

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



INFORME DE TESIS

**“ESTADOS LÍMITES DE DOS MUROS DE ALBAÑILERÍA
CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. Nohelia del Pilar Bernedo Vicente

Bach. Elmer Choquepata Mamani

TACNA – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Estados Límites de dos muros de albañilería contruidos
con Blocker II”**

TESIS

PRESENTADA POR LOS BACHILLERES:

Nohelia del Pilar Bernedo Vicente

Elmer Choquepata Mamani

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :.....

SECRETARIO :.....

VOCAL :.....

ASESOR :.....

TACNA – PERÚ

2017

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Nohelia del Pilar Bernedo Vicente, en calidad de: bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI 70915820.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada:

“ESTADOS LÍMITES DE DOS MUROS DE ALBAÑILERÍA CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”

La misma que presento para optar:

El título 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 asumo 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, me hago responsable 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 la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me

comprometo 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; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, noviembre de 2017

Nohelia del Pilar Bernedo Vicente
70915820

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Elmer Choquepata Mamani, en calidad de: bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 42124428.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada:

“ESTADOS LÍMITES DE DOS MUROS DE ALBAÑILERÍA CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”

La misma que presento para optar:

El título 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 asumo 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, me hago responsable 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 la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me

comprometo 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; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, noviembre de 2017

Elmer Choquepata Mamani

42124428

DEDICATORIA

*A: Dios por guiarme y permitirme
sonreír ante mis logros que son
resultado de su ayuda.*

*A: Mis padres, Jorge y Liliana por
apoyarme en todo momento y darme
su amor incondicional. A mi madre por
estar a mi lado, acompañándome en
cada etapa de mi vida y ser el mejor
regalo de Dios. A mi padre por
desearme lo mejor, por cada consejo
dado y por cada palabra que me
guiaron durante mi vida. Gracias a
ambos por ser mi motivo para seguir
avanzando profesionalmente.*

*A: Mis amigos por las palabras de
aliento y permitirme aprender de la vida
a su lado.*

Nohelia del Pilar Bernedo Vicente

*Agradezco principalmente a Dios,
porque es quien me ha guiado y me ha
dado la fortaleza de seguir adelante.*

*Esta tesis dedico a mis padres y
hermanos quienes me han apoyado
para poder llegar a esta instancia de
mis estudios, ya que ellos siempre
han estado presentes para
aconsejarme y apoyarme.*

*También la dedico a mi hijo Aydan
quien ha sido mi mayor motivación
para alcanzar mis objetivos trazados
y así ser un ejemplo para él, también
porque tuvo que soportar días sin mi
compañía.*

Elmer Choquepata Mamani

AGRADECIMIENTO

A la primera persona que queremos agradecer es a nuestra asesora de tesis, la Ingeniera Dina Cotrado, gracias por el apoyo en cada proceso de nuestro proyecto.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por la enseñanza dada a lo largo de nuestra vida universitaria.

A nuestros compañeros y amigos gracias por su apoyo y compartir sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA DE LA TESIS.....	i
PÁGINA DEL JURADO.....	ii
PÁGINA DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	iii
PÁGINA DE DEDICATORIA.....	vii
PÁGINA DE AGRADECIMIENTO.....	ix
RESUMEN PALABRAS CLAVES.....	xiv
ABSTRACT. KEY WORDS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	18
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	20
1.4 OBJETIVOS.....	22
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
1.5 HIPÓTESIS.....	23
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	24
2.2 BASES TEÓRICAS.....	32
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	47
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	49
3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
3.2 POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO.....	49
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	49
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	50
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	58
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	62
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....	77
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ensayos de dimensionamiento - Largo	25
Tabla 2. Ensayos de dimensionamiento - Ancho	25
Tabla 3. Ensayos de dimensionamiento - Alto	26
Tabla 4. Ensayos de Alabeo.....	26
Tabla 5. Resistencia a la compresión f'_b	27
Tabla 6. Porcentaje de vacíos	27
Tabla 7. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de mortero.....	28
Tabla 8. Identificación de los especímenes (Pilas de Albañilería)	28
Tabla 9. Determinación de f'_m y E_m.....	29
Tabla 10. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de los muretes	29
Tabla 11. Resumen de ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes.....	30
Tabla 12. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	33
Tabla 13. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales	33
Tabla 14. Operacionalización de variables	49
Tabla 15. Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo. 61	
Tabla 16. Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo. 74	
Tabla 17. Estados límites de especímenes	81
Tabla 18. Distorsión y desplazamiento objetivo.....	81
Tabla 19. Matriz de consistencia	85

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Uso del Blocker II.....	21
Figura 2. Vista de resultados de una manzana en Para Grande.....	22
Figura 3. Curva histerética del espécimen MBAT-1	31
Figura 4. Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (Carga vs Desplazamiento)	32
Figura 5. Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (Carga vs Distorsión). 32	
Figura 6. Equipo servo hidráulico	34
Figura 7. Construcción y traslado	35
Figura 8. Diferencia entre estático y dinámico	36
Figura 9. Grafica V-D	36
Figura 10. Punto “F”	37
Figura 11. Punto “R” o “m” en la Norma E.070	38
Figura 12. Límite de reparación	38
Figura 13. Falla final	39
Figura 14. Calculo de R	39
Figura 15. Otro criterio para hallar R.....	40
Figura 16. Cálculo de (fij)	41
Figura 17. Respuesta de vibración libre.....	42
Figura 18. Instrumentación en un ensayo sísmico	43
Figura 19. Ensayo sísmico.....	43
Figura 20. Identificación de los estados límites en las curvas de histéresis de un muro de albañilería confinada.....	46
Figura 21. Estados de daños para los estados límites ELS, ELO, ELDC Y ELU	46
Figura 22. Elevación de muro	50
Figura 23. Corte de muro	51
Figura 24. Detalles de columnas y vigas.....	51
Figura 25. Vista en planta del aparato de carga	58
Figura 26. Esquema de la configuración del ensayo cíclico	59
Figura 27. Sistema de adquisición	60
Figura 28. Protocolo de desplazamiento objetivo	61
Figura 29. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/4200.....	63
Figura 30. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/4200.....	63
Figura 31. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/4200.....	63
Figura 32. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/3000.....	64
Figura 33. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/3000.....	64

Figura 34. Mapeo de fisuras presentes 1/3000	64
Figura 35. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/1500	65
Figura 36. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/1500	65
Figura 37. Mapeo de fisuras presentes 1/1500	65
Figura 38. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/1100	66
Figura 39. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/1100	66
Figura 40. Mapeo de fisuras presentes 1/1100	66
Figura 41. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/800	67
Figura 42. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/800	67
Figura 43. Mapeo de fisuras presentes 1/800	67
Figura 44. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/550	68
Figura 45. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/550	68
Figura 46. Mapeo de fisuras presentes 1/550	68
Figura 47. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/400	69
Figura 48. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/400	69
Figura 49. Mapeo de fisuras presentes 1/400	69
Figura 50. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/300	70
Figura 51. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/300	70
Figura 52. Mapeo de fisuras presentes 1/300	70
Figura 53. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/200	71
Figura 54. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/200	71
Figura 55. Mapeo de fisuras presentes 1/200	71
Figura 56. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/75	72
Figura 57. Ensayo de carga cíclica distorsión 1/75	72
Figura 58. Curva histerética del espécimen MBAT-1	73
Figura 59. Curva histerética del espécimen MBAT-2	74
Figura 60. Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (desplazamiento)	75
Figura 61. Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (distorsión)	75
Figura 62. Curva de capacidad del espécimen MBAT-2 (desplazamiento)	76
Figura 63. Curva de capacidad del espécimen MBAT-2 (distorsión)	76
Figura 64. Relación de desplazamiento, distorsión, daño y Estados Límites .	78
Figura 65. Identificación de los estados límites en las curvas de histéresis MBAT-1	80
Figura 66. Identificación de los estados límites en las curvas de histéresis MBAT-2	80

RESUMEN

Perú es un país que tiene alta actividad sísmica por ubicarse en la zona denominada Cinturón de Fuego, también es conocido que hay zonas donde ocurre más actividad sísmica que en otras.

En la actualidad, en el centro y sur del Perú se presenta un silencio sísmico, esto indica que al haberse acumulado energía se espera un sismo de gran magnitud.

Uno de los principales problemas al ocurrir un sismo de magnitud importante en la ciudad de Tacna son las construcciones informales. En Tacna se viene construyendo con la unidad de albañilería Blocker II, la cual no cumple con lo requerido en la norma técnica E070 Albañilería para muros portantes.

Según el proyecto de investigación “PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II - 2016” señala que más del 60% de las recientes construcciones en la ciudad de Tacna, están haciendo uso del Blocker II.

En ese sentido, a propuesta de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil vio por conveniente la construcción de 3 muros de albañilería confinada con unidades tipo Blocker II de los cuales 2 han sido sometidos a la rotura. Este trabajo de tesis tiene como parte la ejecución del muro denominado MBAT-2 y la comparación con la Norma Técnica de Edificaciones E-030.

En el capítulo I, se formula la problemática de los muros construidos con la unidad de albañilería Blocker II, se da a conocer los objetivos que se quiere realizar y se formula las hipótesis.

En el capítulo II, se desarrolla los antecedentes del estudio, las bases teóricas y la definición de términos.

En el capítulo III, se explica el tipo y diseño de investigación, población, muestra, operacionalización de variables, técnicas e instrumentos para la recolección de datos. Por último, el procesamiento y análisis de datos.

En el capítulo IV, se explica los resultados del estudio realizado y los datos que se obtuvieron del ensayo, además de la comparación del muro MBAT-2 y la norma E 030.

En el capítulo V, se desarrolla la discusión de las hipótesis planteadas en el capítulo I.

Finalmente al terminar el estudio se da a conocer las conclusiones a las que se ha llegado, las recomendaciones y referencias bibliográficas de las que nos hemos basado.

PALABRAS CLAVES

- Albañilería confinada
- Blocker II
- Ensayo a carga lateral cíclica
- Estado límite

ABSTRACT

Peru is a country that has high seismic activity to be located in the area called the Belt of Fire, it is also known that there are areas where more seismic activity occurs than in others.

At present, in the center and south of Peru a seismic silence appears, this indicates that to have accumulated energy is expected an earthquake of great magnitude.

One of the principal problems to occur an earthquake of important magnitude in the city of Tacna are the informal constructions. Tacna is being built with the Blocker II masonry unit, which does not meet the requirements of technical standard E070 Masonry for load-bearing walls.

According to the investigation project "PROPOSED FORMULA FOR THE DETERMINATION OF DENSITY OF WALLS BUILT WITH BLOCKER II- 2016" indicates that more than 60% of recent constructions in the city of Tacna, are making use of Blocker II.

In that sense, at the proposal of the Professional School of Civil Engineering saw as convenient the construction of 3 walls of masonry confined with Blocker II type units of which 2 have been subjected to breakage. This work of thesis has as part the execution of the wall denominated MBAT-2 and the comparison with the Technical Rule of Buildings E-030.

In Chapter I, the problem of the walls constructed with the Blocker II masonry unit is formulated, the objectives to be realized are announced and the hypotheses are formulated.

In Chapter II, we develop the background of the study, the theoretical bases and the definition of terms.

In Chapter III explains the type and design of research, population, sample, operationalization of variables, techniques and instruments for data collection. Finally, the processing and analysis of data.

In Chapter IV explains the results of the study performed and the data obtained from the test, in addition to the comparison of the MBAT-2 wall and the E 030 standard.

In chapter V, the discussion of the hypotheses presented in chapter I is developed.

Finally, at the end of the study, it is announced the conclusions reached, the recommendations and bibliographical references on which we have based.

KEY WORDS

- Confined Masonry
- Blocker II
- Cyclic lateral load test
- Limit State

INTRODUCCIÓN

Los sismos son fenómenos naturales que tienen un periodo de recurrencia. La consecuencia de los sismos puede 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 de las viviendas informales de la Ciudad de Tacna.

Según el especialista del Instituto Geofísico de la Universidad Nacional de San Agustín afirma que las placas de Nazca se encuentran pegadas más de 130 años y actualmente acumulan energía, lo que hace suponer que cuando se despeguen se producirá un fuerte terremoto en el norte de Chile y el sur del Perú

A pesar de ello, en la ciudad de Tacna, durante el proceso constructivo de los muros portantes de las viviendas informales, se emplean materiales no estandarizados en la Norma Técnica de Edificaciones E-070, como es el caso de las unidades de arcilla Blocker II.

En ese sentido, a propuesta de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil (EPIC) se vio por conveniente la construcción de 3 muros de albañilería confinada con unidades tipo Blocker II de los cuales 2 han sido sometidos a la rotura. Este trabajo de tesis tiene como parte la ejecución del muro denominado MBAT-2.

