

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE UN MURO A ESCALA NATURAL
CON LADRILLO BLOCKER II – ESPÉCIMEN MBAT-04”**

PARA OPTAR:

EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. William Frank Paco Pacco
Bach. Jean Marco Leonel Labra

TACNA – PERU
2017

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

“ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE UN MURO A ESCALA NATURAL CON LADRILLO BLOCKER II – ESPÉCIMEN MBAT-04”

TESIS

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:

Bach. William Frank Paco Pacco
Bach. Jean Marco Leonel Labra

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE : MTRO. ING. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE
SECRETARIO : ING. LUIS ENRIQUE VALLE CASTRO
VOCAL : MTRO. ING. WILBER MENDOZA RAMIREZ
ASESOR : MTRO. ING. DINA MARLENE COTRADO FLORES

TACNA – PERU
2017

DECLARACION JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros **Williams Frank Paco Pacco y Jean Marco Leonel Labra**, en calidad de: egresados de la Escuela Profesional de ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 47513191 y 46940340 respectivamente.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos Autores de la tesis titulada:

**“ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE UN MURO A ESCALA NATURAL CON
LADRILLO BLOCKER II – ESPÉCIMEN MBAT-04”**

La misma que presentamos para optar:

EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros,

de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causa en una tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Así mismo, por la presente nos comprometemos a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 07 de diciembre del 2017

William Frank Paco Pacco

DNI: 47513191

Jean Marco Leonel Labra

DNI: 46940340

DEDICATORIA

A mis queridos padres y hermanos,
con mucho cariño, por su
constante aliento y apoyo.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la vida y permitirnos hacer realidad nuestros sueños.

A la Universidad Privada de Tacna por brindarnos a través de sus docentes todos los conocimientos y valores que nos ayudan en la vida profesional.

Al cuerpo docente en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por todos los conocimientos y orientación impartidas a lo largo de nuestra formación académica profesional.

A nuestra asesora por el apoyo brindado en el desarrollo de nuestra investigación, siendo una gran partícipe de este resultado.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, en particular al laboratorio de estructuras del “CISMID” por el apoyo técnico en la realización de nuestros ensayos.

A todas las personas y amigos que con su apoyo han hecho posible la realización de este trabajo.

Los autores

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
RESUMEN	7
ABSTRACT	9
KEY WORDS	10
INTRODUCCIÓN	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1 Descripción del problema.....	14
1.2 Formulación del problema.....	14
1.3 Justificación e importancia	15
1.4 Objetivo de la investigación	16
1.4.1 Objetivo General	16
1.4.2 Objetivos Específicos.....	17
1.5 Hipótesis	17
1.5.1 Hipótesis General.....	17
1.5.2 Hipótesis Especificas	17
MARCO TEÓRICO	19
2.1 ANTECEDENTES	19
2.1.1. PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II.....	19
2.1.2. ENSAYO DE CARGA CICLICA DE TRES MUROS A ESCALA NATURAL CON ESPECIMENES DE ALBAÑILERIA BLOCKER II	25
2.2 BASES TEORICAS	27
2.2.1 Unidades de Albañilería Hueca y Maciza.....	27
2.2.2 Comportamiento de las Unidades de Albañilería Huecas	29
2.2.3 Muro Portante	31
2.2.4 Proceso Constructivo de Muros de Albañilería según la norma E.070 vs. Las construcciones de Tacna	32
2.2.4.1 Proceso Constructivo de Muros de Albañilería según la Norma E.070 33	
2.2.4.2 Proceso Constructivo Empleado en la Ciudad de Tacna.....	38
2.2.5 Tipos de Fallas en Muros de Albañilería	43
2.2.6 Técnicas de ensayos	45
2.2.7 Derivada Máxima	50

2.2.7.1 Deriva Máxima según la Norma NTP E.030 y E0.70 2016	50
2.3 DEFINICION DE TERMINOS	53
MARCO METODOLÓGICO.....	56
3.1 Tipo y Diseño de la Investigación	56
3.2 Población y/o muestra de estudio.....	56
3.3 Operacionalización de variables	56
3.3.1 Variable Dependiente	56
3.3.2 Variable Independiente	57
3.4 Técnicas e instrumentación para la recolección de datos.....	57
3.4.1 Descripción del muro	57
3.4.2 Características del muro	58
3.4.3 Proceso Constructivo	59
3.5 Procesamiento y análisis de datos	70
RESULTADOS.....	75
DISCUSIÓN	88
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
MATRIZ DE CONSISTENCIA	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Ensayos de dimensionamiento - Largo	20
Tabla N°2: Ensayos de dimensionamiento – Ancho.....	20
Tabla N°3: Ensayos de dimensionamiento - Alto	21
Tabla N°4: Ensayos de Alabeo	21
Tabla N°5: Resistencia a la compresión $f'b$	22
Tabla N°6: Porcentaje de vacíos.....	22
Tabla N°7: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de mortero	22
Tabla N°8: Identificación de los especímenes (Pilas de Albañilería)	23
Tabla N°9: Determinación de $f'm$ y E_m	23
Tabla N°10: Resultados de los ensayos de compresión diagonal de los muretes ..	24
Tabla N°11: Resumen de ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes.....	24
Tabla N°12: Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.....	32
Tabla N°13: Límite de desplazamiento lateral de entrepiso.....	54
Tabla N°14: Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo	75
Tabla N°15: Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo	88
Tabla N°16: Estados límites de Especímenes.....	93
Tabla N°17: Distorsión y Desplazamiento Objetivo	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de las placas tectónicas. Se muestran las placas tectónicas sobre las que se encuentra el Perú, éstas son la Placa de Nazca (color celeste) y la Placa Sudamericana (Color lila).....	15
Figura 1.2: Se muestra el proceso constructivo de un muro de albañilería usando la unidad hueca “Blocker II” en la ciudad de Tacna.....	16
Figura 2.1: Curva histerética del espécimen MBAT-1.....	25
Figura 2.2: Curva de capacidad del espécimen MBAT-1.....	26
Figura 2.3: Curva histerética del espécimen MBAT-2.....	27
Figura 2.4: Curva de capacidad del espécimen MBAT-2.....	28
Figura 2.5: Unidad de albañilería sólida y hueca.....	30
Figura 2.6: Unidad de albañilería artesanal.....	30
Figura 2.7: Unidad de albañilería industrial	31
Figura 2.8: Antigua Casona de adobe en Cusco (Calle San Agustín).....	33
Figura 2.9: Zapata lineal o llamada zapata corrida	33
Figura 2.10: Colapso de una vivienda de 2 pisos, en el Distrito de Ciudad Nueva – Tacna (junio 2001).....	34
Figura 2.11: “Escaniplo”, instrumento que reemplaza al escantillón, nivel y plomada.....	35
Figura 2.12: Asentamiento de las unidades de albañilería.....	36
Figura 2.13: Tipo de aparejo: muro sogá y muro de cabeza.....	37
Figura 2.14: Conexión dentada de un muro de albañilería.....	38
Figura 2.15: Trazo y replanteo para la construcción de un muro de albañilería.....	40
Figura 2.16: Emplantillado en sobrecimiento.....	40
Figura 2.17: Emplantillado en losa.....	40
Figura 2.18: Colocación de ladrillos.....	41
Figura 2.19: Colocación del ladrillo.....	41
Figura 2.20: Espesor del mortero entre ladrillos.....	41
Figura 2.21: Control de verticalidad del muro con plomada.....	42
Figura 2.22: Distancia máximo entre columnas.....	44
Figura 2.23: Posibles modos de falla en un muro de mampostería.....	46
Figura 2.24: Diferencia entre en ensayo monotónico y dinámico.....	47
Figura 2.25: Ensayo de carga lateral cíclica en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP.....	48
Figura 2.26: Desplazamiento lateral controlado en varias fases.....	49
Figura 2.27: Punto “F”.....	50
Figura 2.28: Punto “R” o “m” en la Norma E.070.....	51

Figura 2.29: Límite de reparación.....	51
Figura 2.30: Falla final.....	52
Figura 2.31: Sismo severo para el caso de suelo duro.....	53
Figura 2.32: Talón triturado de un muro confinado (izquierda) y de un muro armado (derecha).....	55
Figura 3.1: Dimensiones del muro.....	59
Figura 3.2: Habilitación de acero para viga de cimentación.....	61
Figura 3.3: Habilitación del acero para columnas.....	62
Figura 3.4: Encofrado de la viga de cimentación.....	62
Figura 3.5: Colocado del acero dentro del encofrado y los 10 tubos de PVC de 2”.....	63
Figura 3.6: Colocado de columnas y 4 anclajes para el posterior traslado del muro a la zona de ensayo.....	63
Figura 3.7: Preparado de mezcla.....	64
Figura 3.8: Vaciado y uso de la vibradora.....	64
Figura 3.9: Asentado de muro, uso de plomada, nivel de mano y cordel.....	65
Figura 3.10: Dentado del muro.....	65
Figura 3.11: Culminación del asentado de muro.....	66
Figura 3.12: Encofrado de columna.....	66
Figura 3.13: Probetas para determinar el $f'c$	67
Figura 3.14: Vaciado de columnas y uso de vibradora.....	67
Figura 3.15: Desencofrado de la columna y curado del mismo.....	68
Figura 3.16: Encofrado de fondo de viga solera.....	69
Figura 3.17: Montaje de acero de viga solera, encofrado de los lados.....	69
Figura 3.18: Una vez vaciada y curada la viga solera se procedió al solaqueo de la misma.....	70
Figura 3.19: Solaqueo de columnas.....	70
Figura 3.20: Vista final del muro.....	71
Figura 3.21: Vista en planta del aparato de carga.....	72
Figura 3.22: Esquema de la configuración del ensayo cíclico.....	73
Figura 3.23: Sistema de adquisición.....	74
Figura 3.24: Protocolo de desplazamiento objetivo.....	74
Figura 4.1, 4.2 y 4.3: Se dio inicio al ensayo con la primera distorsión.....	79
Figura 4.4 y 4.5: Se procede a la segunda distorsión.....	80
Figura 4.6: Mapeo de fisuras cuando se aplica la carga y descarga.....	80
Figura 4.7 y 4.8: Tercera distorsión objetivo 1/800.....	81
Figura 4.9: Mapeo de fisuras de la tercera distorsión.....	81

Figura 4.10 y 4.11: Cuarta distorsión objetivo 1/550.....	82
Figura 4.12: Mapeo de fisuras de la cuarta distorsión	82
Figura 4.13 y 4.14: Quinta distorsión objetivo 1/400.....	83
Figura 4.15: Mapeo de fisuras de la quinta distorsión.....	83
Figura 4.16 y 4.17: Sexta distorsión objetivo 1/300.....	84
Figura 4.18: Mapeo de fisuras de la sexta distorsión.....	84
Figura 4.19 y 4.20: Séptima distorsión objetivo 1/200.....	85
Figura 4.21: Mapeo de fisuras de la séptima distorsión.....	85
Figura 4.22 y 4.23: Última distorsión.....	86
Figura 4.24: Mapeo de fisuras de la última distorsión.....	86
Figura 4.25: Curva histerética del espécimen MBAT-4.....	87
Figura 4.26: Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (Desplazamiento.....	88
Figura 4.27: Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (Distorsión).....	89
Figura 5.1: Relación de desplazamiento, distorsión, daño y estados límites.....	92

RESUMEN

Problema: Tacna es uno de los departamentos ubicado en una zona de frecuente actividad sísmica, la cual en los últimos años ha presentado un crecimiento poblacional excesivo, los que en su mayoría son inmigrantes de departamentos aledaños a la ciudad. En este sentido el incremento poblacional sumado a la facilidad constructiva y bajo costo de la unidad de albañilería “Blocker II”, el cual es fabricado en la ciudad de Tacna, lo ha convertido en una alternativa económica y sencilla de aplicar en nuestro medio para resolver así el alto déficit habitacional.

Sin embargo, este tipo de unidad está clasificado como una unidad hueca, por lo tanto, según la norma E.070 de Albañilería no se puede utilizar para muros portantes de uno a tres pisos y de cuatro a más pisos en zonas altamente sísmicas.

Objetivo: La presente tesis de investigación denominada “**Ensayo de carga cíclica de un muro a escala natural con ladrillo Blocker II – Espécimen MBAT-04**”, estuvo orientada a contribuir con información para la reducción de la vulnerabilidad de las construcciones de albañilería confinada informal mediante la realización del ensayo estático cíclico en un muro construido con la unidad de albañilería Blocker II, con el propósito de conocer el comportamiento estructural frente a cargas que simulan la acción de un sismo.

Metodología: Consistió en la construcción un muro de albañilería confinada a escala real, usando los mismos materiales empleados en la construcción de viviendas informales de la ciudad de Tacna como son el Blocker II y el Cemento Yura Tipo I. . El espécimen es un muro de 2.50 m de altura, 2.50 m de longitud y 0.13 m de espesor. La resistencia a compresión del concreto en los elementos de confinamiento fue de 175 kg/cm². La base del muro (una viga de cimentación) es de 3.30 m de largo, 0.90 m de ancho y 0.45 m de altura.

Posteriormente después de haber cumplido con la resistencia máxima a los 28 días, se procedió a realizar el ensayo de carga lateral cíclica siguiendo los lineamientos del FEMA 461. Este ensayo fue realizado en el Laboratorio de Estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigaciones de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI).

Resultados: Se puede observar que la falla por corte se presenta para una resistencia máxima de 136.50 kN, con un desplazamiento máximo de 8 mm y una

distorsión de 0.0033. El espécimen MBAT-4 se llevó hasta su condición última, en donde la carga alcanzo el 80.5% de la carga máxima aplicada.

Conclusiones:

Después de haber realizado el ensayo se concluye que el muro construido con Blocker II, presenta un mal comportamiento sísmico. La falla que provocó la degradación de la resistencia es la falla por corte. En el nivel de estado último o estado de daño 3 el muro tuvo una distorsión de 1/200, sin embargo en el nivel de agrietamiento o estado de daño 2, solo llego a una distorsión de 1/300 o 0.0033.

Palabras claves: Blocker II, Muro de albañilería, Carga Cíclica, Curva de Capacidad.

ABSTRACT

Problem: Tacna is a district located in an active seismic zone, statistics show that there is an excessive population growth in the last few years. The population includes immigrants mostly from nearby districts. This resulted an increase in construction of housing estates as a result the need for cost effective construction materials has exponentially increased. To meet the demand the local masonry units started manufacturing the "Blocker II" which is an environment friendly and an economic alternative to solve this problem. But, this product is classified as a hollow unit according to W0.70 standards as a result its usage is limited to build the carrier walls for only single storied building and almost prohibited in constructing buildings over single storied buildings in highly seismic zones.

Objective: The thesis presented for research is titled "Cyclic load test of a full-sized brick wall constructed using Blocker II - Specimen MBAT-04", and is oriented to contribute information and to support the reduction of the vulnerability towards the failure of the construction of walls built with the Blocker II masonry unit, with the help of real time cyclic and static tests and understand the structural behavior using frontal loads for simulation purposes by recreating earthquake in a controlled environment.

Methodology: Construction of full-sized masonry walls, using the materials such as Blocker II and Yura Cement Type I and carrying out the tests. The specifications of the walls are: 2.50 m high, 2.50 m long and 0.13 m thick and the base of the wall (foundation beam) is 3.30 m long, 0.90 m wide and 0.45 m high, provides a compressive strength 175 kg / cm². The compressive strength of the concrete in the confinement elements was 175 kg / cm².

After having completed the maximum resistance for 28 days, the cyclic lateral load test was carried out following the guidelines of FEMA 461. This test was carried out in the Structures Laboratory of the Japanese Peruvian Center for Seismic Research and Mitigation of Disasters of the National University of Engineering (CISMID-UNI).

Results: It can be observed that the failure by shearing is presented for a maximum resistance of 136.50 kN, with a maximum displacement of 8 mm and a distortion of 0.0033. The MBAT-4 specimen was subjected to its ultimate stress condition, but it failed when the load stresses reached 80.5% of the maximum load applied.

Conclusions: After the test were carried out it clearly shows that the wall built with Blocker II, presents a bad seismic behavior. The failure caused due to the poor resistance by shear force. At this stage the wall had a distortion of 1/200, however at the level of cracking or damage state 2, it only reached a distortion of 1/300 or 0.0033.

KEY WORDS

Keywords: Keywords: Blocker II, Masonry Wall, Cyclic Load, Capacity Curve.

INTRODUCCIÓN

Nuestro país se encuentra ubicado en la costa occidental dentro del denominado “Círculo de fuego” que rodea el océano pacífico. Aquí se concentra la mayor cantidad de sismos del planeta, exactamente el 75% de estos. Asimismo, estamos situados sobre las placas de Nazca y Sudamericana, las cuales producen una presión tectónica que periódicamente libera energía que se manifiesta en sismos de diversas magnitudes.

Por otro lado, desde el año 1868, no ocurre un sismo de gran magnitud en la ciudad de Tacna, por lo que los especialistas advierten que este silencio sísmico en el sur del Perú podría provocar un terremoto de más de 8.5 grados de magnitud. En tal sentido, Tacna sería una de las ciudades con mayores daños ante este posible gran sismo, debido a que, tras el terremoto del 23 de junio del 2001, quedó demostrado que las edificaciones informales son altamente vulnerables frente a estos eventos.

Esta informalidad en las construcciones, se debe a muchos factores, siendo uno de ellos la mala calidad de los materiales de construcción como es el caso del Blocker II. Por ello, en la presente investigación se estudia el comportamiento de un muro de albañilería confinada sometido a una carga lateral cíclica, el cual será construido con la unidad hueca denominada “Blocker II”. Así mismo se compara los resultados experimentales con lo que establece la Norma E.030 de diseño Sismoresistente.

La presente tesis se encuentra estructurado en 05 capítulos. En el capítulo I, se determina el planteamiento del problema, está referido a la descripción del problema, formulación del problema, la justificación y los objetivos. Asimismo, se da a conocer algunas hipótesis.

El capítulo II, está referido al marco teórico, antecedentes, bases teóricas y definiciones.

En el capítulo III, presentamos al marco metodológico, tipo y diseño de investigación, población y/o muestra de estudio, operacionalización de variables, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, y finalmente procesamiento e análisis de datos.

En el capítulo IV, se presenta los resultados de la investigación a partir de descripción del trabajo de campo, la presentación de gráfico de tablas y curvas histeréticas.

El capítulo V, está referido a conocer la discusión del trabajo.

Finalmente, se detallará las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas y el anexo correspondiente a la matriz de consistencia.

Capítulo 1: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Los sismos son fenómenos naturales que tienen un periodo de recurrencia. Las consecuencias de los sismos pueden ser catastróficas desde el punto de vista social y económico. Durante el sismo del 23 de junio del 2001 se pudo comprobar la inadecuada capacidad sísmica a de las viviendas informales de la Ciudad de Tacna.

El estado peruano ha invertido recursos económicos en actividades de respuesta. Sin embargo, esto se hubiera evitado si se propicia un desarrollo urbano ordenado y seguro.

De lo anterior, en este trabajo se presenta el estudio de un muro construido con Blocker II, sometido al ensayo estático cíclico a escala natural con el propósito de contribuir con información para posteriores estudios de vulnerabilidad y conocer el comportamiento estructural frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo.

