería para fines estructurales .....	12
<b>Tabla 2-2</b> Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales .....	13
<b>Tabla 2-3</b> Método para determinar $f^m$ y $v^m$ .....	14
<b>Tabla 2-4</b> Resistencias características de la albañilería Mpa ( $\text{kg/cm}^2$ ).....	15
<b>Tabla 4-1</b> Relación del módulo de elasticidad vs. $f^m$ .....	51
<b>Tabla 4-2</b> Análisis de la resistencia al corte.....	52
<b>Tabla 4-3</b> Módulo de corte teórico del muro de albañilería.....	53
<b>Tabla 4-4</b> Cálculo de sección transformada “0.13 x n” .....	54
<b>Tabla 4-5</b> Cálculo de rigidez lateral teórica .....	55
<b>Tabla 4-6</b> Fuerza asociada a la primera fisura de tracción por flexión.....	56
<b>Tabla 4-7</b> Cálculo de carga de agrietamiento diagonal .....	57
<b>Tabla 4-8</b> Cálculo de momento nominal máximo .....	57
<b>Tabla 5-1</b> Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo .....	68
<b>Tabla 5-2</b> Comportamiento del muro para los ciclos 1, 2 y 3 .....	69
<b>Tabla 5-3</b> Comportamiento del muro para el ciclo 4.....	70
<b>Tabla 5-4</b> Comportamiento del muro para el ciclo 5.....	71
<b>Tabla 5-5</b> Comportamiento del muro para el ciclo 6.....	72
<b>Tabla 5-6</b> Comportamiento del muro para el ciclo 7.....	73
<b>Tabla 5-7</b> Comportamiento del muro para el ciclo 8.....	74
<b>Tabla 5-8</b> Comportamiento del muro para el ciclo 9.....	75
<b>Tabla 5-9</b> Comportamiento del muro para el ciclo 10.....	76
<b>Tabla 5-10</b> Valor de desplazamiento para distorsiones objetivo.....	79
<b>Tabla 5-11</b> Valores de carga por cada ciclo .....	79
<b>Tabla 6-1</b> Cálculo de rigidez lateral del muro MBAT-1 .....	81
<b>Tabla 6-2</b> Rotura diagonal del muro de albañilería .....	81
<b>Tabla 6-3</b> Fuerza de Agrietamiento de tracción por flexión .....	82
<b>Tabla 6-4</b> Máxima carga soportada del muro MBAT-1 .....	83
<b>Tabla 6-5</b> Degradación de la rigidez equivalente para el Muro MBAT-1 .....	83
<b>Tabla 6-6</b> Degradación de la rigidez equivalente para el Muro MBAT-1 .....	84

## INDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 2-1</b> Posibles modos de falla en un muro de mampostería. ....	17
<b>Fig. 2-2</b> Instrumentación con LVDT. ....	18
<b>Fig. 2-3</b> Dispositivos Mecánicos. ....	18
<b>Fig. 2-4</b> Construcción y traslado. ....	19
<b>Fig. 2-5</b> Ensayo de carga lateral cíclica en el laboratorio de Estructuras de la PUCP. ....	19
<b>Fig. 2-6</b> Diferencia entre un ensayo monotónico y dinámico. ....	20
<b>Fig. 2-7</b> Grafica V-D. ....	21
<b>Fig. 2-8</b> Envolvente de Lazos Histeréticos Estables. ....	22
<b>Fig. 2-9</b> Envolvente Promedio-Ciclo Estable (serie C-0). ....	22
<b>Fig. 2-10</b> Punto «F» ....	23
<b>Fig. 2-11</b> Punto “R” o “m” en la Norma E.070 ....	24
<b>Fig. 2-12</b> Límite de reparación. ....	25
<b>Fig. 2-13</b> Falla final. ....	25
<b>Fig. 2-14</b> Cálculo de «R». ....	26
<b>Fig. 2-15</b> Otro criterio para hallar «R». ....	27
<b>Fig. 2-16</b> Cálculo de (fij) ....	29
<b>Fig. 2-17</b> Respuesta de vibración libre ....	29
<b>Fig. 2-18</b> Instrumentación en un ensayo sísmico ....	30
<b>Fig. 2-19</b> Ensayo sísmico. ....	31
<b>Fig. 2-20</b> Simulador sísmico de Hyogo ....	32
<b>Fig. 2-21</b> Ensayo pseudo-dinámico en un edificio en Japón ....	33
<b>Fig. 2-22</b> Ensayo pseudo-dinámico en Perú ....	34
<b>Fig. 3-1</b> Dimensiones del Muro ....	37
<b>Fig. 3-2</b> Detalle de Estructuras. ....	38
<b>Fig. 3-3</b> Encofrado de la viga de cimentación ....	40
<b>Fig. 3-4</b> Armado la viga de cimentación ....	40
<b>Fig. 3-5</b> Colocado del acero dentro del encofrado y tubos de PVC de 2” ....	41
<b>Fig. 3-6</b> Colocado de columnas y 4 anclajes para el posterior traslado del muro a la zona de ensayo. ....	41
<b>Fig. 3-7</b> Preparado de la mezcla. ....	42
<b>Fig. 3-8</b> Vaciado de la viga de cimentación. ....	42
<b>Fig. 3-9</b> Última capa de vaciado de la viga de cimentación ....	43
<b>Fig. 3-10</b> Asentado del muro ....	44
<b>Fig. 3-11</b> 1ra. Jornada de trabajo y control de verticalidad del muro ....	44
<b>Fig. 3-12</b> Culminación del muro de 2.20m de altura ....	45
<b>Fig. 3-13</b> Encofrado de la columna ....	46
<b>Fig. 3-14</b> Uso de vibradora en el vaciado de columna ....	46
<b>Fig. 3-15</b> Desencofrado de columnas ....	47
<b>Fig. 3-16</b> Curado de la columna. ....	47

<b>Fig. 3-17</b> Encofrado y colocación del acero de la viga .....	48
<b>Fig. 3-18</b> Desencofrado de viga .....	49
<b>Fig. 3-19</b> Solaqueado de viga .....	49
<b>Fig. 3-20</b> Solaqueado de columna.....	50
<b>Fig. 3-21</b> Vista final del muro.....	50
<b>Fig. 4-1</b> Sección transformada de los muros de albañilería.....	54
<b>Fig. 5-1</b> Vista en planta del equipo de carga .....	60
<b>Fig. 5-2</b> Esquema de la configuración del ensayo cíclico. ....	61
<b>Fig. 5-3</b> Sistema de instrumentación. ....	62
<b>Fig. 5-4</b> Gatas hidráulicas horizontales .....	62
<b>Fig. 5-5</b> . Muro anclado a la losa del laboratorio. ....	63
<b>Fig. 5-6</b> Colocación de actuador hidráulico vertical .....	64
<b>Fig. 5-7</b> Colocación de actuador hidráulico horizontal .....	64
<b>Fig. 5-8</b> Colocación de los LVDTs .....	65
<b>Fig. 5-9</b> Colocación de los LVDTs en la base .....	65
<b>Fig. 5-10</b> Colocación de los LVDTs en la columna.....	66
<b>Fig. 5-11</b> Equipo de recepción de los 22 canales .....	66
<b>Fig. 5-12</b> Muro listo para ser ensayado .....	67
<b>Fig. 5-13</b> Protocolo de desplazamiento objetivo.....	68
<b>Fig. 5-14</b> Curva Histerética del espécimen MBAT-1 .....	77
<b>Fig. 5-15</b> Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 .....	78
<b>Fig. 6-1</b> Curva de capacidad del primer ciclo para el muro MBAT-1 .....	80
<b>Fig. 6-2</b> Degradación de la rigidez equivalente .....	84

# CAPÍTULO 1: **INTRODUCCIÓN**

## **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

En la ciudad de Tacna las edificaciones de albañilería confinada con unidades llamadas blocker II son las construcciones que más predominan en los sectores de la ciudad.

Uno de los componentes básicos en la construcción de los muros confinados son las unidades de albañilería que son fabricadas industrialmente, la alta demanda por su bajo costo de estas unidades llamadas blocker II no cumplen con las características adecuadas para su uso a emplearlas, es por esto que se considera evaluar el comportamiento del muro sometido a ensayos de carga lateral cíclica, con la finalidad de determinar curvas de capacidad, para así poder garantizar su respectivo empleo.

Este trabajo se realizó debido a que Durante el sismo del 23 de Junio del 2001 se pudo comprobar la inadecuada capacidad sísmica de las viviendas informales de la Ciudad de Tacna. A pesar de ello siguen empleando estas unidades de albañilería, en ese sentido es por lo cual se realizó dicho proyecto de investigación.

En el año 2016, los ingenieros José Acero y Dina Cotrado presentaron el proyecto de investigación “Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros construidos con blocker II”. Del estudio realizado se propuso como líneas futuras de investigación los ensayos a carga lateral cíclica en muros construidos con blocker II. Posteriormente a propuesta de la dirección de la Escuela de Ingeniería

Civil, un grupo de docentes y bachilleres realizaron el proyecto “Ensayo de Carga cíclica de tres muros a escala natural”. El presente estudio forma parte de este proyecto.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el comportamiento de un muro de albañilería confinada, construido con la unidad hueca “Blocker II”, sometidos a ensayos a carga lateral cíclica, con la finalidad de determinar curvas de capacidad y estados límites de daño.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las curvas de capacidad (Fuerza vs Desplazamiento) mediante los lazos histeréticos de un muro de albañilería confinada construidos con Blocker II, para estudios posteriores de límite de reparabilidad.
- Comparar los resultados del análisis teórico del muro y los obtenidos en el ensayo de carga lateral, teniendo en cuenta los límites dispuestos en la Norma Técnica de Edificaciones E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

## **1.3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.3.1 Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros construidos con Blocker II. Mag. José Acero Martínez y Ing. Dina Cotrado Flores. Trabajo de Investigación. Tacna, 2016.**

En este trabajo de investigación se ha realizado ensayos en pilas y muretes de albañilería construidos con Blocker II de la ladrillera Martorell (Ladrillos Maxx), y mediante la recopilación de otros ensayos se ha podido determinar las propiedades mecánicas del Blocker II como son  $f'_m$  y  $v'_m$ . En base a estos



estudios se ha elaborado una propuesta de fórmula de fácil aplicación que nos permitirá determinar la longitud mínima de muros que se necesita en una edificación de albañilería para que pueda resistir un sismo severo.

Este trabajo se ha realizado debido a que a pesar que el fabricante del Blocker II indica en sus especificaciones técnicas que este tipo de unidad se debe emplear en cercos perimétricos y muros livianos, muchos de los propietarios lo utilizan en la construcción de los muros portantes de sus viviendas. El Blocker II es una unidad hueca con un 53.93% de área hueca y según la tabla 2 de la Norma técnica de edificaciones E 0.70 (Albañilería, Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales), la unidad hueca no se puede utilizar en construcción de muros portantes para edificios ubicados en la zona sísmica 3 (en la NTE E.030 del 2016 es zona sísmica 4), como es el caso de Tacna. En ese sentido, debemos ser muy cuidadosos en aplicar las fórmulas establecidas en la Norma Técnica de Edificaciones E-070 o en su defecto adecuarlas a la realidad de la ciudad de Tacna.

### **Resultados:**

**Tabla 1-1** Ensayos de dimensionamiento - Largo

<b>Muestra N°</b>	<b>Largo en mm</b>				<b>Promedio</b>
M-1	281	280	282	282	281.25
M-2	282	282	281	280	281.25
M-3	280	281	282	280	280.75
M-4	280	281	279	281	280.25
M-5	282	282	281	279	281
				<b>MP</b>	<b>280.9</b>
				<b>DE</b>	<b>290</b>
				<b>V en %</b>	<b>3.14</b>
Nota: V, es la variación dimensional, en porcentaje DE, es la dimensión especificada en milímetros y MP, es la medida promedio en cada dimensión, en milímetros					

**Tabla 1-2** Ensayos de dimensionamiento – Ancho

<b>Muestra N°</b>	<b>Largo en mm</b>				<b>Promedio</b>
M-1	124	124	124	124	124.00
M-2	125	125	125	125	125.00
M-3	126	126	125	125	125.50
M-4	125	124	124	125	124.50
M-5	124	124	124	124	124.50
				<b>MP</b>	<b>124.6</b>
				<b>DE</b>	<b>120</b>
				<b>V en %</b>	<b>-3.83</b>
<p>Nota:</p> <p>V, es la variación dimensional, en porcentaje</p> <p>DE, es la dimensión especificada en milímetros y</p> <p>MP, es la medida promedio en cada dimensión, en milímetros</p>					

**Tabla 1-3** Ensayos de dimensionamiento - Alto

<b>Muestra N°</b>	<b>Largo en mm</b>				<b>Promedio</b>
M-1	175	175	172	170	173.00
M-2	172	173	169	170	171.00
M-3	174	173	171	170	172.00
M-4	174	173	171	170	172.00
M-5	174	173	171	170	172.00
				<b>MP</b>	<b>172</b>
				<b>DE</b>	<b>170</b>
				<b>V en %</b>	<b>-1.18</b>
<p>Nota:</p> <p>V, es la variación dimensional, en porcentaje</p> <p>DE, es la dimensión especificada en milímetros y</p> <p>MP, es la medida promedio en cada dimensión, en milímetros</p>					

**Tabla 1-4** Ensayos de Alabeo

<b>Muestra N°</b>	<b>Concavidad (mm)</b>	<b>Convexidad (mm)</b>
M-1	1.8	0
M-2	1.7	0
M-3	2	0
M-4	3	0
M-5	0.5	0
<b>PROMEDIO (mm)</b>	<b>1.8</b>	<b>0</b>

**Tabla 1-5** Resistencia a la compresión f' b

Espécimen	Carga de rotura (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	f' b (kg/cm <sup>2</sup> )
M-1	35200	348.812	100.91
M-2	33200	343.221	96.73
M-3	32000	345.811	92.54
M-4	31500	342.440	91.99
M-5	32600	342.467	95.19
		<b>Promedio</b>	<b>95.47</b>
		<b>D.E</b>	<b>3.607</b>
		<b>Corregido</b>	<b>91.86</b>
Nota: D.E desviación estándar			

**Tabla 1-6** Porcentaje de vacíos

Espécimen	Volumen Ladrillo (cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	% de huecos
M-1	5944.56	3203.21	53.87
M-2	5950	3236.76	54.4
M-3	5950	3219.85	54.12
M-4	5971.25	3177.21	53.21
M-5	5881.32	3188.97	54.22
		<b>Promedio</b>	<b>53.96</b>

**Tabla 1-7** Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de mortero

Muestra	Área(cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
M-01	25	1525	61
M-02	25	1545	61.8
M-03	25	1395	55.8
		<b>Promedio</b>	<b>59.53</b>
		<b>D.E</b>	<b>3.26</b>
		<b>Corregido</b>	<b>56.27</b>
Nota: D.E desviación estándar			

**Tabla 1-8** Identificación de los especímenes (Pilas de Albañilería)

Especímen	Dimensiones (cm)			Relación h/a	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Factor de corrección
	a	b	h			
BLQII-PO1	12.5	28.7	73.5	5.88	358.75	1.0
BLQII-PO2	12.5	29.0	73.5	5.88	362.50	1.0
BLQII-PO3	12.2	28.7	72.8	5.967	350.14	1.0
BLQII-PO4	12.0	28.5	73.4	6.117	342.00	1.0
BLQII-PO5	12.4	28.6	73.4	5.919	354.64	1.0
Nota: a, ancho promedio b, Largo promedio h, Altura promedio h/a, esbeltez						

**Tabla 1-9** Determinación de  $f'm$  y  $E_m$ 

Especímen	Carga de rotura (Ton)	$f'm$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	C
BLQII-PO1	17.96	51.84	39927	770.20
BLQII-PO2	16.31	46.59	47222	1013.57
BLQII-PO3	15.21	45.13	43380	961.22
BLQII-PO4	16.71	51.05	42299	828.58
BLQII-PO5	16.16	47.25	43073	911.60
	<b>Promedio</b>	48.37	43180.2	897.034
	<b>D.E</b>	2.95	2633.79	
	<b>Corregido</b>	45.45	40546.41	
Nota: D.E desviación estándar				

**Tabla 1-10** Resultados de los ensayos de compresión diagonal de los muretes

Identificación	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (Ton)	$v'm$ (kg/cm <sup>2</sup> )	G (kg/cm <sup>2</sup> )
BLQII-MO1	72.00	73.5	12.5	909.38	5.61	4.36	10000
BLQII-MO2	72.00	73.4	12.4	901.48	7.20	5.64	13333
BLQII-MO3	72.20	73.4	12.6	917.28	7.50	5.78	10437
BLQII-MO4	72.10	73.3	12.4	901.48	6.87	5.39	10464
BLQII-MO5	72.00	73.4	2.5	908.75	5.04	3.92	8589
					<b>Promedio</b>	<b>5.019</b>	<b>10564.75</b>
					<b>D.E</b>	<b>0.827</b>	<b>1725.84</b>
					<b>Corregido</b>	<b>4.192</b>	<b>8838.91</b>

**Tabla 1-11** Resumen de ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes

LABORATORIO	IDENTIFICACION	f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	Em (kg/cm <sup>2</sup> )	IDENTIFICACIÓN	v'm (kg/cm <sup>2</sup> )	G (kg/cm <sup>2</sup> )
CISMIS UNI (UPT, 2016)	BLQII-P01	51.84	39927	BLQII-M01	4.36	1000
	BLQII-P02	46.59	47222	BLQII-M02	5.64	13333
	BLQII-P03	45.13	43380	BLQII-M03	5.78	10437
	BLQII-P04	51.05	42299	BLQII-M04	5.39	10464
	BLQII-P05	47.25	43073	BLQII-M05	3.92	8589
PUCP (Aliaga & Vicente, 2008)	P: 1	72.72	33462.19	M: 1	3.2	7956.94
	P: 2	71.27	49416.7	M: 2	3.28	10599.73
	P: 3	82.6	57790.49	M: 3	3.06	7449.3
	P: 4	68.418	54158.13	M: 4	2.28	8505.01
CISMID UNI (Tarqui & Copaja 2007)	M-1	72.09	91298.98	-	-	-
	M-2	78.03	100192.55	-	-	-
	M-3	81.39	103770.85	-	-	-
	Promedio	64.035	58832.57		4.101	9703.776
	D.E	14.5	24848.9		1.266	1802.469
	Corregido	49.53	33983.67		2.834	7901.306
Nota: D.E desviacion estándar						

**Fuente:** Proyecto de Investigación: Propuesta de Fórmula para la determinación de la densidad de muros construidos con Blocker II, Mag. José Acero e Ing. Dina Cotrado. Tacna, Setiembre del 2016.

**1.3.2 Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla. Paola Diana Angles Pari. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima 2008.**

En esta investigación se pretendió comparar las propiedades físicas y mecánicas de dos tipos de ladrillos, los ladrillos de arcilla y los ladrillos de concreto vibrado para clasificarlos según la Norma Técnica E.070.

Además se comparó el comportamiento a cargas sísmicas de dos muros, uno construido con unidades de arcilla y otro construido con unidades de concreto vibrado.

De los ensayos realizados se pudo determinar que ambos tipos de ladrillo no cumplieron con las especificaciones proporcionados por el fabricante, pero calificaron como unidades sólidas aptas para ser empleadas en la constitución de muros portantes de acuerdo a la Norma E.070.

Por otro lado los muros confinados son más rígidos al emplear ladrillos de concreto, debido a que los orificios de la unidad son más grandes y permiten el ingreso del mortero, sin embargo, ambos muros degradan su rigidez de manera similar y los muros con ladrillos de arcilla se fisuran menos al término de la fase 7, cuyo desplazamiento corresponde a la máxima distorsión angular (0.005), especificado por la Norma Técnica Peruana E.030, lo que implicaría un mayor gasto en la reparación post sismo.

**1.3.3 Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica. Bach. Jonathan Gerardo Paredes Castro y Bach. David Jesús Caycho Pérez. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima 2009.**

El objetivo de este proyecto de investigación es controlar la trituración de los ladrillos de arcilla que presentan más del 30% de área de huecos, colocándoles un refuerzo horizontal en una cuantía mínima de 0.001, esperando que este refuerzo atenúe el grosor de las grietas en los muros y así se evite la pérdida de la resistencia y rigidez de los mismos cuando están sujetos a cargas laterales cíclicas.

En el Perú el método de construcción más utilizado es a base de muros portantes de albañilería confinada en viviendas y edificios de hasta 5 pisos; pero debido a la informalidad de nuestro medio, la falta de criterio técnico y el bajo costo en comparación con ladrillos sólidos, estos muros son construidos generalmente con ladrillos de arcilla que tienen más de 30% de área de huecos, lo que está prohibido por la Norma Técnica E.070, debido a su mal desempeño ante los sismos.

Para la realización del mencionado proyecto, se construyeron dos muros a escala natural, uno de manera tradicional (M1) y otro con el refuerzo horizontal propuesto (M2). Ambos muros fueron sometidos a un ensayo de carga lateral cíclica con desplazamientos controlados, con el objetivo de comparar su comportamiento sísmico.

Al término de los ensayos se pudo observar que la adición de refuerzo horizontal atenúa el grosor de las grietas diagonales, retardando la trituración de las unidades de albañilería huecas, lo que evita la pérdida de resistencia y rigidez en los muros en las etapas tempranas del ensayo.



## CAPÍTULO 2: **MARCO TEÓRICO**

### **2.1 DEFINICIONES**

En el capítulo 2 de la NTE E.070 (2006)<sup>1</sup> se dan algunas definiciones como son:

➤ **Albañilería o Mampostería**

Material estructural compuesto por "unidades de albañilería" asentadas con mortero o por "unidades de albañilería" apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido.

➤ **Albañilería Confinada**

Albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciado posteriormente a la construcción de la albañilería. La cimentación de concreto se considerará como confinamiento horizontal para los muros del primer nivel.

➤ **Muro Portante**

Muro diseñado y construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al nivel inferior o a la cimentación. Estos muros componen la estructura de un edificio de albañilería y deberán tener continuidad vertical.

➤ **Unidad de Albañilería Hueca**

Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano.

---

<sup>1</sup> Norma NTP E.070 - Albañilería

➤ **Unidad de Albañilería Sólida (o Maciza)**

Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano.

## 2.2 REQUISITOS MÍNIMOS

Si revisamos el capítulo 3 de la NTE E.070 (2006)<sup>2</sup> se especifica:

### 2.2.1 Clasificación de las unidades para fines estructurales.

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1** Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f_b$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P <sup>(1)</sup>	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP <sup>(2)</sup>	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

*Fuente: N.T.E.070 Albañilería*

<sup>2</sup> Norma NTP E.070 - Albañilería

### 2.2.2 Limitaciones en su uso.

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la Tabla 2-2. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente.