En la siguiente investigación se va determinar y realizar la comparación de los estados límites de dos muros de albañilería confinada, construidos con la unidad hueca denominada "Blocker II".

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Uno de los principales problemas que tiene el Perú es el alto índice de construcciones informales, además del crecimiento poblacional en zonas vulnerables.

En Tacna se espera un sismo de gran magnitud por el silencio sísmico que se está dando. A pesar de ello durante el proceso constructivo de los muros portantes en las viviendas informales, se están empleando materiales no estandarizados en la Norma Técnica de Edificaciones E-070, como es el caso de las unidades de arcilla Blocker II.

En el proyecto de investigación: “PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II” del año 2016 se realizaron ensayos como variación dimensional, alabeo y resistencia a la compresión (f'_{b}), en el cual se determinó que la unidad Blocker II clasifica como un ladrillo tipo II y también está considerada como una unidad hueca, ya que el 53.93% es área hueca. Según la tabla 2 de la Norma técnica de edificaciones E.070 (Albañilería, Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales), la unidad hueca no se puede utilizar en construcción de muros portantes para edificios ubicados en la zona sísmica 3, como es el caso de Tacna.

En este sentido con el propósito de contribuir con la información de estudios de vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Tacna, es necesario conocer la capacidad de deformación de los muros de albañilería construidos con Blocker II, para diferentes estados límites.

1.2 Formulación del problema

La propuesta de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil (EPIC) fue la construcción de 3 muros de albañilería confinada con unidades tipo Blocker II a estala natural y sometidas a ensayos de carga lateral cíclica y carga vertical de 10 tn, 2 de los muros fueron sometidos a cargas de rotura, mientras que el último muro

fue sometido al límite de reparabilidad. Para conocer el comportamiento sísmico se formula la siguiente interrogante:

- **Interrogante principal**

¿Cuáles son los estados límites de dos muros portantes de albañilería confinada sometidos a carga lateral, construidos con la unidad hueca Blocker II?

- **Interrogantes secundarias**

¿Se tiene información acerca de ensayos realizados en muros de albañilería confinada utilizando la unidad hueca Blocker II?

¿El muro de albañilería construido con “Blocker II”, cumple con el límite máximo de distorsión dispuesto en la Norma Técnica de Edificaciones E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones?

1.3 Justificación e importancia

De acuerdo con la historia sísmica de Tacna, en los últimos 500 años han ocurrido terremotos que en más de una ocasión causaron la destrucción total de la ciudad, como el ocurrido el 13 de agosto de 1868. El último evento sísmico de gran magnitud que afectó a la ciudad ocurrió el 23 de junio del 2001 (VII grados en la escala de Mercalli Modificada). Numerosos expertos en sismología opinan que este sismo no excluye a la zona sur del Perú y norte de Chile del gran silencio sísmico que los involucra; y es por eso que esta zona es de alta prioridad para efectuar estudios de prevención y planificación de desastres. (Sismicidad de Tacna 2006 por Conrado Bedoya Jaén – www.unjbg.edu.pe)

Según la ladrillera Martorell, el Blocker II es una unidad de albañilería para el uso de muros de tabiquería y cercos, pero en el proyecto de investigación “PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II” sabemos que estos ladrillos son utilizados en los muros portantes de las construcciones de viviendas informales de Tacna. Por tal motivo es muy necesario realizar el estudio y comparación con

ensayos anteriores, de este tipo de unidad de albañilería, a fin de determinar y verificar su comportamiento sísmico y desarrollar las curvas de fragilidad.



Blocker II

MEDIDAS: 12 X 17 X 29 cm

USO: Para cercos perimétricos recintos amurallados y muros livianos.

Rendimiento: 17 Unid. x m²

Figura 1: Uso del Blocker II.

Fuente: Ladrillera Martorell



Foto 1. Vista del proceso constructivo del muro construido con Blocker II.

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Se ha analizado una manzana al azar en la ciudad de Tacna, conformada por 15 viviendas en Para Grande, encontrándose como resultado que el 50% de las viviendas utiliza en la construcción de muros portantes el Blocker II (Unidad hueca), mientras que sólo el 6% de la viviendas utiliza el hércules I (Unidad sólida). (Acero y Cotrado, 2016)

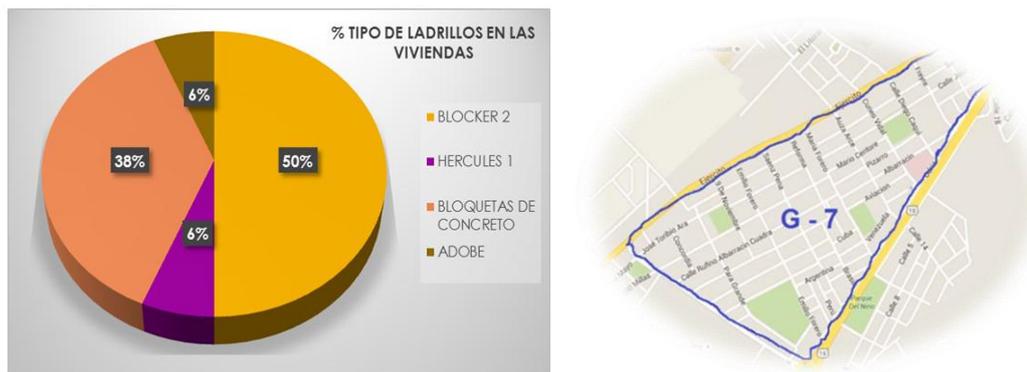


Figura 2. Vista de resultados de una manzana en Para Grande.

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Es muy necesaria e importante la realización de más muestras a escala natural y someterlas al mismo ensayo de carga lateral, ya que disminuyen la probabilidad de error en la obtención de resultados. Pero cabe indicar que la elaboración de muestras y ensayos son muy costosos, lo cual limita la realización de más muestras.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Identificar los estados límites de dos muros de albañilería confinada, contruidos con la unidad hueca “Blocker II”, en base al patrón de daños alcanzados mediante ensayos cíclicos a carga lateral y vertical.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar información del ensayo experimental realizado en el trabajo de tesis: “Ensayo a carga lateral de un muro de albañilería confinada construido con Blocker II” muro denominado MBAT-1.
- Construir un muro MBAT-2 con las mismas características al muro MBAT-1, someterlo a la misma condición de ensayo y compararlo con la Norma Técnica de Edificaciones E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Los estados límites o niveles de desempeño se pueden identificar de las curvas histeréticas de los muros ensayados y según Maximiliano A. y Andrés S. son: ELU, ELR, ELDC, ELO y ELS.

1.5.2 Hipótesis específicas

- No se cuenta con suficiente información de ensayos realizados en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II. El muro MBAT-1 muestra restricciones para soportar actividad sísmica debido a que tiene poca capacidad para tolerar tracciones y a su comportamiento débil cuando se produce la deformación.
- El muro MBAT-2 después de ser sometido a una carga lateral y vertical de 10 tn, no cumple con el límite máximo de distorsión dispuesto en la Norma Técnica de Edificaciones E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

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 blocker II. Posteriormente a propuesta de la dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, un grupo de docentes y bachilleres realizaron el proyecto “Ensayo de Carga cíclica de tres muros a escala natural”. El presente estudio forma parte de este proyecto, por lo cual nos anteceden las siguientes investigaciones:

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 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					

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Tabla 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					

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Tabla 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
<p>Nota:</p> <p>V, es la variación dimensional, en porcentaje</p> <p>DE, es la dimensión especificada en milímetros y</p> <p>MP, es la medida promedio en cada dimensión, en milímetros</p>					

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Tabla 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

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Tabla 5. Resistencia a la compresión f'_b

Espécimen	Carga de rotura (kg)	Área (cm²)	f'_b (kg/cm²)
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			

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Tabla 6. Porcentaje de vacíos

Espécimen	Volumen Ladrillo (cm³)	Área (cm²)	% 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

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Tabla 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			

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Tabla 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						

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Tabla 9. Determinación de $f'm$ y E_m

Especimen	Carga de		$f'm$ (kg/cm ²)	E_m (kg/cm ²)	C
	rotura	(Ton)			
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					

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

Tabla 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

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

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/c m2)	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	10599.7 3
	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	100192.5 5	-	-	-
	M-3	81.39	103770.8 5	-	-	-
	Promedio	64.035	58832.57		4.101	9703.77 6
	D.E	14.5	24848.9		1.266	1802.46 9
	Corregido	49.53	33983.67		2.834	7901.30 6
Nota: D.E desviacion estándar						

Fuente: Acero y Cotrado (2016)

2.1.2 ENSAYO A CARGA LATERAL DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDA CON BLOCKER II

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil desarrollado por el Bach. Ing. David Wilber Conde Copa y el Bach. Ing. Rolando Chambi Chambi.

Resumen

En la presente tesis de investigación se busca obtener la resistencia a carga lateral de un muro de albañilería confinada construido con Blocker II, debido a se sabe que en la ciudad de Tacna, durante el proceso constructivo de los muros portantes de las viviendas informales se emplean materiales no estandarizados según la Norma Técnica de Edificaciones E-070, como es el caso de las unidades de albañilería Blocker II.

Resultados

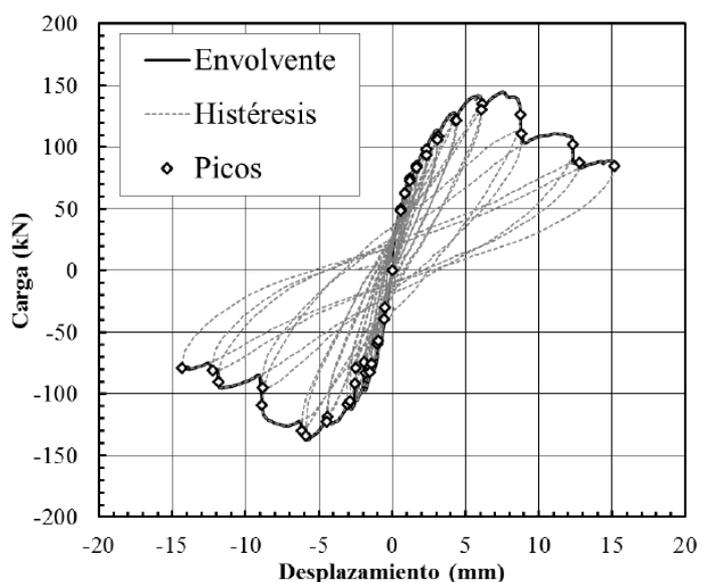


Figura 3. Curva histerética del espécimen MBAT-1.

Fuente: Conde y Chambi (2017)

La Figura 3 muestra la relación en la amplitud de cada ciclo y la carga correspondiente del espécimen MBAT-1, que se encuentra expresada en términos de desplazamiento y distorsión. Esta curva representa la curva de capacidad del elemento muro.

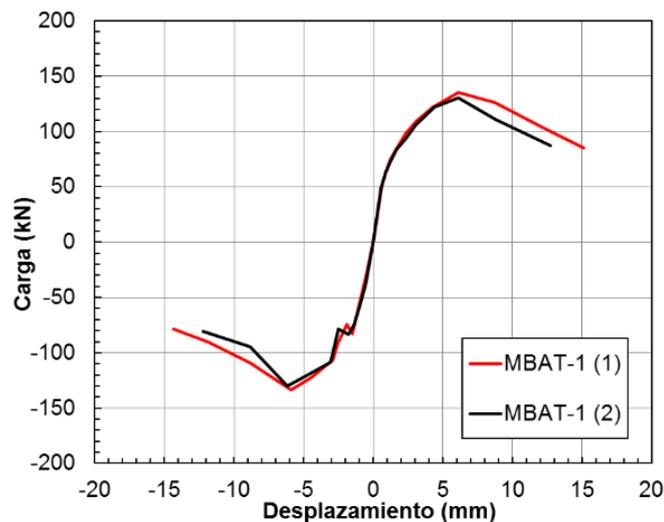


Figura 4. Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (Carga vs Desplazamiento)

Fuente: Conde y Chambi (2017)

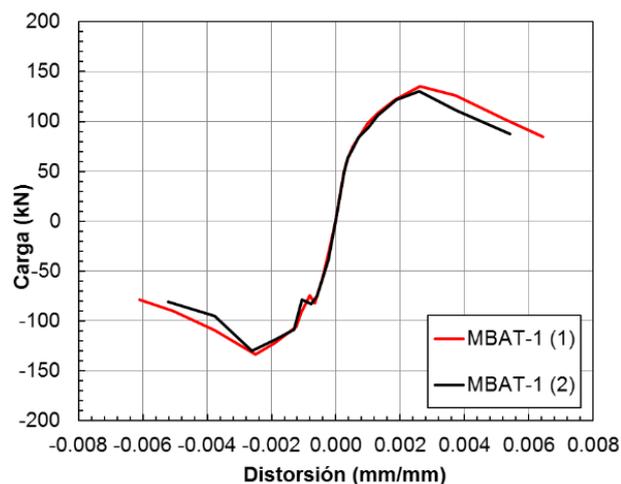


Figura 5. Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (Carga vs Distorsión)

Fuente: Conde y Chambi (2017)

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

2.2 Bases teóricas

2.2.1 DE LA NORMA E. 070

Si revisamos el capítulo 3 de la NTE E.070 (2006) se especifica:

- Clasificación de las unidades para fines estructurales

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la Tabla 12.