1.2 Formulación del problema

Como interrogante principal formulamos lo siguiente:

¿Cómo contribuir con la información para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones informales de albañilería confinada construidas con Blocker II, mediante el ensayo estático cíclico a escala natural del espécimen MBAT-4?

Asimismo, como interrogantes secundarias se planteó lo siguiente:

- ¿Cómo estimar las curvas de capacidad (Fuerza vs Desplazamiento) y determinar los estados límites de daño de un muro de albañilería confinada construida con "Blocker II"?
- ¿Los resultados obtenidos del ensayo del muro cumplen con los límites establecidos en la Norma Técnica de Edificaciones E.030 y E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones para muros portantes?

1.3 Justificación e importancia

Desde el punto de vista de sismicidad; porque vivimos en una zona determinada por muchos especialistas como una zona de frecuente actividad sísmica.

La razón, es que el Perú está ubicado dentro del cinturón de fuego del Pacífico donde se encuentran las zonas de subducción más importantes del mundo. Una de ellas es el hundimiento (subducción) de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, esto frente a las costas sudamericanas, lo que ha provocado durante todo este tiempo innumerables y constantes disipaciones de energía, las se han reflejado sobre la superficie como sismos de grandes magnitudes.



Figura 1.1: Mapa de las placas tectónicas. Se muestran las placas tectónicas sobre las que se encuentra el Perú, éstas son la Placa de Nazca (color celeste) y la Placa Sudamericana (Color lila).

Fuente: Salvado de:

<https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/2011/05/31/mapa-de-las-placas-tectonicas>

El sur del Perú cuenta con registros históricos de sismos de magnitud mayor a 8 grados, como los ocurridos en los años 1604, 1833, 1868, y 1877 (Según el Instituto Geofísico del Perú). Cada uno de estos sismos, ocasionaron innumerables pérdidas humanas y materiales principalmente en las ciudades de Arequipa, Moquegua y Tacna.

Desde el punto de vista de informalidad; porque de acuerdo a los estudios realizados en la ciudad de Tacna el 80% de las más de 84 mil viviendas de albañilería pueden colapsar, debido a que éstas fueron construidas con ladrillo “Blocker I” y otras con “Blocker II, cuyos usos están limitados básicamente a la construcción de cercos perimétricos y muros de tabiquería respectivamente, sin embargo, la población lo emplea para la construcción de muros portantes, es decir muros que transmiten cargas horizontales y verticales de un nivel a otro.

Actualmente, el uso masivo del “Blocker II” en la construcción de viviendas y otro tipo de edificaciones de la ciudad de Tacna, hace necesario el estudio de este tipo de unidad de albañilería, a fin de determinar y verificar su comportamiento sísmico y de ser necesarios técnicas de reparación que permitan contrarrestar grandes pérdidas en caso de un escenario de sismo severo.



Figura 1.2: Se muestra el proceso constructivo de un muro de albañilería usando la unidad hueca “Blocker II” en la ciudad de Tacna.

Fuente: Salvado de: <https://www.soloarquitectura.com/foros/threads/vigas-sobre-ladrillo-hueco-no-portante.88453/>

1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivo General:

Contribuir con la información para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones informales de albañilería confinada construidas con Blocker II, mediante el ensayo estático cíclico a escala natural del espécimen MBAT-4.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Estimar las curvas de capacidad (Fuerza vs Desplazamiento) y determinar los estados límites de daño de un muro de albañilería confinada construida con “Blocker II
- Comparar los resultados obtenidos del ensayo del muro con los límites establecidos en la Norma Técnica de Edificaciones E.030 y E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones para muros portantes.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General:

Como hipótesis general se ha planteado lo siguiente:

La realización del “Ensayo de Carga Cíclica de un Muro a Escala Natural con Ladrillo de Blocker II – ESPÉCIMEN MBAT-04” nos dará a conocer el comportamiento estructural del muro de albañilería, frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo. Esta investigación contribuirá con información para la reducción de la vulnerabilidad de las construcciones de albañilería confinada informal de la ciudad de Tacna.

1.5.2 Hipótesis Específicas:

- Las curvas de capacidad o curvas de comportamiento se pueden estimar a partir de la respuesta de los muros en términos de desplazamientos y la correspondiente fuerza aplicada. Asimismo, se pueden identificar diferentes estados de daños, siendo los más principales:

Estado de daño 1, donde se inicia el agrietamiento.

Estado de daño 2, en la resistencia pico.

Estado de daño 3, en la resistencia última.

- El Blocker II es una Unidad Hueca, no apta para el uso de muro portante, debido a que no cumple con los límites de distorsión dispuestos en la Norma Técnica de Edificaciones E.030 y E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Capítulo 2:

MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

En el año 2016, los ingenieros Acero y 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 las mismas unidades de albañilería para diferentes tipos de carga vertical como son 15Tn, 10Tn, 5Tn y 0Tn.

Posteriormente a propuesta de la dirección de la Escuela de Ingeniería Civil un grupo de docentes y bachilleres realizaron en el año 2016 el proyecto “Ensayo de Carga cíclica de tres muros a escala natural con especímenes de albañilería Blocker II”, pero con una carga vertical de 10 Tn, lo que simula a un edificio de tres pisos. Sin embargo, algunos especialistas consideran que la cantidad de muestras (3 muros) son muy pocos.

Es por ello, que a solicitud de la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil en el año 2017 se propone la elaboración del segundo proyecto “Ensayo de Carga cíclica de tres muros a escala natural con especímenes de albañilería Blocker II”; es decir que de manera similar a los muros de la primera propuesta se ha construido y ensayado tres muros a escala natural en el laboratorio de Estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones sísmicas y mitigación de desastres CISMID, por lo que nuestro trabajo de investigación forma parte de este segundo proyecto, que corresponde al espécimen MBAT-04.

A continuación, presentaremos un resumen de los trabajos realizados que anteceden nuestra investigación.

2.1.1. PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”

Proyecto de Investigación desarrollado por el Mag. José Acero Martínez y la Ing. Dina Cotrado Flores en colaboración con estudiantes de Ingeniería Civil (Aste Pinto, Daniella Alejandra; Ayca Tejada, Claudia Leonor; Chávez Quiñonez, Jhonathan Luis) en setiembre del 2016.

Resumen:

El proyecto de investigación consta de 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 permitirá determinar la longitud mínima de muros que se necesita en una edificación de albañilería para que pueda resistir un sismo severo.

Resultados:**Tabla N°1: Ensayos de dimensionamiento - Largo**

Muestra N°	Largo en mm				Promedio
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
				MP	280.9
				DE	290
				V en %	3.14
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 N°2: Ensayos de dimensionamiento – Ancho

Muestra N°	Largo en mm				Promedio
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
				MP	124.6
				DE	120
				V en %	-3.83

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 N°3: Ensayos de dimensionamiento - Alto

Muestra N°	Largo en mm				Promedio
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
				MP	172
				DE	170
				V en %	-1.18

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

Ensayo de "Variación Dimensional" realizado en el laboratorio de estructuras del CISMID con ladrillos BLOCKER II

Tabla N°4: Ensayos de Alabeo

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

Ensayo de "Alabeo" realizado en el laboratorio de estructuras del CISMID con ladrillos BLOCKER II

Tabla N°5: Resistencia a la compresión f'b

Espécimen	Carga de rotura (kg)	Área (cm ²)	f'b (kg/cm ²)
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
		Promedio	95.47
		D.E	3.607
		Corregido	91.86
Nota:			
D.E desviación estándar			

Ensayo de "Resistencia a la Compresión f'b" realizado en el laboratorio de estructuras del CISMID con ladrillos BLOCKER II

Espécimen	Volumen Ladrillo (cm ³)	Área (cm ²)	% 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
		Promedio	53.96

Ensayo de "Porcentaje de Vacíos" realizado en el laboratorio de estructuras del CISMID con ladrillos BLOCKER II

Tabla N°7: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de mortero

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

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en tres muestras de mortero elaborados de la mezcla utilizada en el asentado de los ladrillos de las pilas y muretes.

Tabla N°8: Identificación de los especímenes (Pilas de Albañilería)

Especímen	Dimensiones (cm)			Relación h/a	Área Bruta (cm ²)	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

Con la finalidad de conocer las características del material frente a cargas de compresión axial en pilas de unidades asentadas una sobre otras es que se realizó este ensayo a fin de determinar su carga máxima y esfuerzo máximo, se ensayaron 5 especímenes bajo carga incremental monotonía.

Tabla N°9: Determinación de $f'm$ y E_m

Especímen	Carga de rotura (Ton)	$f'm$ (kg/cm ²)	E_m (kg/cm ²)	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
	Promedio	48.37	43180.2	897.034
	D.E	2.95	2633.79	
	Corregido	45.45	40546.41	

Nota:
D.E desviación estándar

Se determina los valores de $f'm$ y $V'm$ de los cinco especímenes de pilas ensayadas por compresión axial.

Fuente: "PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II" (2016)

Tabla N°10: Resultados de los ensayos de compresión diagonal de los muretes

Identificación	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Ton)	v'm (kg/cm ²)	G (kg/cm ²)
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
					Promedio	5.019	10564.75
					D.E	0.827	1725.84
					Corregido	4.192	8838.91

Tabla N°11: Resumen de ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes

LABORATORIO	IDENTIFICACION	f'm (kg/cm ²)	Em (kg/cm ²)	IDENTIFICACIÓN	v'm (kg/cm ²)	G (kg/cm ²)
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 desviación 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.

2.1.2. ENSAYO DE CARGA CICLICA DE TRES MUROS A ESCALA NATURAL CON ESPECIMENES DE ALBAÑILERIA BLOCKER II

Este trabajo fue desarrollado por los tesisistas Bach. Ing. David Wilber Conde Copa, Bach. Ing. Rolando Chambi Chambi, Bach. Elmer Choquepata Mamani, Bach. Nohelia Bernedo Vicente, Bach. Liss Miriam Calderón Gonzalo, y Bach. Melissa Jhenifer Maque Gutierrez, bajo la asesoría de los docentes José Acero, y Dina Cotrado.

Se realizaron ensayos estáticos cíclicos a escala natural en 3 muros construidos con blocker II, con la finalidad de conocer el comportamiento estructural del muro de albañilería con unidades tipo blocker II, frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo.

Los especímenes tienen las dimensiones de 2.50 m de altura, 2.50 m de longitud y 0.13 m de espesor. La base del muro reducido es de 3.30 m de largo, 0.90 m de ancho y 0.30 m de altura.

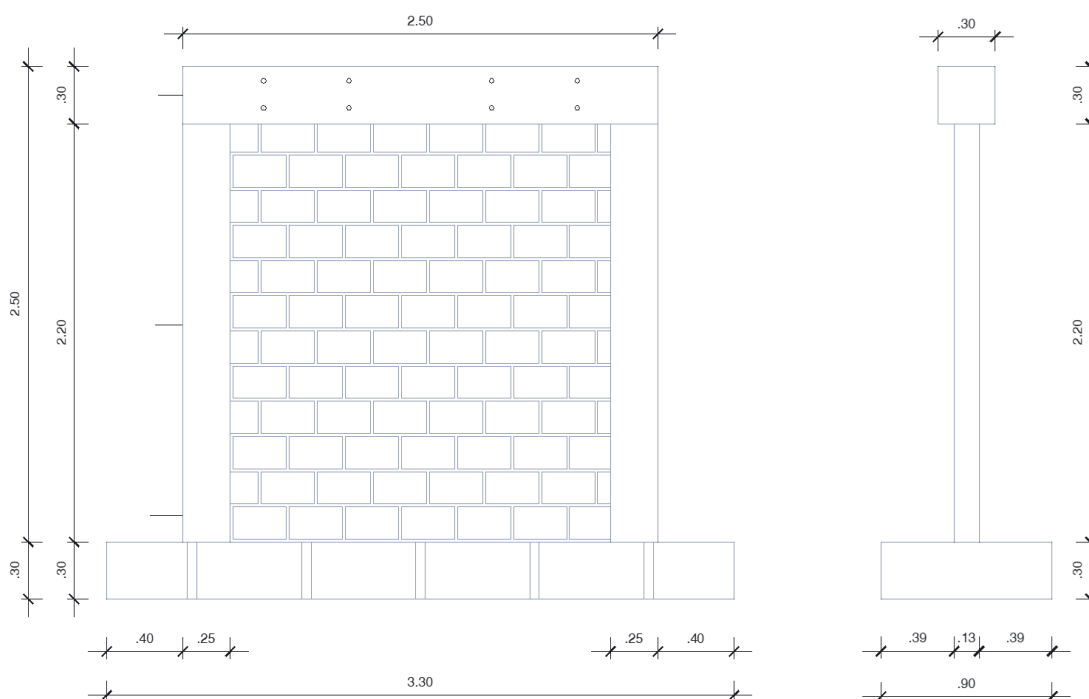


Figura 1. Espécimen básico. Unidades: m

Fuente: "Zavala, C., Díaz, M. y Escalante D. 2016

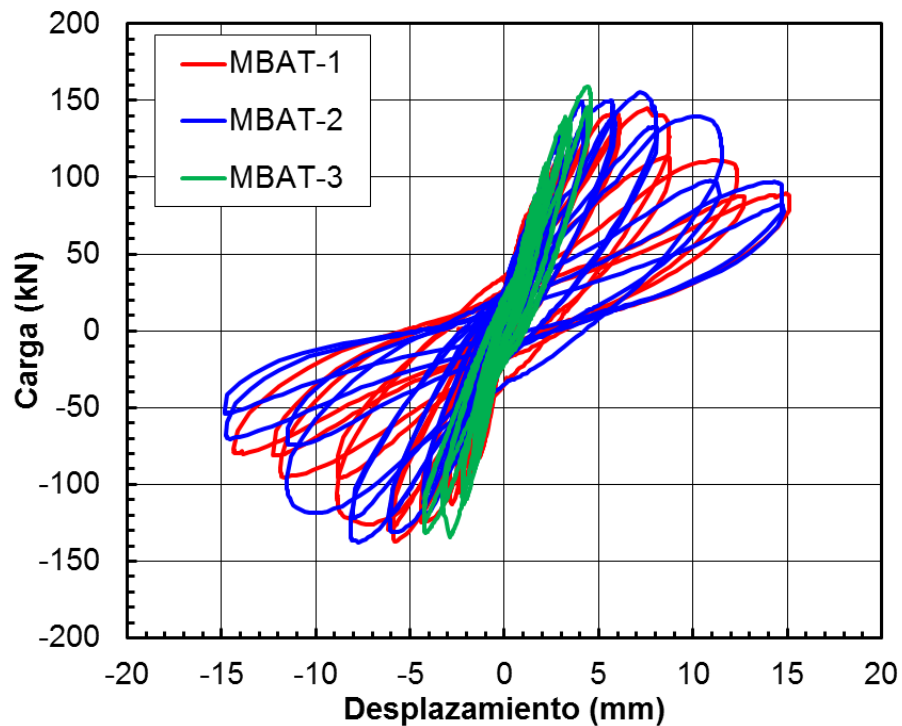


Figura 1. Comparación de las curvas histeréticas de los especímenes ensayados
Fuente: “Zavala, C., Díaz, M. y Escalante D. 2016

De los tres especímenes ensayados cíclicamente se tuvo las siguientes conclusiones:

- ✓ Los especímenes MBAT-1 y MBAT-2 se llevaron hasta su condición última (desplazamientos donde la carga sea menor que el 80% de la carga máxima aplicada).
- ✓ El espécimen MBAT-3, se llevó hasta la condición de reparabilidad que ocurre aproximadamente a un nivel de distorsión de 1/550.
- ✓ El factor de amortiguamiento equivalente es más estable durante los ciclos donde la distorsión objetivo es repetida (2). Es por ello, que se considera como niveles de resistencias las cargas máximas obtenidas en la repetición de la distorsión objetivo.
- ✓ La carga máxima promedio es de 133 kN (0.41 N/mm²), que sucede a un nivel de distorsión de 0.0025 (1/400) aproximadamente.
- ✓ Para un nivel de distorsión de 0.005 (límite de distorsión de acuerdo a la NTE E030-2016) se obtiene una carga promedio de 87 kN (0.27 N/mm²).

2.2 BASES TEÓRICAS

Albañilería Confinada:

En el Perú la albañilería confinada fue introducida después del terremoto de 1940 por su facilidad constructiva y buen comportamiento sísmico. (San Bartolomé, 1991).

La albañilería confinada es aquella que se encuentra enmarcada en sus cuatro bordes por elementos de confinamiento de concreto armado (vigas y columnas de confinamiento). El objetivo de los elementos de confinamiento es incrementar la capacidad de deformación después que los muros se agrieten. Esto significa que proporcionan ductilidad y no necesariamente mayor resistencia. Adicionalmente, estos se usan como arriostres ante acciones sísmicas perpendiculares al plano del muro.

Así mismo las unidades de albañilería empleadas en las construcciones son diversas, por lo que se clasifican de acuerdo a sus propiedades. Estas son:

- **Clasificación por sus Dimensiones:**
 - Ladrillos y Bloques
- **Clasificación por su materia prima y fabricación:**
 - Por su materia prima: Unidades hechas de arcilla, unidades de sílice-cal y unidades de concreto.
 - Por su fabricación: Unidades artesanales y unidades industriales.
- **Clasificación por sus huecos:**
 - Unidades sólidas, unidades huecas y unidades tubulares.

2.2.1 Unidades de Albañilería Hueca y Maciza:

Sin embargo, para materia de estudio nos enfocaremos en la clasificación por sus huecos o llamados también alvéolos, así tenemos: unidades sólidas y unidades huecas.

2.2.1.1 Unidades Sólidas: Son las unidades que no tienen huecos o, en todo caso presentan ranuras o perforaciones perpendiculares a la

superficie de asiento, y que ocupan un área no mayor al 30% del área bruta (Norma E.070, SENSICO 2006).

En otras palabras, las unidades sólidas no son solo aquellas que no tienen alvéolos, sino que son también aquellas que los tienen hasta un límite determinado. En la aplicación de este tipo de unidades se consideran, para todas las propiedades, las de la sección bruta; el área, el módulo resistente y el momento de inercia se calculan en función del espesor y el largo de la unidad, sin tener en cuenta en los alveolos.

2.2.1.2 Unidades Huecas: Cuando el área excede el 30% del área bruta, la unidad se clasifica como hueca.

En este caso todas las propiedades de la sección corresponden a la de la sección neta; consecuentemente, la forma y disposición de los alveolos debe ser conocida para determinar el módulo resistente y el momento de inercia de la sección.

Cuando los alveolos de estas unidades, en su aplicación, se llenan de concreto líquido, la albañilería pasa a ser tratada como sólida.



Figura 2.5: Unidad de albañilería sólida y hueca.

Fuente: Comentarios de la Norma E.070, 2005.

La Norma técnica de Albañilería anterior (ININVI 1982) exigía que las perforaciones no cubran un área mayor a 25%, para que las unidades se clasifiquen como sólidas, similar a lo que establecen la mayoría de normas internacionales. Sin embargo, en la Norma de Albañilería E.070 (SENSICO 2006) se estableció el porcentaje indicado, luego de muchos ensayos de

carga lateral cíclica hechos en muro confinados, donde pudo notarse la trituración de los ladrillos huecos para derivas menores que el límite máximo (0.005) establecido por la Norma E.030 para edificaciones de albañilería confinada.