**Tabla 2-2** Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales

TIPO	ZONA SISMICA 2 Y 3		ZONA SISMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal *	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Sí Celdas totalmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

\*Las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

*Fuente: N.T.E.030 Diseño Sismorresistente*

### 2.2.3 Pruebas en unidades

- **Resistencia a la Compresión.-** Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.
- **Variación Dimensional.-** Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.
- **Alabeo.-** Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la Norma NTP 399.613.

- **Absorción.-** Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.1613.<sup>3</sup>

### 2.3 RESISTENCIA DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

En el capítulo 5, de la Norma técnica de edificaciones E.070 (2006), dice:

- La resistencia de la albañilería a compresión axial ( $f'_m$ ) y a corte ( $v'_m$ ) se determinará de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos de prismas, de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre, según se indica en la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3** Método para determinar  $f'_m$  y  $v'_m$

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA	EDIFICIOS DE 1 A 2 PISOS			EDIFICIOS DE 3 A 5 PISOS			EDIFICIOS DE MAS DE 5 PISOS		
	Zona Sísmica			Zona Sísmica			Zona Sísmica		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1
( $f'_m$ )	A	A	A	B	B	A	B	B	B
( $v'_m$ )	A	A	A	B	A	A	B	B	A

A: Obtenida de manera empírica conociendo la calidad del ladrillo y del mortero.

B: Determinadas de los ensayos de compresión axial de pilas y de compresión diagonal de muretes mediante ensayos de laboratorio de acuerdo a lo indicado en las NTP 399.605 y 399.621.

**Fuente:** N.T.E.070 Albañilería

- Cuando se construyan conjuntos de edificios, la resistencia de la albañilería  $f'_m$  y  $v'_m$  deberá comprobarse mediante ensayos de laboratorio previos a la obra y durante la obra.
- Los prismas serán elaborados en obra, utilizando el mismo contenido de humedad de las unidades de albañilería, la misma consistencia del mortero, el mismo

<sup>3</sup> Norma NTP E.070 - Albañilería

espesor de juntas y la misma calidad de la mano de obra que se empleará en la construcción definitiva.

- Cuando se trate de albañilería con unidades alveolares que irán llenas con concreto líquido, los alvéolos de las unidades de los prismas y muretes se llenarán con concreto líquido. Cuando se trate de albañilería con unidades alveolares sin relleno, los alvéolos de las unidades de los prismas y muretes quedarán vacíos.
- Los prismas serán almacenados a una temperatura no menor de 10°C durante 28 días.
- La resistencia característica  $f'_m$  en pilas y  $v'_m$  en muretes se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar.
- El valor de  $v'_m$  para diseño no será mayor de  $0.319 \sqrt{f'_m}$  Mpa ( $\sqrt{f'_m}$  Kg/cm<sup>2</sup>)
- En el caso de no realizarse ensayos de prismas, podrá emplearse los valores mostrados en la Tabla 2-4, correspondientes a pilas y muretes construidos con mortero 1:4 (cuando la unidad es de arcilla) y 1: ½ : 4 (cuando la materia prima es sílice-cal o concreto), para otras unidades u otro tipo de mortero se tendrá que realizar los ensayos respectivos.

**Tabla 2-4** Resistencias características de la albañilería Mpa (kg/cm<sup>2</sup>)

TABLA 9 (**)				
RESISTENCIAS CARACTERÍSTICAS DE LA ALBAÑILERÍA Mpa ( kg / cm <sup>2</sup> )				
Materia Prima	Denominación	UNIDAD $f'_b$	PILAS $f'_m$	MURETES $v'_m$
Arcilla	King Kong Artesanal	5,4 (55)	3,4 (35)	0,5 (5,1)
	King Kong Industrial	14,2 (145)	6,4 (65)	0,8 (8,1)
	Rejilla Industrial	21,1 (215)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
Sílice-cal	King Kong Normal	15,7 (160)	10,8 (110)	1,0 (9,7)
	Dédalo	14,2 (145)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
	Estándar y mecano (*)	14,2 (145)	10,8 (110)	0,9 (9,2)
Concreto	Bloque Tipo P (*)	4,9 (50)	7,3 (74)	0,8 (8,6)
		6,4 (65)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
		7,4 (75)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
		8,3 (85)	11,8 (120)	1,1 (10,9)

(\*) Utilizados para la construcción de Muros Armados.

(\*\*) El valor  $f'_b$  se proporciona sobre área bruta en unidades vacías (sin grout), mientras que las celdas de las pilas y muretes están totalmente rellenas con grout de  $f'_c=13.72$  Mpa (140Kg/cm<sup>2</sup>).

**Fuente:** N.T.E.070 Albañilería

## 2.4 TIPOS DE FALLAS EN MUROS DE ALBAÑILERIA

Cuando los muros de mampostería no cuentan con un adecuado confinamiento, una cantidad suficiente o detallado adecuado del refuerzo en los elementos confinantes, o no presentan ningún tipo de refuerzo, se han detectado cuatro tipos de patrones de agrietamiento, que dan origen a fallas en los muros.<sup>4</sup>

➤ **Falla de corte por deslizamiento:**

El agrietamiento por deslizamiento se presenta a lo largo de la junta horizontal de mortero como consecuencia de una falla de adherencia por corte en la junta, ocasionada por la poca adhesión entre las unidades y el mortero.

➤ **Falla por corte:**

El agrietamiento por corte se puede presentar en forma de escalera siguiendo la junta de mortero, caracterizada por su forma diagonal a lo largo del muro y es consecuencia de las tensiones de tracción diagonal o esfuerzos de corte que se producen en el mismo.

➤ **Falla por flexión:**

El agrietamiento se presenta en forma vertical en las esquinas y el centro, que puede presentarse en muros esbeltos, y produce una falla de compresión por flexión en el talón comprimido del muro.

---

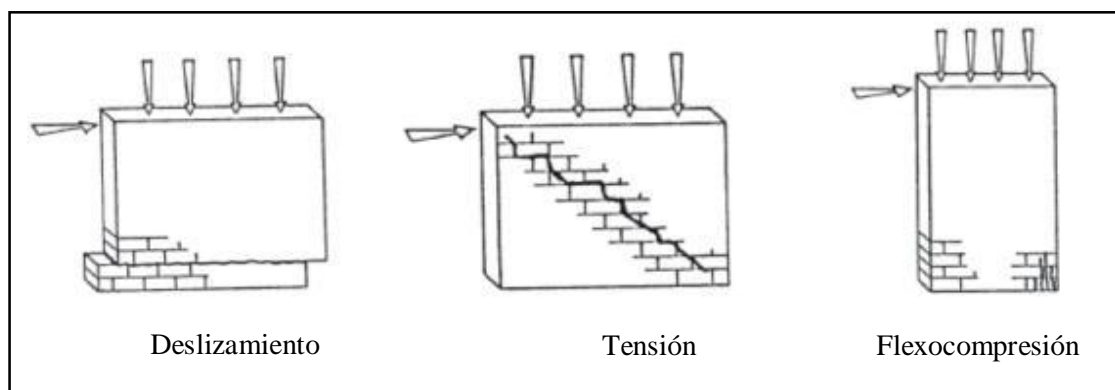
<sup>4</sup> Revista Ingenierías Universidad de Medellín.

➤ **Falla de aplastamiento por compresión diagonal:**

Esta falla es producto del efecto de puntal que se produce cuando se separa el cuerpo del muro de los elementos de confinamiento, situación que genera grandes tensiones de compresión en las esquinas del muro, las que pueden provocar la falla por aplastamiento de la zona cuando la mampostería es de baja calidad o cuando se usan unidades del tipo rejilla de paredes delgadas.

En el caso de muros de mampostería reforzada, además de los modos de falla que aquí se presentan, se puede presentar una falla de compresión cuando la cuantía del acero es elevada.

Los modos de falla más comunes de la mampostería se muestran en la Fig. 2.1.



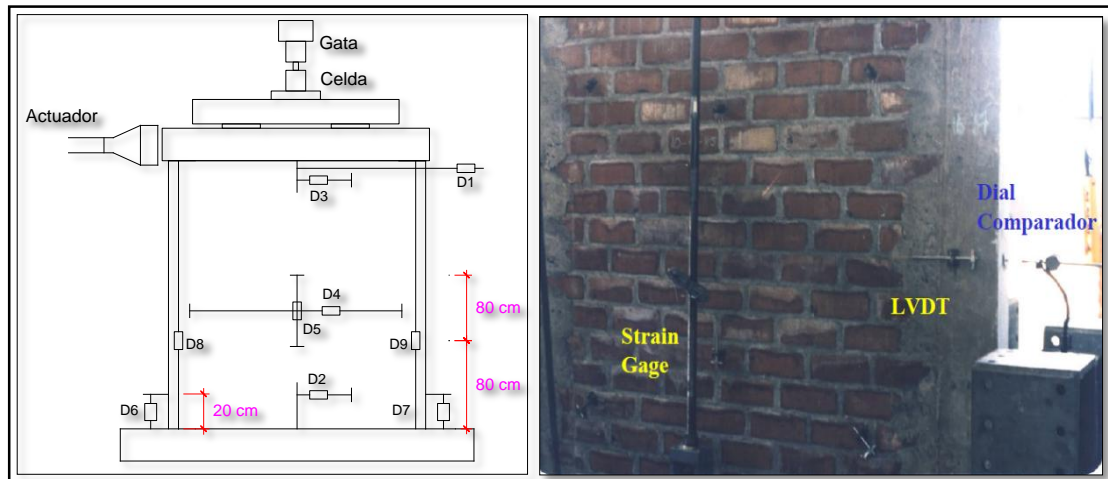
**Fig. 2-1** Posibles modos de falla en un muro de mampostería.

## 2.5 COMPORTAMIENTO SÍSMICO EXPERIMENTAL

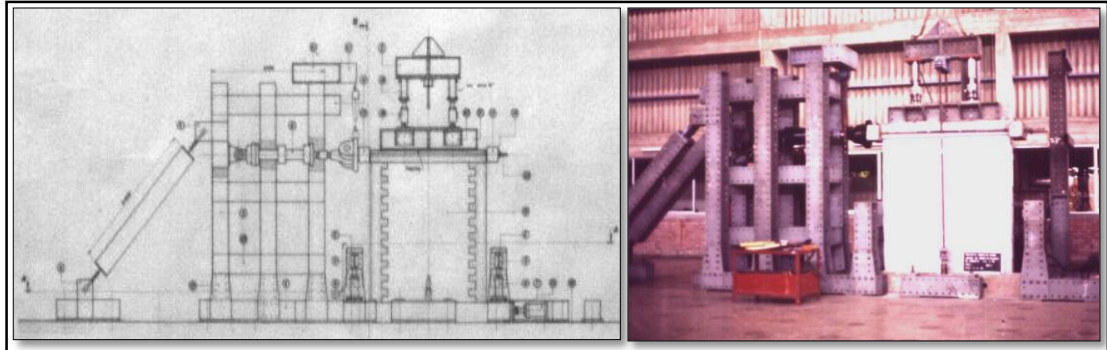
### 2.5.1 Estudio Preliminar

Los LVDTs (Linear variable differential transformer o Transformador diferencial de variación lineal) son instrumentos que miden electrónicamente el desplazamiento relativo entre 2 puntos del espécimen (Fig.2-2), mientras que el dial comparador lo hace en forma mecánica, el strain gauge mide deforma-

ciones unitarias en las barras (y, a partir de ellas los esfuerzos), la celda de carga registra electrónicamente la carga aplicada por una gata hidráulica (Fig. 2-3), y el actuador dinámico es el equipo servo-hidráulico empleado para aplicar la carga lateral controlando los desplazamientos.<sup>5</sup>



**Fig. 2-2** Instrumentación con LVDT  
(Transformador diferencial de variación lineal)



**Fig. 2-3** Dispositivos Mecánicos.

### 2.5.2 Construcción, traslado, montaje y ensayos de control

La construcción de los especímenes se hace tratando de representar la secuencia que se sigue en una obra real de albañilería. En esta etapa se fabrican pequeñas probetas de los materiales que componen al espécimen (concreto, grout, ladrillos, mortero, acero y prismas de albañilería), que luego se ensayan

<sup>5</sup> Angel San Bartolomé, Diseño y construcción de Estructuras sismorresistentes de albañilería.

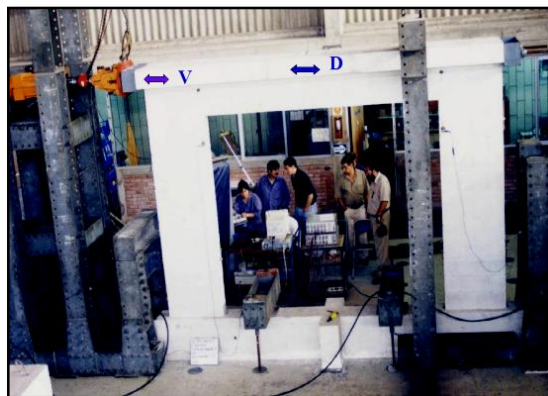


con el objetivo de saber si los materiales cumplen con las especificaciones indicadas en el proyecto de investigación.<sup>6</sup>

Luego de que los especímenes cumplen 28 días de edad, se les traslada y fija en la losa de ensayos (Fig.2-4). De aquí en adelante se denominará «V» a la carga lateral y «D» al desplazamiento horizontal del espécimen (Fig.2-5).



**Fig. 2-4** Construcción y traslado.



**Fig. 2-5** Ensayo de carga lateral cíclica en el laboratorio de Estructuras de la PUCP.

---

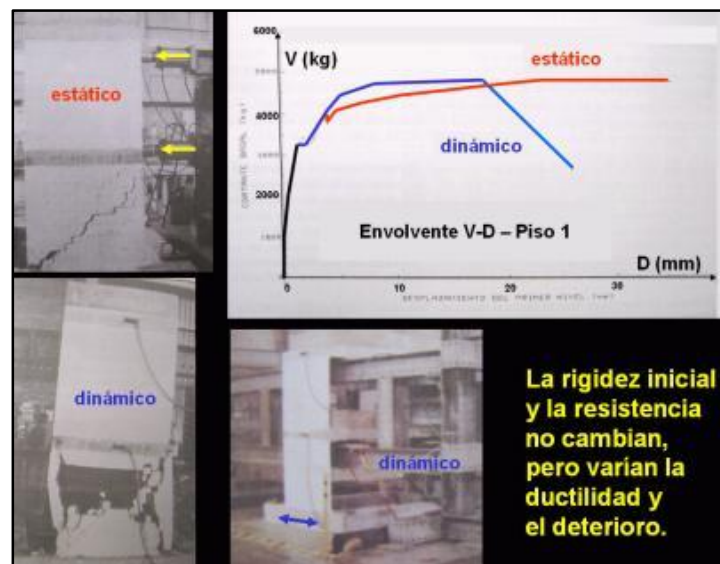
<sup>6</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”

### 2.5.3 Técnicas de ensayo

Existen 4 técnicas de ensayo para muros de albañilería que se describen a continuación.

#### 2.5.3.1 Ensayo de carga lateral monotónicamente creciente (ensayo estático)

En esta técnica se aplica la carga lateral en forma incremental a una cierta velocidad, hasta alcanzar la rotura diagonal de la albañilería. Posteriormente, se pasa a controlar los desplazamientos laterales, también en forma incremental, hasta alcanzar el colapso del espécimen. La desventaja de esta técnica es que no contempla el mayor deterioro que producen los desplazamientos laterales cíclicos sobre la albañilería, y se ha alcanzado ductilidades por encima de las proporcionadas en los ensayos sísmicos, aunque la resistencia al corte y la rigidez lateral inicial fueron similares (Fig. 2-6). De esa manera, es preferible no utilizar esta técnica de ensayo, salvo que solo se requiera determinar la resistencia.<sup>7</sup>



**Fig. 2-6** Diferencia entre un ensayo monotónico y dinámico

<sup>7</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”

### 2.5.3.2 Ensayo de carga lateral cíclica y comportamiento de los muros

En esta técnica se prefijan determinados valores del desplazamiento lateral (D en la Fig.2-7). Que incluyen el comportamiento elástico e inelástico del muro. Luego, por cada valor de desplazamiento se aplican por lo menos tres ciclos de carga y descarga hasta que el lazo histerético V-D se estabilice. Cuando el lazo histerético no llega a estabilizarse, se dice que el espécimen ha colapsado.

Luego se seleccionan los lazos correspondientes a los ciclos estables. Los valores máximos de la carga lateral (V) determinan la envolvente de los ciclos estables. La rama negativa de la envolvente se revierte sobre la positiva. Si se han ensayado 2 muros de las mismas características, se obtendría 4 curvas, cuyo promedio se conoce como la envolvente promedio V-D de los lazos histeréticos estables (curva roja en la Fig. 2.5.3.c). De aquí en adelante, esta envolvente promedio es la que se utiliza para comparar los efectos de un parámetro sobre el comportamiento sísmico-experimental de los muros.<sup>8</sup>

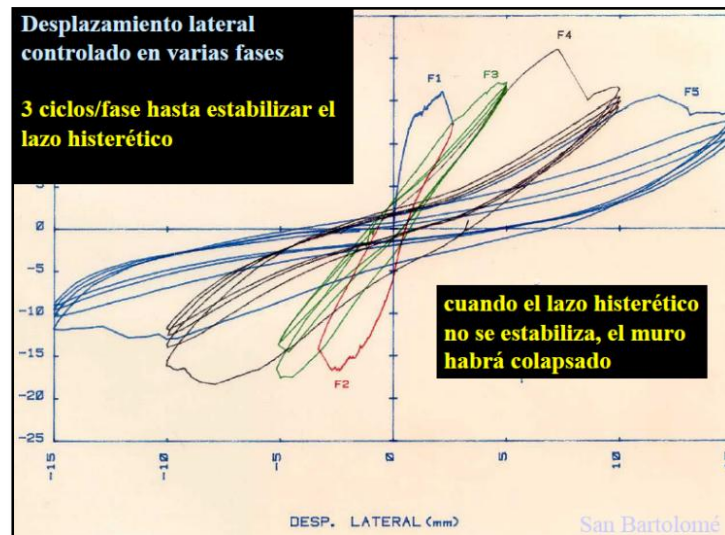
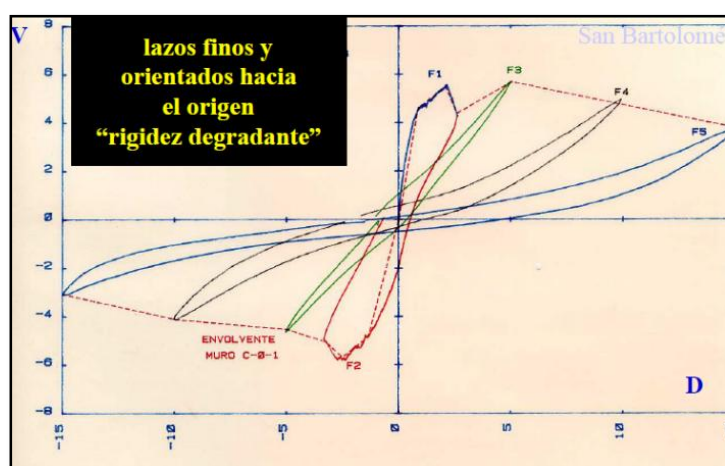


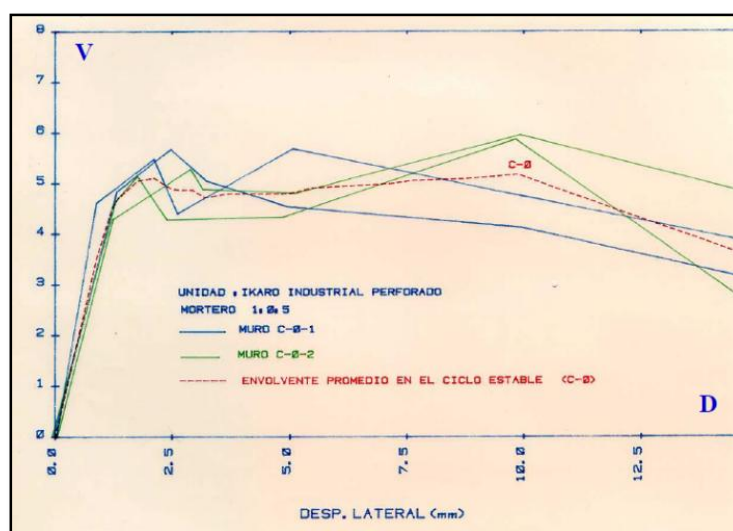
Fig. 2-7 Grafica V-D.

<sup>8</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”

En general, los muros armados y confinados presentan lazos histeréticos V-D (Fig.2-8, 2-9) muy delgados, propios de sistemas que disipan poca energía sísmica. Asimismo, los lazos histeréticos tienen la tendencia de pasar por el origen del sistema de referencia, lo cual es propio de sistemas que degradan rigidez lateral. Es como si los muros tuviesen un comportamiento elástico para un determinado desplazamiento, pero con una rigidez lateral (K) cada vez más baja, producto del mayor deterioro del muro.<sup>9</sup>



**Fig. 2-8** Envolvente de Lazos Histeréticos Estables.



**Fig. 2-9** Envolvente Promedio-Ciclo Estable (serie C-0)

<sup>9</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIUN Y WILSON SILVA, "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA"

### a. Fisura de tracción por flexión

La primera fisura se forma en la base de los muros (Fig. 2-10), y se debe a las tracciones que origina el momento flector. Ha podido notarse que la resistencia a tracción por flexión de los muros armados rellenos con grout es del orden de 10 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para la albañilería simple es 5 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, para el caso de los muros confinados, esta fisura se forma primero en la columna, para después propagarse hacia la albañilería, debiendo vencer la resistencia a tracción por flexión del concreto (del orden de 20kg/cm<sup>2</sup>). Por tanto, el comportamiento elástico de los muros confinados supera al de los armados. La carga asociada a esta fisura (VF, fig. 2-10) puede predecirse aplicando la fórmula flexión compuesta en la fibra de mayor tracción ( $\sigma = My/I - P/A$ ), para después igualar el esfuerzo normal actuante a las resistencias unitarias indicadas.<sup>10</sup>

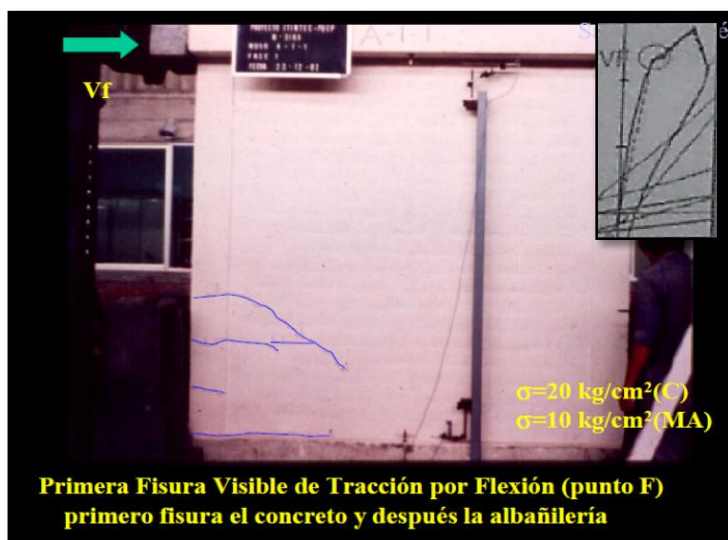


Fig. 2-10 Punto <<F>>

<sup>10</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”

### b. Rotura diagonal

Al incrementar la carga lateral, el muro se agrieta diagonalmente (punto «R» en la Fig. 2-11), o punto «m» en la Norma E.070), produciéndose una caída ligera en la resistencia. Esta falla inmediatamente después es contenida por los confinamientos, o por el refuerzo horizontal para el caso de los muros armados. Esta falla se produce para una deriva del orden de  $1/800$ , y si el muro se encuentra reforzado, se le puede aplicar mayores desplazamientos inelásticos.