Tabla 12. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

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

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

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

Fuente: Norma Técnica de Edificaciones E-070 (2006)

- Limitaciones en su uso

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la Tabla 13. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 13. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales

TABLA 2 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: Norma Técnica de Edificaciones E-070 (2006)

2.2.2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO EXPERIMENTAL (SAN BARTOLOMÉ, DANIEL QUIUN Y WILSON SILVA – 2011)

Estudio preliminar

En la Figura 6. LVDT son instrumentos que miden electrónicamente el desplazamiento relativo entre 2 puntos del espécimen, mientras que el dial comparador lo hace en forma mecánica, el strain gauge mide deformación es unitarias en las barras (y m a partir de ellan los esfuerzos), la celda de carga registra electrónicamente la carga aplicada por una gata hidráulica, y el actuador dinámico es el equipo servo hidráulico empleando para aplicar la carga lateral controlando los desplazamientos.

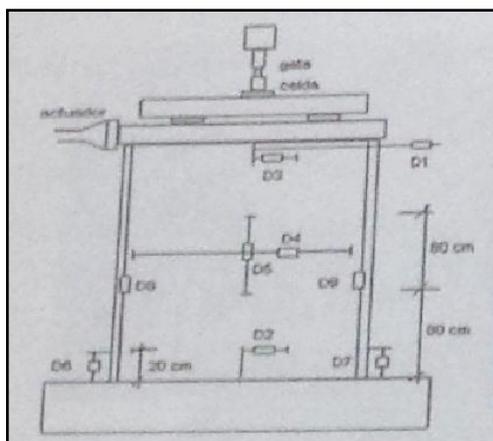


Figura 6. Equipo servo hidráulico.

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

Construcción, traslado, montaje y ensayos de control

La construcción de los especímenes se hace tratando de representar la secuencia que se sigue en una obra real de albañilería (Figura 7). En esta etapa se fabrican pequeñas probetas de los materiales que componen al espécimen (concreto, grout, ladrillos, mortero, acero y prismas de albañilería), que luego se ensayan con el objetivo de saber si los materiales cumplen con las especificaciones indicadas en el proyecto de investigación.

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



Figura 7. Construcción y traslado.

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

Técnicas de ensayo

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

Ensayo de carga lateral mono tónicamente creciente (ensayo estático)

En esta técnica se aplica la carga lateral en forma incremental a una cierta velocidad, hasta alcanzar la rotura diagonal de la albañilería. Posteriormente, se pasa a controlar los desplazamientos laterales, también en forma incremental, hasta alcanzar el colapso del espécimen. La desventaja de esta técnica es que no contempla el mayor deterioro que producen los desplazamientos laterales cíclicos sobre la albañilería, y se ha alcanzado ductilidades por encima de las proporcionadas en los ensayos sísmicos, aunque la resistencia al corte y la rigidez lateral inicial fueron similares (Figura 8). De esa manera, es preferible no utilizar esta técnica de ensayo, salvo que solo se requiera determinar la resistencia.

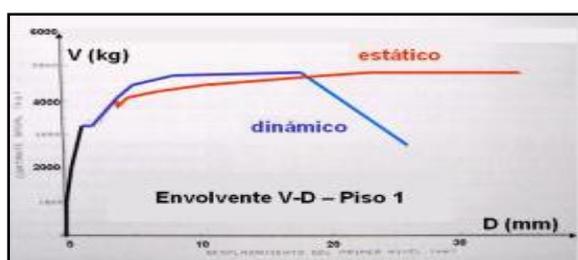


Figura 8. Diferencia entre estático y dinámico.

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

Ensayo de carga lateral cíclica y comportamiento de los muros.

En esta técnica se prefijan determinados valores del desplazamiento lateral (D en la Figura 9). 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, esta envolvente promedio es la que se utiliza para comparar los efectos de un parámetro sobre el comportamiento sísmico-experimental de los muros.

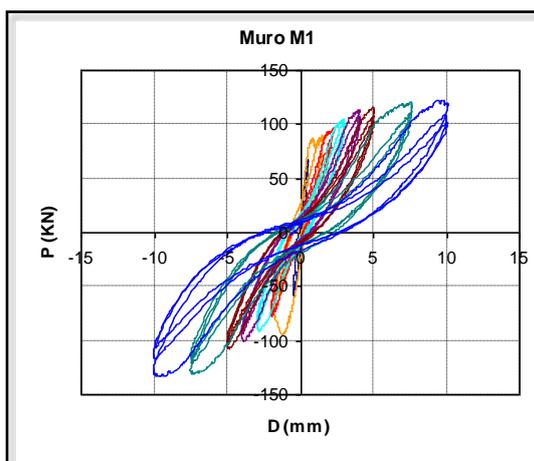


Figura 9. Grafica V-D

Fuente: San Bartolomé et al. (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.

Fisura de tracción por flexión

La primera fisura se forma en la base de los muros (Figura 10), y se debe a las tracciones que origina el momento flector. Ha podido notarse que la resistencia a tracción por flexión de los muros armados rellenos con grout es del orden de 10 kg/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 VF puede predecirse aplicando la fórmula flexión compuesta en la fibra de mayor tracción ($\sigma = My/I - P/A$), para después igualar el esfuerzo normal actuante a las resistencias unitarias indicadas.

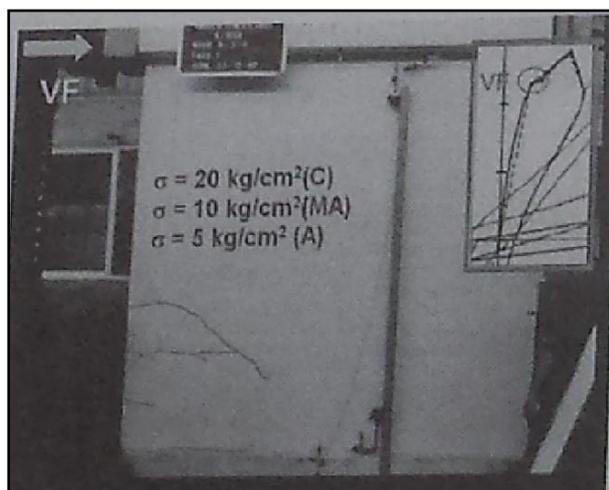


Figura 10. Punto "F".

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

Rotura diagonal

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

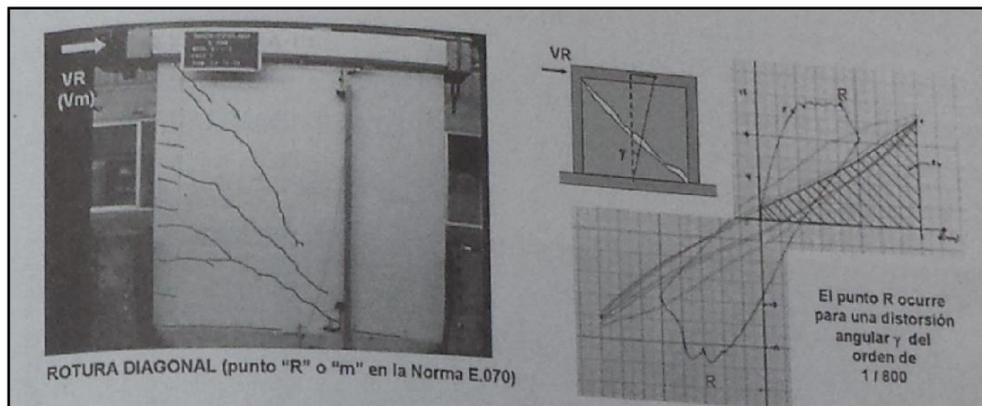


Figura 11. Punto “R” o “m” en la Norma E.070

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

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 (Figura 12). Este límite es el especificado como la deriva máxima inelástica por la Norma Sísmica E.030 para las edificaciones de albañilería reforzada.



Figura 12. Límite de reparación.

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

Falla final

Ante desplazamientos laterales por encima del límite de reparación (Figura 13), se presenta la trituración de los talones del muro (sea la falla por flexión o por

corte) con el consiguiente pandeo del refuerzo vertical, o la trituración de las unidades de albañilería. Allí se pierde la última línea de defensa, lo que da lugar a una drástica reducción de la resistencia. Otro tipo de falla final que ha podido apreciarse, especialmente en los muros de albañilería armada, es la falla por deslizamiento.



Figura 13. Falla final.

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

Evaluación del factor de reducción «R» experimentalmente

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

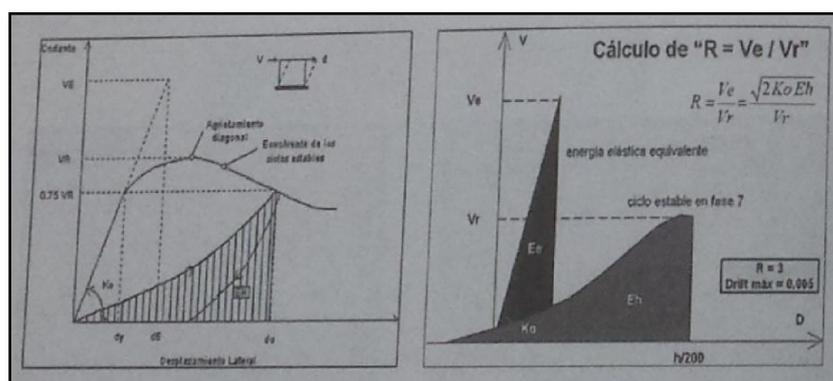


Figura 14. Calculo de R.

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

Para ello, se trabaja con el desplazamiento máximo permitido por la Norma Sísmico E.030 (deriva = 0.005), a fin de que el sistema quede en estado reparable. Para ese nivel de desplazamiento, se calcula la capacidad de absorción de energía

inelástica (E_h), que luego se iguala a la energía elástica equivalente (E_e), que supuestamente tendría el muro si se comportara elásticamente.

Este criterio conduce a factores de «R» del orden de 2.5 cuando el muro ha sido diseñado adecuadamente. Sin embargo, contemplándose otros factores como la sobre resistencia del edificio y los defectos en su construcción, en la Norma Sísmica E.O 10 se Utiliza $R = 3$, tanto para la albañilería confinada como para la armada.

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

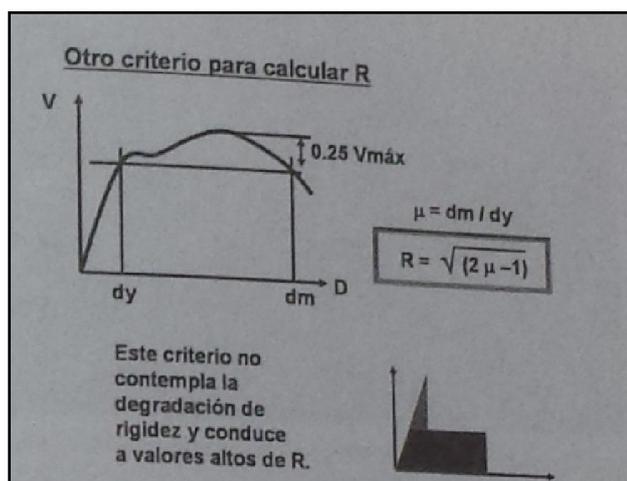


Figura 15. Otro criterio para hallar R.