Por ello, en la Norma E.070 se especifica que las unidades sólidas o macizas son las que se deben emplear para la construcción de muros portantes confinados.

Así mismo, los ladrillos artesanales (**Ver Figura 2.6**) usualmente carecen de huecos, mientras que los ladrillos industriales (**Ver Figura 2.7**) presentan entre 18 y 24 perforaciones pequeñas, o ranuras en el caso de los ladrillos de concreto.



Figura 2.6: Unidad de albañilería artesanal.

Fuente: Comentarios de la Norma E070, Año 2005.



Figura 2.7: Unidad de albañilería industrial

Fuente: Comentarios de la Norma E070, Año 2005.

2.2.2 Comportamiento de las Unidades de Albañilería Huecas:

Al margen del valor de la resistencia a la compresión, la diferencia del comportamiento de los diversos tipos de unidades de albañilería, radica en la fragilidad de la falla.

Las unidades sólidas son las únicas que muestran un comportamiento razonablemente dúctil, sin fallas explosivas, mientras que todas las otras presentan, al ser rotas en compresión ya sea como unidades individuales o como componentes de un muro, fallas explosivas frágiles.

La consecuencia de este hecho es que las unidades huecas son admitidas con condiciones para la construcción de muros portantes, particularmente en zonas sísmicas.

Cuando las unidades huecas se llenan con concreto líquido su comportamiento en falla se modifica, ductilizándose; entonces pasan a ser admitidas para la construcción de muros portantes.

Por otro lado, el uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la tabla siguiente. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTE.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla N°12: Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.

TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 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.070 Albañilería

Dependiendo de la densidad de muros que presente la edificación, es posible que su comportamiento ante sismos severos sea en el rango elástico, con lo cual, se puede utilizar unidades huecas en los muros confinados o muros armados parcialmente rellenos, incluso en la zona

sísmica 3, que las unidades huecas se trituran después de la fractura diagonal, o por flexo-compresión, pero ello deberá ser respaldado por una memoria de cálculo estructural.

2.2.3 Muro Portante:

Se denomina muro portante o muro de carga a las paredes de una edificación, las cuales poseen una función estructural, es decir que soportan el peso de otros elementos estructurales del edificio, tales como, vigas, viguetas, arcos, bóvedas.

Aunque en la antigüedad se construyeron muchos tipos de muros de carga, los más antiguos que se conservan hasta la actualidad son los de adobe o piedra (**Ver Figura 2.8**), sin embargo, el material más empleado para realizar muros de carga es el ladrillo: una evolución del adobe cuya diferencia estriba en el proceso de cocción, el cual le confiere mayor resistencia y durabilidad.



Figura 2.8: Antigua Casona de adobe en Cusco (Calle San Bernardo)

Fuente: Salvado de:

<http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.pe/2016/04/arquitectura-con-tierra.html>

El ladrillo empleado en muros de carga suele ser macizo, aunque no es inusual encontrar muros de carga de ladrillo perforado o incluso hueco en viviendas de una o dos alturas.

Puesto que la función de los muros de carga es transmitir las cargas al terreno, es necesario que estos muros estén dotados de cimentación, un ensanchamiento del muro en contacto con el terreno que evita que el muro "punzones" – se clave – en el terreno. La cimentación de los muros de carga adopta la forma de zapata lineal o zapata corrida. (**Ver Figura 2.9**).



Figura 2.9: Zapata lineal o llamada zapata corrida

Fuente: Salvado de: <http://arqoncities.com/fundaciones/>

Por su naturaleza, los muros son superficies continuas. Sin embargo, es necesario practicar aberturas en ellos para conformar ventanas o puertas, que iluminen, ventilen o comuniquen las estancias interiores. Para ello se utilizan dos métodos: el dintel, o el arco.

2.2.4 Proceso Constructivo de Muros de Albañilería según la norma E.070 vs. Las construcciones de Tacna:

Las edificaciones de mediana altura son las que más abundan en la ciudad de Tacna, el comportamiento sísmico de estas edificaciones depende mucho de la calidad de los materiales empleados para su construcción, así como de las técnicas constructivas.

Errores constructivos serios pueden causar incluso hasta el colapso de la edificación. (**Ver Figura 2.10**).



Figura 2.10: Colapso de una vivienda de 2 pisos, en el Distrito de Ciudad Nueva – Tacna (junio 2001)

Actualmente, los procesos constructivos empleados para la construcción de viviendas en la ciudad de Tacna, en su mayoría no cumplen con lo indicado en la Norma E.070 Albañilería, por ello a continuación se mostrará una comparación del proceso constructivo adoptado actualmente en la ciudad de Tacna y lo indicado en la Norma E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

2.2.4.1 Proceso Constructivo de Muros de Albañilería según la Norma E.070

La estructura de las edificaciones de albañilería confinada que tradicionalmente se emplea en el Perú está compuesta, en secuencia constructiva por:

- 1) Cimentación corrida de concreto ciclópeo
- 2) Sobrecimiento hecho también de concreto ciclópeo
- 3) Muro de albañilería
- 4) Columnas de confinamiento
- 5) Losas de techo y vigas soleras que van por encima de los muros y vigas dinteles que cubren los vanos de puertas y ventanas.

El Capítulo 4. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION, NOS INDICA:

Artículo 10. ESPECIFICACIONES GENERALES

La mano de obra empleada en las construcciones de albañilería será calificada, debiéndose supervisar el cumplimiento de las siguientes exigencias básicas:

10.1 Los muros se construirán a plomo y en línea. No se atentará contra la integridad del muro recién asentado.



Figura 2.11: “Escaniplo”, instrumento que reemplaza al escantillón, nivel y plomada

Fuente: Comentarios de la Norma E070, Año 2005.



Figura 2.12: Asentamiento de las unidades de albañilería

Fuente: Comentarios de la Norma E070, Año 2005.

10.2 En la albañilería con unidades asentadas con mortero, todas las juntas horizontales y verticales quedarán completamente llenas de mortero. El espesor de las juntas de mortero será como mínimo 10 mm y el espesor máximo será 15 mm o dos veces la tolerancia dimensional en la altura de la unidad de albañilería más 4 mm, lo que sea mayor.

10.3 Se mantendrá el temple del mortero mediante el reemplazo del agua que se pueda haber evaporado, por una sola vez. El plazo del retemplado no excederá al de la fragua inicial del cemento.

10.4 Las unidades de albañilería se asentarán con las superficies limpias de polvo y sin agua libre. El asentado se realizará presionando verticalmente las unidades, sin bambolearlas. El tratamiento de las unidades de albañilería previo al asentado será el siguiente:

- Para concreto y sílico-calcáreo: pasar una brocha húmeda sobre las caras de asentado o rociarlas.
- Para arcilla: de acuerdo a las condiciones climatológicas donde se encuentra ubicadas la obra, regarlas durante media hora, entre 10 y 15 horas antes de asentarlas.

10.5 Para el asentado de la primera hilada, la superficie de concreto que servirá de asiento (losa o sobrecimiento según sea el caso), se preparará con anterioridad de forma que quede rugosa; luego se limpiará de polvo u otro material suelto y se la humedecerá, antes de asentar la primera hilada.

10.6 No se asentará más de 1,30 m de altura de muro en una jornada de trabajo. En el caso de emplearse unidades totalmente sólidas (sin perforaciones), la primera jornada de trabajo culminará sin llenar la junta vertical de la primera hilada, este llenado se realizará al iniciarse la segunda jornada.

10.7 Las juntas de construcción entre jornadas de trabajos estarán limpias de partículas sueltas y serán previamente humedecidas.

10.8 El tipo de aparejo a utilizar será de sogá, cabeza o el amarre americano, traslapándose las unidades entre las hiladas consecutivas.

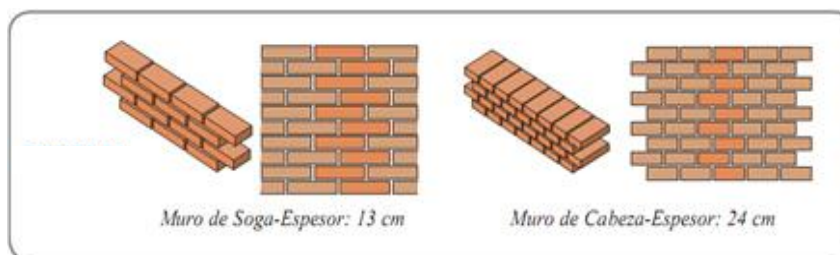


Figura 2.13: Tipo de aparejo: muro soga y muro de cabeza
Fuente: Manual de construcción para maestros de obra. “Aceros Arequipa”, Año 2010.

10.9 El procedimiento de colocación y consolidación del concreto líquido dentro de las celdas de las unidades, como en los elementos de concreto armado, deberá garantizar la ocupación total del espacio y la ausencia de cangrejas. No se permitirá el vibrado de las varillas de refuerzo.

10.10 Las vigas peraltadas serán vaciadas de una sola vez en conjunto con la losa de techo.

10.11 Las instalaciones se colocarán de acuerdo a lo indicado en los Artículos 2 (2.6 y 2.7).

Artículo 11. ALBAÑILERÍA CONFINADA

Aparte de los requisitos especificados en el artículo 10, se deberá cumplir lo siguiente.

11.1 Se utilizará unidades de albañilería de acuerdo a lo especificado en el Artículo 5 (5.3).

11.2 La conexión columna-albañilería podrá ser dentada o a ras:

- a)** En el caso de emplearse una conexión dentada, la longitud de la unidad saliente no excederá de 5 cm y deberá limpiarse de los desperdicios de mortero y partículas sueltas antes de vaciar el concreto de la columna de confinamiento.

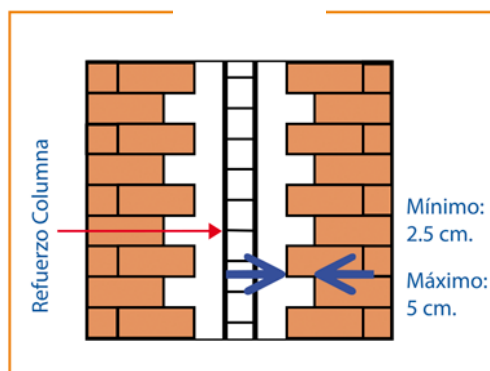




Figura 2.14: Conexión dentada de un muro de albañilería.

Fuente: *Manual de construcción para maestros de obra.*
“Aceros Arequipa, Año 2010”

b) En el caso de emplearse una conexión a ras, deberá adicionarse “chicotes” o “mechas” de anclaje (salvo que exista refuerzo horizontal continuo) compuestos por varillas de 6 mm de diámetro, que penetren por lo menos 40 cm al interior de la albañilería y 12,5 cm al interior de la columna más un dobléz vertical a 90° de 10 cm; la cuantía a utilizar será 0,001

11.3 El refuerzo horizontal, cuando sea requerido, será continuo y anclará en las columnas de confinamiento 12,5 cm con gancho vertical a 90° o de 10 cm.

11.4 Los estribos a emplear en las columnas de confinamiento deberán ser cerrados a 135°, pudiéndose emplear estribos con $\frac{3}{4}$ de vuelta adicional, atando sus extremos con el refuerzo vertical, o también, zunchos que empiecen y terminen con gancho estándar a 180° doblado en el refuerzo vertical.

11.5 Los traslapes del refuerzo horizontal o vertical tendrán una longitud igual a 45 veces el mayor diámetro de la barra traslapada. No se permitirá el traslape del refuerzo vertical en el primer entrepiso.

11.6 El concreto deberá tener una resistencia a compresión (f'_c) mayor o igual a 17,15MPa (175kg / cm²). La mezcla deberá ser fluida, con un revenimiento del orden de 12,7 cm (5 pulgadas) medida en el cono de Abrams.

11.7 El concreto de las columnas de confinamiento se vaciará posteriormente a la construcción del muro de albañilería; este concreto empezará desde el borde superior del cimiento, no del sobrecimiento.

11.8 Las juntas de construcción entre los elementos de concreto serán rugosas, humedecidas y libre de partículas sueltas.

11.9 La parte recta de la longitud de anclaje del refuerzo vertical deberá penetrar al interior de la viga solera o cimentación; no se permitirá montar su doblez directamente sobre la última hilada del muro.

11.10 El recubrimiento mínimo de la armadura (medido al estribo) será 2 cm cuando los muros son tarrajeados y 3 cm cuando son caravista.

2.2.4.2 Proceso Constructivo Empleado en la Ciudad de Tacna

El proceso constructivo empleado para la construcción de muros de albañilería en la ciudad de Tacna, es muy variado. Los cuales en su mayoría omiten algunas recomendaciones importantes mencionadas en la Norma E.070 Albañilería. A continuación, se describirá una de las técnicas constructivas más usadas actualmente:

A. Verificación y rectificación del trazo

Cuando el muro se construye a partir del sobrecimiento, debemos revisar que la superficie de éste se encuentre limpia y nivelada. Luego, se procede a replantear el diseño del sobrecimiento, revisando sus dimensiones y marcando todas las referencias que delimitan la zona donde se va a levantar el muro, así como la posición de las puertas.



Figura 2.15: Trazo y replanteo para la construcción de un muro de albañilería.

Fuente: Manual del maestro constructor. "Aceros Arequipa", Año 2010.

Cuando el muro se construye a partir de una losa de techo, también se deben marcar los ejes donde se van a construir los muros ayudado de un tiralíneas.

B. Emplantillado

Se denomina emplantillado a la primera hilada de ladrillos colocados sobre la superficie. En el primer piso, el emplantillado se hace sobre el sobrecimiento (**ver Figura 2.16**); en un piso superior, se hace sobre la losa (**ver Figura 2.17**).

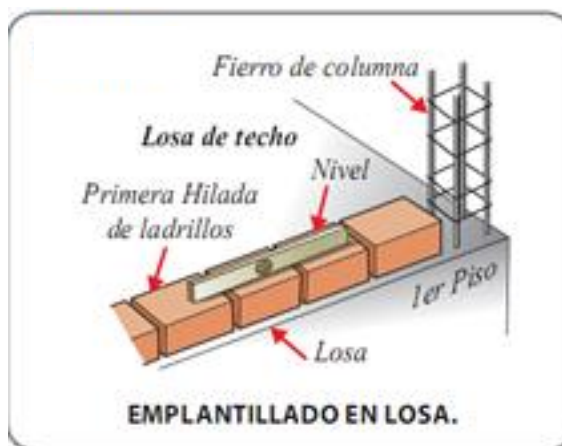
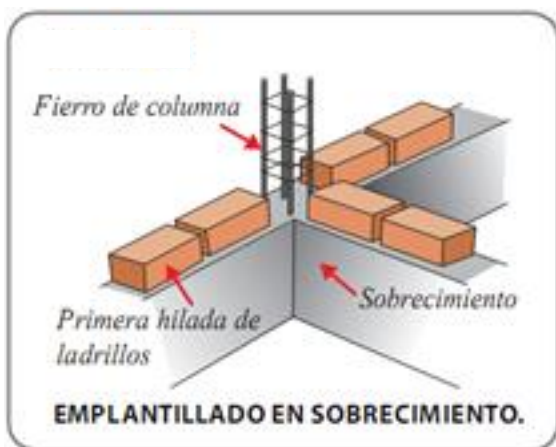


Figura 2.16: Emplantillado en sobrecimiento

Figura 2.17: Emplantillado en losa

Fuente: Manual del maestro constructor. "Aceros Arequipa", Año 2010.

C. Colocación de ladrillos maestros

Se colocan ladrillos maestros en los extremos del muro a levantar. Éstos deben ser ubicados y asentados con toda perfección, es decir, aplomados, nivelados y con la altura de junta correspondiente. (**Ver Figura 2.18**). Posteriormente, se estira un cordel entre los ladrillos maestros para asentar cada hilada.

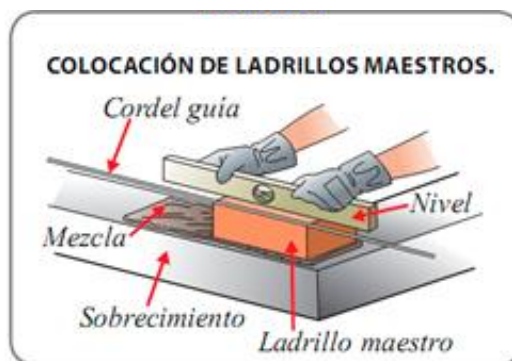


Figura 2.18: Colocación de ladrillos

Fuente: Manual del maestro constructor. "Aceros Arequipa", Año 2010.

D. Colocación del mortero y el ladrillo

Con el badilejo se toma una porción de mezcla de la batea y se coloca una capa uniforme en el sobrecimiento o hilada inferior de ladrillos, distribuyéndola en sentido longitudinal. Luego se coloca el ladrillo en la posición correspondiente, se mueve ligeramente, y se presiona hacia abajo hasta lograr su correcto asentado.



Figura 2.19: Colocación del ladrillo

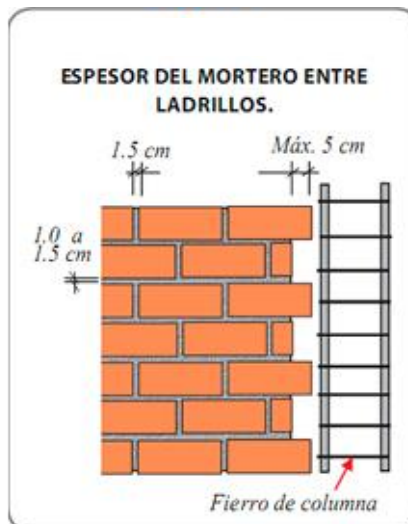


Figura 2.20: Espesor del mortero entre ladrillos

Fuente: Manual del maestro constructor. “Aceros Arequipa”, Año 2010.

E. Control y verificación

Se controlará la verticalidad del muro mediante el uso de la plomada o de un nivel de mano en varios puntos del muro. No se permitirá un desplome* mayor de 4 mm en toda la altura del muro. Se sugiere ir controlando la verticalidad cada 4 hiladas.

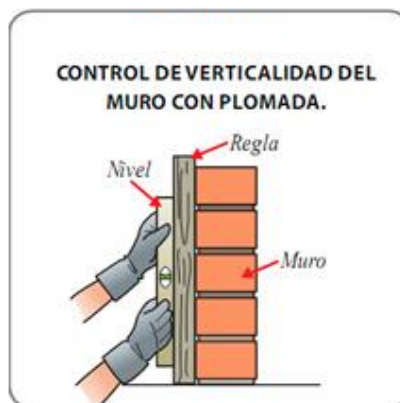


Figura 2.21: Control de verticalidad del muro con plomada

Fuente: Manual del maestro constructor. “Aceros Arequipa”, 2010.

La altura máxima del muro en una jornada de trabajo debe ser de 1.3 m, equivalente a 12 ó 13 hiladas. El resto se completará al día siguiente, de lo contrario las hiladas superiores comprimirán a las inferiores adelgazando las juntas horizontales.

Como se ha observado la diversidad de materiales (concreto, acero, ladrillo y mortero) que se emplea en la construcción de los muros confinados, hace que su comportamiento sea muy complejo de analizar, tal es así, que hasta antes de 1970, los edificios de albañilería se construían sin las precauciones necesarias, por lo que sufrían de serios daños estructurales cuando ocurrían los sismos llegando incluso al colapso (San Bartolomé, Quiun, Silva, 2011).