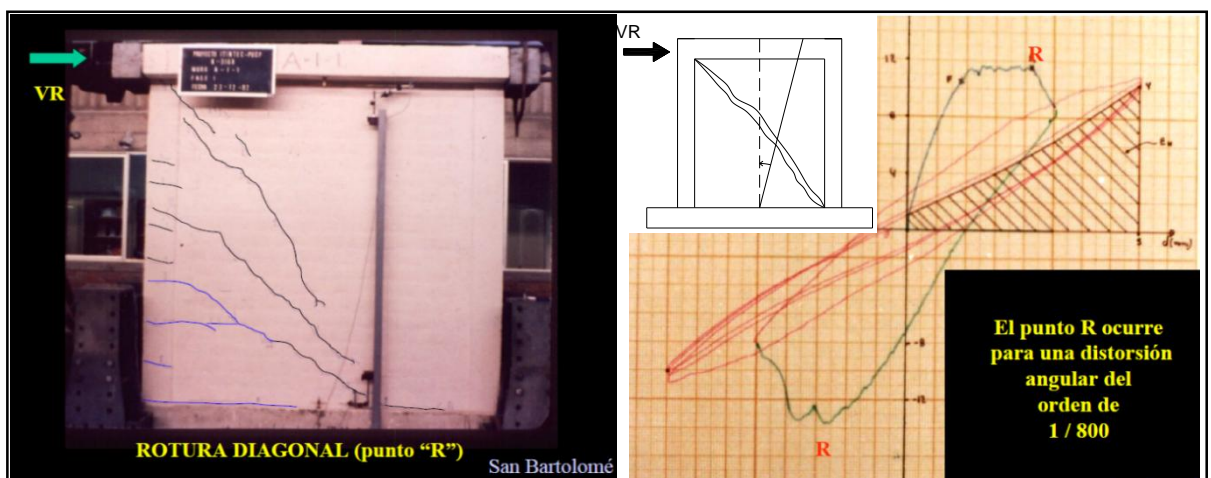


Fig. 2-11 Punto “R” o “m” en la Norma E.070

### c. Límite de reparación.

Al aplicarse mayores desplazamientos al muro (armado o confinado) después de su rotura diagonal, surgen otras fisuras y la rigidez lateral continúa degradándose. Llega un instante en que también disminuye la resistencia, por la formación de fallas indeseables (inicio de la trituración de los talones, inicio de la trituración de las unidades de albañilería, etc.). Hasta este punto, asociado a una deriva de  $1/200 = 0.005$ , se considera que el sistema es económicamente reparable (Fig. 2-12).<sup>11</sup> Este límite es el especificado como la deriva máxima

<sup>11</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIJUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”

inelástica por la Norma Sísmica E.030 para las edificaciones de albañilería reforzada.



**Fig. 2-12** Límite de reparación.

#### d. Falla final

Ante desplazamientos laterales por encima del límite de reparación (Fig. 2-13), se presenta la trituración de los talones del muro (sea la falla por flexión o por corte) con el consiguiente pandeo del refuerzo vertical, o la trituración de las unidades de albañilería. Allí se pierde la última línea de defensa, lo que da lugar a una drástica reducción de la resistencia.<sup>12</sup>

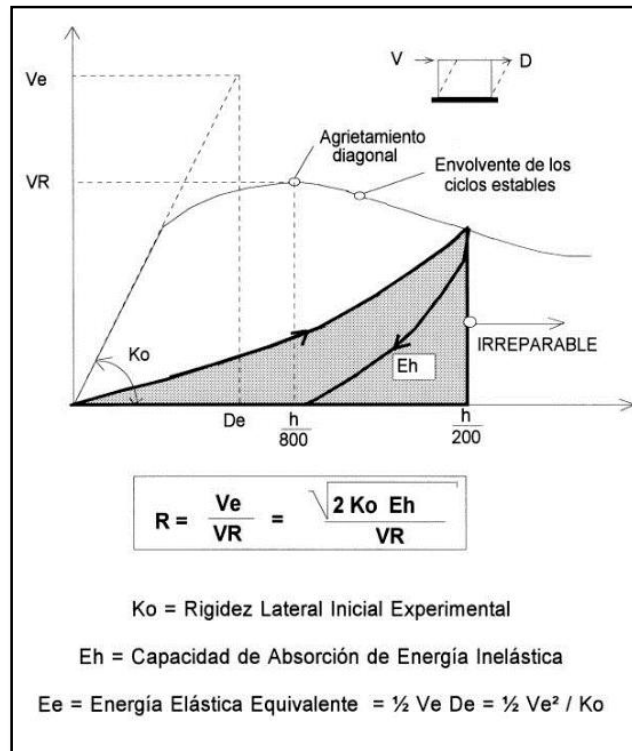


**Fig. 2-13** Falla final

<sup>12</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIUN Y WILSON SILVA, "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA"

### e. Evaluación del factor de reducción «R» experimentalmente

El factor de reducción de las fuerzas sísmicas elásticas «R» puede determinarse experimentalmente. El criterio que se sigue es igualar la energía elástica equivalente a la inelástica (Fig. 2.-14).



**Fig. 2-14** Cálculo de «R».

Para ello, se trabaja con el desplazamiento máximo permitido por la Norma Sísmico E.030 (deriva = 0.005), a fin de que el sistema quede en estado reparable. Para ese nivel de desplazamiento, se calcula la capacidad de absorción de energía inelástica ( $E_h$ ), que luego se iguala a la energía elástica equivalente ( $E_e$ ), que supuestamente tendría el muro si se comportara elásticamente.

Este criterio conduce a factores de «R» del orden de 2.5 cuando el muro ha sido diseñado adecuadamente. Sin embargo, contemplándose otros factores como la sobre resistencia del edificio y los defectos en su construcción, en la



Norma Sísmica E.030 se Utiliza  $R = 3$ , tanto para la albañilería confinada como para la armada.<sup>13</sup>

Otro criterio para calcular «R» experimentalmente se muestra en la Fig. 2-15, donde se acepta una degradación de 25% en la resistencia máxima. En este criterio se determina la ductilidad de desplazamiento  $\mu$ , que proviene de igualar la energía elástica equivalente ( $E_e$ ) a la energía elastoplástica ideal ( $E_h$ ), para luego evaluar «R» mediante la expresión  $\sqrt{(2\mu - 1)}$ . Puesto que en este criterio no se contempla la degradación de rigidez lateral que tienen los muros en la etapa inelástica, los valores de «R» son demasiado elevados.

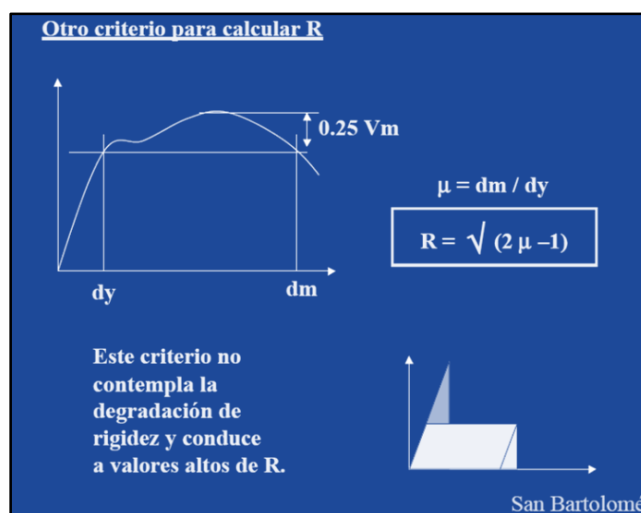


Fig. 2-15 Otro criterio para hallar «R».

## f. Parámetros analizados experimentalmente

Desde el año 1979, en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP se han analizado la influencia de numerosos parámetros sobre el comportamiento sísmico experimental tanto de la albañilería confinada como de la armada. Fue sobre la base de estos resultados que se elaboró la Norma de Albañilería E.070.

<sup>13</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIJUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”

Los artículos correspondientes a cada parámetro se encuentran en el blog <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>. A groso modo, estos parámetros fueron:

- Técnicas de construcción (aparejo, conexión albañilería-columna, tuberías, etc.)
- Calidad de las unidades y del mortero
- Carga vertical
- Esbeltez para acciones coplanares ( $M / (V L)$ )
- Disposición del refuerzo
- Confinamientos de talones
- Control de la falla por deslizamiento, etc.

### **2.5.3.3 Ensayo de simulación sísmica**

Este tipo de ensayo, realizado en mesa vibradora, es muy costoso, por lo que se le utiliza con la finalidad principal de corroborar los principales resultados obtenidos en los experimentos de carga lateral cíclica. Previamente, deben realizarse experimentos estáticos que permitan conocer la matriz de flexibilidad lateral (Fig.2-16) del espécimen, con la cual se determina: la matriz de rigidez lateral, los modos de vibración y sus períodos. También, mediante ensayos de vibración libre (Fig.2-17), se determina el período natural de vibración y el grado de amortiguamiento usando sismógrafos y acelerómetros.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”

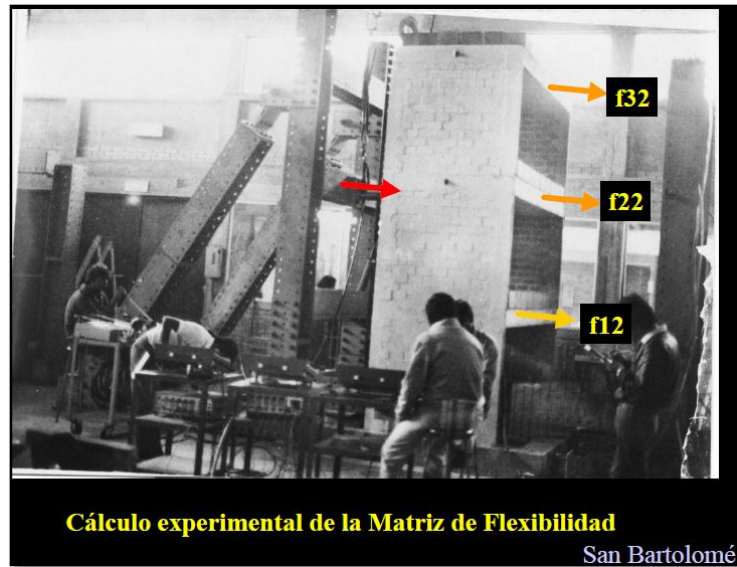


Fig. 2-16 Cálculo de  $(f_{ij})$

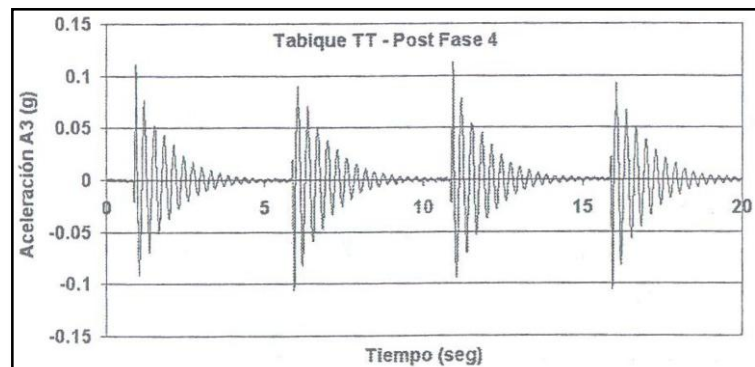
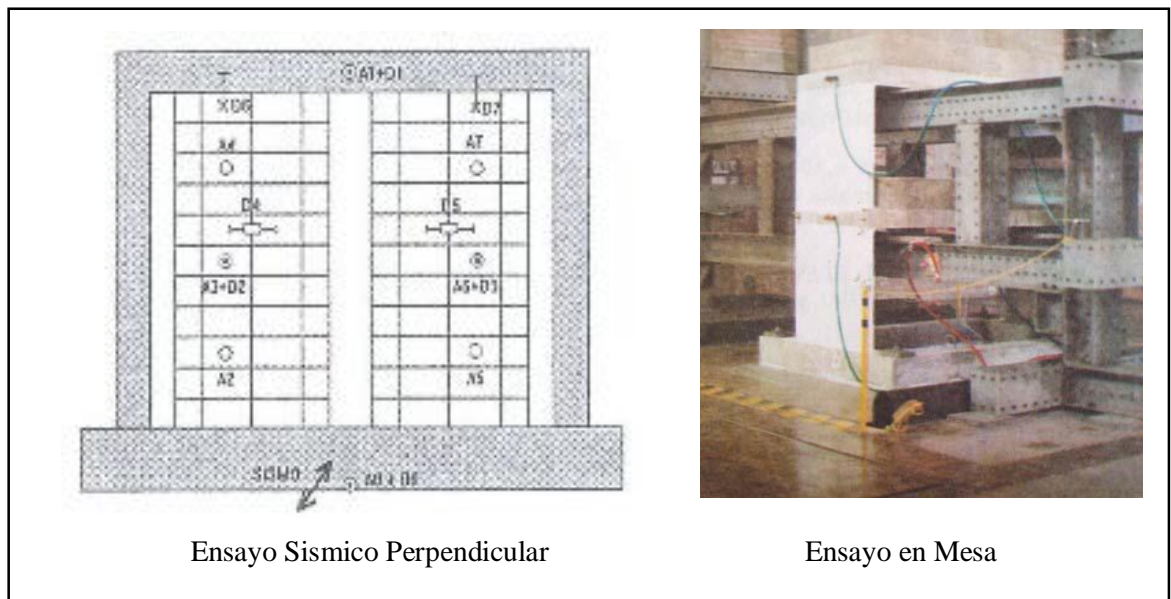


Fig. 2-17 Respuesta de vibración libre

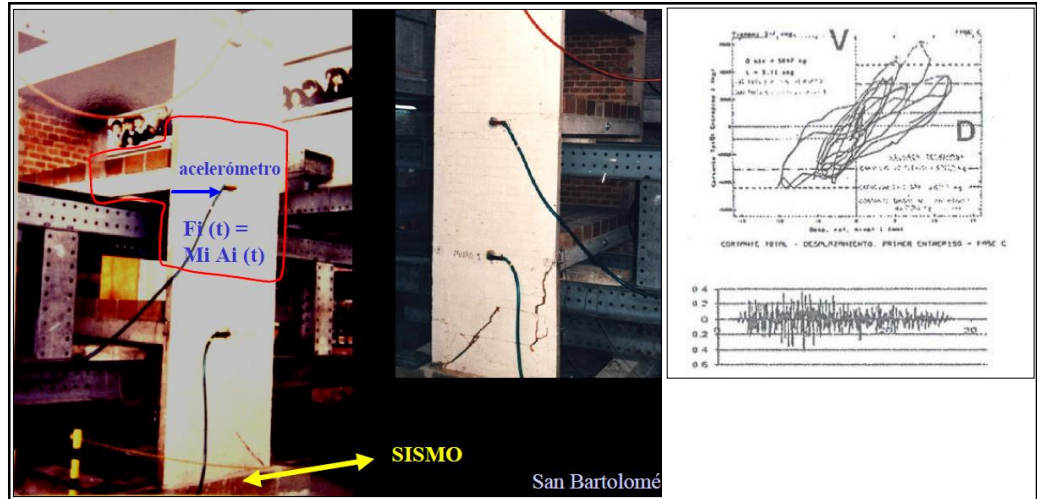
En esta técnica se utilizan, además de los LVDT (Transformador diferencial de variación lineal), los acelerómetros, que permiten obtener la fuerza sísmica. Para ello, se divide al espécimen en retículas, colocando al centro de la retícula un acelerómetro («A» en la fig. 2-18). El producto de la masa tributaria por la aceleración correspondiente proporciona la fuerza de inercia, con la cual es posible obtener por equilibrio, fuerzas cortantes, momentos flectores, etc. en cualquier sección del espécimen y en cualquier instante del movimiento.



**Fig. 2-18** Instrumentación en un ensayo sísmico

Los ensayos de simulación sísmica (Fig. 2-19) se desarrollan en varias fases, utilizando un sismo determinado, pero variando la amplitud de la aceleración en la base, de tal modo de simular sismos leves, moderados (frecuentes), severos (ocasionales) y catastróficos (muy raros). Estas fases son precedidas por ensayos de vibración libre, consistentes en aplicar pulsos en la plataforma del simulador para medir las propiedades dinámicas del espécimen: período ( $T$ ) y amortiguamiento ( $\xi$ ), lo que permite cuantificar el grado de deterioro.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIJUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”



**Fig. 2-19** Ensayo sísmico

En cada fase del ensayo se registran la historia de aceleraciones y de desplazamientos, tanto de la plataforma del simulador sísmico como de cada instrumento colocado en el espécimen.

La principal ventaja de los ensayos sísmicos es que permiten determinar en tiempo real el comportamiento sísmico del espécimen, incluyendo las cargas sísmicas perpendiculares a él. En el caso del simulador de la PUCP, su desventaja es que la plataforma tiene un solo grado de libertad traslacional y el peso máximo del espécimen es 16 ton, a diferencia de otros simuladores como el de Hyogo, Japón (Fig. 2-20), que tiene 6 grados de libertad y permite ensayar especímenes con hasta 120 ton. de peso, aparte que la mayor dimensión de la plataforma permite ensayar especímenes a escala natural. <sup>16</sup>

<sup>16</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIJUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”



**Fig. 2-20** Simulador sísmico de Hyogo

Parámetros como la esbeltez para acciones sísmicas coplanares (Fig.2-20), y el efecto sísmico transversal al plano tanto de tabiques como de muros portantes (Fig. 2-18), han sido estudiados en la PUCP y aparecen en el blog: <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>.

#### **2.5.3.4 Ensayo pseudo-dinámico**

Los ensayos pseudo dinámicos son aquellos que se realizan fijando la base del espécimen y aplicando fuerzas sísmicas o desplazamientos laterales en los niveles de la edificación, mediante acatadores dinámicos, que reaccionan contra un gran muro (Fig.2-21). Partiendo de las condiciones iniciales de reposo, se predice mediante un programa de cómputo los desplazamientos que tendrían los niveles para un cierto incremento de la aceleración sísmica basal. Estos desplazamientos se aplican en el espécimen, y se determina así la respuesta real, que constituye las condiciones iniciales para un nuevo incremento de la sollicitación.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIJUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”

En el año 1988, se llevó a cabo en el Japón un experimento pseudo-dinámico en un edificio a escala natural de 5 pisos, hecho de albañilería armada (Fig.2-21), y se obtuvieron lazos histeréticos V-D para el primer piso, muy similares a los registrados en los ensayos de muros individuales ejecutados en la PUCP; incluso, para derivas ligeramente mayores que 0.005 (límite máximo de la Norma Sísmica E.030), el espécimen quedó en estado irreparable, triturándose los talones con el consiguiente pandeo del refuerzo vertical y una degradación severa de resistencia.<sup>18</sup>

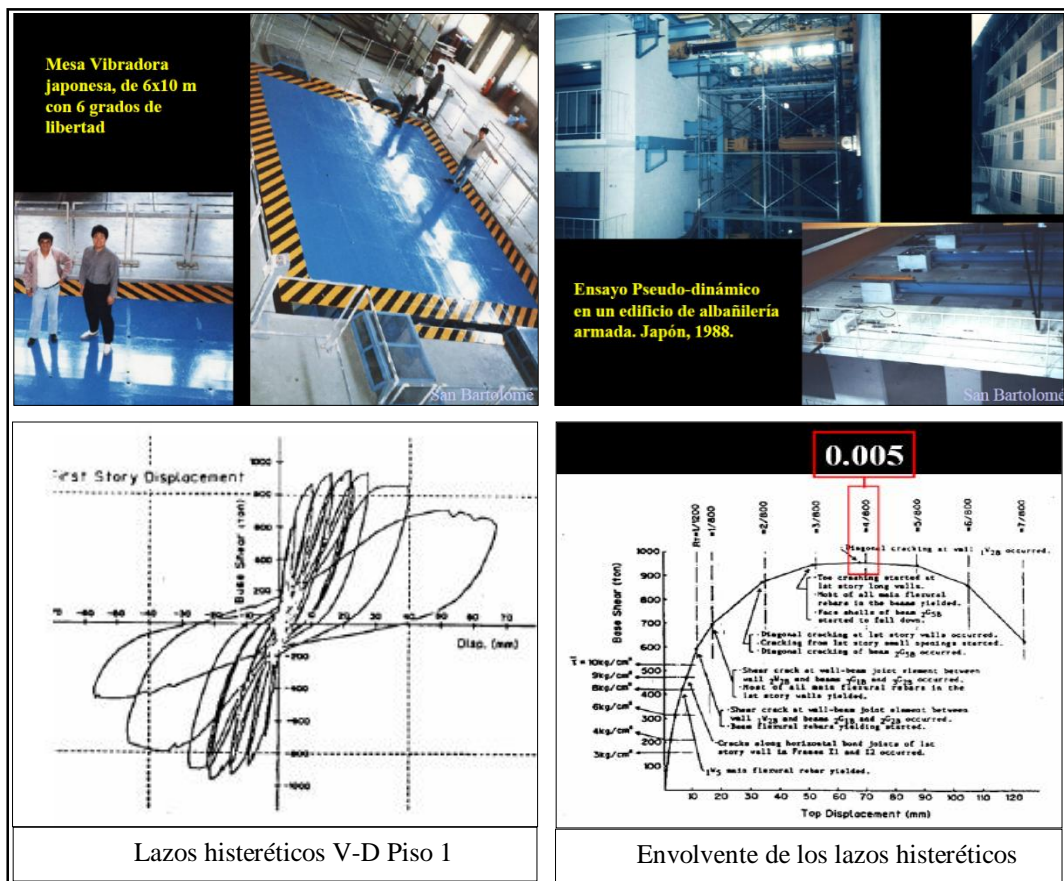


Fig. 2-21 Ensayo pseudo-dinámico en un edificio en Japón

<sup>18</sup> ANGEL SAN BARTOLOME, SANIEL QUIUN Y WILSON SILVA, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTE DE ALBAÑILERIA”

En el CISMID-UNI (Perú) también se utilizó la técnica de ensayo pseudo-dinámica (Fig.2-22) para analizar el comportamiento de una vivienda de albañilería confinada de 2 pisos.