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

Parámetros analizados experimentalmente

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

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

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

Ensayo de simulación sísmica

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



Figura 16. Cálculo de (f_{ij})

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

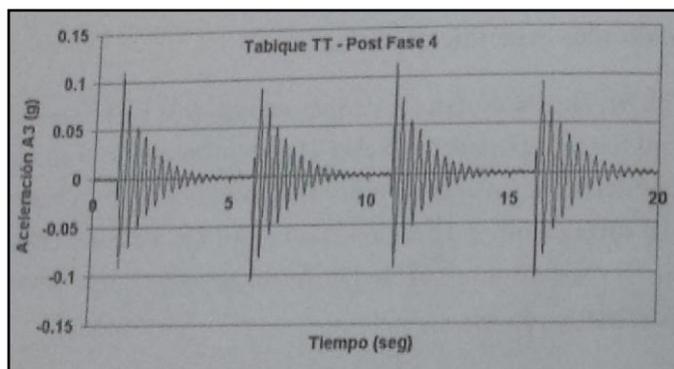


Figura 17. Respuesta de vibración libre

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

En esta técnica se utilizan, además de los LVDT, los acelerómetros, que permiten obtener la fuerza sísmica. Para ello, se divide al espécimen en retículas, colocando al centro de la retícula un acelerómetro. El producto de la masa tributaria por la aceleración correspondiente proporciona la fuerza de inercia, con la cual es posible obtener por equilibrio, fuerzas cortantes, momentos Sectores, en cualquier sección del espécimen y en cualquier instante del movimiento.

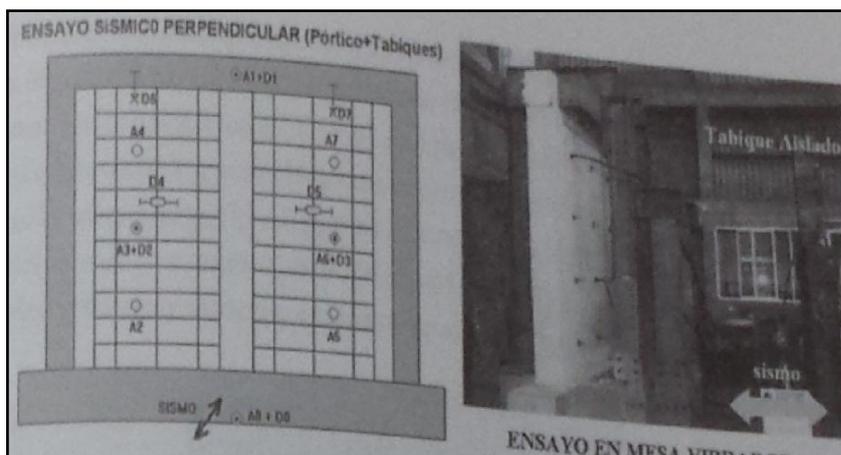


Figura 18. Instrumentación en un ensayo sísmico

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

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

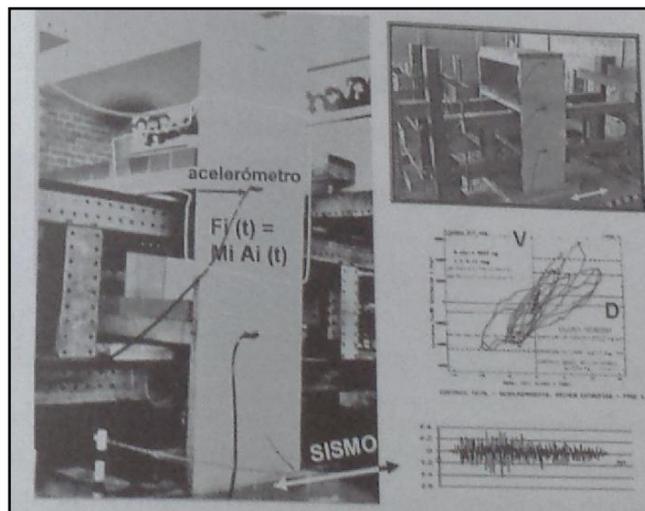


Figura 19. Ensayo sísmico

Fuente: San Bartolomé et al. (2011)

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

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

Parámetros como la esbeltez para acciones sísmicas coplanares, y el efecto sísmico transversal al plano tanto de tabiques como de muros portantes, han sido estudiados en la PUCP.

Ensayo pseudo-dinámico

Los ensayos pseudo dinámicos son aquellos que se realizan fijando la base del espécimen y aplicando fuerzas sísmicas o desplazamientos laterales en los niveles de la edificación, mediante acatadores dinámicos, que reaccionan contra un gran muro partiendo de las condiciones iniciales de reposo, se predice mediante un programa di- cómputo los desplazamientos que tendrían los niveles para un cierto incremento de la aceleración sísmica basal. Estos desplazamientos se aplican en el

espécimen, y se determina así la respuesta real, que constituye las condiciones iniciales, para un nuevo incremento de la sollicitación.

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

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

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

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

2.2.3 ESTADOS LÍMITES DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA (ASTROZA Y SCHMIDT, 2004)

Los estados límites o los niveles de desempeño reconocidos en el diseño quedan definidos por un patrón de daños, el que depende del nivel de deformación (deriva o distorsión angular) alcanzado por los elementos primarios de una estructura (Bonelli, 1999).

Para los efectos de este trabajo, los estados límites que se reconocen en un muro de albañilería confinada son los siguientes:

- **Último nominal (ELU):** Estado más allá del cual no queda asegurado que no se producirá el colapso. Para efectos prácticos se ha considerado que este estado se alcanza cuando el muro ha experimentado un deterioro del 20% de la fuerza máxima resistida durante el ensayo. Para este estado, los daños del muro son apreciables, observándose grietas de gran ancho (10 mm o más) y difíciles de reparar. Además de la degradación de la resistencia (20%) se presenta un importante deterioro de la rigidez.
- **Resistencia (ELR):** Estado en el cual el muro alcanza la máxima capacidad de carga. El muro presenta un daño importante pero tiene un margen razonable de seguridad contra el colapso parcial o total.
- **Daño controlado (ELDC):** Estado en el cual se presenta la formación de un patrón estable de agrietamiento diagonal. El estado del muro permite repararlo en un tiempo razonable y no hay ningún riesgo para las personas y los contenidos.
- **Operacional (ELO):** Estado en el cual se presenta el inicio del agrietamiento diagonal. El daño del muro es muy limitado, conservando toda su capacidad resistente y parte importante de su rigidez; el riesgo para los habitantes como resultado de este daño es nulo.
- **Servicio (ELS):** Estado en el cual se presenta el inicio de agrietamiento visible del muro y corresponde al nivel donde se produce el término del rango elástico de respuesta del muro.

A modo de ejemplo, en la figura 20 se destaca cada uno de estos estados límites en las curvas de histéresis de un muro de albañilería confinada construido con unidades cerámicas hechas a máquina.

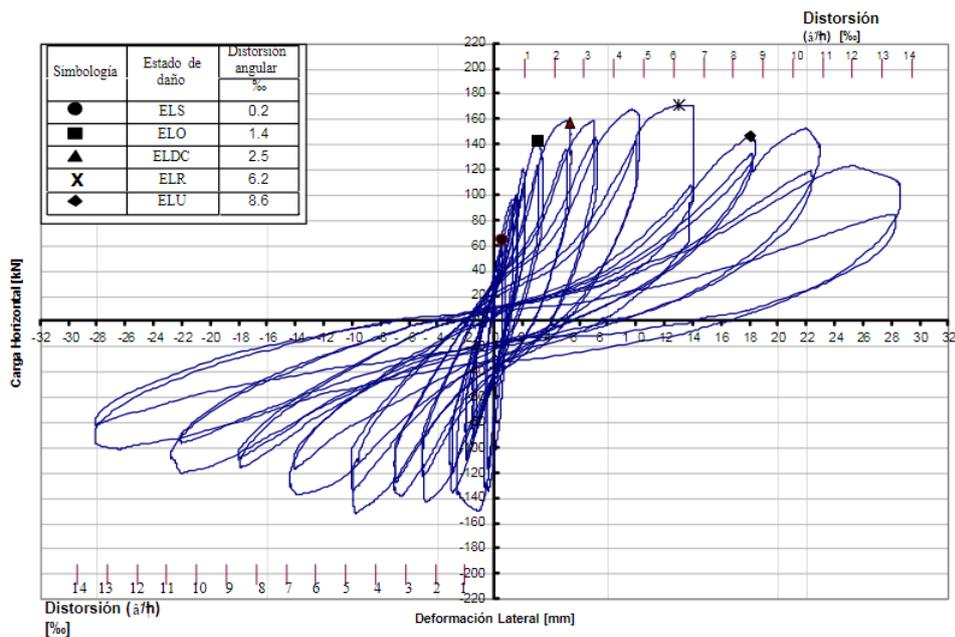


Figura 20. Identificación de los estados límites en las curvas de histéresis de un muro de albañilería confinada.
 Fuente: Astroza y Schimidt (2014)

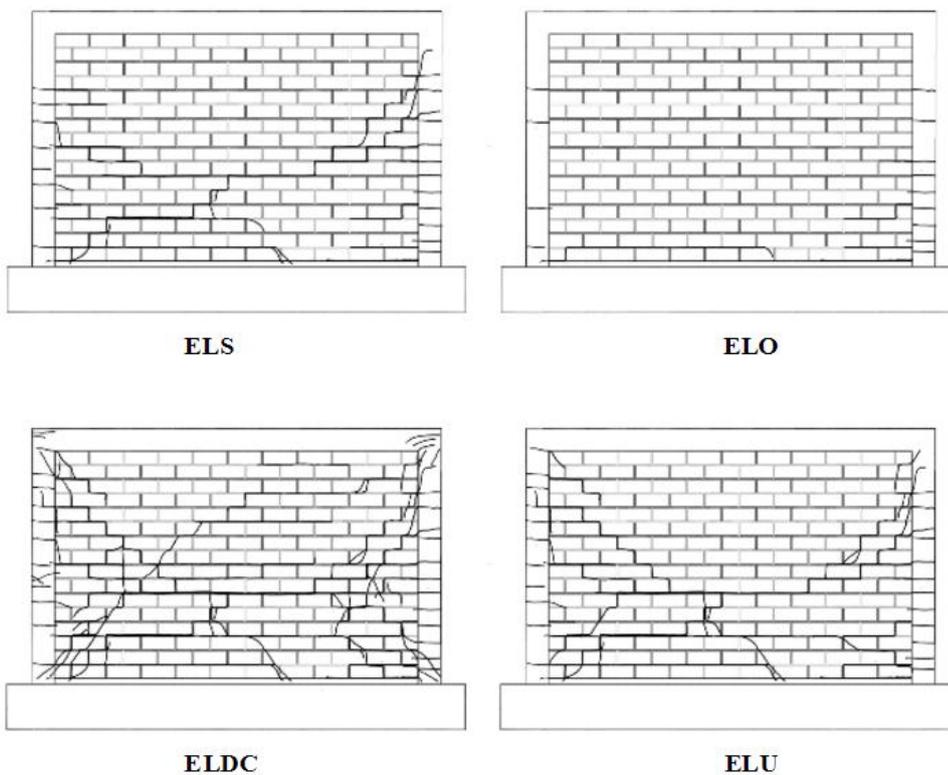


Figura 21. Estados de daños para los estados límites ELS, ELO, ELDC y ELU
 Fuente: Astroza y Schimidt (2014)

2.3 Definición de términos

- Según las definiciones dadas en el Capítulo 2 de la NTE 070 (2006), se tiene:

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.

Columna

Elemento de concreto armado diseñado y construido con el propósito de transmitir cargas horizontales y verticales, cuya función es la de proveer ductilidad a un muro portante.

Construcciones de Albañilería

Edificaciones cuya estructura está constituida predominantemente por muros portantes de albañilería.

Muro Portante

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

Unidad de Albañilería Hueca

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

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.

Viga Solera

Viga de concreto armado vaciado sobre el muro de albañilería para proveerle arriostre y confinamiento.

- Según Maximiliano Astroza y Andrés Schmidt en el trabajo “Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño” indican lo siguiente:

Estados límites: o los niveles de desempeño reconocidos en el diseño quedan definidos por un patrón de daños, el que depende del nivel de deformación (deriva o distorsión angular) alcanzado por los elementos primarios de una estructura.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación

Análisis experimental de los muros.

3.2 Población y/o muestra de estudio

Se construirán (1) muros a escala natural. Se ensayará el muro bajo cargas laterales cíclicas en su plano con desplazamiento lateral controlado siguiendo los lineamientos del FEMA 461.

3.3 Operacionalización de variables

Tabla 14. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES
Variable dependiente: Estados límites.	Estados límites quedan definidos por un patrón de daños, el que depende del nivel de deformación (deriva o distorsión angular) alcanzado por los elementos primarios de una estructura (Bonelli, 1999).	Se utilizará una medida de carga en kN y desplazamiento en mm.	Estado de daño.
Variable independiente: Muros de albañilería construidos con Blocker II.	Muros portantes de albañilería construidos con la unidad hueca Blocker II.	-Número de especímenes. -Para la carga máxima, se utilizará una medida cuantitativa en Tn. -Para el desplazamiento, se utilizará una medida cuantitativa en mm.	Especímenes, carga máxima y desplazamiento

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

PROCESO CONSTRUCTIVO DEL MURO

- CARACTERÍSTICAS DEL MURO

La construcción de los muros de albañilería confinada se realizó en el laboratorio de la CISMID – UNI. Los muros MBAT-1 y MBAT-2 fueron construidos con elementos estructurales (vigas y columnas) con sus respectivas cuantías de acero de refuerzo. Los elementos estructurales del muro no tuvieron un diseño previo, ya que el proyecto buscaba aproximarse lo más posible a la realidad de las construcciones informales de la zona.