En ese sentido en la Norma NTE E.070 se dan varios lineamientos técnicos. A continuación, mencionamos algunos de ellos:

a. Recomendaciones en la construcción:

Con la finalidad de evitar excentricidades del tipo accidental y fallas prematuras por aplastamiento del mortero, se recomienda construir los muros a plomo y en línea, no asentando más de $\frac{1}{2}$ altura (o 1.3 m) en una jornada de trabajo.

Por otro lado, con el fin de evitar fallas por cizallamiento en las juntas de construcción, se recomienda que al término de la primera jornada de trabajo se dejen libres las juntas verticales correspondientes a $\frac{1}{2}$ hilada superior, llenándolas al inicio de la segunda jornada; y que todas juntas de construcción entre elementos de concreto sean rugosas y libres de gránulos sueltos.

Para evitar problemas de concentración de esfuerzos y zonas de debilidad en la albañilería, se recomienda que los tubos para las instalaciones tengan un recorrido vertical y que se alojen en los muros solo cuando estos tengan un diámetro menor a $\frac{1}{5}$ del

espesor del muro; de preferencia, los conductos deben ir alojados en ductos especiales, falsas columnas, o en tabiques.

b. Recomendaciones estructurales

Para que un muro se considere confinado, y ante la naturaleza cíclica del efecto sísmico, será necesario que la albañilería este enmarcada en sus 4 bordes por elementos de concreto armado (o cimentación) especialmente diseñados.

Por la importancia que tienen los muros ubicados en el perímetro del edificio (por aportar la mayor rigidez torsional), y a todo aquel que absorba más del 10 % del cortante basal sísmico, deberá proporcionársele elementos de confinamiento. La sección transversal mínima de los elementos de confinamiento debe ser $A_c = 20xb \text{ cm}^2$, donde b es el espesor del muro.

El refuerzo longitudinal mínimo debe ser de 4 a 3/8" y el estribo mínimo de confinamiento debe ser de 1/4" con un espaciamiento de 1 a 5 cm y 4 a 10 cm.

La distancia máxima entre columnas debe ser menor al doble de la altura entre arriostres horizontales, ya que cuando más distanciadas estén, disminuirá el confinamiento en la región central de la albañilería, y no se podrá controlar el tamaño de las grietas.

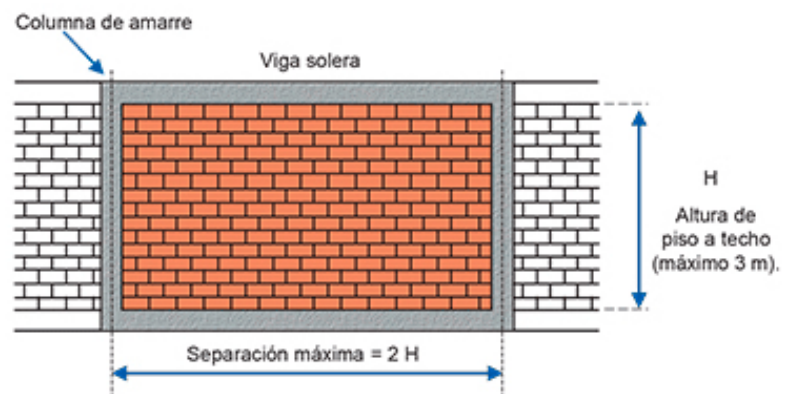


Figura 2.22: Distancia máximo entre columnas
Fuente: Manual del maestro constructor. "Aceros Arequipa", Año 2010.

El espesor efectivo mínimo de los muros debe ser $h/20$, donde h es la altura libre del muro. El espesor efectivo es igual al real del muro descontado acabados, bruñas y otras identaciones. De seguirse esta perpendicular al plano del muro confinado. Asimismo, de emplearse un espesor $h/20$, e imponerse un límite máximo al esfuerzo axial actuante igual a $0.15f'm$ ($f'm$ =resistencia a compresión de pilas de albañilería), se evitará la falla por compresión en el muro confinado.

Los techos deben ser diafragmas rígidos, de manera que permitan uniformizar los desplazamientos laterales de los muros. De preferencia, debe emplearse como sistema de techado la losa maciza (o aligerada) armada en 2 sentidos con el objeto que todos los muros porten una carga vertical que no sea excesiva. De preferencia, las vigas aisladas y coplanares con los muros no deben ser chatas, ya que las vigas (de un peralte suficiente) son elementos dúctiles que pueden aprovecharse como disipadores de energía antes que ocurra la falla de los muros; además, estas atenúan las concentraciones de esfuerzos en la losa del techo, producto del giro de los muros, e incrementa la rigidez lateral del sistema.

Al alfeizar de ventanas, debe separarse de la estructura principal con una junta sísmica no menor a $\frac{1}{2}$ pulgada y diseñarse ante acciones perpendiculares a su plano. Conviene indicar que, de no realizarse esta independización se creara problemas de muros cortos (similar al problema columnas cortas en edificaciones escolares).

2.2.5 Tipos de Fallas en Muros de Albañilería:

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 (Miranda, 2002, Héctor Gallegos, 2002):

- **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 de 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 de 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.
- **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 **Figura 2.23**.

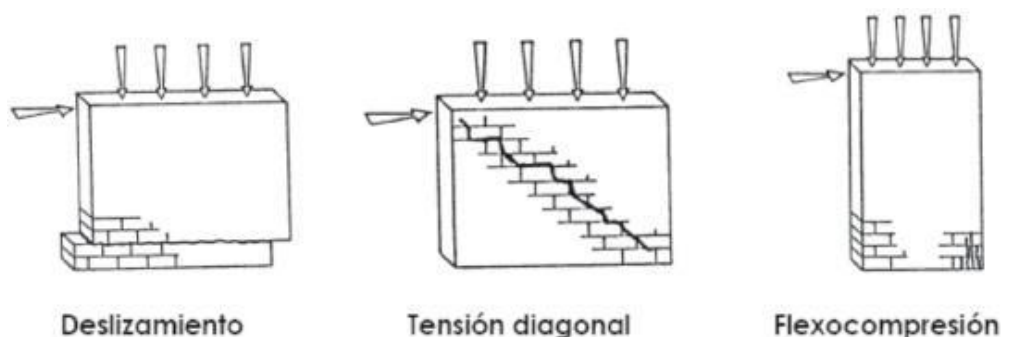


Figura 2.23: Posibles modos de falla en un muro de mampostería

Fuente: *Alternativa Estructural de Refuerzo Horizontal en Muros de Mampostería. "Muros de Contención", Año 2005.*

2.2.6 Técnicas de ensayos:

2.2.6.1 Ensayo Estático: Ensayo de Carga Lateral

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 (**Figura 2.24**). De esa manera, es preferible no utilizar esta técnica de ensayo, salvo que solo se requiera determinar la resistencia.

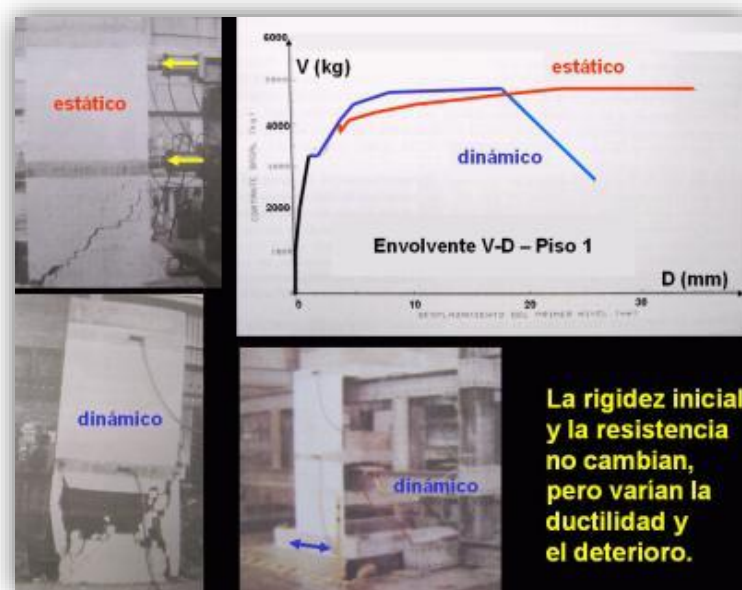


Figura 2.24: Diferencia entre en ensayo monotónico y dinámico

Fuente: *Reparación y Reforzamiento de las Construcciones de Albañilería. "Ángel San Bartolomé, Año 2011"*

2.2.6.2 Ensayo Cuasi-estático: Ensayo de Carga Lateral Cíclica

En los ensayos cíclicos o también conocidos como cuasi estáticos, el espécimen se somete a una historia predefinida de desplazamientos o fuerzas. Generalmente se hace a una velocidad lenta en comparación con las velocidades de deformación que se espera durante un terremoto.

Para materiales convencionales como, por ejemplo: acero, concreto o albañilería, el hecho de realizar la prueba a baja velocidad no cambia considerablemente los resultados y, a cambio, permite obtener mejor calidad en el control de la historia impuesta, así como en las mediciones.

Estos ensayos se utilizan para caracterizar el comportamiento del espécimen frente a determinadas historias de deformación o esfuerzo.



Figura 2.25: Ensayo de carga lateral cíclica en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP

Fuente: *Reparación y Reforzamiento de las Construcciones de Albañilería. "Ángel San Bartolomé, Año 2011"*

- **Procedimiento de Carga Cíclica según FEMA 4.61**

Este procedimiento de ensayo a carga lateral cíclica, abarca el comportamiento elástico e inelástico del espécimen, con un número de ciclos que permite que la curva de carga y descarga versus desplazamiento lateral superior muestre un lazo histerético estable. A partir de la envolvente de los lazos histeréticos, se grafica la curva de carga versus desplazamiento, en la cual se puede identificar el punto correspondiente a uno de los siguientes estados: Fisura por tracción, rotura diagonal, límite de reparación y falla final.

Para la realización del ensayo de carga lateral cíclica se prefijan determinados valores de desplazamiento lateral (**Ver Figura 2.26**), 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. De aquí en adelante, este envolvente promedio es la que se utiliza para comparar los efectos de un parámetro sobre el comportamiento sísmico-experimental de los muros.

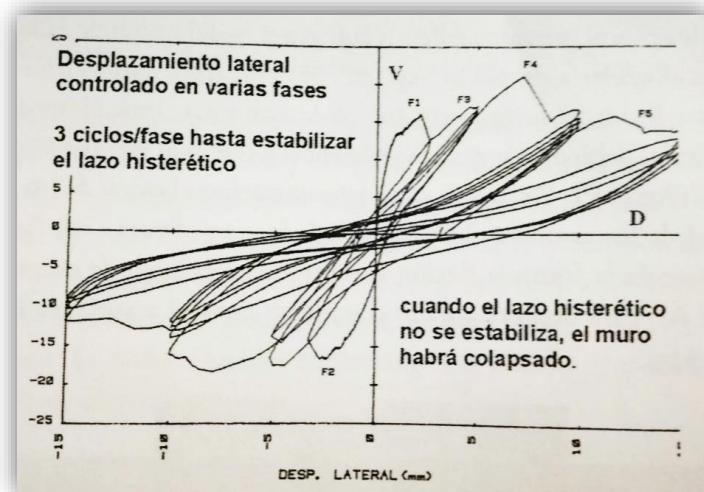


Figura 2.26: Desplazamiento lateral controlado en varias fases

Fuente: *Reparación y Reforzamiento de las Construcciones de Albañilería. "Ángel San Bartolomé, Año 2011."*

En general, los muros armados y confinados presentan lazos histeréticos V-D 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.

A. Fisura de tracción por flexión

La primera fisura se forma en la base de los muros (**ver Figura 2.27**) 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 1 kg/cm², mientras que para la albañilería simple es 5kg/cm². 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/cm²).

Por tanto, el comportamiento elástico de los muros confinados supera al de los armados. La carga asociada a esta fisura puede predecirse aplicando la fórmula flexión compuesta en la fibra de mayor tracción ($a = My/I - P/A$), para después igualar el esfuerzo normal actuante a las resistencias unitarias indicadas.

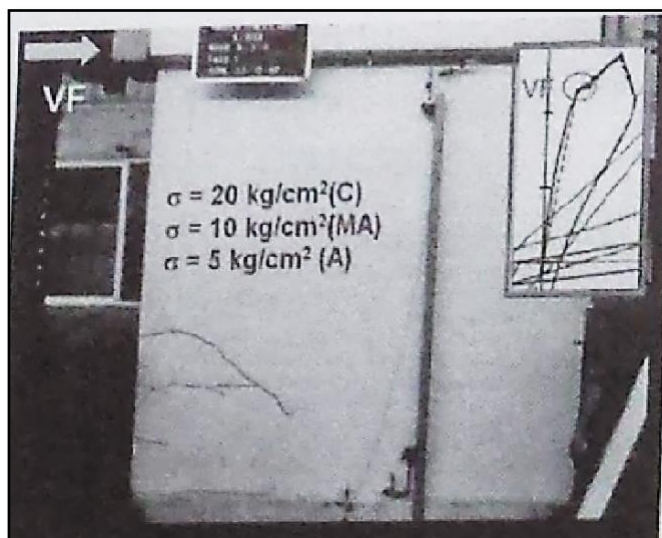


Figura 2.27: Punto "F"

Fuente: Reparación y Reforzamiento de las Construcciones de Albañilería. "Ángel San Bartolomé", Año 2011.

B. ROTURA DIAGONAL

Al incrementar la carga lateral, el muro se agrieta diagonalmente (punto «R» en la **Figura 2.28**, 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.

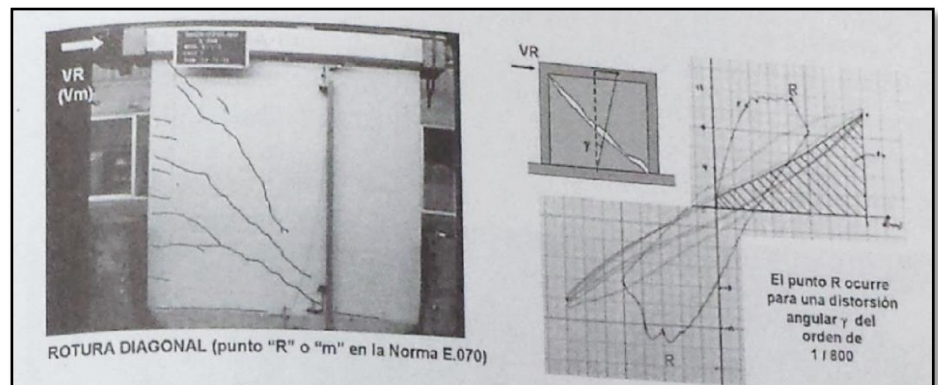


Figura 2.28: Punto “R” o “m”.

Fuente: “Ángel San Bartolomé”, Año 2011.

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 (**ver Figura 2.29**). Este límite es el especificado como la deriva máxima inelástica por la Norma Sísmica E.030 para las edificaciones de albañilería reforzada.

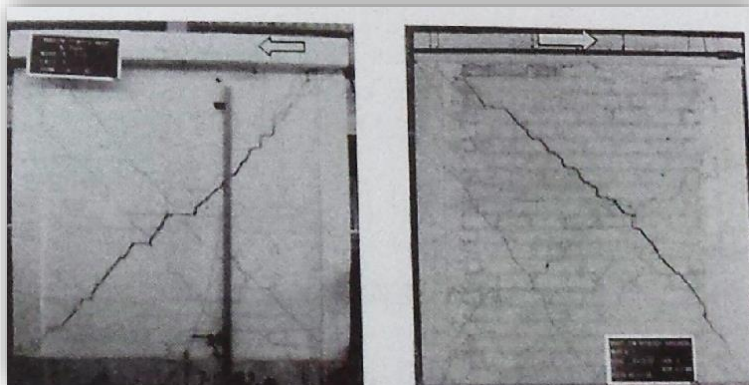


Figura 2.29: Límite de reparación

Fuente: “Ángel San Bartolomé”, Año 2011.

Sin embargo, ante desplazamientos laterales por encima del límite de reparación (**Figura 2.30**) 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.



Figura 2.30: Falla final

Fuente: “Ángel San Bartolomé”, Año 2011.

2.2.7 Derivada Máxima:

2.2.7.1 Deriva Máxima según la Norma NTP E.030 y E0.70 2016

El “sismo moderado” o de servicio, es aquél que no origina el agrietamiento diagonal de los muros portantes hechos de albañilería. El hecho de suponer que este sismo origina fuerzas de inercia iguales a la mitad del “sismo severo” (“V” en la Norma

E.030), equivale a emplear $R = 6$ en un análisis elástico cuando la estructura está sometida al “sismo moderado”.

Para efectos de esta Norma E.070, en una edificación de albañilería ubicada sobre suelo duro en la zona sísmica 3, por ejemplo, se ha considerado que el límite entre el sismo moderado y el severo corresponde a un sismo con aceleración máxima igual a $0.2g$, luego la severidad de este u otro sismo puede incrementarse hasta alcanzar una aceleración máxima de $0.4g$ (Norma E.030), en esta etapa **(Ver Figura 2.31)** la estructura incurre en el rango inelástico alcanzando derivas de hasta 0.005 en los entresijos, que corresponde al límite de reparación de la albañilería.

Para el caso de suelos de menor calidad, las aceleraciones indicadas se multiplican por el factor “S” especificado en la Norma E.030.

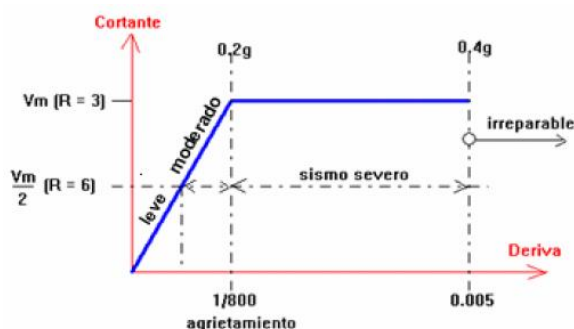


Figura 2.31: Sismo severo para el caso de suelo duro

Fuente: “Ángel San Bartolomé”, Año 2005.

La Norma NTP E.070, establece que el diseño de los muros cubra todo su rango de comportamiento, desde la etapa elástica hasta su probable incursión en el rango inelástico, proveyendo suficiente ductilidad y control de la degradación de resistencia y rigidez. El diseño es por el método de resistencia, con criterios de desempeño. El diseño está orientado, en consecuencia, a proteger a la estructura contra daños ante eventos sísmicos frecuentes (sismo moderado) y a proveer la necesaria resistencia para soportar el sismo severo, conduciendo el tipo de falla y limitando la degradación de resistencia y rigidez con el propósito de limitar el

nivel de daños en los muros, de manera que éstos sean económicamente reparables mediante procedimientos sencillos.

Los objetivos de la Norma E.070 son fundamentalmente dos:

- 1) Que ante la acción de sismos moderados la estructura se comporte en el rango elástico.
- 2) Que ante la acción de sismos severos la estructura quede en estado económicamente reparable.