**Fig. 2-22** Ensayo pseudo-dinámico en Perú

La ventaja principal de esta técnica de ensayo es que se aplica sobre especímenes a escala natural (también a escala reducida). Su principal desventaja es el tiempo que demora el ensayo (el experimento japonés duró 3 meses), con lo cual se corre el riesgo de que los sensores se descalibren y haya que hacer correcciones incluso hasta por cambios de temperatura. Otra desventaja es que no puede simularse la carga sísmica perpendicular al plano de los muros, con lo cual no se puede garantizar si la transferencia de estas cargas hacia los muros dirigidos en la dirección del ensayo es adecuada o no.

Detalles sobre el experimento japonés pueden verse en el acápite «miscelánea de artículos», en el capítulo «Albañilería Confinada» del Blog: <http://blog.pucp.edu.pe/albañilería>.



## CAPÍTULO 3:

### **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL MURO**

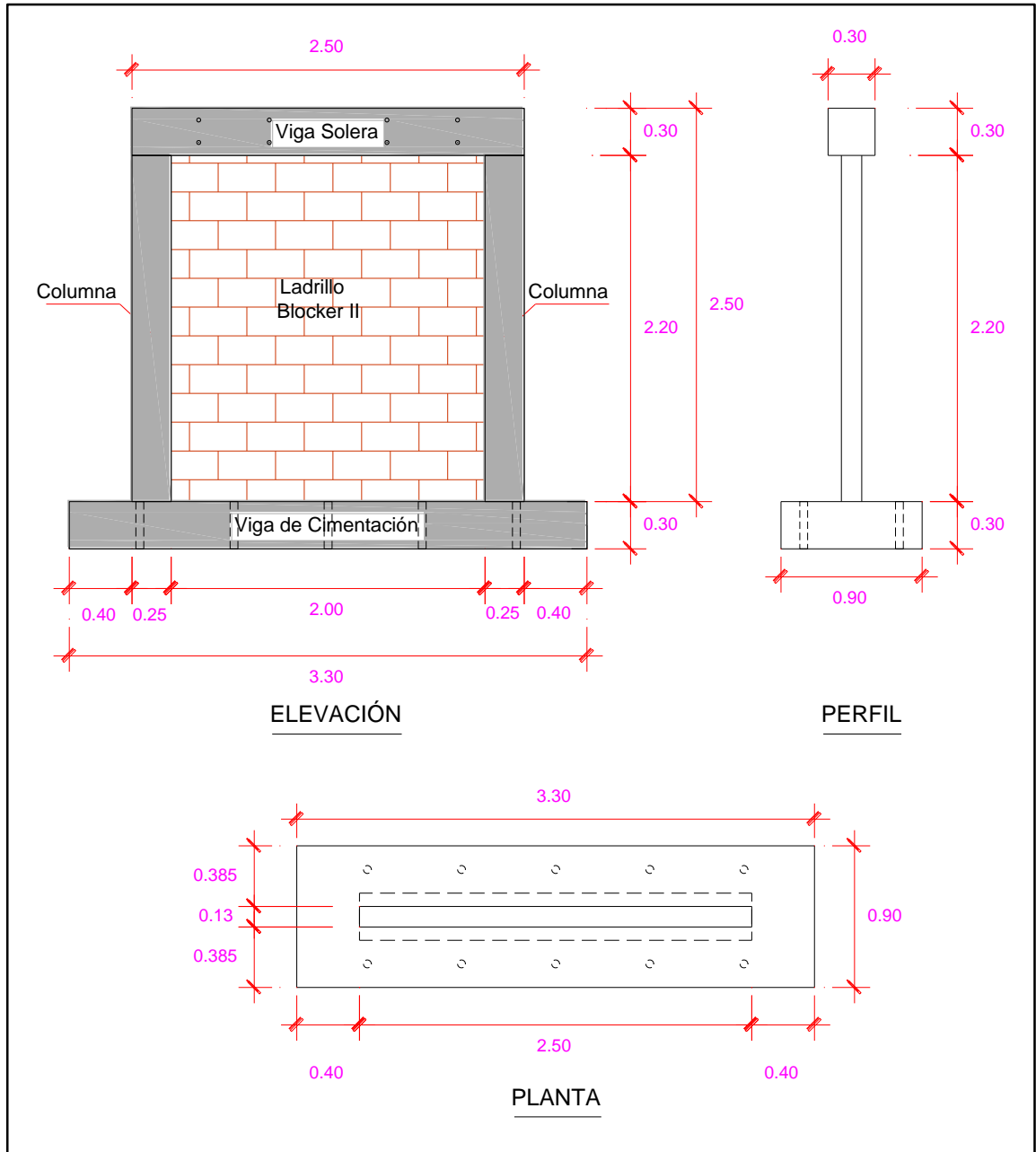
Se realizó la construcción de un muro de albañilería confinada con unidades llamadas blocker II, a escala natural en el Laboratorio de Estructuras del CISMID (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres) (Lima), el cual los materiales utilizados son propios de la ciudad de Tacna y fueron llevados hasta el Laboratorio en mención.

El pre dimensionamiento de los elementos estructurales fue diseñado para uso netamente experimental y así poder ejecutar el ensayo, teniendo así columnas del mismo espesor del muro, como también se diseñó una viga de cimentación, que servirá a su vez como base de apoyo, las dimensiones del muro y detalle de estructuras se muestra en la Fig.3-1 y Fig. 3-2.

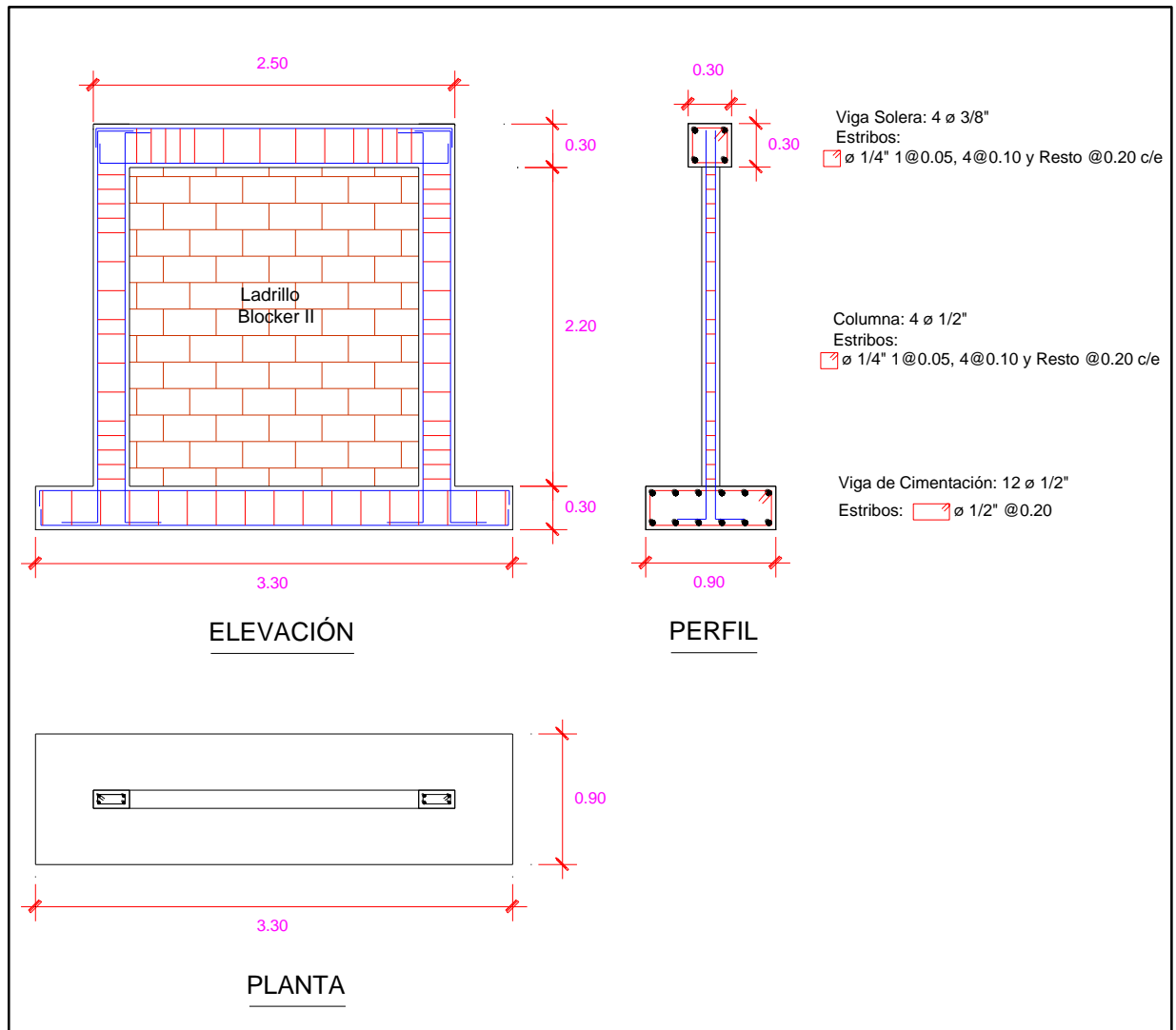
#### **3.2 CARACTERÍSTICAS DEL MURO**

- En la base del muro hay una viga de cimentación de 3.30 m. de longitud, un ancho de 0.90 m. y una altura de 0.30 m.
- El muro de albañilería confinada es de 2.20m. de altura, 2.00 m. de longitud y 0.13 m. de espesor (sin incluir columnas y viga). Incluyendo las columnas y viga tenemos una altura de 2.50 m. y una longitud de 2.50 m.
- La distribución de acero:
  - Viga de cimentación: Acero longitudinal 12 Ø 1/2", Estribos de 1/2" a cada 0.20 m.

- Columna: 4  $\varnothing$  1/2", Estribos de 1/4", 1@0.05, 4@0.10, R@0.20
- Viga Solera: 4  $\varnothing$  3/8", Estribos de 1/4", 1@0.05, 4@0.10, R@0.20
- Materiales empleados:
  - Ladrillo Blocker II
  - Cemento Yura Tipo IP
  - Arena gruesa
  - Piedra chancada
  - Acero de  $\varnothing$  1/2", 3/8", 1/4" y alambre N°8
  - Madera para encofrado
  - Tubo de PVC 2"
  - Agua
- Herramientas:
  - Escantillón, plomada, cordel, nivel de mano, badilejo
  - Pala, Buguie
  - Trompo de 7 pie3
  - Vibradora de 2"
- El aparejo de las unidades de albañilería fue del tipo sogá.
- Juntas horizontales de 1.5 cm de grosor y juntas verticales de 1.5 cm. de grosor.
- La proporción volumétrica cemento: arena del mortero de asentado fue 1: 4.
- La conexión columna - albañilería fue dentada.
- Las unidades de albañilería fueron regadas durante 30 minutos, 12 horas antes del asentado, para poder alcanzar el valor de succión recomendado.
- El tiempo de fragua del muro fue de 28 días.
- $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  en columnas, viga solera y viga de cimentación.



**Fig. 3-1** Dimensiones del Muro



**Fig. 3-2** Detalle de Estructuras.

### **3.3 PROCESO CONSTRUCTIVO**

#### **3.3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN**

El proceso comenzó con el armado del encofrado de la viga de cimentación hecho de maderas, evitando cualquier hueco en la madera o irregularidad que afectara el correcto fraguado de la mezcla vaciada. Se utilizó una base de triplay, el cual se puso plástico para que no se adhiriera al mismo.

Una vez listo el encofrado, se procedió a la habilitación del acero de la viga de cimentación. Luego se procedió a la colocación de la armadura dentro del encofrado de madera.

Al terminar la colocación de la armadura en el encofrado que dará forma a la viga, se posicionó el refuerzo vertical de las columnas, éstos fueron colocados según el plano. Con alambre N°16 se amarró el refuerzo vertical de las columnas con el refuerzo horizontal de la viga de cimentación, a este proceso de amarre del refuerzo se llama atortolamiento. Dentro del encofrado de la viga de cimentación se colocó 10 pases de tubos de PVC de 2” y 4 sujetadores para que al término de la construcción del muro, éste se pueda anclar al suelo y el equipo de izaje con ayuda de la grúa pueda movilizarlo a la zona de ensayo.

Para concluir con la construcción de la viga de cimentación, se procedió con el vaciado de concreto. Se usó una dosificación adecuada para alcanzar una resistencia de 175 kg/cm<sup>2</sup>. Cada cierto instante del vaciado se utilizaba una vibradora de 2”, con el objetivo de evitar cangrejeras y la segregación del concreto, lo que más adelante pudiera generar juntas frías dentro de la viga de cimentación. Una vez terminado el vaciado y en la etapa media de la fragua, se

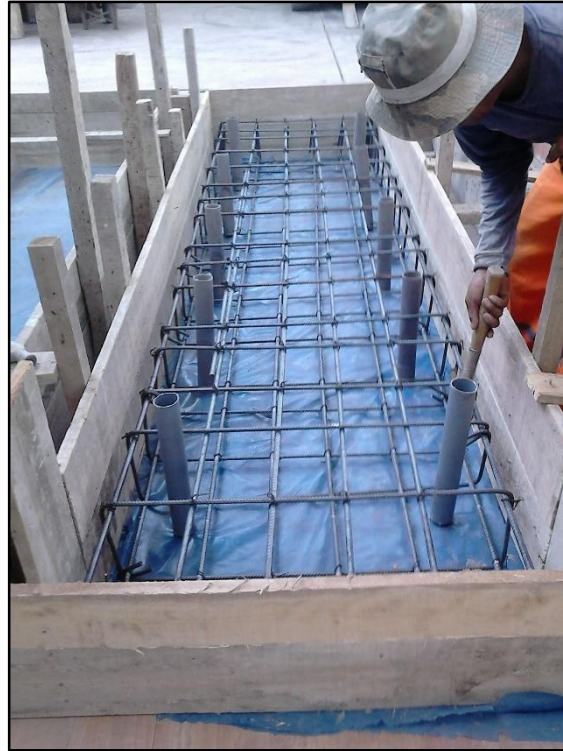
hizo unas rayaduras en la parte superficial de la viga en la zona de asentado de las unidades de albañilería.



**Fig. 3-3** Encofrado de la viga de cimentación



**Fig. 3-4** Armado la viga de cimentación



**Fig. 3-5** Colocado del acero dentro del encofrado y tubos de PVC de 2"



**Fig. 3-6** Colocado de columnas y 4 anclajes para el posterior traslado del muro a la zona de ensayo



**Fig. 3-7** Preparado de la mezcla



**Fig. 3-8** Vaciado de la viga de cimentación





**Fig. 3-9** Última capa de vaciado de la viga de cimentación

### **3.3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MURO**

Para la construcción del muro primero se limpió y humedeció la superficie rayada de la viga de cimentación con agua, luego del humedecimiento, se aplicó la primera capa de mortero asentándose luego los ladrillos blocker II en la parte extrema, llamados maestros o guía. En seguida se colocó un cordel de un extremo al otro para controlar la horizontalidad de la hilada.

Se realizó la construcción de muros en dos jornadas. Se siguió el consejo de la Norma E.070, la primera jornada alcanzó una altura de 1.30m, ya que si se seguía asentando unidades podría ocurrir el riesgo de aplastamiento en el muro por estar aún fresco el mortero. En el segundo día de asentado del ladrillo, se culminó la colocación de todas las unidades. (Fig. 3-12)

La conexión muro-columna se realizó por medio de dentaduras dejadas por las mismas unidades de albañilería. (Fig. 3-12)



**Fig. 3-10** Asentado del muro



**Fig. 3-11** 1ra. Jornada de trabajo y control de verticalidad del muro



**Fig. 3-12** Culminación del muro de 2.20m de altura

### 3.3.3 CONSTRUCCIÓN DE COLUMNAS

Al termino del asentado del muro de albañilería, se empezó a realizar el encofrado de las columnas para el respectivo vaciado de las columnas, el cual se efecto aproximadamente una semana después del asentado de las unidades. Se vació el concreto en las columnas con la dosificación de mezcla diseñada ( $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ ). Este se elaboró en tandas en una mezcladora de 7 pies<sup>3</sup>. Durante el vaciado de concreto en las columnas se usó el vibrador eléctrico para evitar las cangrejas. Las columnas fueron desencofradas 24 horas después y curadas 2 veces por día, durante 4 días.



**Fig. 3-13** Encofrado de la columna



**Fig. 3-14** Uso de vibradora en el vaciado de columna



**Fig. 3-15** Desencofrado de columnas



**Fig. 3-16** Curado de la columna

### 3.3.4 CONSTRUCCIÓN DE VIGA SOLERA.

Una vez desencofrado las columnas de empezó a construir la viga solera.

Se encofra todo lo largo de la viga, primero colocando puntales con una base de madera en la parte de arriba, en donde se colocara el armado de acero de la viga, con sus respectivos estribos, dejando un recubrimiento de 2 cm, el cual es adecuado para el acero. La dosificación del concreto fue la misma que se utilizó para las columnas de confinamiento ( $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ ).

Después de las 24 horas, se desencofró y se procedió al curado. Luego a los elementos de concreto se le dieron un solaqueado para un mejor acabado.



**Fig. 3-17** Encofrado y colocación del acero de la viga



**Fig. 3-18** Desencofrado de viga



**Fig. 3-19** Solaqueado de viga



**Fig. 3-20** Solaqueado de columna



**Fig. 3-21** Vista final del muro



## CAPÍTULO 4:

### ANÁLISIS TEÓRICO DEL MURO A ESCALA NATURAL

Para analizar las resistencias, debemos tener en cuenta que la Norma E.070 relaciona el módulo de elasticidad ( $E_m$ ) de la albañilería con la resistencia a la compresión ( $f'm$ ), de la siguiente manera:

Para ladrillos de arcilla:

$$E_m = 500 f'm$$

En la Tabla 4-1, observamos que la relación  $E_m/f'm$  experimental es mayor a lo señalado en la Norma E.070.

**Tabla 4-1** Relación del módulo de elasticidad vs.  $f'm$

	$f'm$	$E_m$	$E_m/f'm$	Diferencia con teórico NTP E.070
	Ensayo	Ensayo		%
	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>		
Ladrillo de arcilla	45.45	40546.41	892	+ 78%

Donde:

$f'm$ = Resistencia a la compresión axial de la albañilería.

$E_m$ = Modulo de elasticidad de la albañilería.

Teniendo en cuenta una diferencia de 78 % con respecto al módulo de elasticidad ( $E_m$ ) de la albañilería con respecto a la norma E.070, se decidió hacer los cálculos tomando en cuenta los dos módulos de elasticidad ( $E_m$ ), una del resultado del ensayo experimental y la otra tomando en cuenta la fórmula de  $E_m=500f'm$  especificada en la Norma E.070. Como podemos apreciar en la siguiente formula:

$$E_m = 500f'_m$$

$$E_m = 500(45.45)$$

$$E_m = 22725 \text{ kg/cm}^2$$

Así se tendría los siguientes módulos de elasticidad ( $E_m$ )

$$E_m (1) = 40546.41 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_m (2) = 22725 \text{ kg/cm}^2$$

La máxima resistencia del murete está en función de la resistencia a la compresión. ( $\sqrt{f'_m}$ ), para efectos de diseño, se debe utilizar el valor mínimo de  $f'_m$  ó  $\sqrt{f'_m}$ . (NTE E.070 Albañilería)

Podemos observar en la Tabla 4-2 que los ladrillos de arcilla no sobrepasaron el valor máximo.

**Tabla 4-2** Análisis de la resistencia al corte

	$v_m$	$f'_m$	$V_m \text{ max.}$	$v_m$
	ensayo	ensayo	$\sqrt{f'_m}$	diseño
	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
Ladrillo de arcilla	4.192	45.45	6.74	4.192

Donde:

$f'_m$ = Resistencia a la compresión axial de la albañilería.

$V_m$ = Resistencia de la albañilería al corte.

$V_m \text{ max.}$ = Resistencia máxima de la albañilería al corte.

#### 4.1 MÓDULO DE CORTE Y ELASTICIDAD

El módulo de corte teórico ( $G_m$ ), se pudo obtener de las mediciones efectuadas en el ensayo de compresión axial de las pilas.

De acuerdo a la Norma Técnica de Edificación E.070. Albañilería (2006). Se utilizó la siguiente fórmula:

$$G_m = 0.4 E_m$$

Donde:

$E_m$  = módulo de elasticidad de las pilas (kg/cm<sup>2</sup>), del ensayo de determinación de

$E_m$  ver Tabla 1-9.

Los resultados se aprecian en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3** Módulo de corte teórico del muro de albañilería

	$E_m$	$G_m = 0.4 E_m$
Ladrillo de arcilla	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
Teórico (1)	40546.41	16218.56
Teórico (2)	22725.00	9090.00

Donde:

$E_m$  = Modulo de elasticidad de la albañilería.

$G_m$  = Modulo de corte de la albañilería.

## 4.2 RIGIDEZ LATERAL

Para calcular la rigidez lateral teórica  $K$ , se tuvo en cuenta que los muros actúan en voladizo.

Fue necesario transformar las columnas de confinamiento en elementos equivalentes de albañilería, para utilizar la siguiente expresión:

$$K = \frac{E}{\frac{h^3}{3I} + \frac{fh(E/G)}{A}}$$

Donde:

$K$  = Rigidez lateral (ton/m).

$E$  = Módulo de elasticidad experimental.

$h$  = Altura del muro, desde la base hasta el eje de carga (2.35 mt).

$I$  = Inercia de la sección transformada no agrietada.

$f$  = Factor de forma.

$G$  = Módulo de corte experimental.

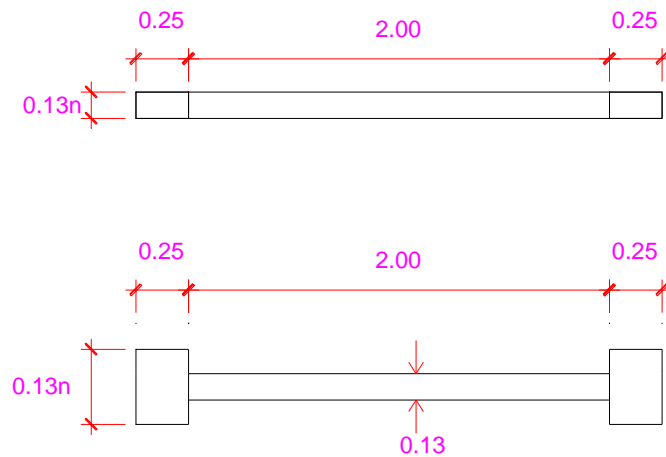
$A$  = Área de la sección transversal del muro.