Las unidades de ladrillo utilizados en el presente ensayo son fabricados en la ciudad de Tacna, lo cuales fueron transportados hasta el Laboratorio CISMID en la ciudad de Lima para la construcción del muro.

Los muros construidos con unidades de ladrillo de arcilla tipo Blocker II tuvieron las siguientes dimensiones y detalles.

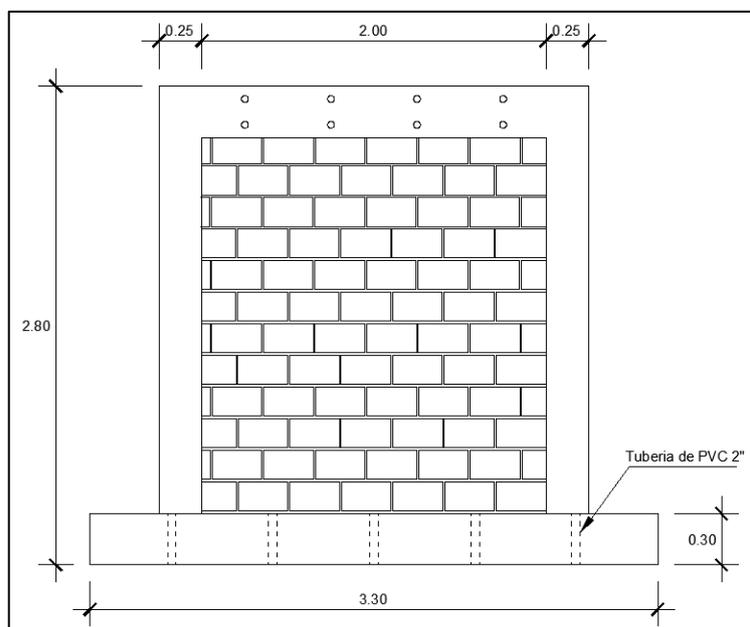


Figura 22. Elevación de Muro

Fuente: Elaboración propia

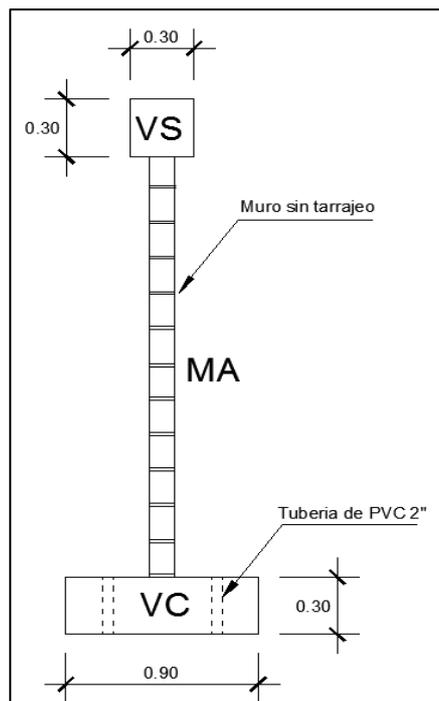


Figura 23. Corte de Muro
Fuente: Elaboración propia

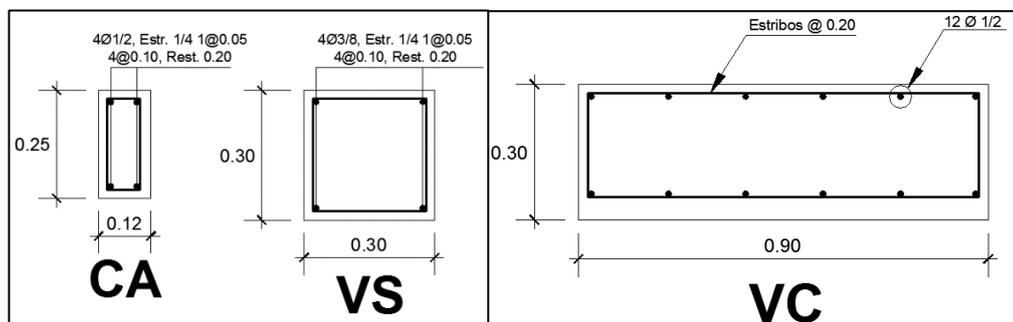


Figura 24. Detalles de columnas y vigas
Fuente: Elaboración propia

Resistencia del concreto:

El concreto utilizado en la viga de cimentación, columnas y viga solera tuvo una resistencia a la compresión de $f'c=175\text{kg/cm}^2$.

Recubrimientos

Columnas y Vigas = 2.5cm.

Muro de Albañilería

Muro de ladrillos Blocker II de tipo sogá, se utilizó endentados para el amarre de muro y columna.

Mortero para juntas de 1.5cm:

El mortero utilizado en el asentado de ladrillos tipo Blocker II tuvo una dosificación de 1:4 (cemento: arena)

Materiales, Herramientas y Equipos:

- Cemento Portland Tipo IP, arena gruesa, piedra chancada 1/2, confitillo de 1/4" alambre N°8, madera, clavos 3", tubo de PVC 2" y agua.
- Escantillón, plomada, pala, Buguie, Mezcladora tipo trompo, Vibradora

- **CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN (VC)**

Los trabajos de construcción del muro M1, se iniciaron con la construcción de la viga de cimentación la cual se inició con el corte, habilitación y armado de las mallas del acero estructural. El acero de refuerzo longitudinal y transversal utilizado fue de diámetro de 1/2" y para amarres se utilizó el alambre # 16.



Foto 2 y 3. Armado de acero estructural y encofrado de viga de cimentación (VC)

El encofrado de la viga de cimentación se realizó con tablonces y barrotes de madera tornillo, no se utilizó desmoldante en el encofrado. También se colocó 4 sujetadores de acero para su transporte y 10 pases de pvc de 2" para el anclado de muros en equipos para su respectivo ensayo.

Para el vaciado de concreto en la viga de cimentación se tuvo que habilitar y colocar la armadura de acero de refuerzo de las columnas CA. El concreto utilizado en la viga de cimentación tuvo una resistencia de $F_c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Para la preparación del concreto se utilizó agregado grueso de $\frac{1}{2}$ ", arena gruesa, agua potable, cemento portland tipo IP, mezcladora tipo trompo, vibradora eléctrica y personal obrero con sus respectivas herramientas (01 operario, 01 oficial y 01 peón).

La cubicación de agregados se realizó con palas, el curado se realizó con agua potable y dos veces al día.



Foto 4 y 5. Preparación y vaciado de concreto $F_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ en VC

- **CONSTRUCCIÓN DE LA ALBAÑILERÍA CON BLOCKER II**

➤ **ACTIVIDADES PREVIAS AL ASENTADO DE LADRILLOS**

Los ladrillos de arcilla se regaron con agua una hora antes del asentado por un tiempo de 30 minutos. Para poder determinar la cantidad y la buena distribución de ladrillos e hiladas, se emplantillo las hiladas en el acero de refuerzo de las columnas de confinamiento.

Es de importancia humedecer la superficie donde se asentara la primera hilada de ladrillo de arcilla.



Foto 6. Preparación de unidades tipo Blocker II para el asentado

➤ **ASENTADO DE LADRILLOS TIPO BLOCKER II**

El asentado de ladrillos en el muro se realizó en 2 jornadas de trabajo, para así evitar las fallas por aplastamiento del mortero y según recomendación de la Norma E. 070 no asentar ladrillos más de 1.30m de altura.

Cabe indicar que también se tuvo en consideración en el asentado de ladrillos, que la junta vertical de la última hilada de la primera jornada, se llenaba a media altura para evitar la falla por cizallamiento.

El espesor de la junta fue de 1.5cm, y el mortero se dosifico 1:4 (cemento: arena gruesa).



Foto 7 y 8. Asentado de ladrillos y verificación de verticalidad de muro

Se distribuyó 12 hiladas en el muro M1 con sus respectivas dentadas de 5cm para que tenga buena adherencia entre el muro de ladrillo y columnas de confinamiento, también se verifico el alineamiento vertical del muro con plomada y la horizontalidad con el cordel. Dicha etapa se realizó con 01 operario albañil.

- **CONSTRUCCIÓN DE COLUMNAS C-1**

Una vez culminada el asentado de los ladrillos en el muro M1 se precedió al emplantillado en la viga de cimentación VC, las secciones de las columnas de confinamiento CA, con su recubrimiento de 2.5 cm del acero de refuerzo.

Se verificó la verticalidad de los refuerzos longitudinales de las columnas y el espaciamiento de estribos. Para que luego sea encofrado con tablonés y barrotes de madera, no se utilizó desmoldante en el encofrado.

El concreto utilizado en la columnas de confinamiento C-1 tuvo una resistencia de $F_c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Para la preparación del concreto se utilizó agregado grueso de $\frac{1}{2}$ ", arena gruesa, agua potable, cemento portland tipo IP, mezcladora tipo trompo, vibradora eléctrica y personal obrero con sus respectivas herramientas (01 operario, 01 oficial y 01 peón).

Cabe indicar que en el vaciado de concreto en las columnas CA se extrajo muestras de concreto en 2 probetas metálicas. Para ser posteriormente ensayadas y obtener la resistencia a la compresión.



Foto 9 y 10. Vaciado de concreto en columnas y obtención de muestras.

El desencofrado de columnas fue después de 24 horas y curadas 2 veces al día durante 4 días.



Foto 11. Curado de las columnas.

- CONSTRUCCIÓN DE VIGA SOLERA VS

La viga solera se construyó después de desencofrar las columnas.

Se colocó el refuerzo de acero sobre los ladrillos, dejando una separación de 2.5cm como recubrimiento para el acero estructural.

Se procedió a la ejecución de este elemento estructural con las mismas características y recomendaciones que se tuvo en la construcción de las columnas.



Foto 12 y 13. Encofrado y desencofrado de viga solera VS



Foto 14. Construcción del muro M1 culminado apto para el ensayo

3.5 Procesamiento y análisis de datos

ENSAYO CÍCLICO DE CARGA LATERAL

- 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. El ensayo consistió en aplicar a los muros una carga lateral cíclica con el desplazamiento controlado.

➤ 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 la Figura 25. 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.

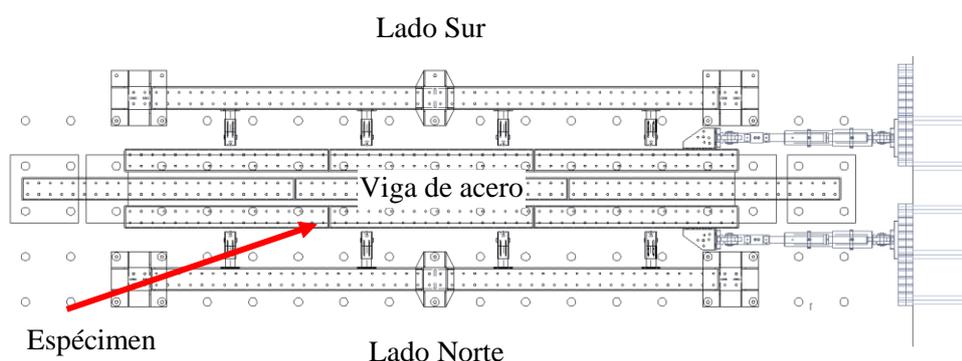


Figura 25. Vista en planta del aparato de carga

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (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 550 kN. La carga axial es aplicada con las dos gatas hidráulicas, bajo control de carga, usando la carga vertical requerida, que se distribuye horizontalmente mediante una viga de acero soportada por la viga superior de concreto del espécimen.