Estos objetivos se logran bajo dos condiciones:

- 1) Diseñando a los elementos de refuerzo de tal modo que puedan soportar la carga que inició la falla de los muros (V_m), para que no exista degradación de resistencia durante el sismo severo;
- 2) Proveyendo la suficiente resistencia y rigidez al edificio, a través de los muros ($\Sigma V_m = V$), de tal forma que permitan que la estructura se comporte elásticamente ante los sismos moderados, y sin sobrepasar su **límite de reparación** (fijado en una deriva de 0.005) cuando actúa el sismo severo.

La deriva máxima de 0.005 (desplazamiento inelástico dividido entre la altura del piso), proviene de múltiples experimentos hechos con ladrillos y bloques nacionales y está normado por la NTE E.030 del 2016, la cual establece los límites de la deriva de entrepiso. Como podemos ver estos límites dependen del material predominante de la estructura, de su importancia o uso y de su periodo fundamental o altura.

Tabla N°13: Límite de desplazamiento lateral de entrepiso

LÍMITES PARA DESPLAZAMIENTO LATERAL DE ENTREPISO	
Estos límites no son aplicables a naves industriales	
Material Predominante	(D_i / h_e)
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

Dentro de los considerandos de los propósitos de la Norma E.70, se establece que el límite máximo de la distorsión angular ante la acción del "sismo severo" se fija en 1/200, para permitir que el muro sea reparable pasado el evento sísmico.

En el cual experimentalmente se ha podido observar que cuando se aplica a los muros distorsiones angulares mayores que 0.005 (1/200), se pierde la última línea resistente de los muros (armados o confinado), que por lo general son los talones. Una vez que se trituran los talones (**ver Figura 2.32**), el refuerzo vertical padece y la resistencia sísmica degrada notablemente.



Figura 2.32: Talón triturado de un muro confinado (izquierda) y de un muro armado (derecha)

Fuente: "Ángel San Bartolomé", Año 2005.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

A continuación, se hace una breve descripción de los conceptos básicos y requisitos mínimos normativos. Toda esta información fue extraída de la norma técnica de edificaciones E.070 (NTE E.070) del año 2006.

Como interrogante principal formulamos lo siguiente:

- **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:** Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular.
- **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.
- **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.
- **Columna:** Elemento de concreto armado diseñado y construido con el propósito de transmitir cargas horizontales y verticales a la cimentación. La columna puede funcionar simultáneamente como arriostre o como confinamiento.
- **Confinamiento:** Conjunto de elementos de concreto armado, horizontales y verticales, cuya función es la de proveer ductilidad a un muro portante.
- **Construcciones de Albañilería:** Edificaciones cuya estructura está constituida predominante por muros portantes de albañilería.
- **Mortero:** Material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería.

Capítulo 3:

MARCO METODOLÓGICO

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación:

Por el Tipo de investigación es explicativo, ya que se describirá y presentará resultados del comportamiento sísmico del muro MBAT-04.

Por el Diseño de la investigación es de laboratorio, ya que realizaremos nuestro ensayo experimental en el laboratorio de estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones sísmicas y Mitigación de desastres CISMID, de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.2 Población y/o muestra de estudio:

- ✓ **Población:** Se entiende como población a la totalidad de individuos a quienes se generalizarán los resultados de estudio, que se encuentran delimitados por características comunes y que son precisados en el espacio y tiempo. En nuestro estudio pretendemos conocer el comportamiento sísmico de un muro construido con la unidad de albañilería Blocker II, el cual representa a las construcciones informales de la ciudad de Tacna.
- ✓ **Muestra:** Blocker II, Ladrillera Martorell

3.3 Operacionalización de variables:

3.3.1 Variable Dependiente:

ENSAYO DE CARGA CICLICA

- **Indicadores**
 - Fuerzas
 - Desplazamientos
- **Escala de Medición**
 - La fuerza se medirá en “Tn”
 - El desplazamiento se medirá en “mm”

3.3.2 Variable Independiente:

MURO A ESCALA NATURAL CON LADRILLO BLOCKER II – ESPECIMEN MBAT-04

- **Indicadores**
 - Especímenes

- **Escala de Medición**
 - N° de especímenes

3.4 Técnicas e instrumentación para la recolección de datos:

3.4.1 Descripción del muro:

La construcción del muro de albañilería confinada se realizó con unidades denominadas Blocker II, ladrillo predominante en la ciudad de Tacna, a escala natural.

El pre dimensionamiento de los elementos estructurales fue diseñado para uso netamente experimental y así poder ejecutar el ensayo, teniendo así columnas y vigas de confinamiento con las dimensiones y cuantías de acero mínimas establecidas en la NTE E0.70 (Albañilería) del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Los materiales utilizados son propios de la ciudad de Tacna, los cuales fueron llevados hasta el Laboratorio de Estructuras del CISMID (Lima), para la construcción y ensayo del muro. Las dimensiones del muro se muestran en la **Figura 3.1**.

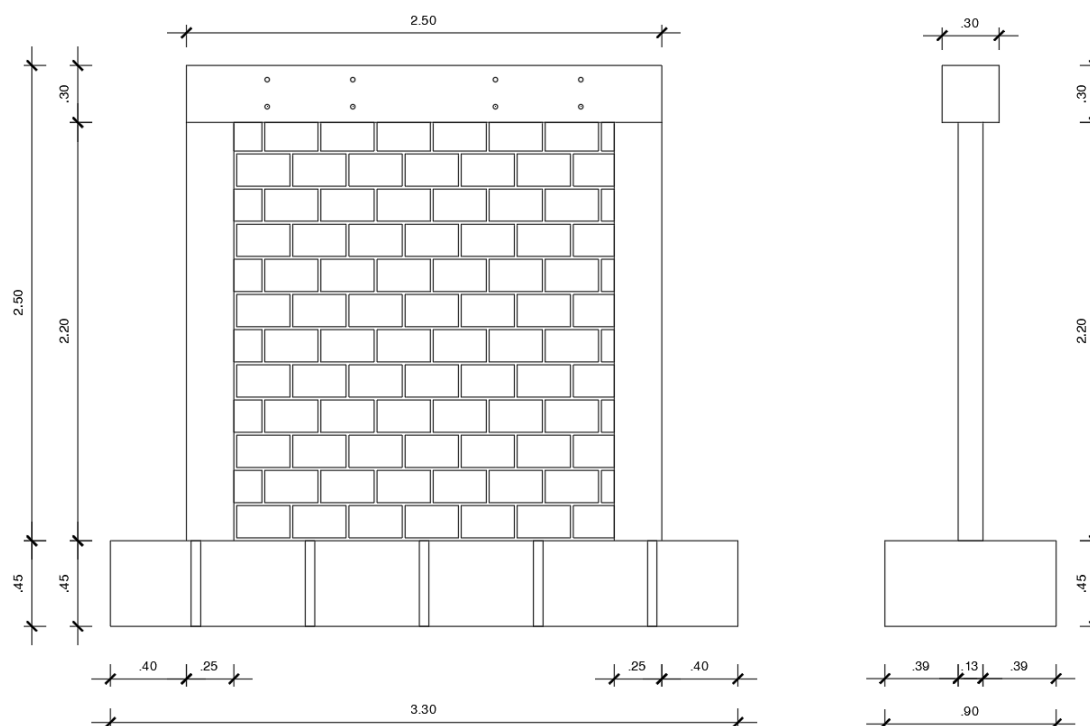


Figura 3.1: Dimensiones del muro. Unidades: m

Fuente: Dr Carlos Zavala, Dr. Miguel Díaz, Mag. Erika Nora, Agosto 2017.

3.4.2 Características del muro:

- Muro portante de albañilería confinada de 2.50 m de altura, 2.50 m de longitud y 0.13 m de espesor.
- La base del muro (Viga de Cimentación) es de 3.30 m de largo, 0.90 m de ancho y 0.45 m de altura.
- La distribución de acero:
 - ✓ Viga de cimentación: Acero longitudinal 12 \emptyset $\frac{1}{2}$ ", Estribos de $\frac{1}{2}$ ", cada 0.20.
 - ✓ Columna: 4 \emptyset $\frac{1}{2}$ ", Estribos de $\frac{1}{4}$ ", 1@0.05, 4@0.10, R@0.20
 - ✓ Viga Solera: 4 \emptyset $\frac{3}{8}$ ", Estribos de $\frac{1}{4}$ ", 1@0.05, 4@0.10, R@0.20
- Materiales empleados:
 - ✓ Ladrillo Blocker II
 - ✓ Cemento Yura Tipo IP
 - ✓ Arena gruesa
 - ✓ Piedra chancada
 - ✓ Confitillo de $\frac{1}{4}$ "

- ✓ Acero de \varnothing 1/2", 3/8", 1/4" y alambre N°8
- ✓ Madera para encofrado
- ✓ Clavos
- ✓ Tubo de PVC 2"
- ✓ Agua
- Herramientas:
 - ✓ Escantillón, plomada, cordel, nivel, 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, solaqueadas.
- 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.

3.4.3 Proceso Constructivo:

- **CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN**

Los trabajos se iniciaron con la habilitación del acero de la viga de cimentación, la cual se colocó sobre una base de triplay, en la cual se puso plástico para que no se adhiera al mismo. El encofrado se realizó simultáneamente con la habilitación del acero. Se colocó diez pases de PVC y 4 sujetadores para que, al término de la construcción del muro, éste se pueda anclar al suelo y el equipo de izaje pueda movilizarlo a la zona de ensayo. Luego se colocó las columnas y se anclaron para poder realizar el vaciado.

La mezcla de concreto se preparó con un trompo de 7 pie³ y se usó una vibradora de 2". A continuación, se muestran las fotografías relacionadas al proceso constructivo de la viga de cimentación del espécimen MBAT-04.



Figura 3.2: Habilitación de acero para viga de cimentación



Figura 3.3: Habilitación del acero para columnas



Figura 3.4: Encofrado de la viga de cimentación



Figura 3.5: Colocado del acero dentro del encofrado y los 10 tubos de PVC de 2"



Figura 3.6: Colocado de columnas y 4 anclajes para el posterior traslado del muro a la zona de ensayo



Figura 3.7: Preparado de mezcla



Figura 3.8: Vaciado y uso de la vibradora

- **CONSTRUCCIÓN DEL MURO**

Los ladrillos de arcilla se regaron 30 min el día anterior al asentado. El asentado del muro se realizó con el humedecimiento de la base y colocación de mortero. Se verificó la verticalidad con la plomada y la horizontalidad con el nivel de mano y cordel. Para el arriostre con la columna, se dejó el dentado correspondiente.



Figura 3.9: Asentado de muro, uso de plomada, nivel de mano y cordel



Figura 3.10: Dentado del muro



Figura 3.11: Culminación del asentado de muro

- **CONSTRUCCIÓN DE LAS COLUMNAS**

Terminada la construcción de la albañilería se procedió a emplantillar en la viga de cimentación las dimensiones de las columnas para el encofrado correspondiente. Con la finalidad de que la dosificación del concreto ($f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$), sea una mezcla trabajable y evite las cangrejeras se utilizó confitillo de $\frac{1}{4}$ ". El vaciado se hizo hasta la zona inferior a la viga. Se desencofro 24 horas después y se realizó el curado.



Figura 3.12: Encofrado de columna



Figura 3.13: Probetas para determinar el f_c



Figura 3.14: Vaciado de columnas y uso de vibradora



Figura 3.15: Desencofrado de la columna y curado del mismo

- **CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA SOLERA**

Se procedió a encofrar el fondo de viga que sobresale del muro, colocando puntales, posteriormente se montó el acero sobre los ladrillos, dejando una separación de 2cm, el cuál es un recubrimiento apropiado para el acero. Luego se verificó el espaciamiento entre estribos y se colocó dos estribos adicionales en los nudos, amarrados al refuerzo vertical de las columnas.

La dosificación del concreto fue la misma que se utilizó para las columnas de confinamiento y se realizó la medición del slump antes de vaciar la viga.

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



Figura 3.16: Encofrado de fondo de viga solera



Figura 3.17: Montaje de acero de viga solera, encofrado de los lados



Figura 3.18: Una vez vaciada y curada la viga solera se procedió al solaqueo de la misma



Figura 3.19: Solaqueo de columnas



Figura 3.20: Vista final del muro

3.5 Procesamiento y análisis de datos:

Para cumplir con nuestros objetivos, se realizó el ensayo estático cíclico. A continuación, describiremos la metodología del ensayo, así como los protocolos de desplazamiento.

- **DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

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, frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo.

- **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, como se muestra en el **Gráfico N°55** 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.

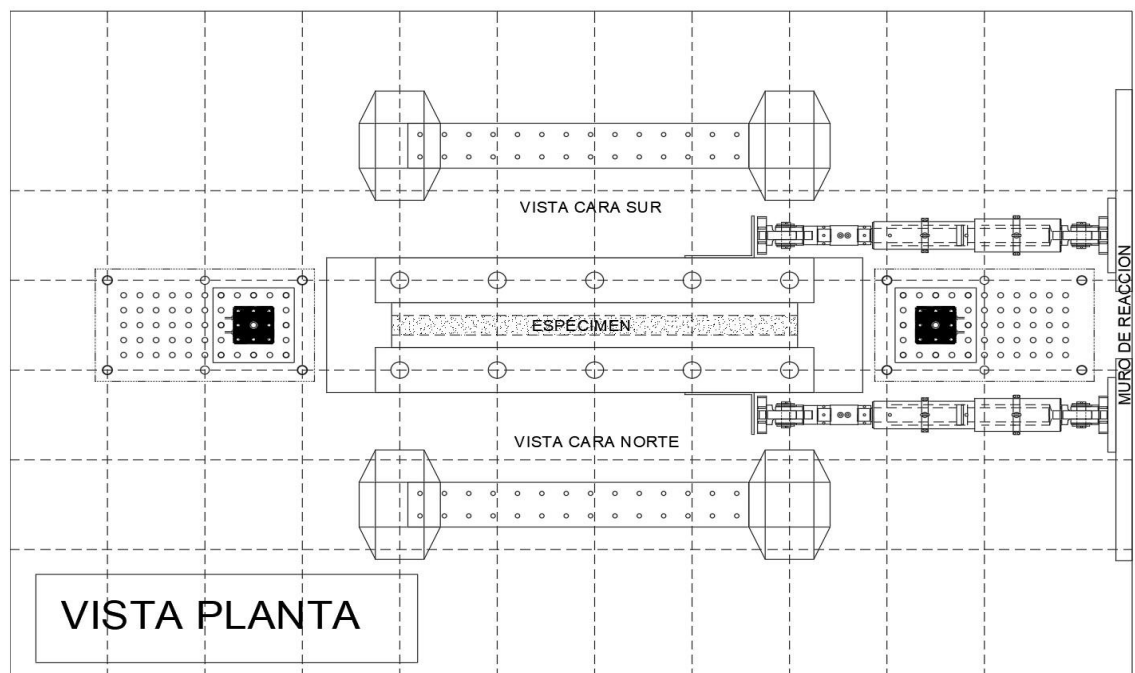


Figura 3.21: Vista en planta del aparato de carga

Fuente: Zavala, C, Días, M, Escalante. Año 2016.

- **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 +/- 250mm. 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 100 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 **Figura 3.22**.

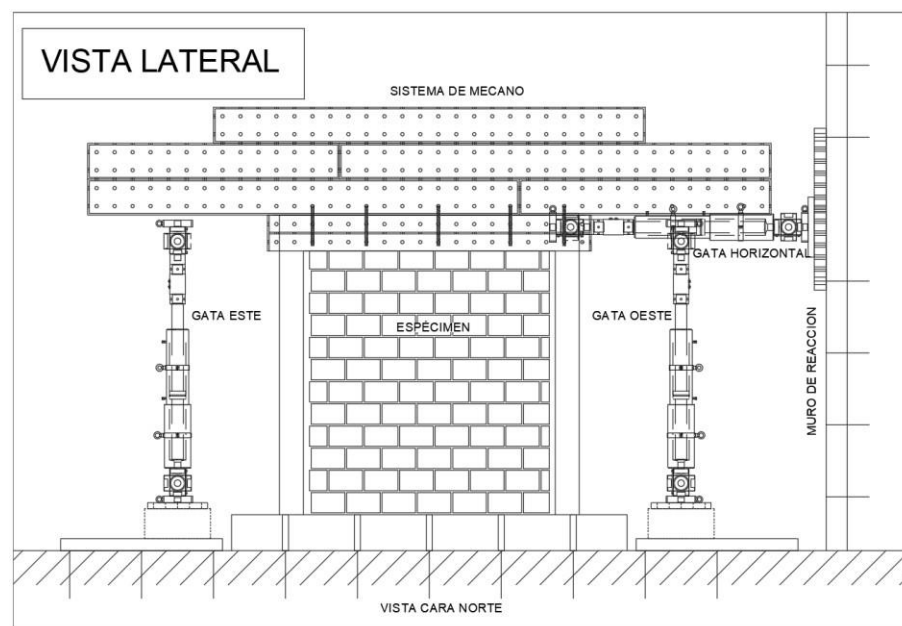


Figura 3.22: Esquema de la configuración del ensayo cíclico.

Fuente: Zavala, C, Días, M, Escalante. Año 2016.

- **SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

La instrumentación consta de 22 canales para la adquisición de los datos. La **Figura 3.23** muestra la instrumentación del espécimen. Los canales CH-00 y CH-01 corresponden a las celdas de carga de las gatas hidráulicas horizontales, 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) como se muestra en la **Figura 3.24**.

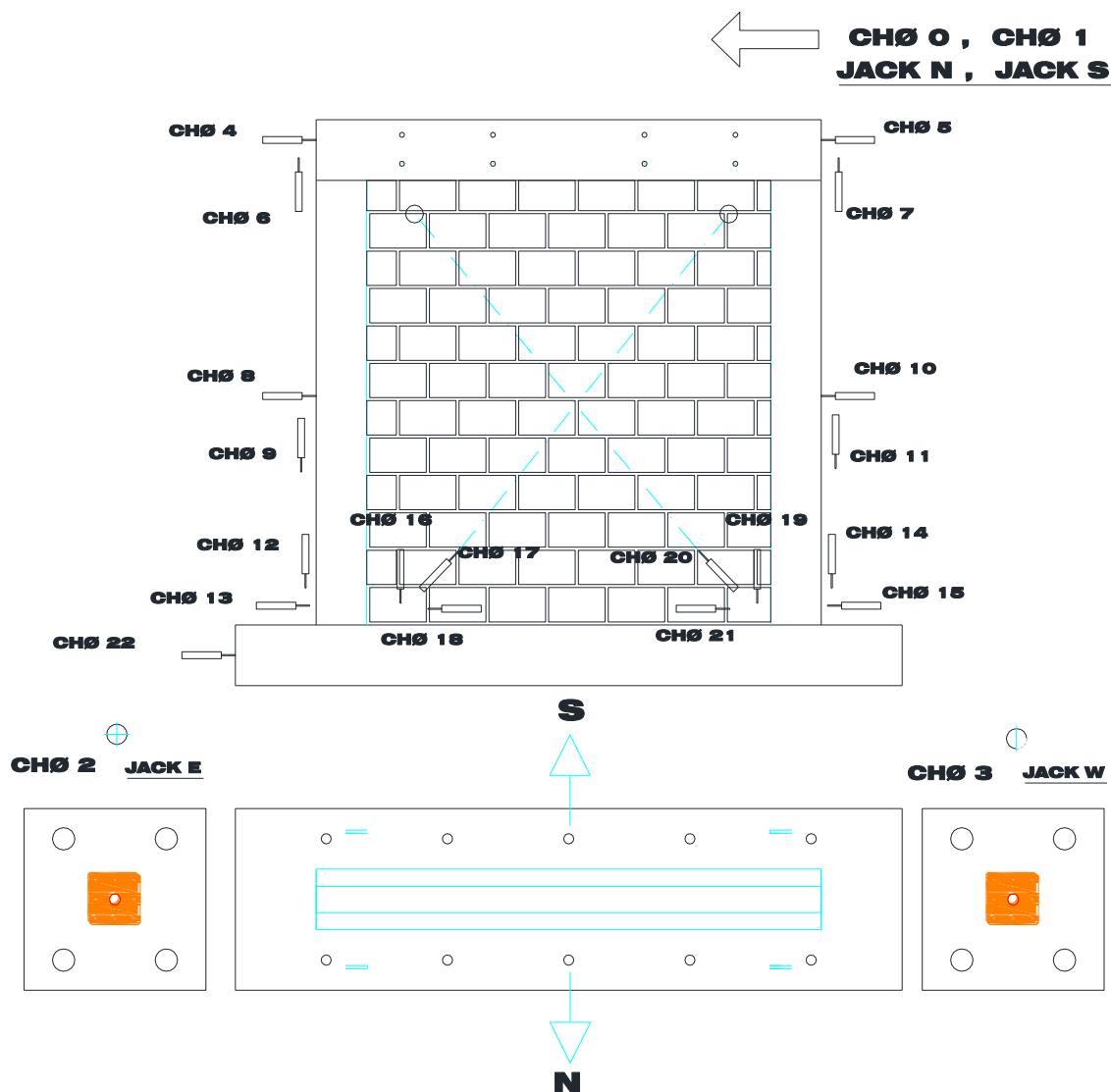


Figura 3.23: Sistema de adquisición.