La sección transformada se muestra en la Fig. 4-1. El valor “n” es el cociente del módulo de elasticidad del concreto entre el módulo de elasticidad de la albañilería.

El módulo de elasticidad del concreto según la Norma E.070 es:

$$E_c = 15,000 \sqrt{f'c} = 198,431 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde  $f'c$  es la resistencia del concreto de las columnas de confinamiento (175 Kg/cm<sup>2</sup>)



**Fig. 4-1** Sección transformada de los muros de albañilería

De esta manera el ancho de la columna transformada se aprecia en la Tabla 4-4

**Tabla 4-4** Cálculo de sección transformada “0.13 x n”

	$E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$n=E_c/E_m$	$n \times 0.13$ (m)
n arcilla (1)	198,431	40,546.41	4.89	0.636
n arcilla (2)	198,431	22,725.00	8.73	1.135

Donde:

$E_m$ = Módulo de elasticidad de la albañilería.

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto.

$n$  = Factor de relación entre el módulo de elasticidad del concreto y el módulo de elasticidad de la albañilería.

La inercia para el muro de ladrillos de arcilla es igual a:

$$I_m (1) = \frac{13 \times 200^3}{12} + 2x \left[ \frac{63.60 \times 25^3}{12} + 63.60 \times 25 \times 112.5^2 \right] = 49'079,166.67 \text{ cm}^4$$

$$I_m (2) = \frac{13 \times 200^3}{12} + 2x \left[ \frac{113.5 \times 25^3}{12} + 113.5 \times 25 \times 112.5^2 \right] = 80'786,458.33 \text{ cm}^4$$

El factor de forma (f) es el área total de la sección transformada entre el área del alma

$$f_m (1) = (63.60 \times 25 \times 2 + 200 \times 13) / (250 \times 13) = 1.77$$

$$f_m (2) = (113.5 \times 25 \times 2 + 200 \times 13) / (250 \times 13) = 1.55$$

Los resultados para la rigidez lateral de los dos muros se muestran en la Tabla 4-5. Se utilizó una relación de E/G = 2.5 y los valores de módulo de elasticidad se obtuvieron de los ensayos de compresión axial de las pilas.

**Tabla 4-5** Cálculo de rigidez lateral teórica

	Inercia	f	A	h	E	K
	cm <sup>4</sup>	cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	(kg/cm <sup>2</sup> )	(ton/m)
Teórico (1)	49'079,166.67	1.77	5,780	235	40,546.41	15,126.34
Teórico (2)	80'786,458.33	1.55	8,275	235	22,725.00	13,891.15

Donde:

f = Factor de forma.

A = Área de la sección transversal del muro.

h = Altura del muro.

E = Módulo de elasticidad experimental.

K = Rigidez lateral.

### 4.3 FISURACIÓN EN TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Para la determinación teórica de la carga asociada a la primera fisura, se utilizó el criterio de la sección transformada no agrietada.

El esfuerzo de tracción máximo al cual estaba sujeto el muro se igualó a la capacidad de tracción del concreto ( $2\sqrt{f_c}$ ) transformado a albañilería.

$$\sigma_t = \frac{My}{I} = \frac{f't}{n} = \frac{2\sqrt{f'c}}{n}$$

Donde:

$\sigma_t$  = Esfuerzo de tracción máximo

$M = F$  (carga asociada a la primera fisura) x  $h$

$I$  = Inercia de la sección transformada no agrietada

$f'_c$  = Resistencia del concreto de elementos de confinamiento (175 Kg/cm<sup>2</sup>)

$n = E_c/E_m$

$y = 1.25$  m (distancia del centroide al extremo traccionado)

Despejando  $F$ , tenemos:

$$F = \frac{2\sqrt{f'_c I}}{h y n}$$

Los resultados se muestran en la Tabla 4-6.

**Tabla 4-6** Fuerza asociada a la primera fisura de tracción por flexión

	Inercia	h	n=Ec/Em	y	F
	cm <sup>4</sup>	cm		cm	(ton)
Teórico (1)	49'079,166.67	235	4.89	125	9.04
Teórico (2)	80'786,458.33	235	8.73	125	8.33

#### 4.4 AGRIETAMIENTO DIAGONAL TEÓRICO

La resistencia teórica al corte, asociada al primer agrietamiento diagonal, se evaluó con la siguiente fórmula:

$$V_m = 0.5 v'_m \alpha t L + 0.23 P_g$$

Donde:

$v'_m$  = Resistencia al corte de la albañilería (del ensayo de compresión diagonal

ver Tabla 1-10)  $\leq \sqrt{f'_m}$

$t$  = Espesor efectivo del muro

$L$  = Longitud total del muro incluyendo el peralte de las columnas de confinamiento.

$P_g$  = Carga axial = 13 tn

$\alpha$  = Factor de esbeltez =  $V \times L / M = V \times L / (V \times h) = L/h$

$h = 2.35$  m

Los resultados se muestran en la Tabla 4-7

**Tabla 4-7** Cálculo de carga de agrietamiento diagonal

	v'm	L	t	$\alpha$	Pg	Vm
	ton/m <sup>2</sup>	m	m		ton	ton
VR ma teórico	41.92	2.50	0.13	1.00	13	9.80

Donde VR = Resistencia al primer agrietamiento diagonal  
ma = muro albañilería

#### 4.5 MOMENTO FLECTOR NOMINAL MÁXIMO

Para muros de sección rectangular, la capacidad resistente a flexión “Mn” se calcula con la siguiente fórmula:

$$Mn = As(fy)D$$

Donde:

Mn = Momento flector nominal máximo

As = Área del refuerzo vertical en el extremo del muro (4Ø½”)

$$4 \times 1.29 = 5.16\text{cm}^2$$

D = 0.8 L

Los resultados se detallan en la Tabla 4-8.

**Tabla 4-8** Cálculo de momento nominal máximo

	As	fy	D=0.8L	Mn
	m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	m	ton x m
Mn ma teórico	0.000516	42,000	2.00	43.34

Donde: Mn = Momento nominal  
ma = muro albañilería.

As = Área de refuerzo vertical extremo del muro.

fy = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

D = Distancia de un extremo del muro.

La fuerza cortante asociada es  $V_f = M_n / h = M_n / 2.35$

$$V_f = 43.34 / 2.35 = 18.44 \text{ ton}$$

Esta carga corresponden a la fuerza cortante que logra la fluencia del refuerzo colocado, puede incrementarse si el refuerzo entra en la etapa de endurecimiento.

#### **4.6 TIPO DE FALLA ESPERADA**

Se define teóricamente el tipo de falla, comparando las resistencias  $V_f$  (fuerza cortante que logra la fluencia del refuerzo colocado) y  $V_m$  ( Resistencia de la albañilería al corte). Cuando  $V_m$  es menor que  $V_f$ , el muro falla por corte con una grieta diagonal.

Según los resultados obtenidos, se puede asegurar que el muro MBAT-1 con ladrillos de arcilla fallará por corte ( $V_m = 9.80 \text{ ton} < V_f = 18.44 \text{ ton}$ ).

La mayoría de las fallas registradas en los edificios reales de albañilería falla por corte y no por flexión.



## **CAPÍTULO 5:**

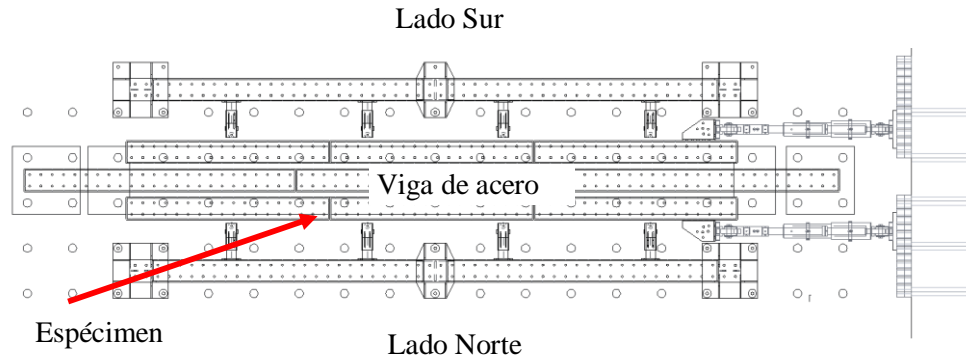
### **ENSAYO CICLICO DE CARGA LATERAL Y RESULTADOS**

#### **5.1 ENSAYO CICLICO DE CARGA LATERAL**

El ensayo estático cíclico a escala natural se realiza con el propósito de conocer el comportamiento estructural del muro de albañilería con unidades tipo Blocker II. Este ensayo consiste en someter al muro a un desplazamiento conocido en ambos sentidos, que se va incrementando gradualmente mediante una fuerza aplicada. Durante el ensayo los valores del desplazamiento y la fuerza aplicada relacionada se registran, con estos valores se construyen las gráficas Fuerza vs. Desplazamiento, denominada Curva de Capacidad.

##### **5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO DE CARGA**

Para la realización de este ensayo debe emplearse un pórtico de acero que rodea al espécimen a manera de pórtico de reacción de uno de los extremos de las gatas hidráulicas, un sistema de aplicación de carga conformado por gatas hidráulicas, un sistema de medición conformado por celdas de carga y LVDTs (Linear variable differential transformer o Transformador diferencial de variación lineal), como se muestra en la Fig. 5-1. Adicionalmente, las gatas hidráulicas verticales, que mantendrán una carga constante, apoyarán uno de sus extremos sobre la losa de reacción, mientras que las gatas hidráulicas horizontales, que aplicarán la carga cíclica lateral, apoyarán uno de los extremos sobre el muro de reacción.

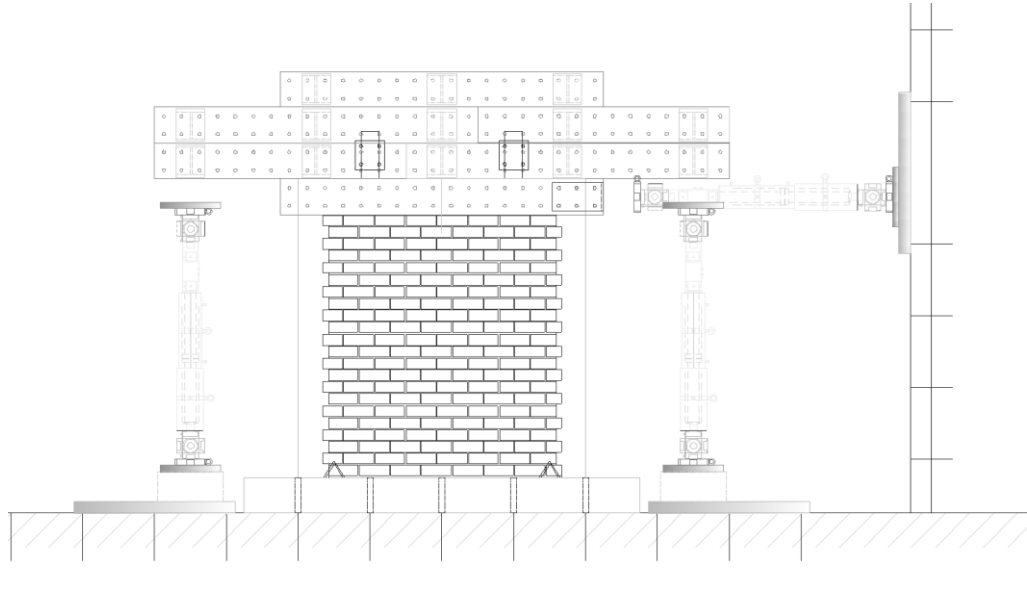


**Fig. 5-1** Vista en planta del equipo de carga

### 5.1.2 SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA

El sistema de aplicación de la carga consiste en cuatro gatas hidráulicas estáticas; cada una tiene una capacidad de aplicación de carga de 500 kN con una amplitud del émbolo (stroke) de  $\pm 250$  mm. Dos de estas gatas hidráulicas serán las responsables de la aplicación de la carga horizontal cíclica lateral, mientras las otras dos gatas hidráulicas serán las que mantengan una carga axial que simule la presencia de carga de pisos sobre el pórtico de concreto armado representativo del módulo 780-PRE.

Durante el desarrollo del ensayo, la carga axial aplicada por las dos gatas hidráulicas verticales se mantendrá constante en 550 kN. La carga axial es aplicada con las dos gatas hidráulicas, bajo control de carga, usando la carga vertical requerida, que se distribuye horizontalmente mediante una viga de acero soportada por la viga superior de concreto del espécimen. Ver Fig. 5-2.



**Fig. 5-2** Esquema de la configuración del ensayo cíclico.

### 5.1.3 INSTRUMENTACIÓN Y MONTAJE DEL MURO

#### 5.1.3.1 INSTRUMENTACION

La instrumentación consta de 22 canales para la adquisición de los datos. La Fig. 5-3 muestra la instrumentación del espécimen. Los canales CH-00 y CH-01 corresponden a las celdas de carga de las gatas hidráulicas horizontales (Fig. 5-4), CH-02 y CH-03 corresponden a las celdas de carga de las gatas hidráulicas verticales, y del CH-04 al CH-22 corresponden a los transductores de desplazamiento. Para el control del desplazamiento de las gatas hidráulicas se utilizará un transductor de desplazamiento monitor (CH-04).

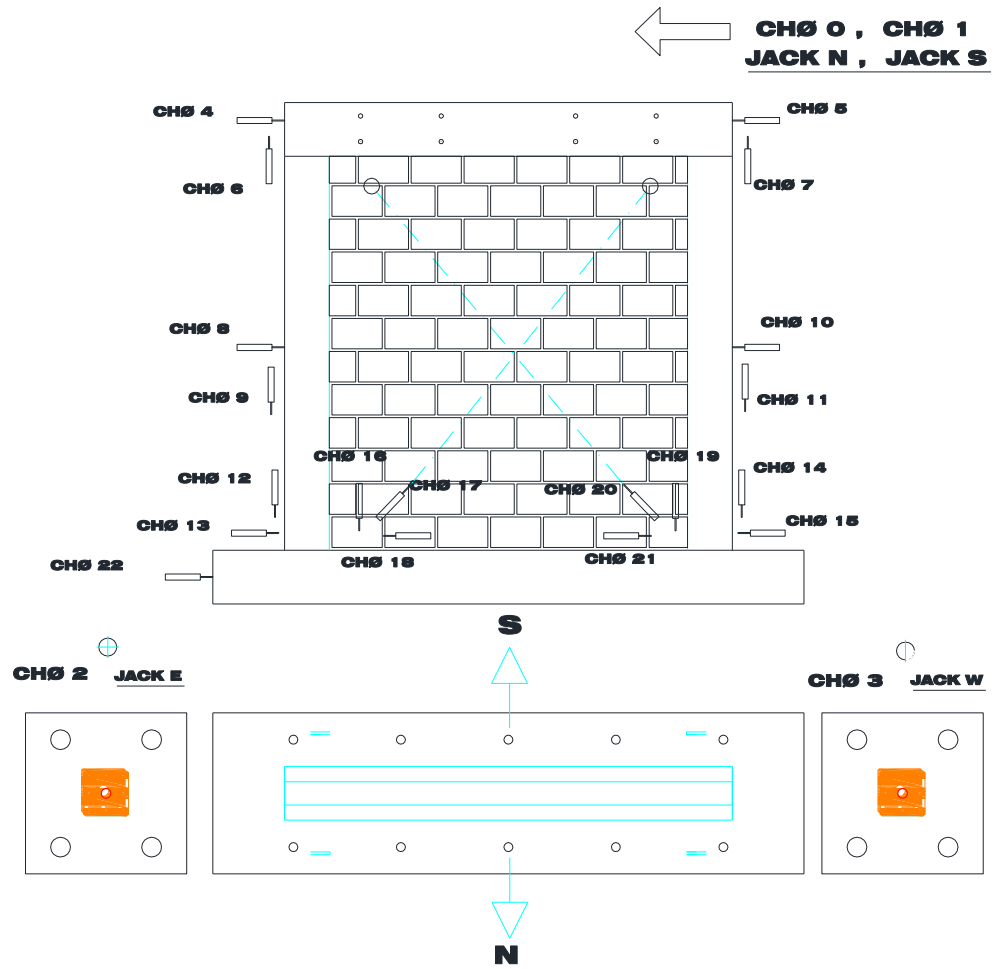


Fig. 5-3 Sistema de instrumentación.

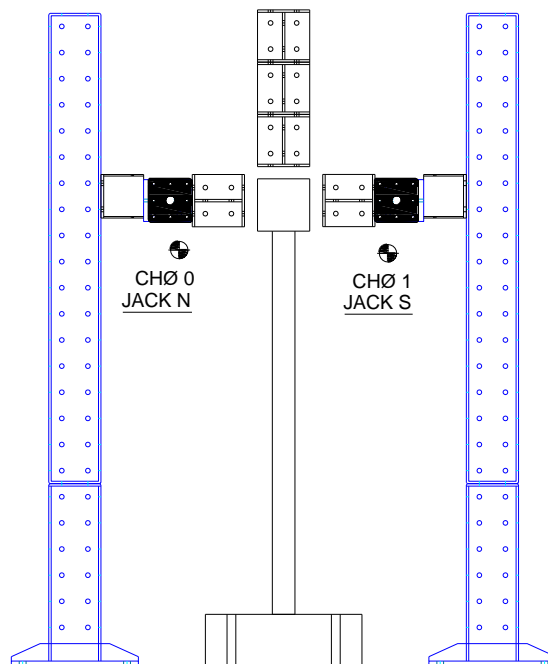


Fig. 5-4 Gatas hidráulicas horizontales

### 5.1.3.2 MONTAJE

El muro fue transportado por el puente grúa, que el laboratorio tiene adaptado en sus instalaciones, una vez que los elementos de concreto alcanzaron una resistencia óptima. Además, se colocó un capping de yeso en la parte inferior de la viga de cimentación para que nivele con la losa del laboratorio y así poder anclarla como se muestra en la Fig. 5-5.



**Fig. 5-5 .** Muro anclado a la losa del laboratorio.

Una vez anclado el muro en la base, se procedió a la colocación de las gatas hidráulicas. Primero se colocó los dos actuadores hidráulicos que ejercen la fuerza vertical (Fig. 5-6). Luego se ensambló las otras dos restantes, las de fuerza horizontal (Fig. 5-7).



**Fig. 5-6** Colocación de actuador hidráulico



**Fig. 5-7** Colocación de actuador hidráulico horizontal

Luego se verificó que los LVDTs (Linear variable differential transformer o Transformador diferencial de variación lineal) estén debidamente calibrados y colocados adecuadamente para no tener errores en la hora de medición de estos instrumentos (Fig. 5-8, 5-9, 5-10).



**Fig. 5-8** Colocación de los LVDTs (Transformador diferencial de variación lineal)



**Fig. 5-9** Colocación de los LVDTs (Transformador diferencial de variación lineal) en la base.

La mayoría de la instrumentación utilizada en este ensayo, ha sido donada por parte del pueblo Japonés, ciudad con la cual tiene convenio este centro.



**Fig. 5-10** Colocación de los LVDTs (Transformador diferencial de variación lineal) en la columna

La recepción de las mediciones de desplazamientos y cargas, fueron hechas por un equipo de recepción, el cual trasmite las lecturas hacia la computadora, donde a través de un programa se van formando las gráficas de Curva de Capacidad y Lazos Histeréticos. Ver Fig. 5-11.



**Fig. 5-11** Equipo de recepción de los 22 canales.



Luego que se encontró instalado debidamente toda la instrumentación (Ver Fig. 5-12) se procedió a comenzar con el ensayo.

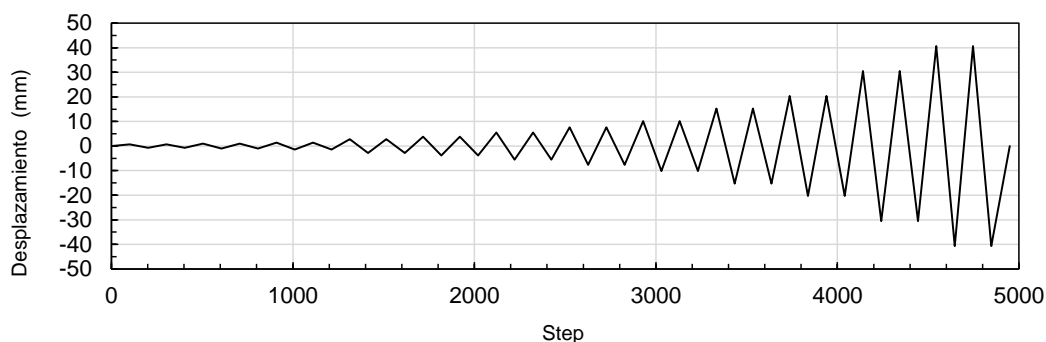


**Fig. 5-12** Muro listo para ser ensayado

### **5.1.3.3 PROTOCOLO DE DESPLAZAMIENTOS**

Para la aplicación de desplazamientos controlados sobre el espécimen muro, se considera las recomendaciones FEMA-461 "Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Non Structural Components".

La carga horizontal es aplicada mediante un control de desplazamiento del monitor acorde al protocolo de desplazamiento, el cual se presenta en la Fig. 5-13, que representa el protocolo de desplazamiento objetivo durante el ensayo.



**Fig. 5-13** Protocolo de desplazamiento objetivo

La siguiente tabla 5-1, muestra el desplazamiento objetivo para el control de desplazamiento por ciclo. Con la finalidad de tener una curva de histéresis más estable, la amplitud objetivo es aplicada en dos ciclos consecutivos. En el presente documento, el ciclo donde se alcanza por primera vez el desplazamiento objetivo se denomina primer ciclo, mientras que a su repetición se denomina segundo ciclo.

**Tabla 5-1** Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo

Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distorsión objetivo	1/4200	1/3000	1/2150	1/1500	1/1100	1/800	1/550	1/400	1/300	1/200	1/150	1/100

## 5.2 RESULTADOS

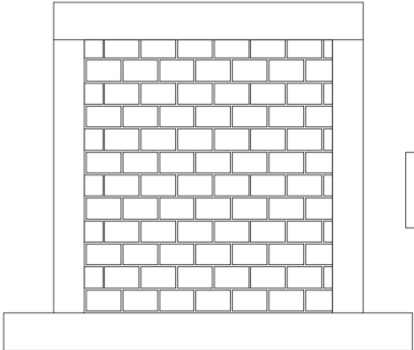
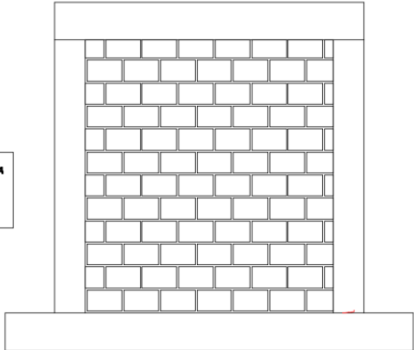


Conforme al protocolo de desplazamiento, indicado en la Tabla 5-1, se llevó a cabo el ensayo estático cíclico. El muro ensayado se denominó MBAT-1, para fines técnicos.