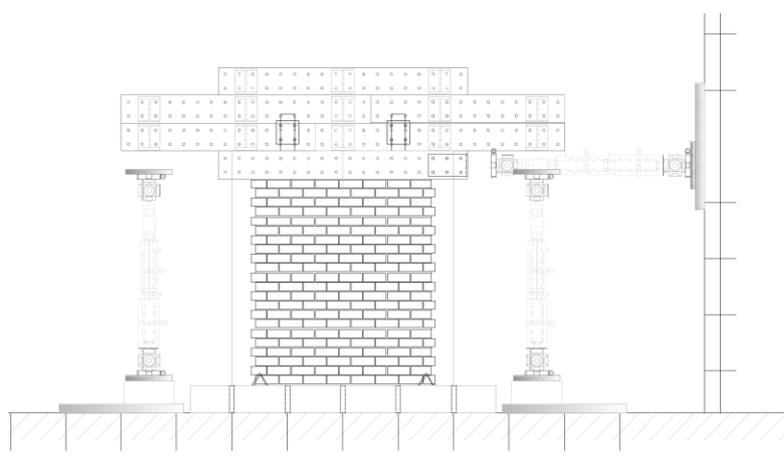


Figura 26. Esquema de la configuración del ensayo cíclico

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

➤ INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación consta de 22 canales para la adquisición de los datos. La Figura 27 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 27.

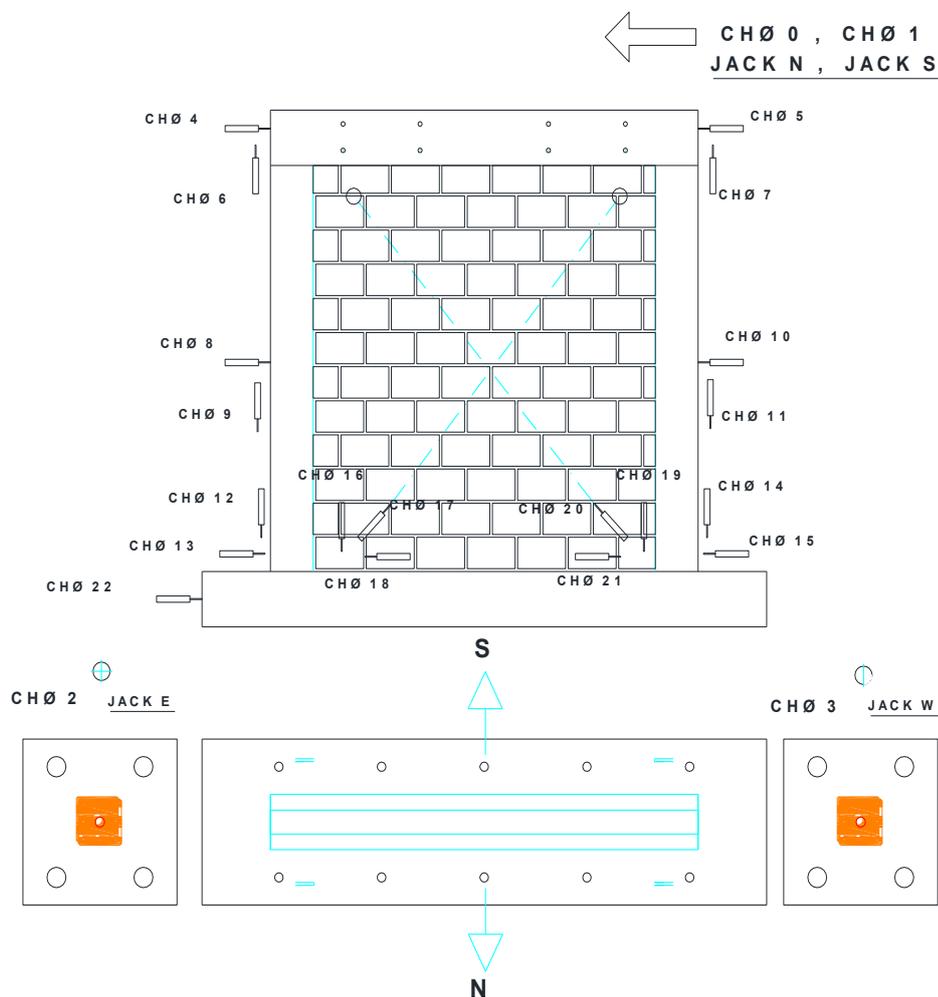


Figura 27. Sistema de adquisición

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (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 28, que representa el protocolo de desplazamiento objetivo durante el ensayo.

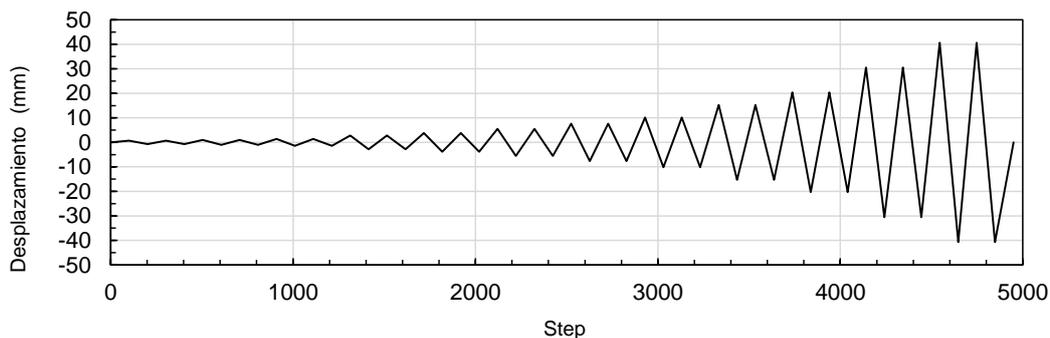


Figura 28. Protocolo de desplazamiento objetivo

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (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 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	1/1500	1/1100	1/800	1/550	1/400	1/300	1/200	1/150	1/100

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

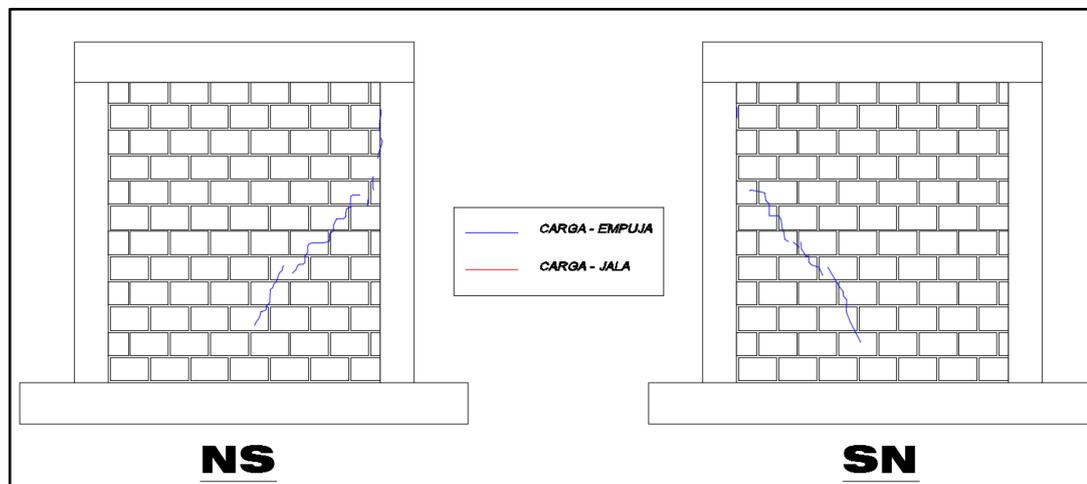
CAPÍTULO IV: RESULTADOS

A continuación se presenta el resultado en cada distorsión del muro ensayado denominado MBAT-2, el cual se llevó hasta su condición última.

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.

DISTORSIONES**DISTORSIÓN 1/4200****Figura 29.****Figura 30.****Figura 31.**

Figura 29, 30 y 31: se dio inicio al ensayo con la primera distorsión objetivo del ensayo, se presenta las primeras fisuras por tracción en los elementos de confinamientos verticales, se procede al monitoreo y marcado de las fisuras.

DISTORSIÓN 1/3000**Figura 32.****Figura 33.****Figura 34.** Mapeo de fisuras presentes 1/3000

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

Figura 32 y 33: Se procedió a la segunda distorsión objetivo de 1/3000 del ensayo donde aún no son visibles las grietas diagonales en el muro.

DISTORSIÓN 1/1500



Figura 35.



Figura 36.

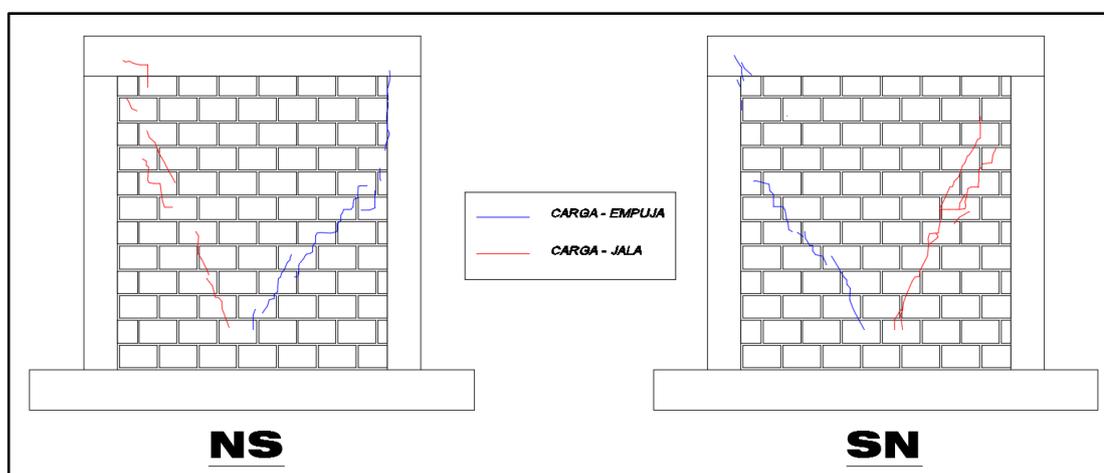
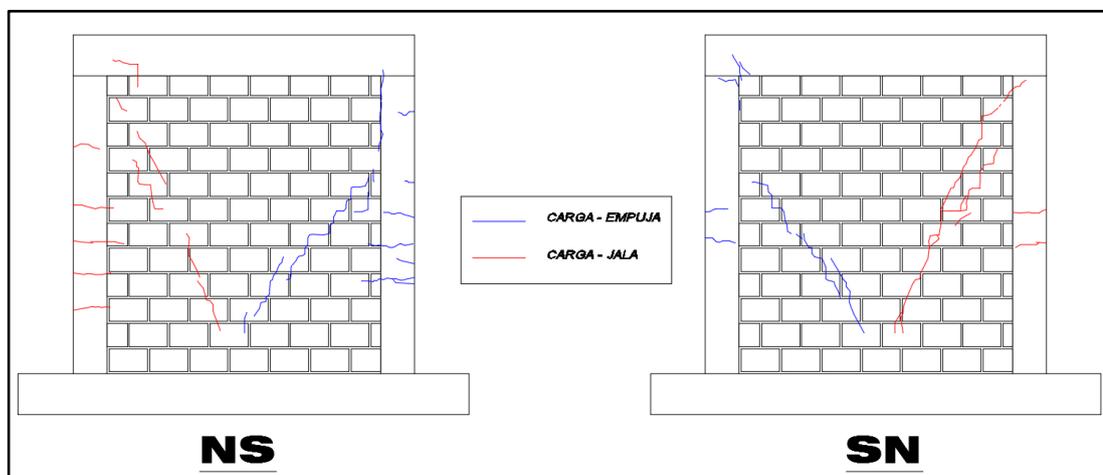


Figura 37. Mapeo de fisuras presentes 1/1500

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

Figura 35 y 36: Se procedió a la cuarta distorsión objetivo de 1/1500 del ensayo donde se pudo apreciar grietas diagonales en el muro y también en los elementos de confinamiento horizontal superior. 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 1/1100**Figura 38.****Figura 39.****Figura 40.** Mapeo de fisuras presentes 1/1100

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

Figura 38 y 39: Se procedió a la quinta distorsión objetivo de 1/1100 del ensayo donde se presentó grietas formadas a largo de la diagonal en el muro, grietas por flexión en las columnas y también en la unión de muro y columnas.

DISTORSIÓN 1/800



Figura 41.



Figura 42.