Fuente: Zavala, C, Días, M, Escalante. Año 2016.

- **PROTOCOLO DE DESPLAZAMIENTOS**

La carga horizontal es aplicada mediante un control de desplazamiento del monitor acorde al protocolo de desplazamiento, mostrada en la **Figura 3.24** que representa el protocolo de desplazamiento objetivo durante el ensayo.

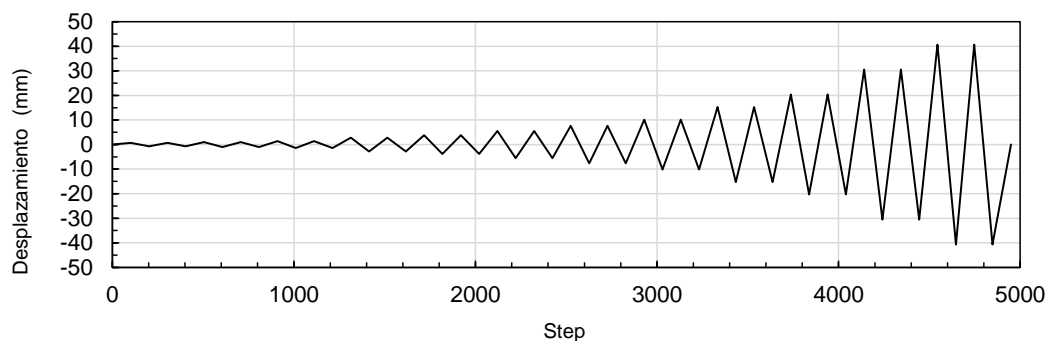


Figura 3.24: Protocolo de desplazamiento objetivo

Fuente: Zavala, C, Días, M, Escalante. Año 2016.

La siguiente tabla 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 N°14: 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	1/1100	1/800	1/550	1/400	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75

Fuente: Zavala, C, Días, M, Escalante. Año 2016.

Capítulo 4: RESULTADOS

RESULTADOS

En el Perú existen limitadas o pocas investigaciones referidas a ensayos experimentales en muros de albañilería confinada con BLOCKER II, dicho tema es de suma importancia en la zona sur de nuestro país puesto que es donde el uso de esta unidad de albañilería se ha propagado sin conocer a ciencia cierta el comportamiento y características de los muros que se construyen día a día con este elemento, dejando casi al azar la solidez con la que resultan estas estructuras después de un sismo.

El ensayo se realizó en el laboratorio de estructuras del centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima.

4.1 COMPORTAMIENTO SISMICO DE LOS MUROS

A continuación, se presenta el comportamiento sísmico del muro de acuerdo a la distorsión objetivo para el control del desplazamiento, mostrado en la **Figura 3.24**. Asimismo, se describe las fallas presentadas.

DISTORSIÓN 1/4200



Figura 4.1

Fuente: Fuente Propia, 2017.



Figura 4.2

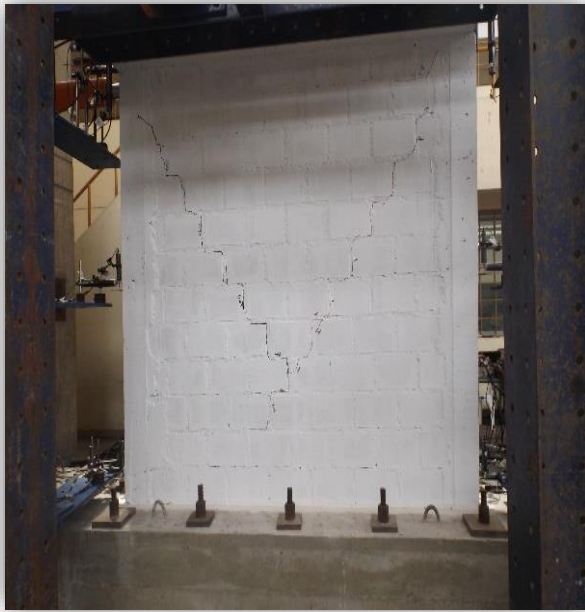
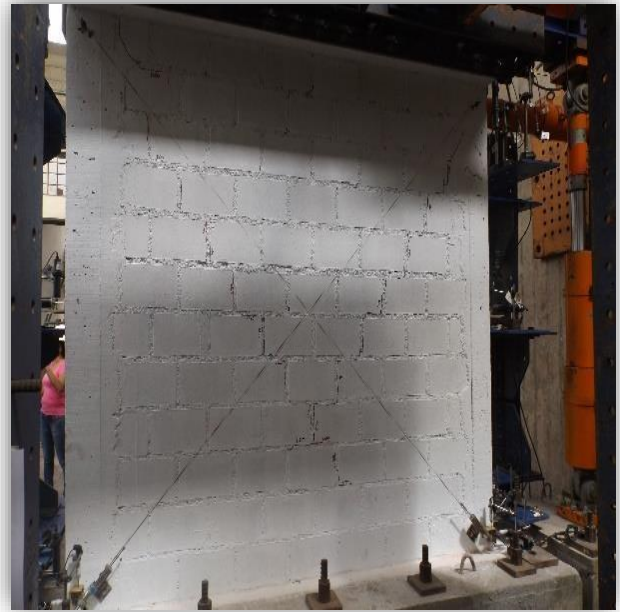
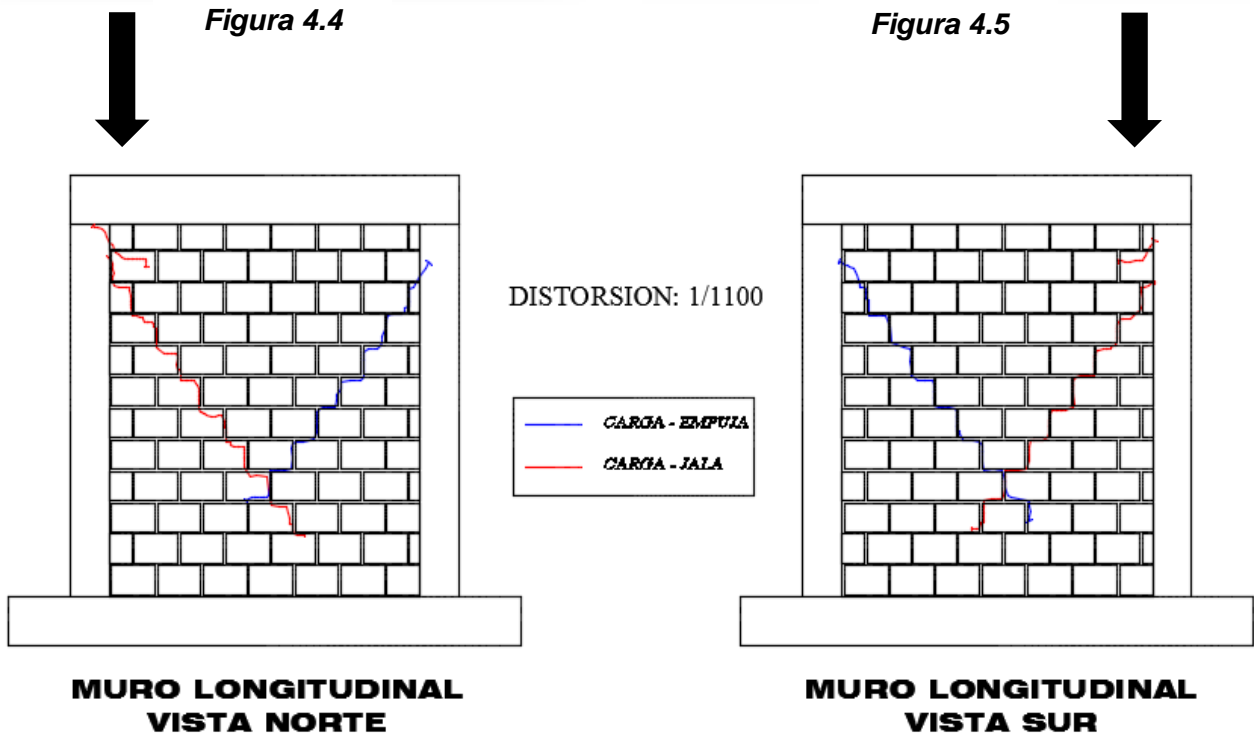
Fuente: Fuente Propia, 2017.



Figura 4.3

Fuente: Fuente Propia, 2017.

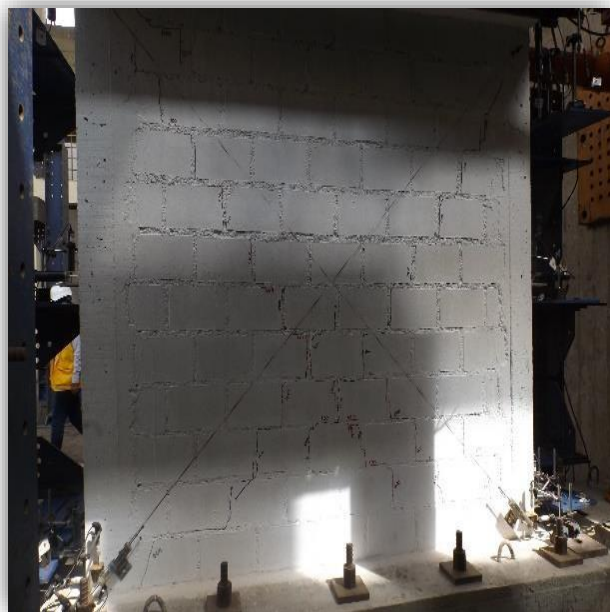
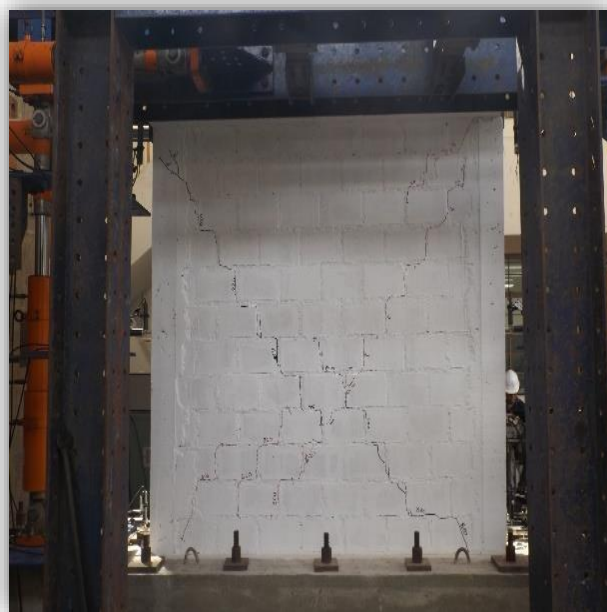
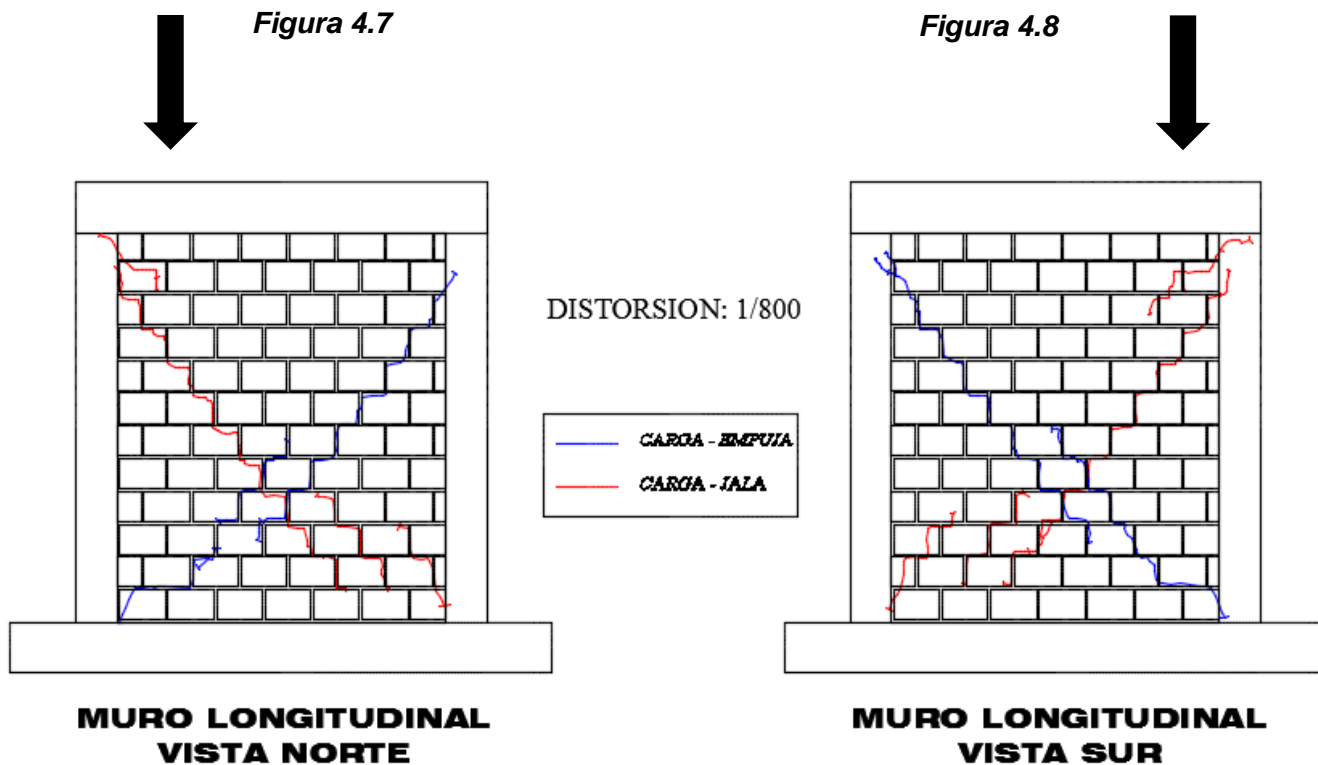
Figura 4.1, 4.2 y 4.3: Se dio inicio al ensayo con la primera distorsión, se presenta las primeras fisuras por tracción en los elementos de confinamientos verticales, se procede al monitoreo y marcado de las fisuras.

DISTORSIÓN 1/1100**Figura 4.4****Figura 4.5****Figura 4.6**

Fuente: Fuente Propia, 2017.

Figura 4.4, 4.5: Se procedió a la segunda distorsión objetivo de 1/1100 del ensayo donde se pudo apreciar las primeras grietas diagonales en el muro.

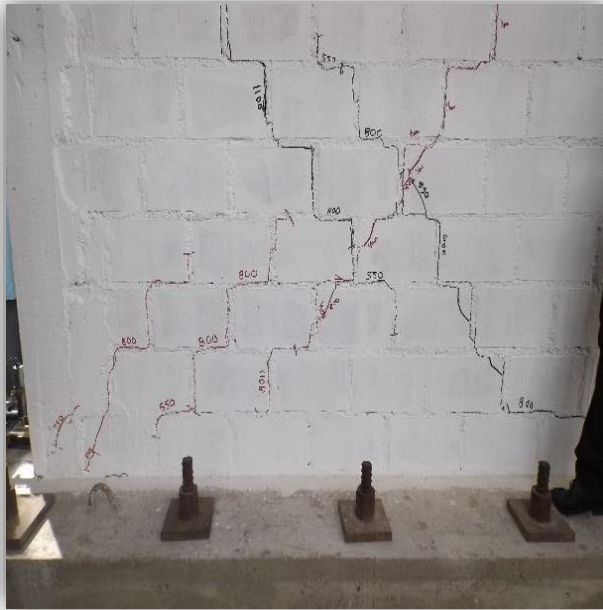
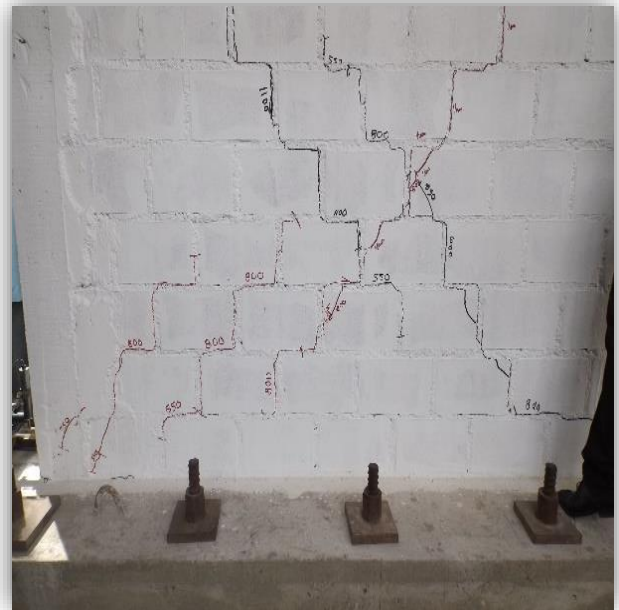
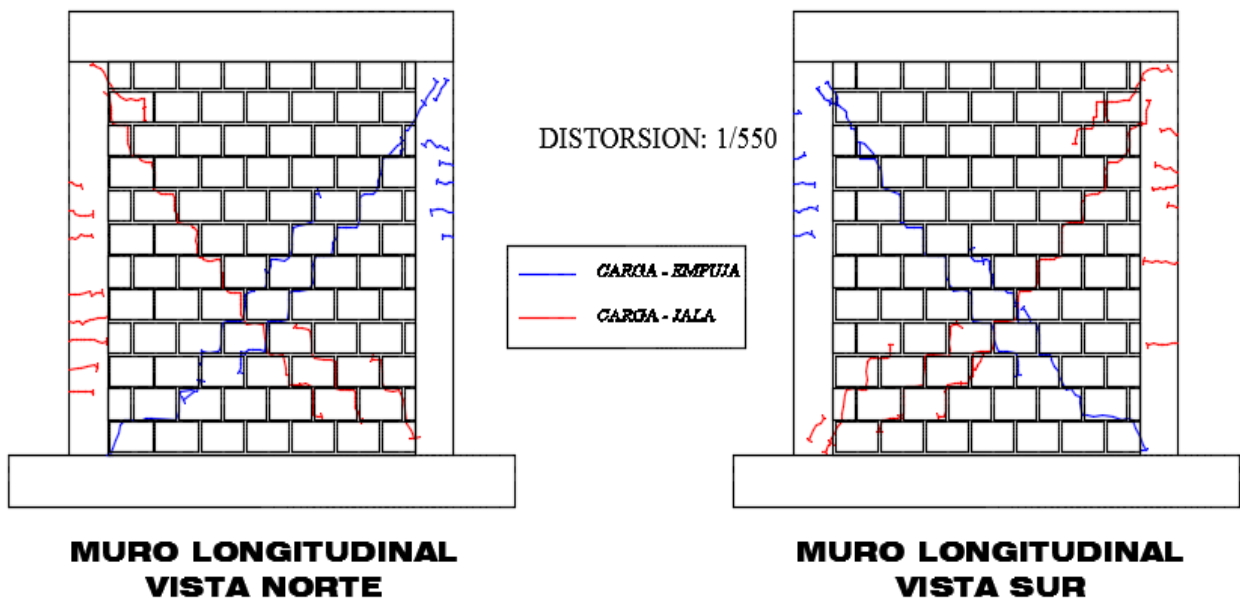
Figura 4.6: Mapeo de fisuras en muros y elementos de confinamiento cuando se aplica la carga y descarga.