El espécimen MBAT-1 se llevó hasta su condición última (desplazamientos donde la carga se menor que el 80% de la carga máxima aplicada).

Según el resultado del ensayo la condición de reparabilidad ocurre aproximadamente a un nivel de distorsión de 1/550, dirigido con la experiencia del Dr. Carlos Zavala (Jefe del Laboratorio de Estructuras del CISMID).

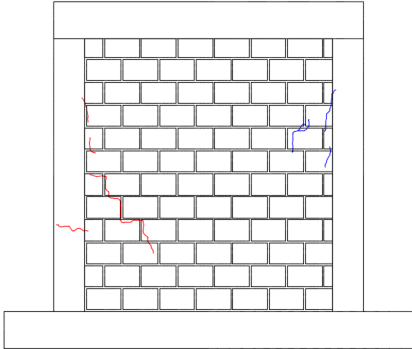
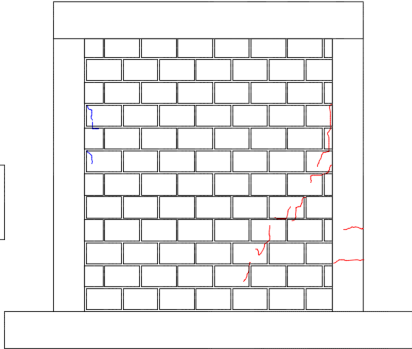


### 5.2.1 COMPORTAMIENTO DEL MURO

**Tabla 5-2** Comportamiento del muro para los ciclos 1, 2 y 3

<b>CICLO 1, 2 Y 3</b>	
<b>Distorsión 1/4200, 1/3000 y 1/2150</b>	
 <p style="text-align: center;"><b>NS</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>SN</b></p>
	
<b>OBSERVACIÓN</b>	
<p>En los primeros ciclos de aplicación de carga y descarga, el muro no presenta ningún tipo de fisura o grietas. Para estos ciclos el muro se encuentra con un comportamiento en el rango elástico</p>	

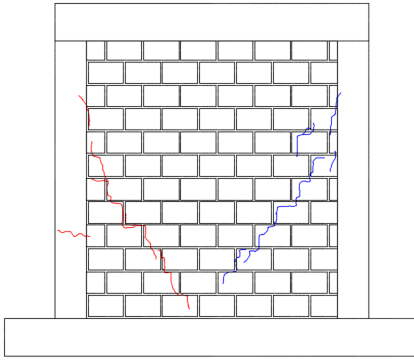
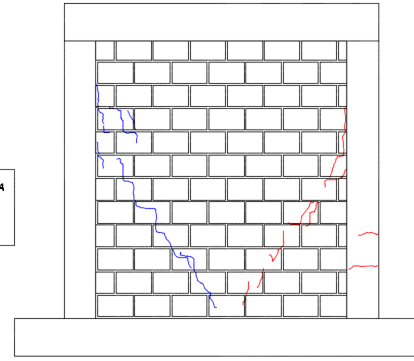

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5-3** Comportamiento del muro para el ciclo 4

<b>CICLO 4</b>	
<b>Distorsión 1/1500</b>	
 <p style="text-align: center;"><b><u>NS</u></b></p>	 <p style="text-align: center;"><b><u>SN</u></b></p>
 	
<b>OBSERVACIÓN</b>	
<p>Aparecen las primeras fisuras horizontales de tracción por flexión localizadas en el elemento de confinamiento del lado izquierdo, cuando se aplicó una fuerza de 8.16 ton. Estas fisuras son típicas de la tracción por flexión y tiene un grosor de 0.05 mm.</p>	

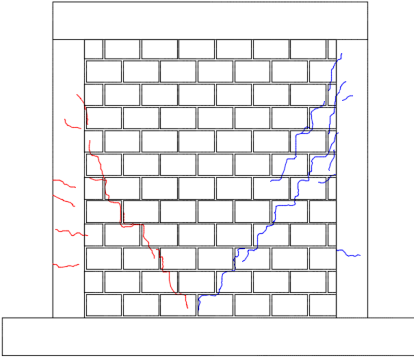
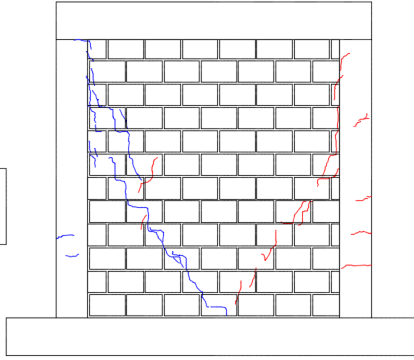

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5-4** Comportamiento del muro para el ciclo 5

<b>CICLO 5</b>	
<b>Distorsión 1/1100</b>	
 <p style="text-align: center;"><b>NS</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>SN</b></p>
	
<b>OBSERVACIÓN</b>	
<p>Se observan nuevas grietas formadas a largo de la diagonal en la cara norte del muro y grietas diagonales en la cara sur del muro. Estas grietas fueron originadas al momento de carga de la fuerza. Las fisuras tiene un grosor de 0.05 mm.</p>	

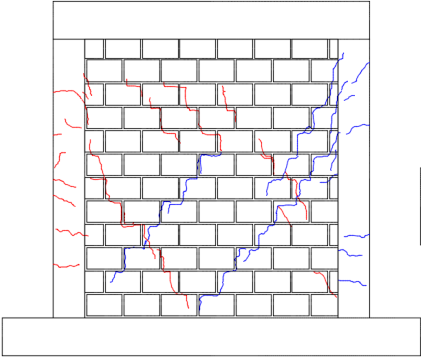
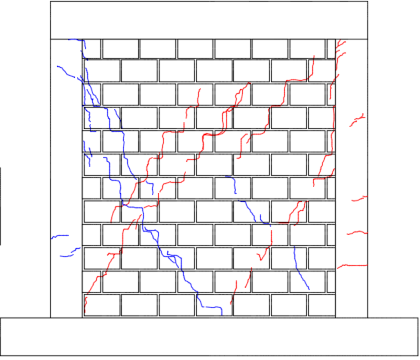

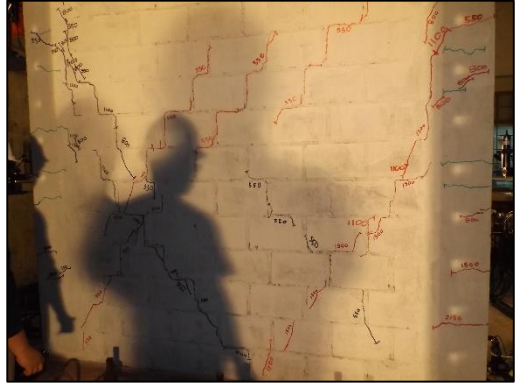
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5-5** Comportamiento del muro para el ciclo 6

<b>CICLO 6</b>	
<b>Distorsión 1/800</b>	
	
<b>NS</b>	<b>SN</b>
	
<b>OBSERVACIÓN</b>	
<p>Aparecen más grietas en forma diagonal en el elemento de albañilería con un sonido emitido por el mismo elemento que parte desde la parte superior izquierda hasta la parte central inferior del muro. Esta grieta se da por acción de descarga de la fuerza del ciclo.</p>	

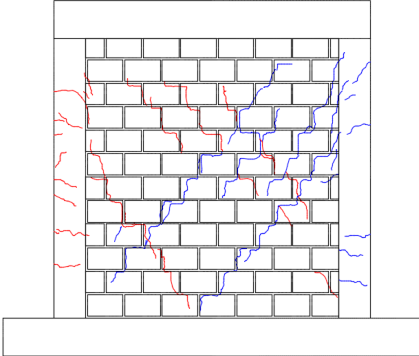
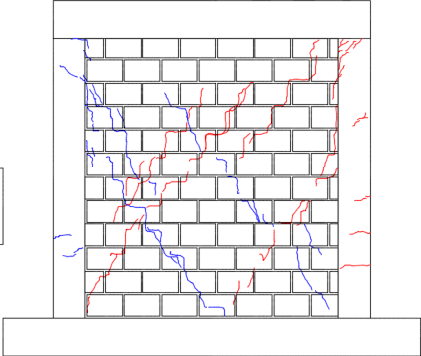
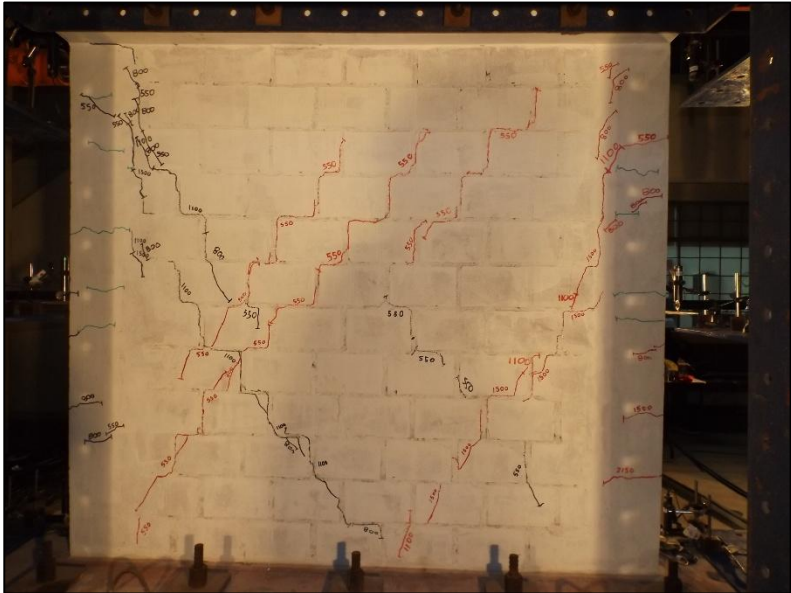
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5-6** Comportamiento del muro para el ciclo 7

<b>CICLO 7</b>	
<b>Distorsión 1/550</b>	
	
<b><u>NS</u></b>	<b><u>SN</u></b>
 	
<b>OBSERVACIÓN</b>	
<p>Se observa grietas formadas a flexión y más grietas diagonales en el elemento de albañilería. A su vez aparecen grietas en forma diagonal en el lado derecho del muro, estas en forma de escalera, por donde se encuentra el mortero, estas grietas se dan al momento de carga de la fuerza.</p>	

**Fuente:** *Elaboración propia*

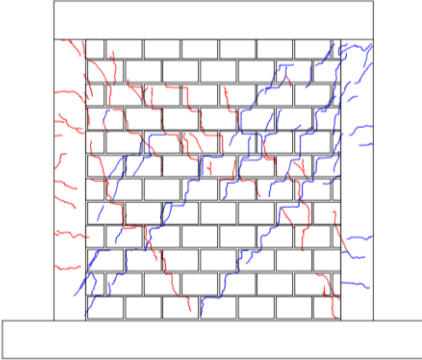
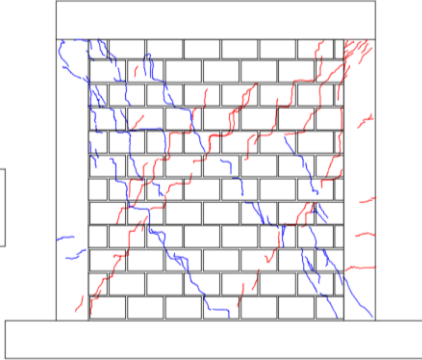
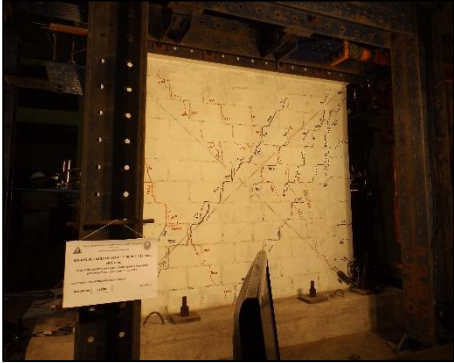
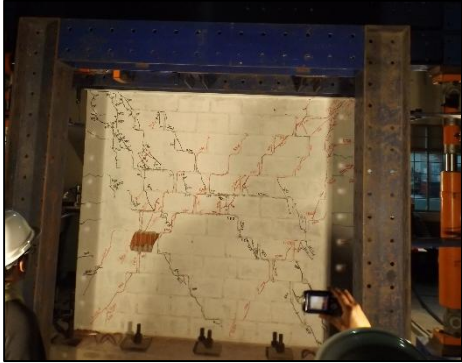
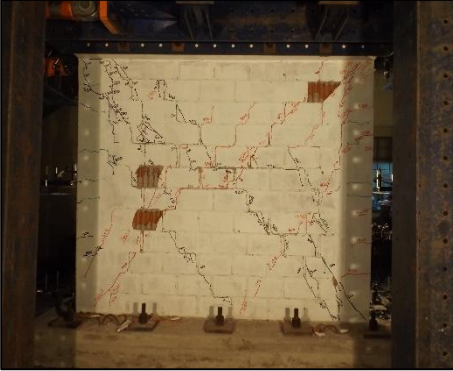
**Tabla 5-7** Comportamiento del muro para el ciclo 8

<b>CICLO 8</b>	
<b>Distorsión 1/400</b>	
	
<b><u>NS</u></b>	<b><u>SN</u></b>
	
<b>OBSERVACIÓN</b>	
<p>Aparición de más grietas diagonales en el muro, las grietas se extienden siguiendo la forma anterior.</p>	

*Fuente: Elaboración propia*

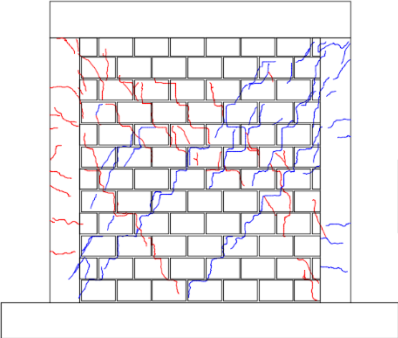
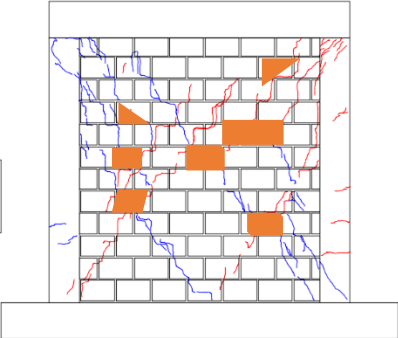
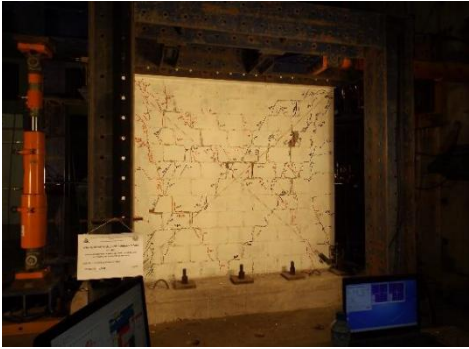



**Tabla 5-8** Comportamiento del muro para el ciclo 9

<b>CICLO 9</b>	
<b>Distorsión 1/300</b>	
	
<b><u>NS</u></b>	<b><u>SN</u></b>
  	
<b>OBSERVACIÓN</b>	
<p>Grietas de más grietas paralelos a las líneas del mortero. Acumulación en la diagonal del muro y desprendimiento de pequeños pedazos de la albañilería.</p>	

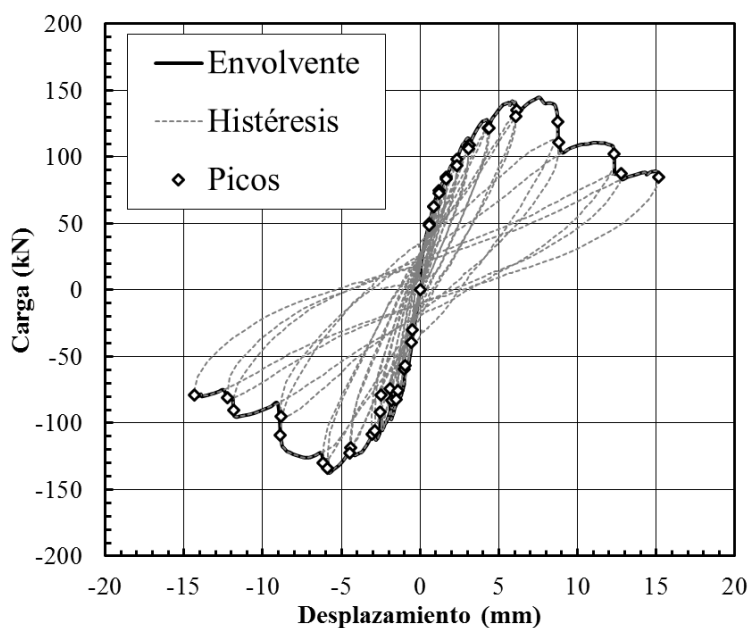
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5-9** Comportamiento del muro para el ciclo 10

<b>CICLO 10</b>	
<b>Distorsión 1/200</b>	
	
<b><u>NS</u></b>	<b><u>SN</u></b>
 	
<b>OBSERVACIÓN</b>	
<p>En este último ciclo de carga, las grietas se extienden siguiendo la forma anterior. La grieta diagonal de todo el muro llega hacia la base. Las grietas cercanas a las columnas formadas por la carga de la fuerza se extienden y se desprenden pedazos de ladrillo. El ensayo concluye.</p>	

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.2 CURVA HISTERÉTICA DEL ESPÉCIMEN MBAT-1



**Fig. 5-14** Curva Histerética del espécimen MBAT-1

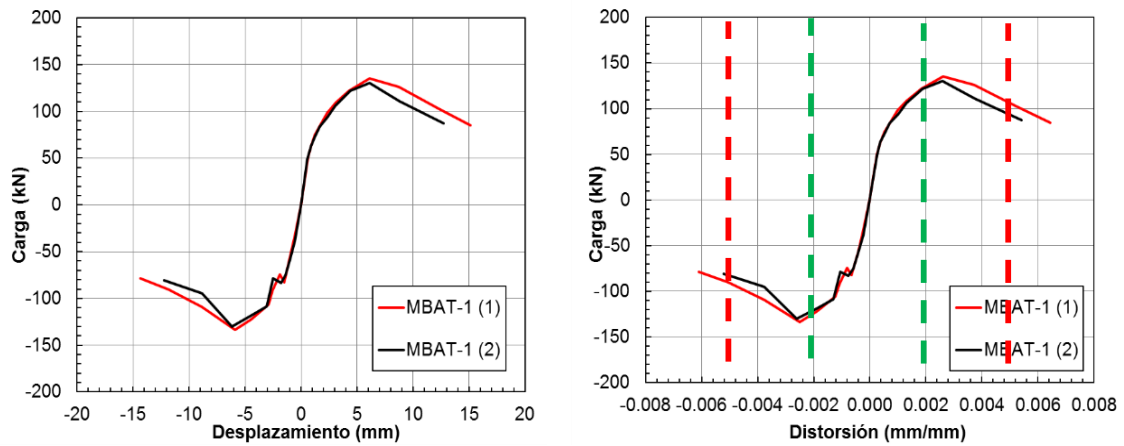
Del diagrama fuerza-desplazamiento se puede observar que los lazos histeréticos son finos y pasan por el origen del sistema de referencia. Esto es usual en sistemas que disipan poca energía y degradan rigidez lateral.

De la Fig. 5-14, se observa que para la carga máxima de 134 kN (13.66 ton.), aproximadamente, se tiene un desplazamiento de 6.1 mm, en el rango positivo, y en el rango negativo se tiene que para la carga máxima de 132 kN (13.46 ton.) hay un desplazamiento de 5.9 mm.

También nos indica que pasada la carga máxima de 134 kN (13.66 ton.), el espécimen entro en el rango inelástico y fue perdiendo rigidez lateral.

### 5.2.3 CURVA DE CAPACIDAD DEL ESPÉCIMEN MBAT-1

La Fig. 5-15 muestra la relación en la amplitud de cada ciclo y la carga correspondiente, que se encuentra expresada en términos de desplazamiento y distorsión. Esta curva representa la curva de capacidad del elemento muro.



**Fig. 5-15** Curva de capacidad del espécimen MBAT-1

Se tiene 2 curvas para cada Curva de capacidad, siendo MBAT-1 (1) los valores de la primera aplicación de fuerza para la distorsión objetivo y siendo MBAT-1 (2), los valores de la segunda aplicación de fuerza para la distorsión objetivo. Ambas curvas se asemejan (1) y (2) y no presentan variaciones considerables.

Como se muestra en la Fig. 5-15 el espécimen ensayado no llegan a la distorsión máxima de 0.005, que es el estado límite en el rango inelástico. Sin embargo para un muro de albañilería confinada construida con la unidad de albañilería hueca Blocker II, la distorsión máxima es de 0.0018 mm/mm ó 1/550, el cual no cumple con lo que la norma nos establece.

Para cada aplicación de carga en cada ciclo, se tiene la distorsión objetivo, teniendo la altura del elemento muro que es de 2.20m, podemos hallar los desplazamientos.

$$\text{Distorsión} = \frac{\text{Desplazamiento}(mm)}{\text{Altura de entrepiso}(mm)}$$

**Tabla 5-10** Valor de desplazamiento para distorsiones objetivo

Ciclo	Distorsión	Desplazamiento (mm)
1	1/4200	0.52
2	1/3000	0.73
3	1/2150	1.02
4	1/1500	1.47
5	1/1100	2.00
6	1/800	2.75
7	1/550	4.00
8	1/400	5.50
9	1/300	7.33
10	1/200	11.0

Con los valores de desplazamiento podemos calcular de la Fig. 5-15 los valores de carga para cada valor de desplazamiento y distorsión. Ver Tabla 5-11.