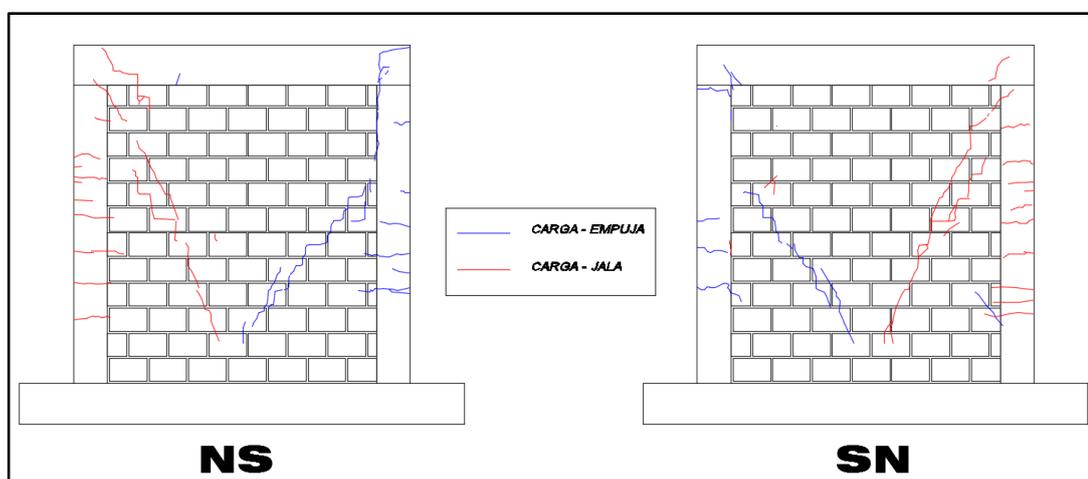


Figura 43. Mapeo de fisuras presentes 1/800

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

Figura 41 y 42: Se procedió a la sexta distorsión objetivo de 1/800 del ensayo donde se presentó grietas diagonales en el muro, unión de muro y columnas, grietas por flexión en las columnas y grietas en la viga superior.

DISTORSIÓN 1/550



Figura 44.



Figura 45.

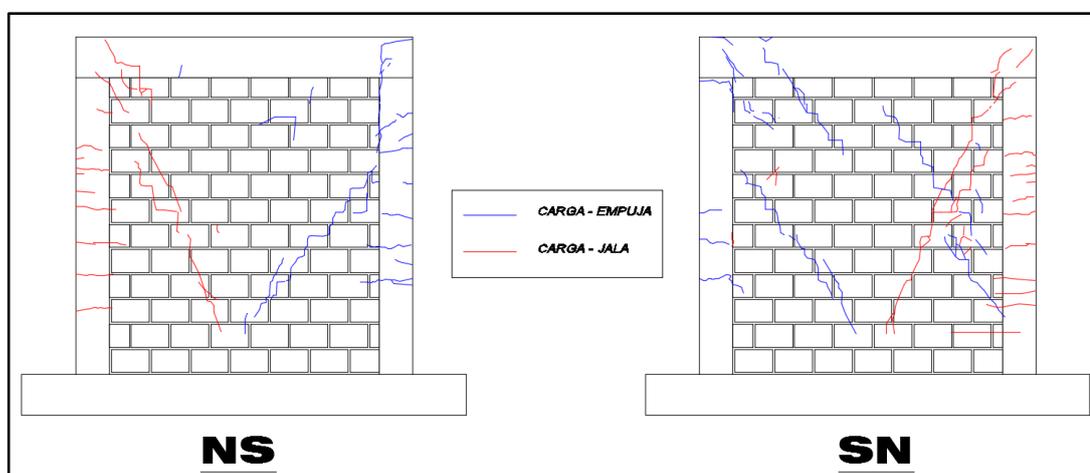


Figura 46. Mapeo de fisuras presentes 1/550

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

Figura 44 y 45: Se procedió a la séptima distorsión objetivo de 1/550 del ensayo donde se presentó más grietas diagonales en el muro, grietas por flexión en las columnas y grietas en la viga superior.

DISTORSIÓN 1/400



Figura 47.

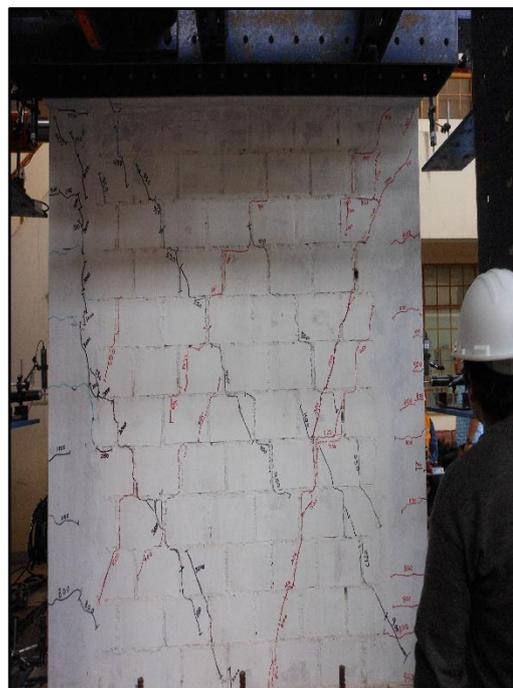


Figura 48.

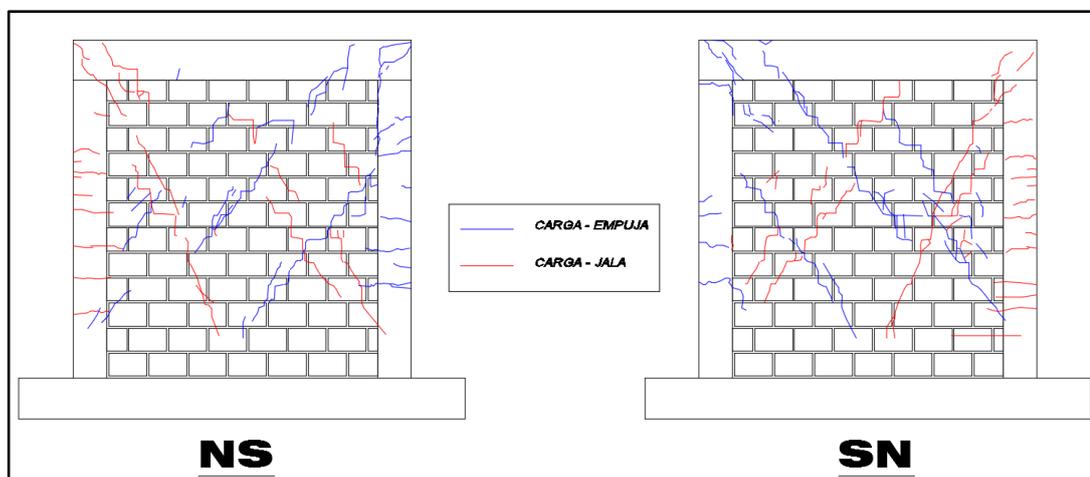


Figura 49. Mapeo de fisuras presentes 1/400

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

Figura 47 y 48: Se procedió a la octava distorsión objetivo de 1/400 del ensayo donde se aprecia más grietas diagonales en el muro y grietas paralelos a las líneas del mortero.

DISTORSIÓN 1/300



Figura 50.

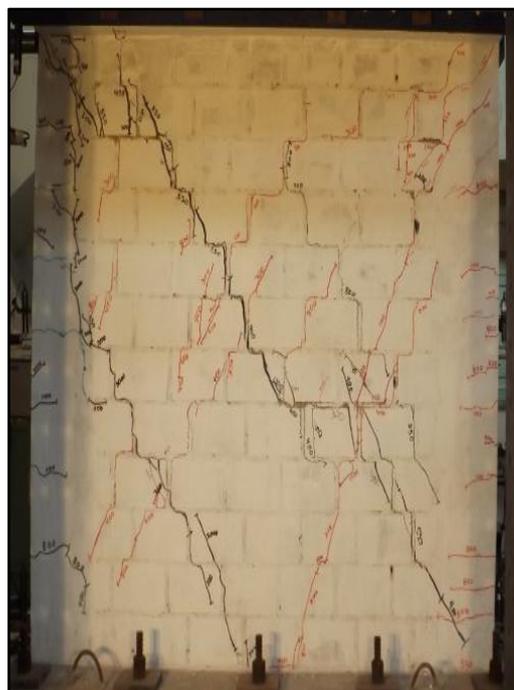


Figura 51.

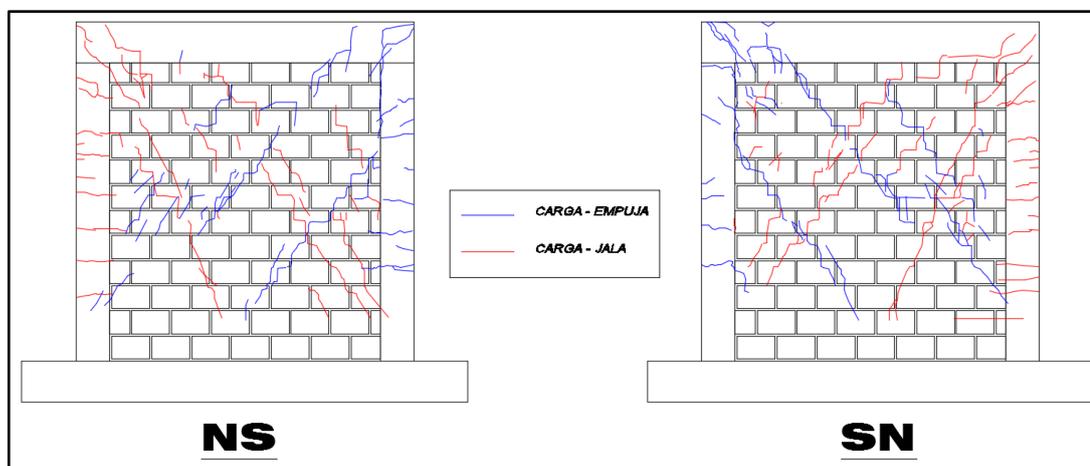


Figura 52. Mapeo de fisuras presentes 1/300

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

Figura 50 y 51: Se procedió a la novena distorsión objetivo de 1/300 del ensayo se observó acumulación de grietas en la diagonal del muro y también desprendimiento de pequeño pedazo de ladrillo.

DISTORSIÓN 1/200



Figura 53.

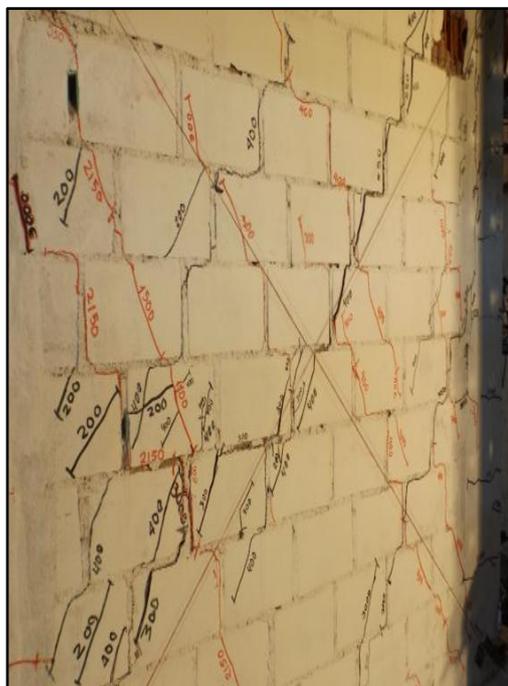


Figura 54.

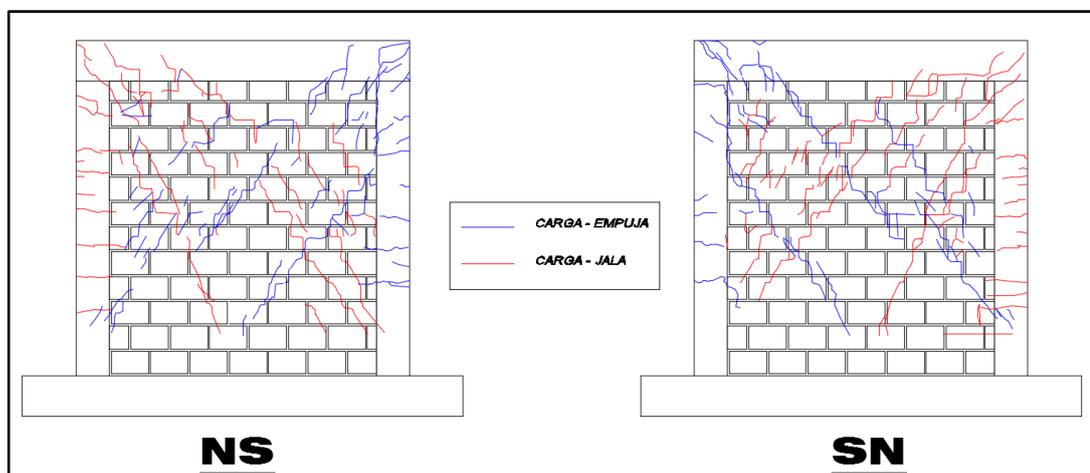


Figura 55. Mapeo de fisuras presentes 1/200

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

Figura 53 y 54: Se procedió a la décima distorsión objetivo de 1/200 del ensayo según la norma E.030 es la requerida, donde el muro presenta grietas considerables y la destrucción parcial de algunas unidades de Blocker II del muro, siendo imposible la reparación.