DISTORSIÓN 1/800**Figura 4.7****Figura 4.8****Figura 4.9**

Fuente: Fuente Propia, 2017.

Figura 4.7, 4.8: Se procedió a la tercera distorsión objetivo de 1/800 del ensayo donde se pudo ver la aparición de nuevas grietas diagonales en la parte inferior oeste y superior este en el mortero.

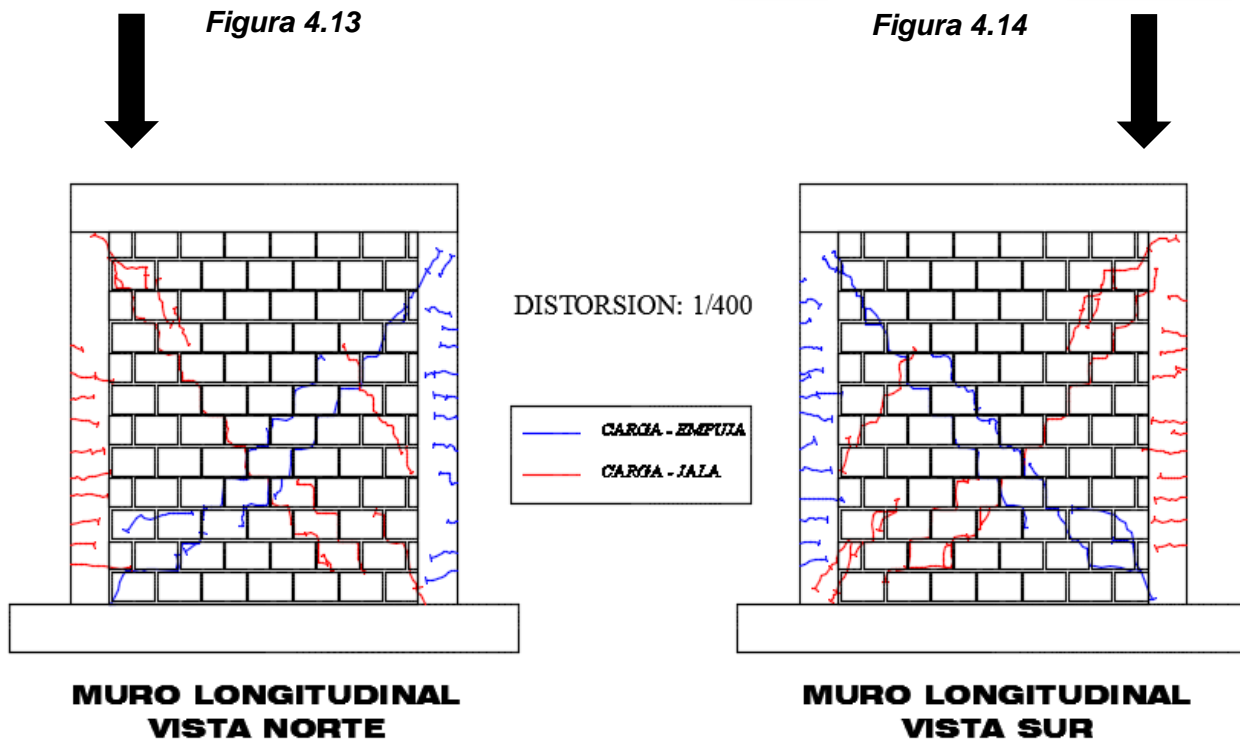
Figura 4.9: Mapeo de las fisuras presentes. En esta distorsión se puede observar que se empieza a ver el agrietamiento por lo cual se está dando el ESTADO LÍMITE OPERACIONAL O ELO.

DISTORSIÓN 1/550**Figura 4.10****Figura 4.11****Figura 4.12**

Fuente: Fuente Propia, 2017.

Figura 4.10, 4.11: Se procedió a la cuarta distorsión objetivo de 1/550 del ensayo donde se pudo apreciar grietas diagonales en el muro y también la aparición de grietas por flexión en la parte media e inferior de la columna.

Figura 4.12: Mapeo de las fisuras presentes. En esta distorsión se puede observar que se empieza a ver el agrietamiento horizontal en las columnetas de confinamiento.

DISTORSIÓN 1/400**Figura 4.13****Figura 4.14****Figura 4.15**

Fuente: Fuente Propia, 2017.

Figura 4.13, 4.14: Se procedió a la quinta distorsión objetivo de 1/400 del ensayo donde se presentó el espesor de grieta de 1.7mm (Cara Norte), grietas por flexión en la parte media e inferior de la columna y también la aparición de grietas por flexión en la parte central e inferior de la columna.

Figura 4.15: Mapeo de las fisuras presentes.



Figura 4.16



Figura 4.17

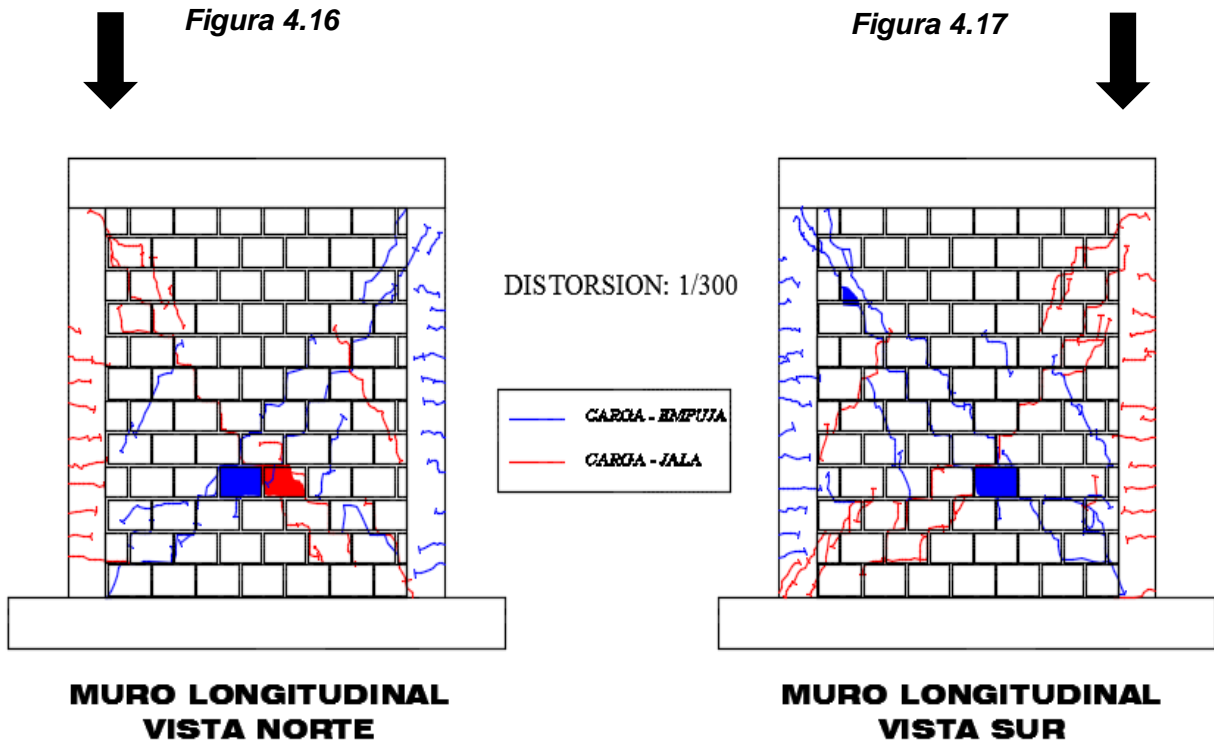


Figura 4.18

Fuente: Fuente Propia, 2017.

Figura 4.16, 4.17: Se procedió a la sexta distorsión objetivo de 1/300 del ensayo donde se comienza a separarse un ladrillo en la parte central de la cara norte en el 1º ciclo; también se aprecia la aparición de pequeñas grietas (en su mayoría continuación de grietas diagonales anteriores) en la parte central; también aparición de una grieta diagonal en la esquina superior oeste de la cara sur además ocurre el desprendimiento de una esquina del ladrillo cercano a la grieta y desprendimiento de toda la cara de un ladrillo en la parte central de la cara norte.

Figura 4.18: Mapeo de las fisuras presentes.



Figura 4.19



Figura 4.20

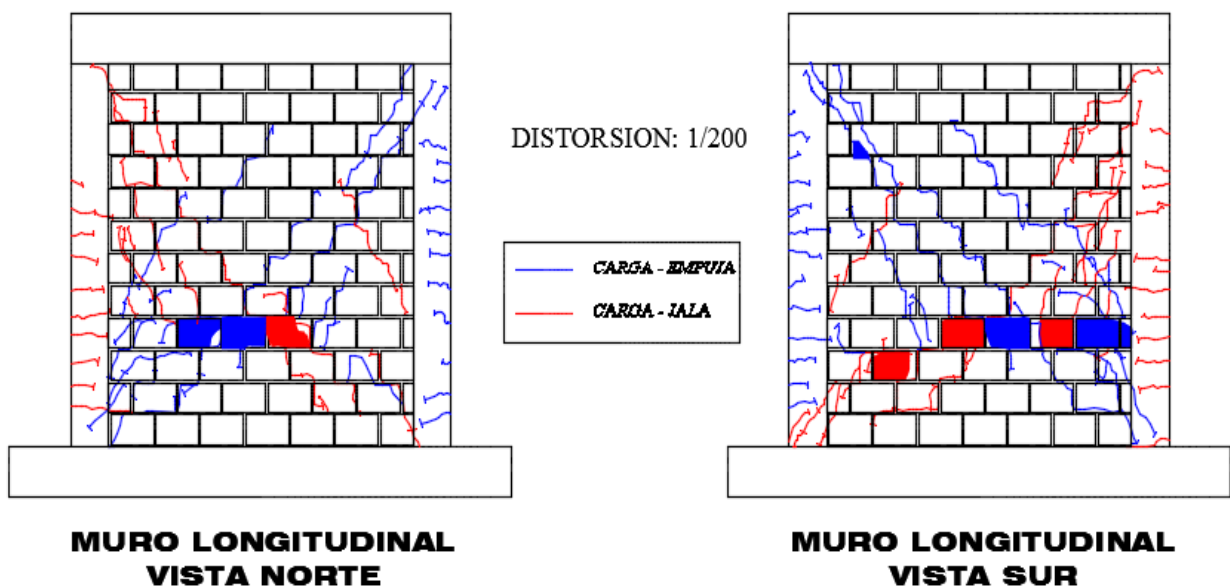


Figura 4.21

Fuente: Fuente Propia, 2017.

Figura 4.19, 4.20: Se procedió a la séptima distorsión objetivo de 1/200 del ensayo donde se presentó agrietamiento pequeño correspondiente a la continuación de grietas diagonales en el lado este de la cara norte y levantamiento de dos ladrillos en la zona central; también se observó el desprendimiento de otra cara de un ladrillo en la zona central este de la cara norte y desprendimiento de caras de ladrillos en la zona central este en la cara sur.

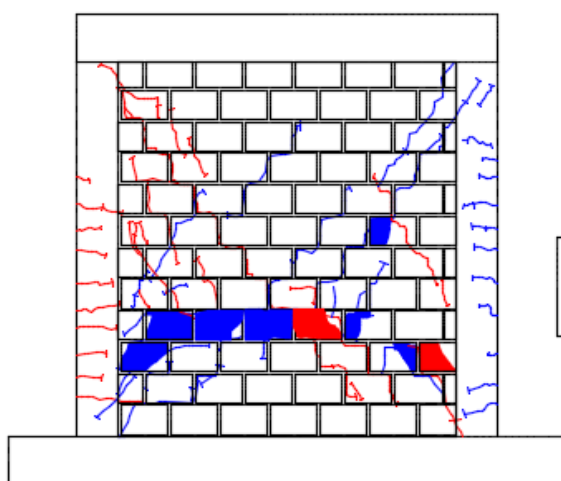
Figura 4.21: Mapeo de las fisuras presentes.



Figura 4.22

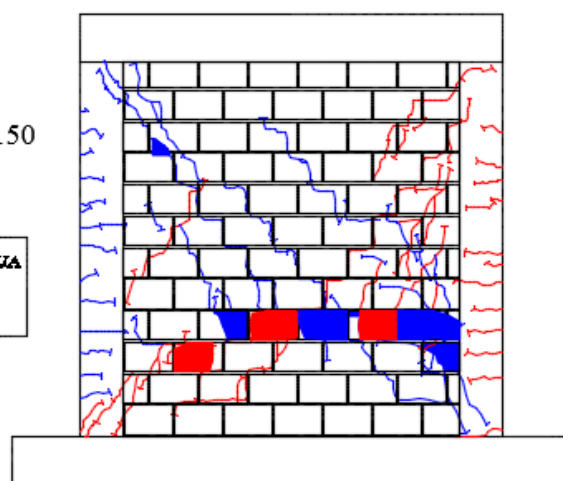


Figura 4.23



**MURO LONGITUDINAL
VISTA NORTE**

DISTORSION: 1/150



**MURO LONGITUDINAL
VISTA SUR**

Figura 4.24

Fuente: Fuente Propia, 2017.

Figura 4.22, 4.23: Se procedió a la última distorsión objetivo de 1/150 del ensayo donde se aprecia el desprendimiento de 2 ladrillos en la parte central de inferior de la cara norte y desprendimiento de un ladrillo en la parte inferior este de la cara sur, también se presentó el deterioro de las unidades de Blocker II.

Figura 4.24: Mapeo de las fisuras presentes.

4.2 CURVA HISTERETICA Y CURVA DE CAPACIDAD

Los resultados principales se obtuvieron a partir de la respuesta de los muros en términos de los desplazamientos y la correspondiente carga aplicada. En base a esta información se grafica las curvas histeréticas y las curvas de comportamiento, la cual es la envolvente tomando los valores máximos en cada ciclo de los especímenes ensayados. Conforme al protocolo de desplazamiento, indicado anteriormente, se llevó a cabo el ensayo estático cíclico. Las **figuras 4.25, 4.26 y 4.27** muestran la relación entre el desplazamiento y la carga aplicada, mediante la curva de histéresis, de los especímenes MBAT-4, respectivamente.

Estado de daño 1: se da con una carga de 90kn y un desplazamiento de 1 mm

Estado de daño 2: se da con una carga de 136.5kn y un desplazamiento de 8 mm

Estado de daño 3: se da con una carga de 102kn y un desplazamiento de 12 mm

Los especímenes MBAT-4 se llevó hasta su condición última (desplazamientos donde la carga sea menor que el 80% de la carga máxima aplicada).

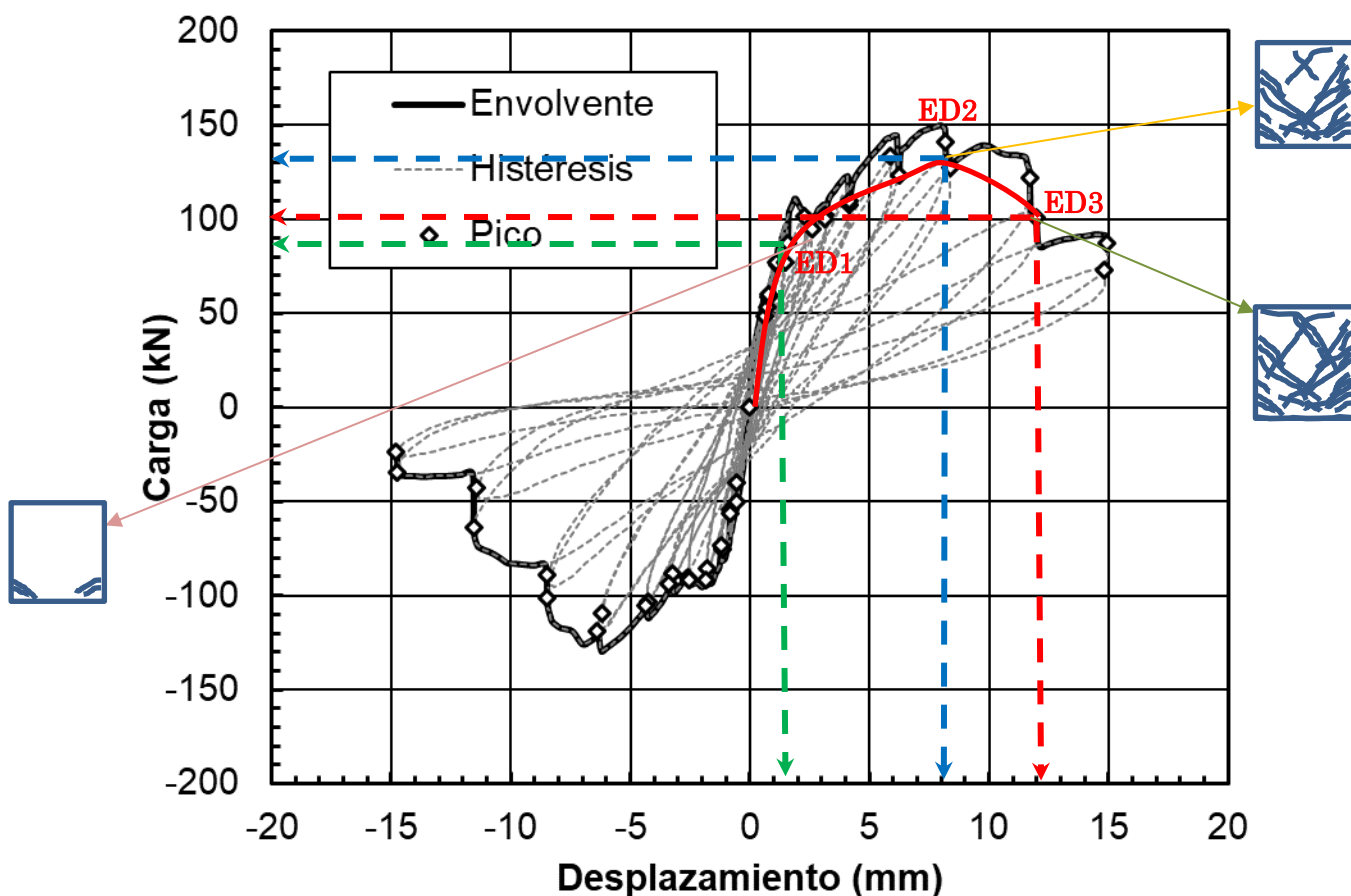


Figura 4.25: Curva histerética del espécimen MBAT-4

Fuente: Fuente Propia, 2017.