**Tabla 5-11** Valores de carga por cada ciclo

Ciclo	Desplazamiento (mm)	Fuerza (kN)	Fuerza (Ton)
1	0.52	45.00	4.59
2	0.73	56.30	5.74
3	1.02	70.00	7.14
4	1.47	80.00	8.16
5	2.00	90.10	9.19
6	2.75	104.00	10.61
7	4.00	119.00	12.13
8	5.50	130.00	13.26
9	7.33	134.00	13.66
10	11.0	110.00	11.22

## CAPÍTULO 6:

### COMPARACIÓN DE RESULTADOS

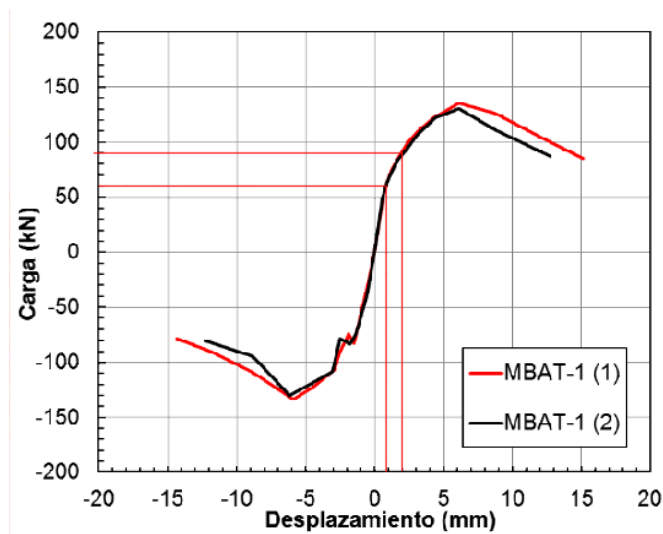
#### 6.1 RIGIDEZ LATERAL ELÁSTICA K

Para calcular la rigidez lateral se utilizó el primer ciclo de la gráfica fuerza – desplazamiento, donde el comportamiento del muro fue elástico.

La rigidez lateral (K) es la pendiente de un tramo del lazo histerético que representa el comportamiento elástico del muro:

$$K = \frac{\Delta F_{horizontal}}{\Delta Desplazamiento}$$

En la Fig. 6-1 y Tabla 6-1 se muestra los resultados para el muro MBAT-1.



60 kN = 6118.3 kg = 6.12 tn  
90 kN = 9177.44 kg = 9.18

**Fig. 6-1** Curva de capacidad del primer ciclo para el muro MBAT-1

**Tabla 6-1** Cálculo de rigidez lateral del muro MBAT-1

	D (mm)	F (ton)
Punto 1	0.010	6.12
Punto 2	0.199	9.18
$\Delta$	0.179	3.06
K (ton/m) Real		17,095
K (ton/m) Teórico (1)		15,126.34
K (ton/m) Teórico (2)		13,891.15
Error (%) (1)		13.01 %
Error (%) (2)		23.06 %

La diferencia entre la rigidez teórica y la experimental del muro, estuvo dentro de los márgenes esperados, con un error de 13.01% y 23.06%.

## 6.2 ROTURA DIAGONAL

Las primeras fisuras diagonales que aparecen en el muro son en el ciclo 5 en la etapa de empuje. La fuerza y el desplazamiento horizontal asociado a la rotura diagonal se observa en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2** Rotura diagonal del muro de albañilería

	Vm experimental (ton)	Desplazamiento (mm)	Vm teórico (ton)	Error
MBAT-1	9.19	2.00	9.80	(-)6.64%

La fuerza de agrietamiento diagonal teórico (Vm) se calculó con la siguiente expresión  $V_m = 0.5 v'_m \times t \times L + 0.23P_g$ . Donde  $v'_m$  es dato del ensayo a compresión diagonal de los muretes (Ver acápite 4.4).

De la Tabla 6-2 observamos que los valores experimentales son similares a los valores teóricos calculados.

### 6.3 DISTORSIÓN ANGULAR

Según la Norma E.070 de Albañilería, la máxima distorsión angular permisible en muros de albañilería es de 0.005. En el ensayo, esta distorsión corresponde a un desplazamiento lateral de  $0.005 \times 2200 \text{ mm} = 11.0 \text{ mm}$ , ( $0.005 \times h = D$ ), asociado a la fase 10, para el cual el muro puede ser reparado. Pero sin embargo según el resultado de nuestro ensayo la distorsión máxima se dio en 0.0018 mm/mm ó 1/550 para un desplazamiento de 4 mm, el cual no cumple con lo que la norma nos establece.

### 6.4 FISURACIÓN DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Las grietas de tracción por flexión, se produjeron en el cuarto ciclo. Como se puede apreciar en la Tabla 6-3 el valor obtenido en el ensayo es menor a lo calculado en el acápite 4.3 esto se debe a que la resistencia a compresión del concreto usado en la columna fue menor a lo especificado ( $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ ).

**Tabla 6-3** Fuerza de Agrietamiento de tracción por flexión

	F experimental (ton)	F teórica (ton)	Error
MBAT-1	8.16	9.04	(-)10.78 %
	8.16	8.33	(-) 2.08 %

### 6.5 CARGA MÁXIMA SOPORTADA

La resistencia máxima experimental, se obtuvo de promediar los valores máximos de las ramas (positivas y negativas) del primer ciclo de las fases (Fig.5-14). La máxima carga se presentó durante el ciclo 9 del ensayo para el muro y los resultados se aprecian en la Tabla 6-4.



**Tabla 6-4** Máxima carga soportada del muro MBAT-1

	Fuerza Máxima (ton)	Desplazamiento (mm)
MBAT-1	13.66	7.33

Podemos observar que el valor de carga máxima es de 13.66 ton, pero no sobrepasa la fuerza asociada al máximo momento nominal  $V_f = 18.44$  ton, calculado en el acápite 4.5, lo cual significa que el acero no ingresó a la etapa de endurecimiento.

## 6.6 DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ

Se analizó las gráficas fuerza – desplazamiento del sensor CH-04 con el objetivo de graficar la degradación de la rigidez lateral (K) a lo largo del incremento del desplazamiento horizontal en el muro.

La rigidez lateral se calculó como la pendiente del lazo histerético perteneciente al ciclo 1 de cada fase del ensayo, siendo el más estable.

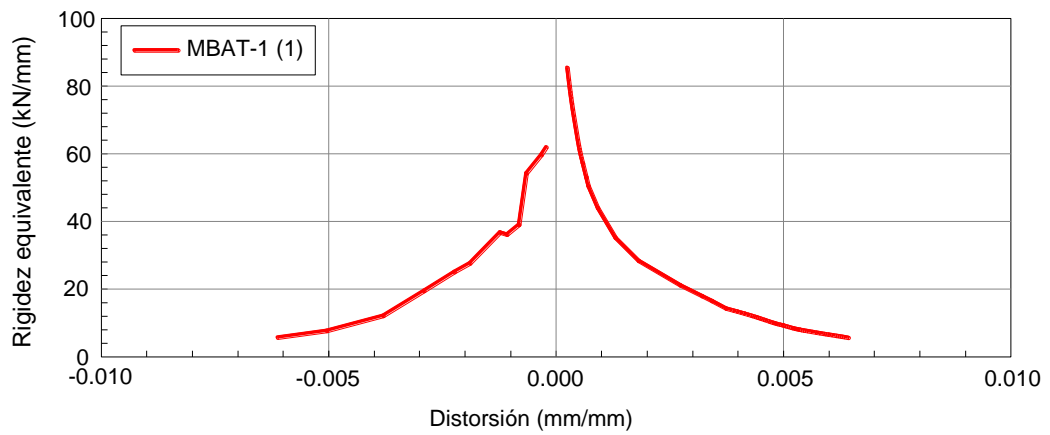
La degradación de la rigidez equivalente se muestra a continuación (Ver Tablas 6-5 y 6-6).

**Tabla 6-5** Degradación de la rigidez equivalente para el Muro MBAT-1  
(Positivo)

Ciclo	Distorsión	K (kN/mm)	Degradación (%)
1	1/4200	85.00	100%
2	1/3000	78.00	91.76%
3	1/2150	70.00	82.35%
4	1/1500	57.00	67.06%
5	1/1100	44.00	51.76%
6	1/800	35.00	41.18%
7	1/550	27.50	32.35%
8	1/400	22.50	26.47%
9	1/300	16.98	19.98%
10	1/200	9.00	10.59%

**Tabla 6-6** Degradación de la rigidez equivalente para el Muro MBAT-1  
(Negativo)

Ciclo	Distorsión	K (kN/mm)	Degradación (%)
1	1/4200	60.90	100%
2	1/3000	59.90	98.36%
3	1/2150	58.00	95.24%
4	1/1500	55.00	90.31%
5	1/1100	35.50	58.29%
6	1/800	27.20	44.66%
7	1/550	22.40	36.78%
8	1/400	17.00	27.91%
9	1/300	15.80	25.94%
10	1/200	7.50	12.32%



**Fig. 6-2** Degradación de la rigidez equivalente  
del muro MBAT-1

## CAPÍTULO 7:

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- Al evaluar el comportamiento del muro de albañilería confinada, construido con la unidad hueca “Blocker II”, sometidos a ensayos a carga lateral cíclica, el espécimen ensayado llega a una distorsión máxima de 0.0018 ó 1/550 siendo su deriva máxima inelástica, pasando este valor, el muro ya no es reparable, Según la norma E070 la deriva máxima es de 0.005 ó 1/200, esto quiere decir que el muro fallo antes.
- Las curvas de capacidad (fuerza-desplazamiento) son finas y pasan por el origen del sistema de referencia, esto es usual en sistemas que disipan poca energía y degradan rigidez lateral. Obteniéndose de la gráfica una carga máxima de 134 kN (13.66 ton.) aproximadamente, con un desplazamiento de 6.1 mm, en el rango positivo, y en el rango negativo se tiene una carga máxima de 132 kN (13.46 ton.) con un desplazamiento de 5.9 mm. También nos indica que pasada la carga máxima de 134 kN (13.66 ton.), el espécimen entro en el rango inelástico y fue perdiendo rigidez lateral.
- La rigidez lateral elástica (K) del muro de albañilería MBAT-1 fue de 15,126.34 ton/m en el cálculo teórico, mientras que en el real (experimental) fue de 17,095 ton/m. Por lo tanto esta rigidez pudo predecirse con menos de 13.01% de error aplicando el criterio de la sección transformada (Norma Técnica de Edificación E.070. Albañilería).
- La resistencia a tracción por flexión del muro MBAT-1 fue de 9.04 ton. en el cálculo teórico, mientras que en el real (experimental) fue de 8.16 ton. La resistencia pudo predecirse con un 10.78% de error, aplicando el criterio de la

sección transformada no agrietada y admitiéndose que la resistencia a tracción por flexión del concreto de las columnas es:  $f_t = 2\sqrt{f_c}$ , en kg/cm<sup>2</sup>.

- La resistencia al agrietamiento diagonal ( $V_m$ ) fue de 9.80 ton. en el cálculo teórico y en el experimental fue de 9.19 ton. menor que el teórico. Esta resistencia pudo predecirse con la fórmula de la NTE E.070 Albañilería ( $V_m = 0.5 \sqrt{m} \alpha t L + 0.23 P$ ) con un error de 6.64%.
- Según la Norma E.070 de Albañilería, la máxima distorsión angular permisible en muros de albañilería es de 0.005. En el ensayo, esta distorsión corresponde a un desplazamiento lateral de  $0.005 \times 2200 \text{ mm} = 11.0 \text{ mm}$ , ( $0.005 \times h = D$ ), asociado a la fase 10, para el cual el muro puede ser reparado. Pero sin embargo según el resultado de nuestro ensayo la distorsión máxima es de 0.0018 mm/mm ó 1/550 para un desplazamiento de 4 mm, el cual no cumple con lo que la norma nos establece.
- La fuerza máxima fue de 13.66 ton produciéndose en el ciclo 9 y para un desplazamiento de 7.33 mm. De los datos se puede observar que el valor de carga máxima no sobrepasa la fuerza asociada al máximo momento nominal  $V_f = 18.44 \text{ ton.}$ , lo cual significa que el acero no ingresó a la etapa de endurecimiento.
- El patrón del tipo de falla para el muro MBAT-1 fue el mismo que el ensayo a compresión diagonal en Muretes, en ambos casos fue del tipo escalonado pasando las grietas por la junta entre bloque y bloque. El patrón de ambos muros fue el mismo, cumpliéndose el tipo de falla teórico, el cual fue por Corte.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Para obtener un mejor resultado, se recomienda hacer el ensayo de carga cíclica lateral con 3 o más especímenes.
- Por las propiedades mecánicas obtenidas de los ensayos, se recomienda no usar la unidad de albañilería Blocker II en la construcción de muros portantes.
- Es recomendable fomentar el uso de estas unidades en cercos y tabiques.
- Se recomienda continuar con estudios de propuesta de reforzamiento en muros de albañilería construidos con Blocker II, para evaluar su comportamiento y factibilidad económica. Así, como reducir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales de la ciudad de Tacna.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Ángel San Bartolomé, Daniel Quiun y Wilson Silva (2001): *“Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente De Albañilería”*.
- Héctor Gallegos y Carlos Casabonne (2005): *“Albañilería Estructural”*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Ángel San Bartolomé (2005): *“Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería Informe Final”*. Sencico, Lima.
- Ángel San Bartolomé (2001): *“Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y diseño Estructural”*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Ángel San Bartolomé (2007): *“Blog de Investigación en Albañilería <http://blog.pucp.edu.pe/albañilería>”*.
- Dina Cotrado y José Acero (2016): *“Propuesta de Fórmula para la determinación de la Densidad de Muros Construidos con Bloque II”*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.
- Paola Diana Angles Pari (2008): *“Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla”*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Jonathan Paredes y David Caycho (2009): *“Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2006): *Norma Técnica E.070 “Albañilería”*

## **ANEXOS**

## PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Formación de pequeñas grietas cercanas a las columna Oeste a una distorsión 1/1500.



Foto 2. Grietas formadas a largo de la diagonal en la cara norte del muro a una distorsión 1/1100.



Foto 3. Grietas diagonales en la cara sur del muro para una distorsión 1/1100

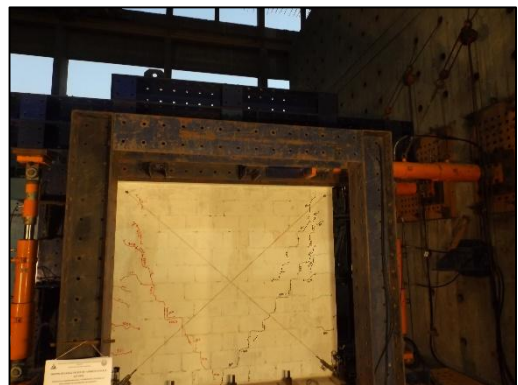


Foto 4. Mas grietas en la diagonal del muro para una distorsión 1/800.



Foto 5. Grietas formadas a flexión y más grietas diagonales para una distorsión 1/550.

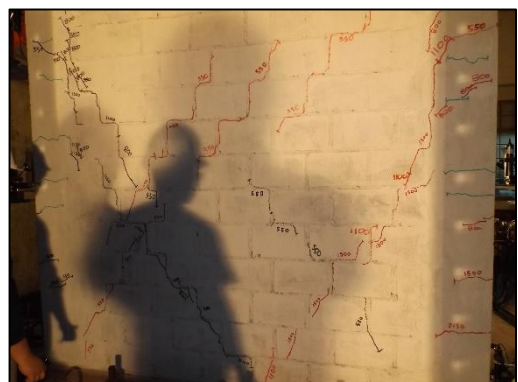


Foto 6. Aparición de grietas diagonales en el muros para la distorsión 1/550.



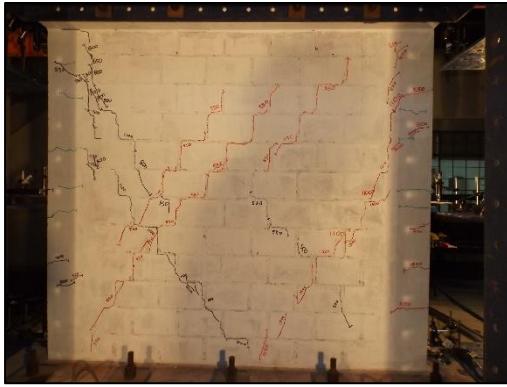


Foto 7. Aparición de más grietas diagonales en el muro para la distorsión  $1/400$ .

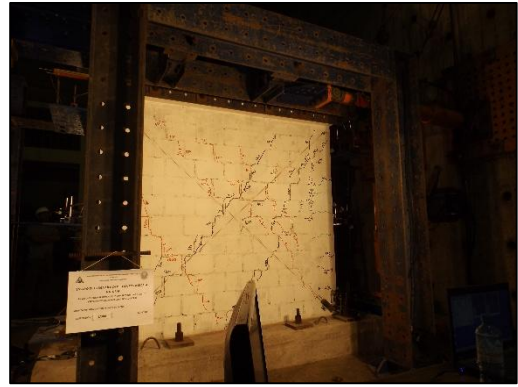


Foto 8. Grieta de más grietas paralelos a las líneas del mortero para una distorsión  $1/300$ .



Foto 9. Acumulacion de grieta en la diagonal del muro y desprendimiento de pequeños pedazos de la albañilería, ara una distorsión de  $1/300$ .

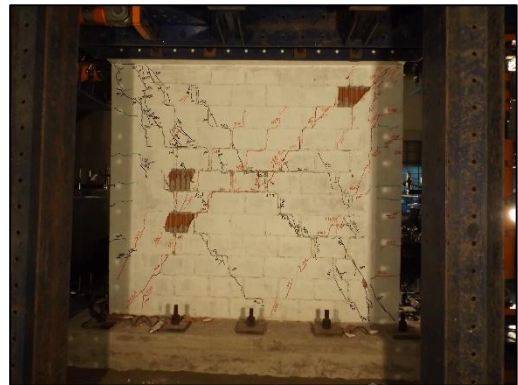


Foto 10. Desprendimiento de pequeños pedazos de ladrillo para una distorsión  $1/300$ .



Foto 11. Acumulación de grietas cercanas las columnas, para una distorsión de  $1/200$ .



Foto 12. Estado final del muro para una distorsión  $1/200$ .



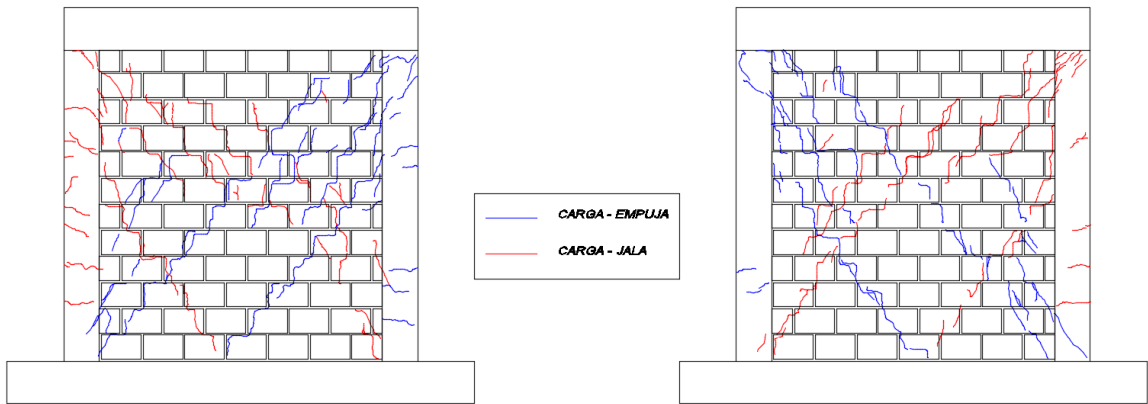
Foto 13. Inicio del Ensayo



Foto 13. Fin del ensayo

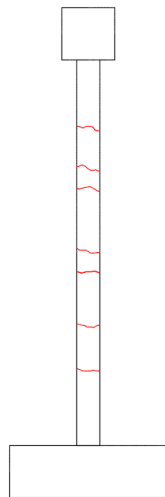
**MAPEO DE GRIETAS MBAT-1**

**DISTORCION 1/300**

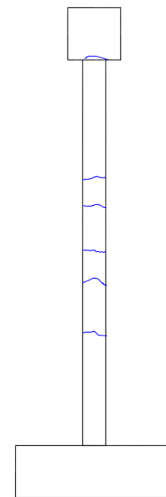


**NS**

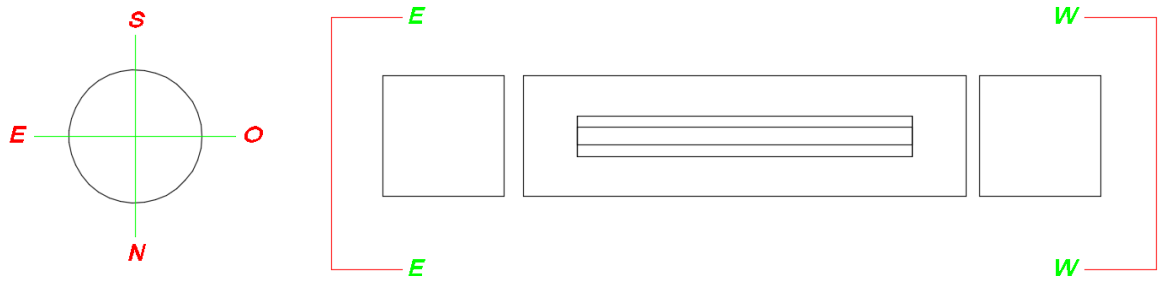
**SN**



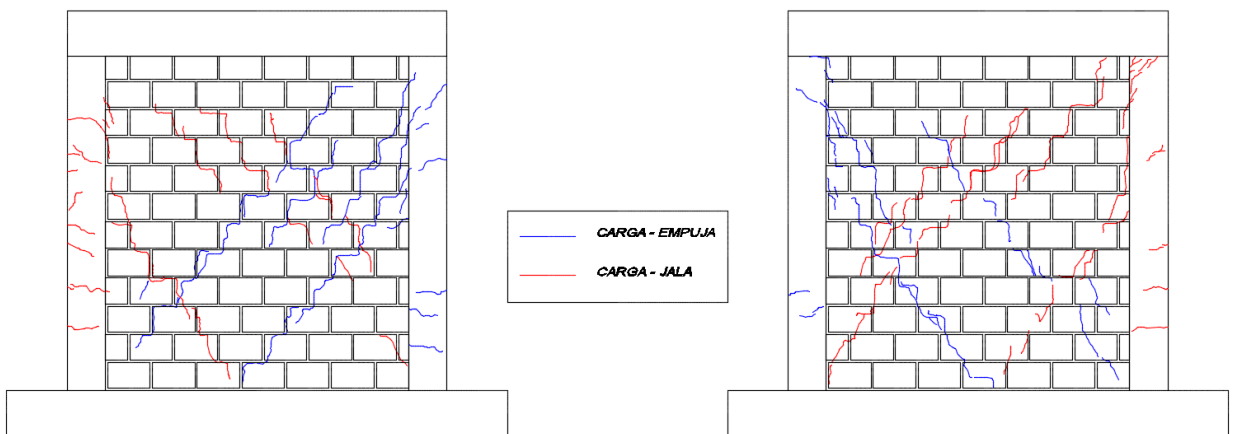
**E**



**W**

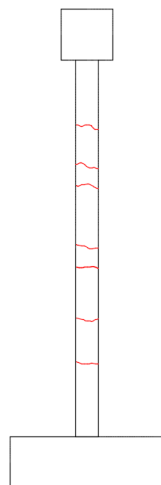


**DISTORCION 1/400**

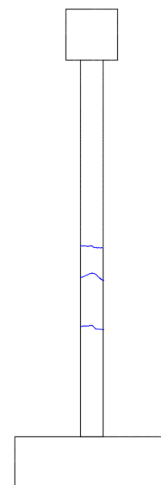


**NS**

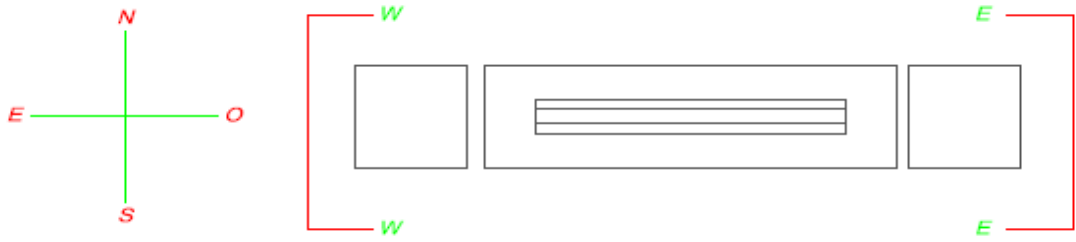
**SN**



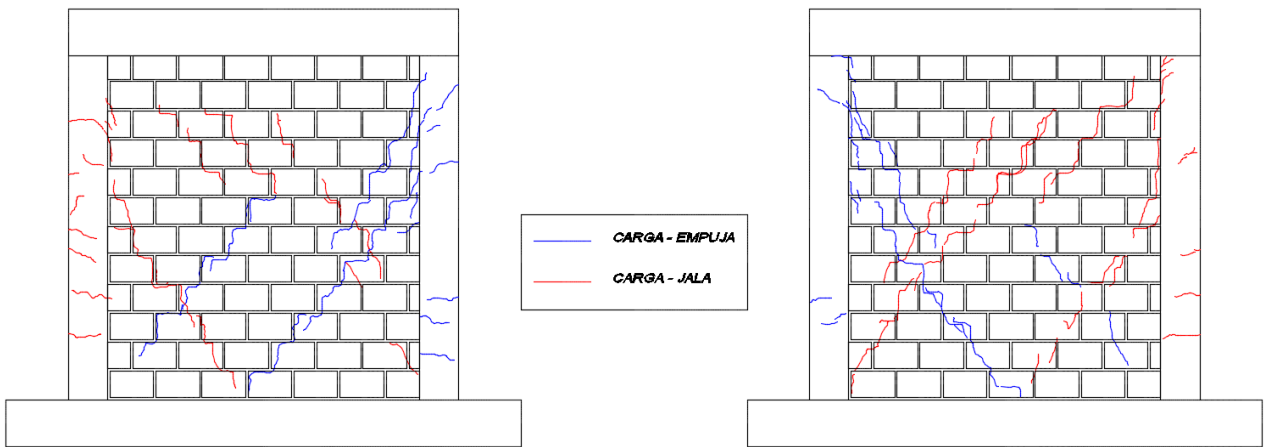
**E**



**W**

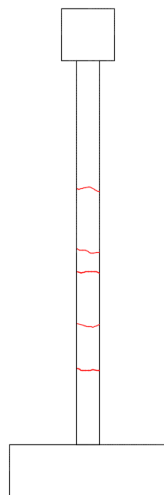


**DISTORCION 1/550**

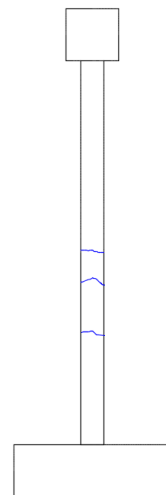


**NS**

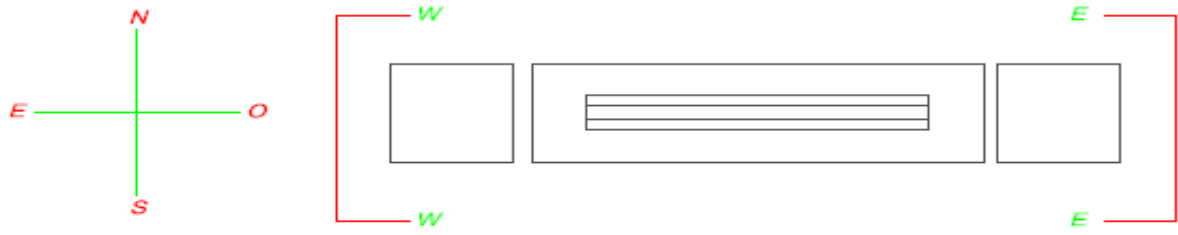
**SN**



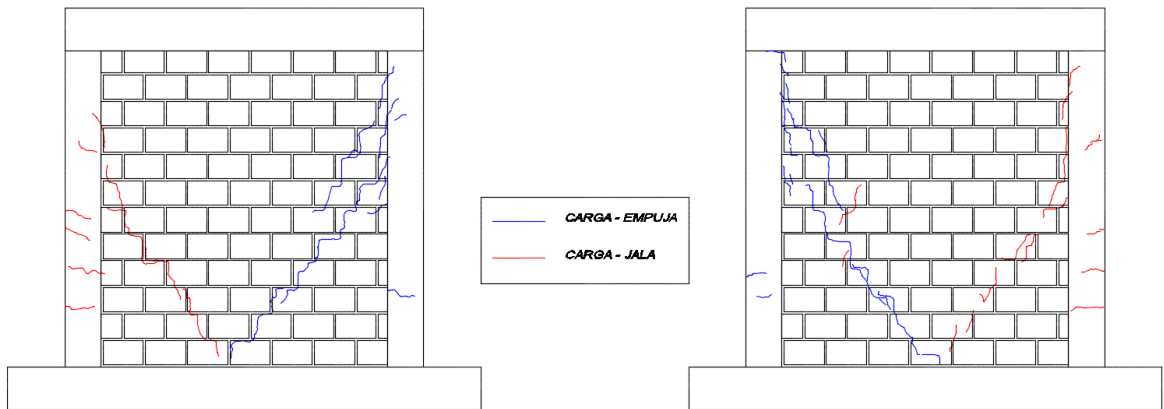
**E**



**W**

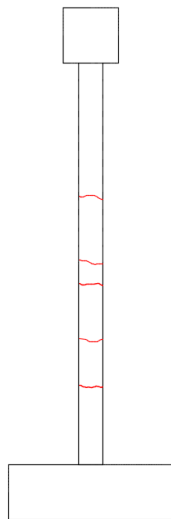


**DISTORCION 1/800**

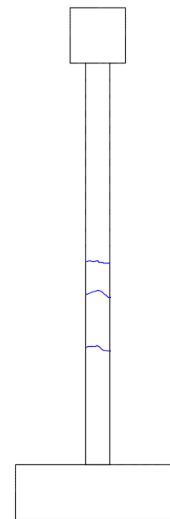


**NS**

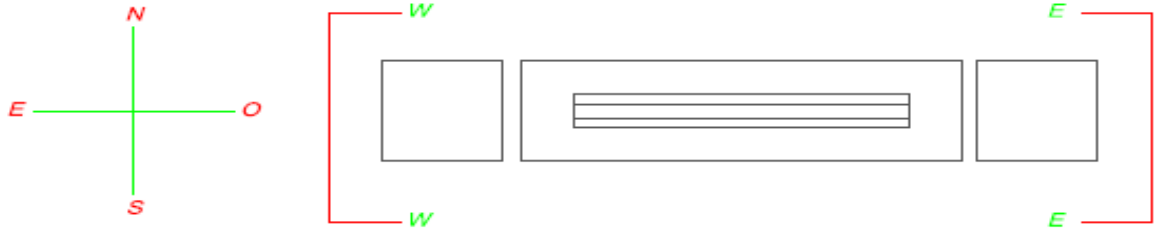
**SN**



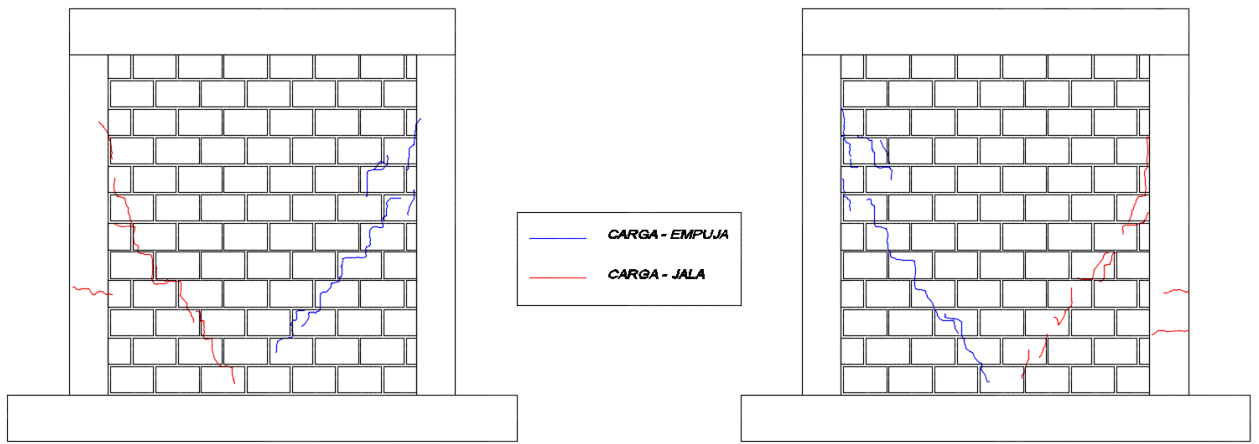
**E**



**W**

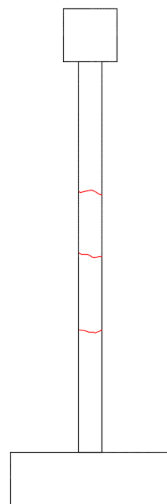


**DISTORCION 1/1100**

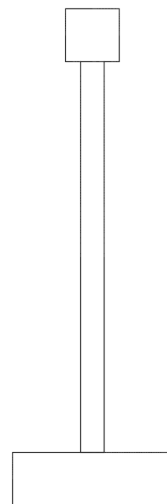


**NS**

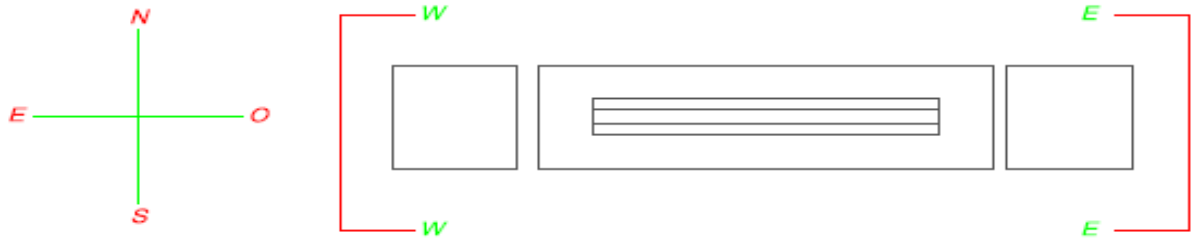
**SN**



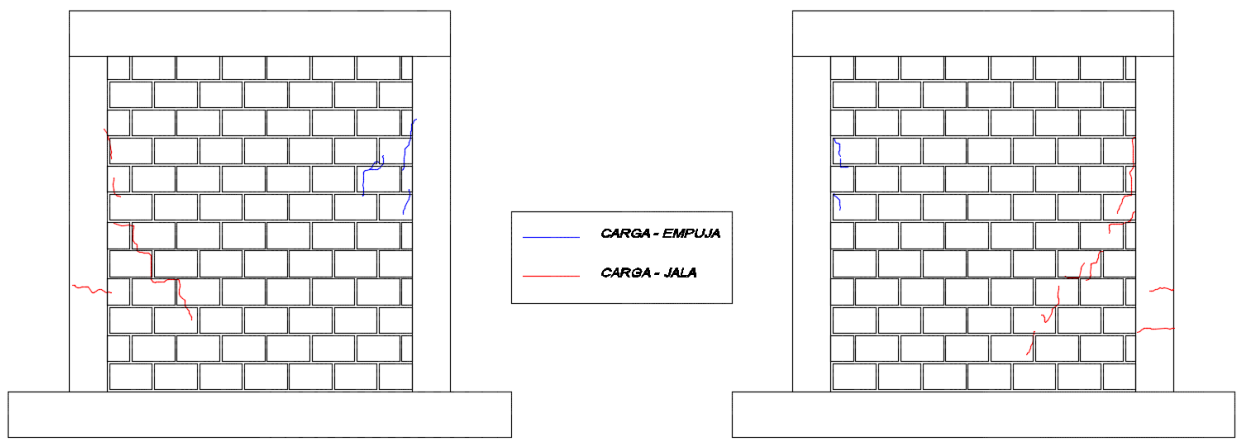
**E**



**W**

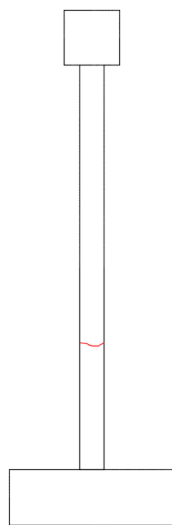


**DISTORCION 1/1500**

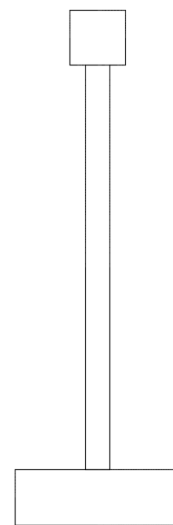


**NS**

**SN**

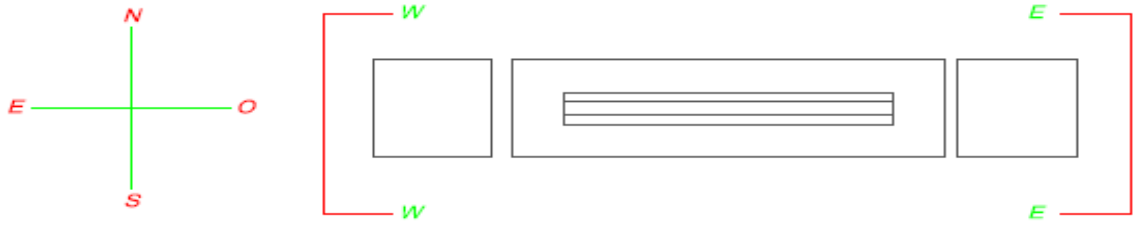


**E**

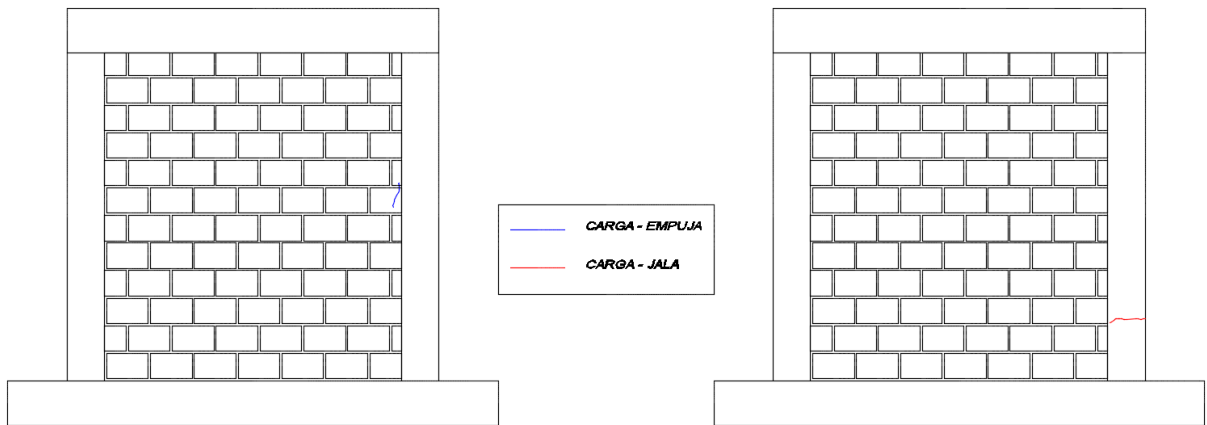


**W**



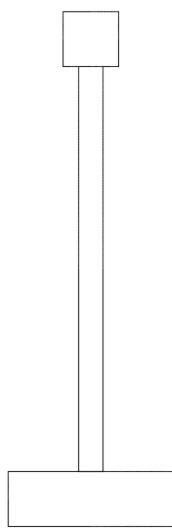


**DISTORCION 1/2150**

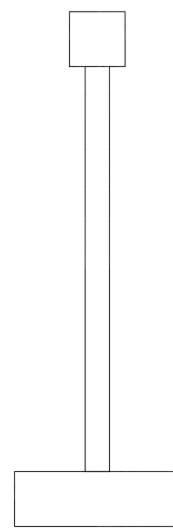


**NS**

**SN**



**E**



**W**

## SUSTENTO DEL DISEÑO DEL MURO ENSAYADO

El diseño del muro ensayado con respecto a sus características de los materiales empleados por ser netamente experimental se utilizó los requerimientos mínimos para simular un muro lo más cercano a las viviendas informales de la ciudad de Tacna.

### Para la viga de cimentación

Para simular la cimentación se colocó una viga de cimentación en la base de 0.90 de ancho con una altura de 0.30 m con acero longitudinal de 12 Ø 1/2" (6 arriba y 6 abajo), con Estribos de 1/2" a cada 0.20 m.

### Para la columna

El refuerzo de los elementos de confinamiento cumplió con los requisitos mínimos establecidos por la Norma E.070.

Se utilizó la siguiente fórmula, para calcular el acero mínimo de las columnas.

$$As_{min} = \frac{0.1(f_c)A_c}{f_y}$$

Donde:

$f_c$  = Resistencia del concreto (175 kg/cm<sup>2</sup>)

$A_c$  = Area de columna = 25 x 13 = 325 cm<sup>2</sup>

$f_y$  = fluencia de acero = 4200 kg/cm<sup>2</sup>

$$As_{min} = \frac{0.1(175)516}{4200} = 2.15 \text{ cm}^2$$

El acero de las columnas en este tema de investigación fue de  $4 \text{ } \varnothing 1/2'' = 5.16 \text{ cm}^2$

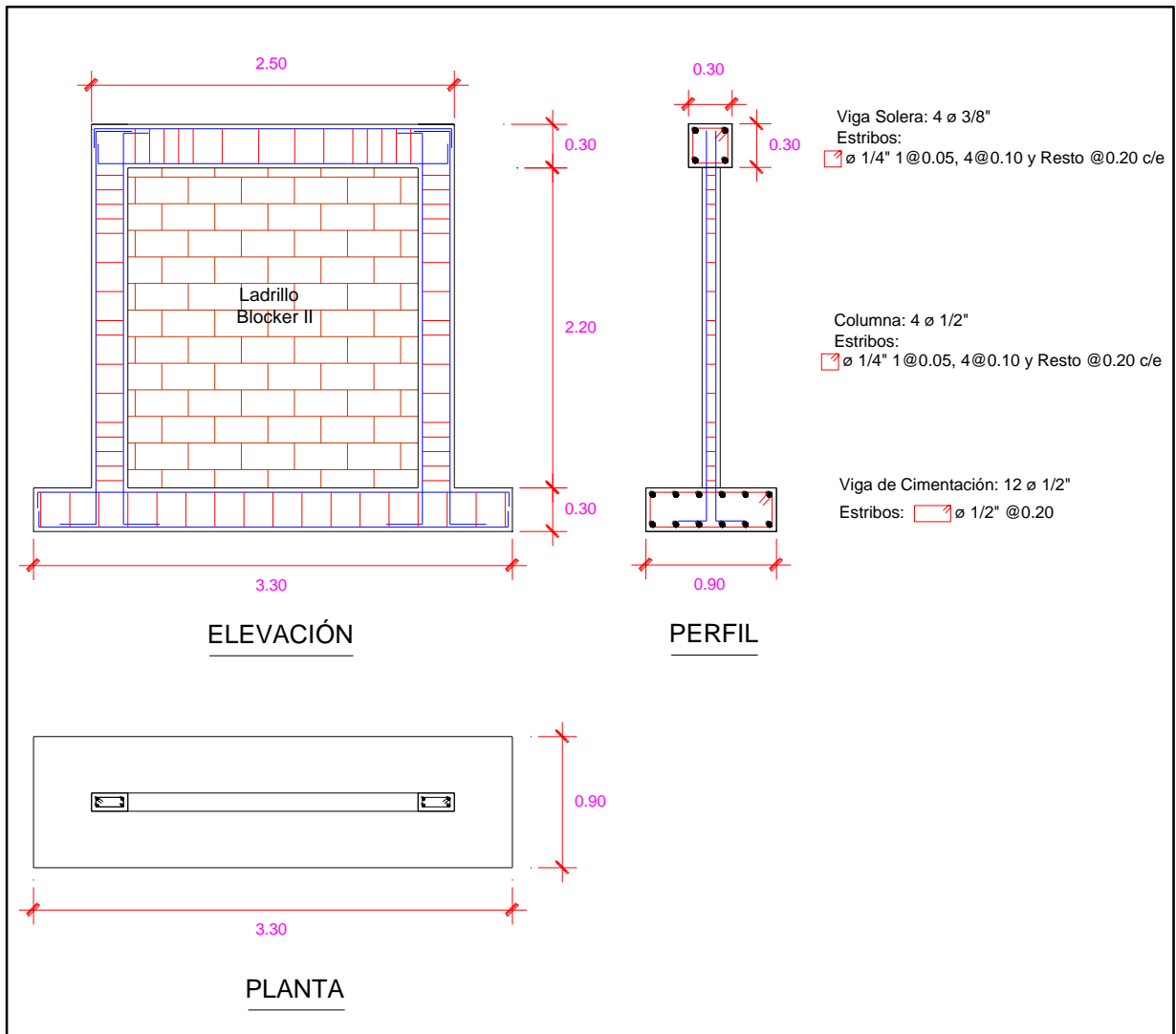
el cual resulta mayor al acero mínimo requerido ( $5.16 \text{ cm}^2 > 2.15 \text{ cm}^2$ )

### **Para la viga solera**

Para la viga solera se dispuso las dimensiones de 0.30 m de alto y 0.30 m de base, con acero longitudinal de  $4 \varnothing 3/8''$ , con estribos de acero de  $1/4''$  espaciados de  $1 @ 0.05$ ,  $4 @ 0.10$  y resto a 0.20 m. el cual a esta viga se le dejó en la parte superior unos pernos espaciados a cada cierta distancia. Los pernos servirán de anclaje para la colocación de una viga de metal con un determinado peso el cual hará la simulación de carga axial como se da en una edificación

### **Para el ladrillo**

El ladrillo utilizado fue de blocker II, motivo por el cual se realizó esta tesis, para saber su comportamiento ante cargas sísmicas.



PLANO DEL MURO