CURVA DE CAPACIDAD

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

Tabla N°15: 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	1/1100	1/800	1/550	1/400	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75
Desplazamiento (mm)	0.61	0.81	1.03	2.01	2.70	3.60	7.15	8.00	11.70	14.87		

Las **figuras 4.26 y 4.27**, muestran las curvas de capacidad del elemento muro MBAT-4, que se encuentra expresada en términos de desplazamiento y distorsiones. Donde obtenemos una carga máxima promedio de 136.5 kN con un desplazamiento de 8 mm y distorsión angular de 0.0033 (1/300).

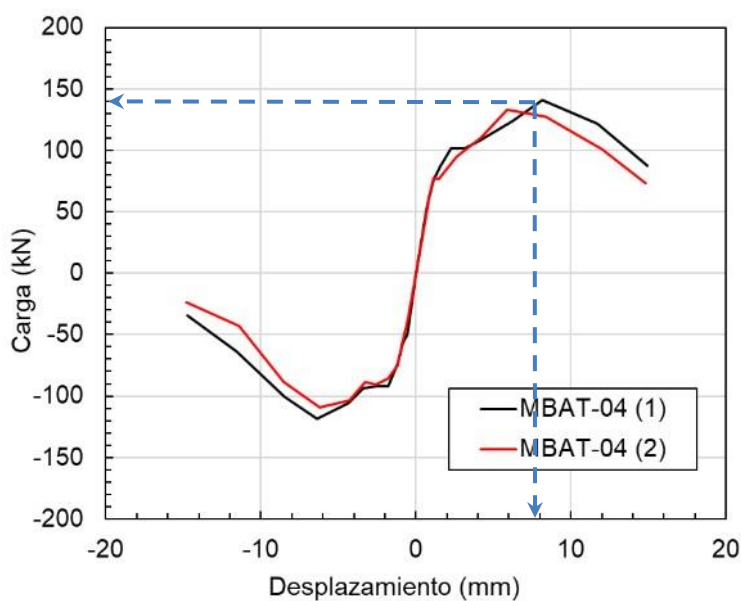


Figura 4.26: Curva de capacidad del espécimen MBAT-4 (Desplazamiento)

Fuente: Fuente Propia, Año 2017.

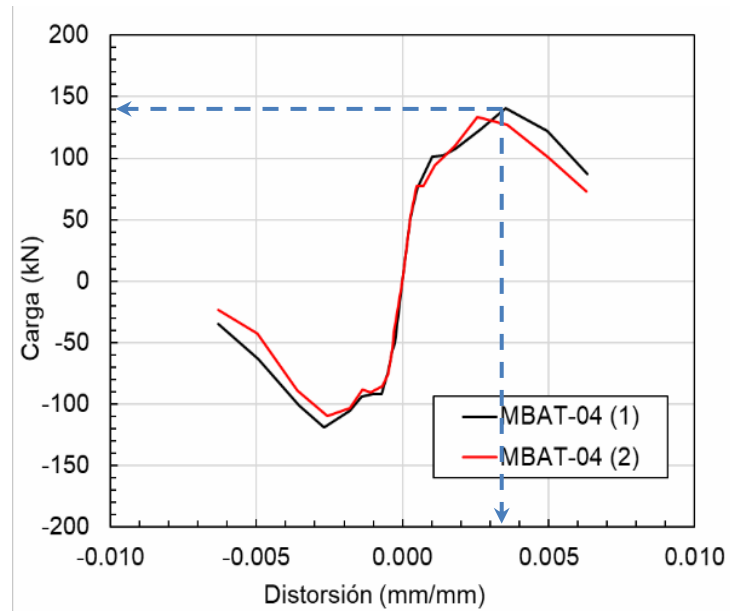


Figura 4.27: Curva de capacidad del espécimen MBAT-4 (Distorsión)
Fuente: Fuente Propia, Año 2017.

Capítulo 5: DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

En este trabajo se había planteado dos hipótesis específicas y una hipótesis general. A continuación, se discutirá las hipótesis planteadas.

Para la Hipótesis Específica 1 se había planteado:

“Las curvas de capacidad o curvas de comportamiento se pueden estimar a partir de la respuesta de los muros en términos de desplazamientos y la correspondiente fuerza aplicada. Asimismo, se pueden identificar diferentes estados de daños, siendo los más principales:

- **Estado de daño 1**, donde se inicia el agrietamiento.
- **Estado de daño 2**, en la resistencia pico.
- **Estado de daño 3**, en la resistencia última.”

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

Efectivamente, después de realizar el ensayo mediante la aplicación de desplazamientos laterales controlados sobre el espécimen muro, siguiendo las recomendaciones FEMA-461 “Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Non Structural Components” y mediante un programa de cómputo se pudo determinar la respuesta del espécimen representada por lazos histeréticos como se ve en la **Figura 4.25**.

A través de la curva de histeresis, se obtuvo la curva de comportamiento o curva de capacidad que no bien a ser otra cosa que la envolvente.

Con los resultados de la curva de capacidad se pudo obtener los Estados límites del muro de albañilería construidos con la unidad Blocker II. Siendo estos muy similares al muro MBAT-1.

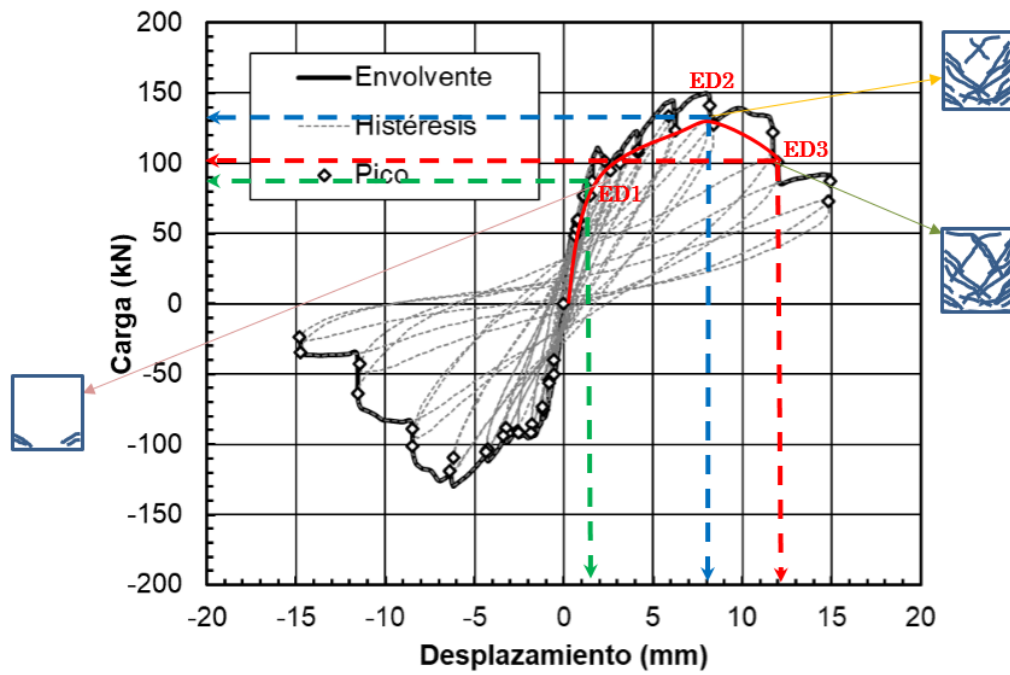


Tabla N°16: Estados límites de Especímenes

ESPECIMEN	ESTADOS LIMITES					
	ED1		ED2		ED3	
	kN	mm	kN	Mm	kN	mm
MBAT-4	90.00	1mm	136.50	8.00	102.00	12.00

Fuente: Fuente Propia, 2017.

Tabla N°17: Distorsión y Desplazamiento Objetivo

ESTADOS LIMITES	DISTORSION		DESPLAZAMIENTO mm
ED1	1/4200	0.0002	1mm
ED2	1/300	0.0033	7.80
ED3	1/200	0.0050	11.70

Fuente: Fuente Propia, 2017.

Para la Hipótesis Específica 2 se tuvo:

“El Blocker II es una Unidad Hueca, no apta para el uso de muro portante, debido a que no cumple con los límites de distorsión dispuestos en la Norma Técnica de Edificaciones E.030 y E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones”.

Según estudios y ensayos realizados antes de la presente tesis, fueron desfavorables para la utilización del Blocker II, en la construcción en muros portantes. Ya que por ejemplo en el trabajo “PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”, se indica que el blocker es una unidad hueca y según la tabla Nro. 02 de la NTE. E.070 se indica que no se puede hacer uso de este tipo de unidades en zonas altamente sísmicas

Por otro lado, se ha comprobado de los tres ensayos previos y en el nuestro que la distorsión máxima cuando ocurre la falla por corte es de 0.003,

Finalmente, como Hipótesis General se planteó:

“La realización del “Ensayo de Carga Cíclica de un Muro a Escala Natural con Ladrillo de Blocker II – ESPÉCIMEN MBAT-04” nos dará a conocer el comportamiento estructural del muro de albañilería, frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo. Esta investigación contribuirá con información para la reducción de la vulnerabilidad de las construcciones de albañilería confinada informal de la ciudad de Tacna”

En este trabajo se ha estudiado y se muestran resultados del comportamiento sísmico. Por lo tanto, es necesario que se proponer técnicas de reforzamiento basados en los resultados obtenidos.

Según la presente tesis “Ensayo de Carga Cíclica de un Muro a Escala Natural con Ladrillo de Blocker II – ESPÉCIMEN MBAT-04”.

Se concluye que el muro no tiene un buen comportamiento sísmico según los requerimientos de la norma técnica peruana de diseño sismo resistente E.030. Ya que el muro presento trituración de unidades, como también agrietamientos diagonales extendidos en un nivel de distorsión 0.0025 (1/400).

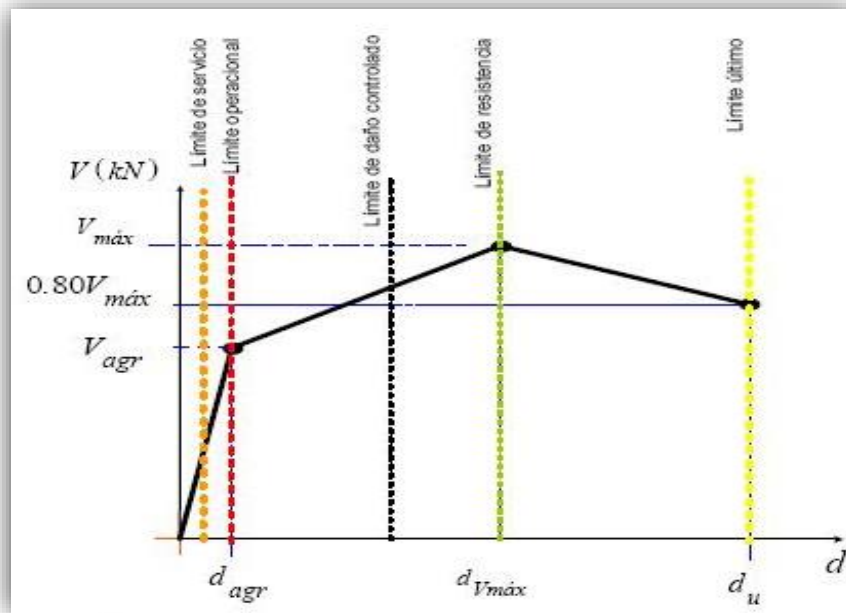


Figura 5.1: Relación de desplazamiento, distorsión, daño y estados límites

Fuente: Estados límites propuestos por Astroza y Schmidt, Año 2004.

CONCLUSIONES

Primera conclusión

En la **figura 4.25**, se muestra la curva histerética del muro MBAT-4 con sus respectivas curvas de capacidad (Fuerza vs Desplazamiento). El muro fue construido con una resistencia de $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$, una longitud de 2.50 m, una altura de 2.50 m y un espesor de 0.30 m. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI.

Se identificaron tres estados de daño:

- Estado de daño 1 (ED1) o estado de límite 1: Correspondiente a la aparición de la primera grieta diagonal o grieta por flexión y se presenta para una distorsión de $1/4200$ con una carga de 90 kn y desplazamiento de 1 mm
- Estado de daño 2 (ED2) o estado de límite 2: Cuando el espécimen alcanza su resistencia máxima se produce la grieta diagonal y se presenta para una distorsión de $1/300$ con una carga de 136.5 Kn y desplazamiento de 7.8 mm. La carga máxima promedio es de 136.5 kN (esfuerzo promedio de 0.42 MPa), que sucede a un nivel de distorsión de 0.0033 ($1/300$), aproximadamente.
- Estado de daño 3 (ED3) o estado de límite 3: Se registra el desplazamiento último o la resistencia última o falla del muro y se presenta para una distorsión de $1/200$ con una carga de 102 kn y desplazamiento de 11.70mm

Segunda conclusión

Para un nivel de distorsión de 0.005 (límite de distorsión de acuerdo a la NTE E030-2016) se obtiene una carga promedio de 84 kN (0.26 MPa), que representa el 62% de la carga máxima.

Comparando con la Norma E030: Para el estado de daño 2 (falla por corte) la distorsión máxima del espécimen es de 0.003 por lo cual no cumple con lo especificado en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Comparando con la Norma E070: Estas unidades han demostrado tener una falla muy frágil al someterse a una carga vertical y una fuerza cortante cuando se los ha empleado en muros portantes confinados por lo que se prohíbe su uso en zonas sísmicas 3 y 2.

Tercera conclusión:

El muro no cumple con las normas de diseño, por lo tanto, esta investigación contribuye con información para realizar propuestas de reforzamiento y estimar los tiempos y costos de reparación. La realización de este estudio, contribuye con información para la elaboración de planes de desarrollo regional y urbano de la ciudad de Tacna.

RECOMENDACIONES

Primera recomendación

Visto que el Blocker II es una de las unidades que más se vende en el mercado de Tacna, recomiendo a futuros tesisistas a realizar ensayos de muros con vanos o ventanas altas, bajas, muros con cargas verticales de 0 tonelada, 5 tn y 15tn.

Segunda Recomendación

Recomiendo a las autoridades locales a supervisar el uso de estos materiales en el proceso constructivo de las viviendas, el Blocker II solo para cercos y tabiques.

Tercera recomendación

Se recomienda a futuros tesisistas 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ángel San Bartolomé, (1992). "Ensayos de Carga Lateral Cíclica en muros de albañilería confinada – Correlación de resultados entre especímenes a escala natural y probetas pequeñas".

Alférez Martínez, k. d., & Quinto Gastiaburú, d. e. (2006). "Reforzamiento estructural de muros de albañilería de bloques artesanales de concreto". Pontificia Universidad Católica del Perú, lima.

Aliaga Rodriguez, i. j., & Brañez Gonzales, v. m. (2009). "Estudio comparativo del módulo de elasticidad en las unidades típicas de arcilla aplicado en el análisis sísmico de una vivienda unifamiliar del distrito de ciudad nueva del departamento de Tacna". Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Capeco, (2014). "Revista de la cámara peruana de la construcción; construcción e industria", Julio.

Guillermo Echevarría y Ángel San Bartolomé, (1986). "Ensayos Carga Lateral en Muros de Albañilería Confinada - Efectos de Carga Vertical". Pontificia Universidad Católica del Perú, lima.

Instituto Nacional de Defensa Civil (2001). Compendio Estadístico de emergencia. Informe de los principales desastres ocurridos en el Perú.

Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento. (2006, mayo 05). "Aprueban 66 normas técnicas del reglamento nacional de edificaciones". Decreto supremo nº 011-2006-vivienda. Lima.

Tavera, H (2002). El terremoto de la región sur del Perú del 23 de junio del 2001

MATRIZ DE CONSISTENCIA

INTERROGANTE DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MÉTODOS	PRUEBA O ESTADÍSTICA O ESTRATEGIA
<p>¿Cómo contribuir con la reducción de la vulnerabilidad de las construcciones de albañilería confinada informal de la ciudad de Tacna?</p>	<p>Contribuir con la información para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de albañilería confinada construidas con Blocker II, mediante ensayo experimental en el muro MBAT-4, que determinaran el cálculo de curvas de capacidad y los estados límites de daño.</p>	<p>La realización del “Ensayo de Carga Cíclica de un Muro a Escala Natural con Ladrillo de Blocker II – ESPÉCIMEN MBAT-04” nos dará a conocer el comportamiento estructural del muro de albañilería, frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo. Esta investigación contribuirá con información para la reducción de la vulnerabilidad de las construcciones de albañilería confinada informal de la ciudad de Tacna.</p>	<p>Ensayo de carga cíclica. Variable dependiente: Estados límites.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fuerza - Desplazamiento - Estado de daño. 	<p>Experimental</p>	
<p>Interrogantes secundarias</p>	<p>Objetivos específicos</p>	<p>Hipótesis específicas</p>				
<p>¿Cómo determinar las curvas de capacidad (Fuerza vs Desplazamiento) y determinar los estados límites de daño de un muro de albañilería confinada construida con “Blocker II”?</p> <p>¿Los muros construidos con Blocker II, cumplen con nuestras normas vigentes NTE E.030 y NTE E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones para muros portantes?</p>	<p>Someter un muro de albañilería confinada construida con “Blocker II” al Límite de Rotura con la finalidad de determinar las curvas de capacidad (Fuerza vs Desplazamiento) y determinar los estados límites de daño.</p> <p>Comparar los resultados obtenidos del ensayo del muro con los límites establecidos en la Norma Técnica de Edificaciones E.030 y E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones para muros portantes.</p>	<p>Los muros construidos con Blocker II, presentan lazos histeréticos muy delgados y por tanto revelan la baja capacidad de disipación de energía ante cargas cíclicas, con fallas frágiles que reducen drásticamente la resistencia y rigidez del muro.</p> <p>El Blocker II es una Unidad Hueca, no apta para el uso de muro portante, debido a que no cumple con los límites dispuestos en la Norma Técnica de Edificaciones E.030 y E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones.</p>	<p>Muro a escala natural con ladrillo Blocker II- Espécimen MBAT-04</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Especímenes 	<p>Experimental</p>	