DISTORSIÓN 1/75



Figura 56.



Figura 57.

Figura 56 y 57: Se procedió a la última distorsión objetivo de 1/75 del ensayo donde se presentó el deterioro de las unidades de Blocker II.

CURVA HISTERÉTICA

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 histéricas y las curvas de comportamiento, la cual es la envolvente tomando los valores máximos en cada ciclo de los especímenes ensayados.

Los especímenes MBAT-1 y MBAT-2 se llevaron hasta su condición última (desplazamientos donde la carga aplicada es menor que el 80% de la carga máxima).

Conforme al protocolo de desplazamiento indicado anteriormente, se llevó a cabo el ensayo estático cíclico. La Figura 58 y 59 se muestra la relación entre el desplazamiento y la carga aplicada, mediante la curva de histérica de los especímenes respectivamente.

En las Figuras 58 y 59 mostradas, se puede apreciar que los especímenes ensayados tienen similares curvas histéricas, por lo tanto que las curvas de capacidad serán similares del MBAT-1 y MBAT-2.

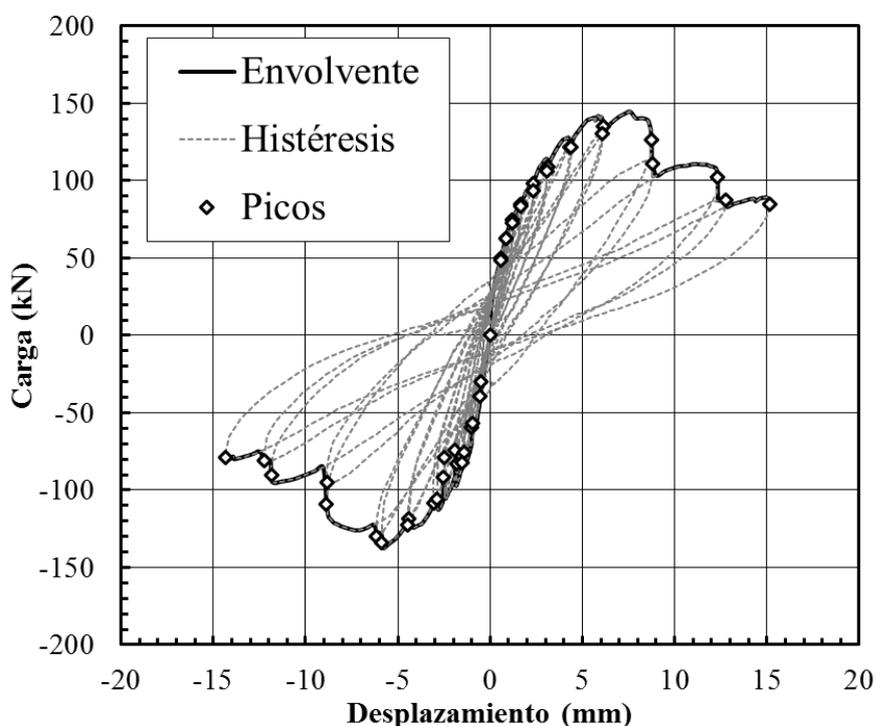


Figura 58. Curva histérica del espécimen MBAT-1

Fuente: Conde y Chambi (2017)

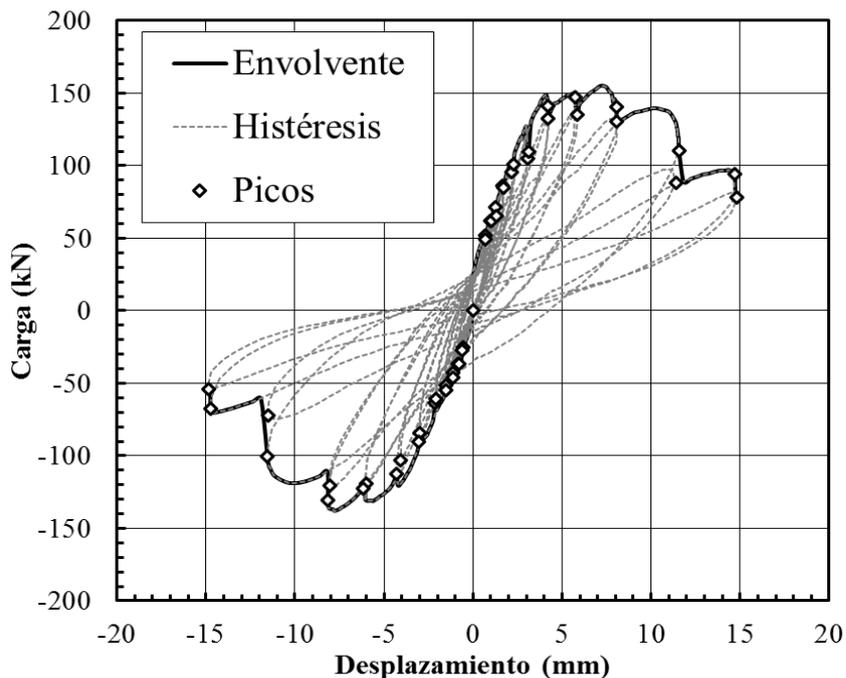


Figura 59. Curva histerética del espécimen MBAT-2

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

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 16. Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo

Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distorsión objetivo	1/4200	1/3000	1/2150	1/1500	1/1100	1/800	1/550	1/400	1/300	1/200	1/150	1/100
Desplazamiento (mm)	0.52	0.73	1.02	1.47	2.00	2.75	4.00	5.50	7.33	11.00	14.67	22.00

Fuente: Elaboración propia.

Las figuras 60 y 61, muestran las curvas de capacidad del elemento muro MBAT-1, que se encuentra expresada en términos de desplazamiento y distorsiones. Donde obtenemos una carga máxima de 130 kN con un desplazamiento de 6mm y distorsión angular de 0.0025 (1/400).

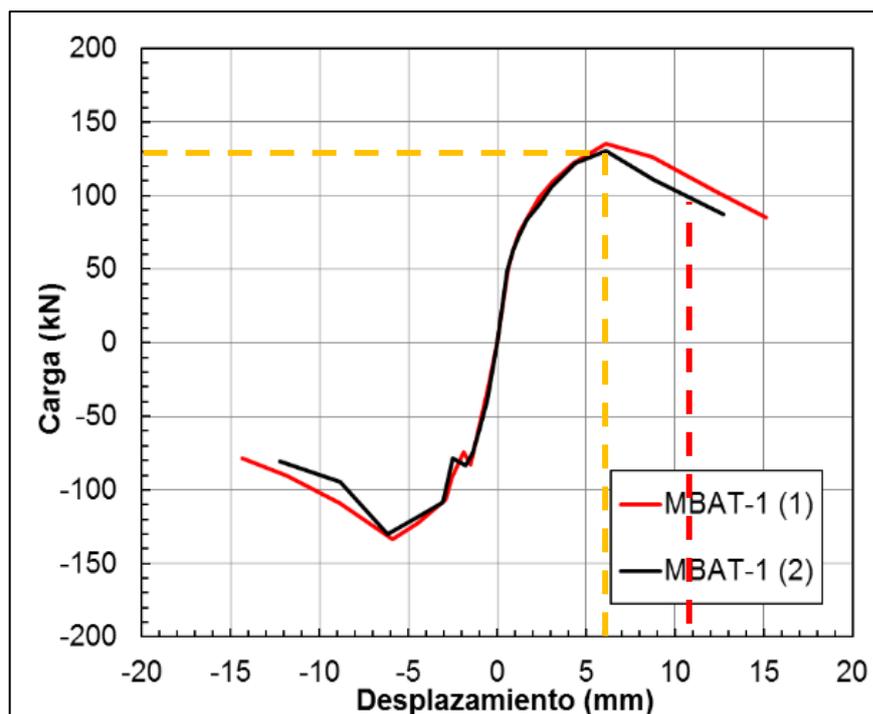


Figura 60. Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (Desplazamiento)

Fuente: Conde y Chambi (2017)

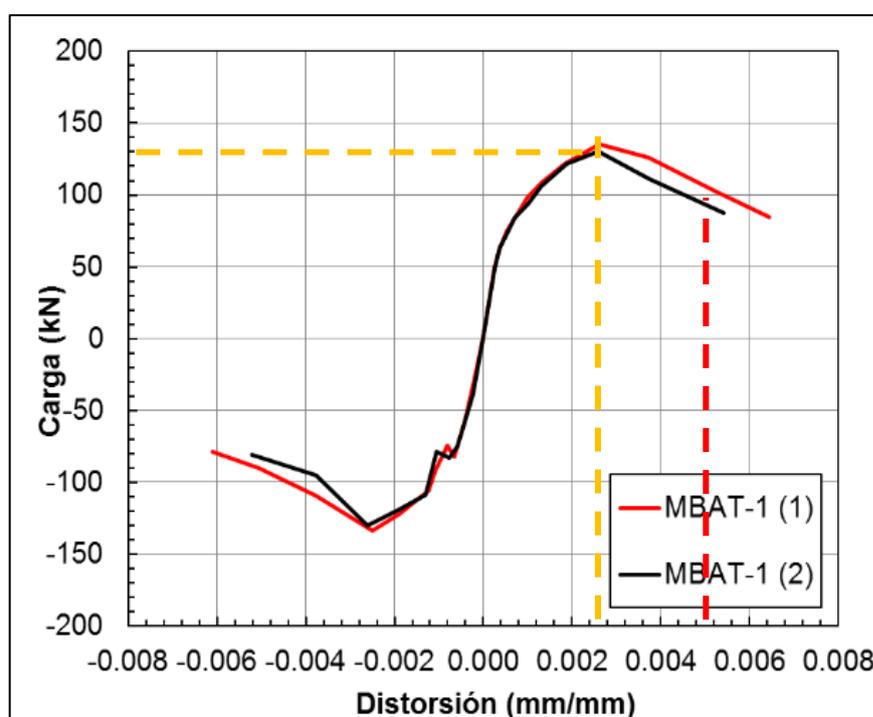


Figura 61. Curva de capacidad del espécimen MBAT-1 (Distorsión)

Fuente: Conde y Chambi (2017)

La Figura 62 y 63, muestran las curvas de capacidad del elemento muro MBAT-2, que se encuentra expresada en términos de desplazamiento y

distorsiones. Donde obtenemos una carga máxima promedio de 133 kN con un desplazamiento de 5.5mm y distorsión angular de 0.0025 (1/400).

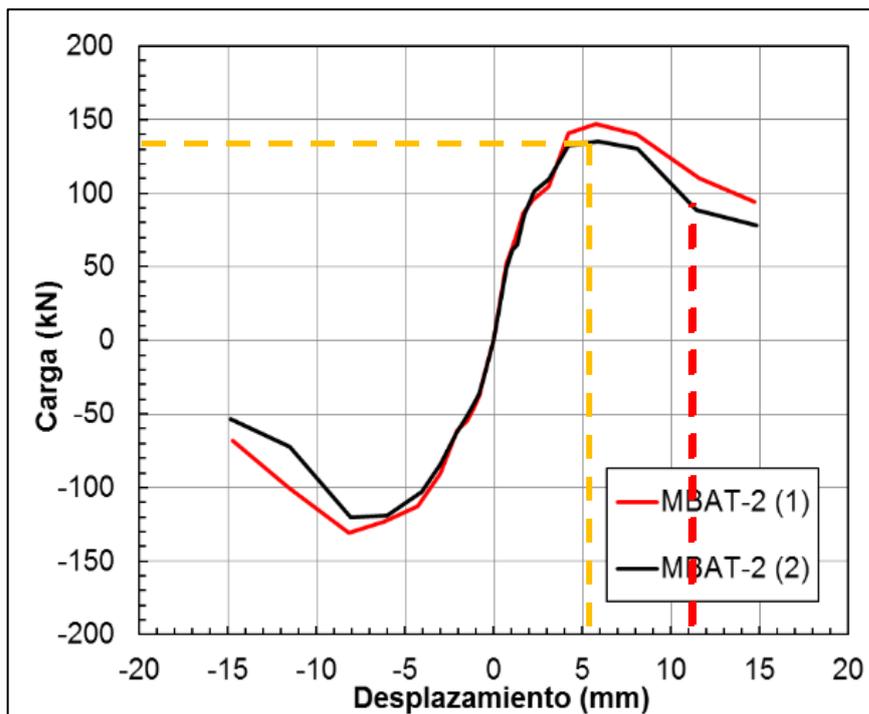


Figura 62. Curva de capacidad del espécimen MBAT-2 (Desplazamiento)

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

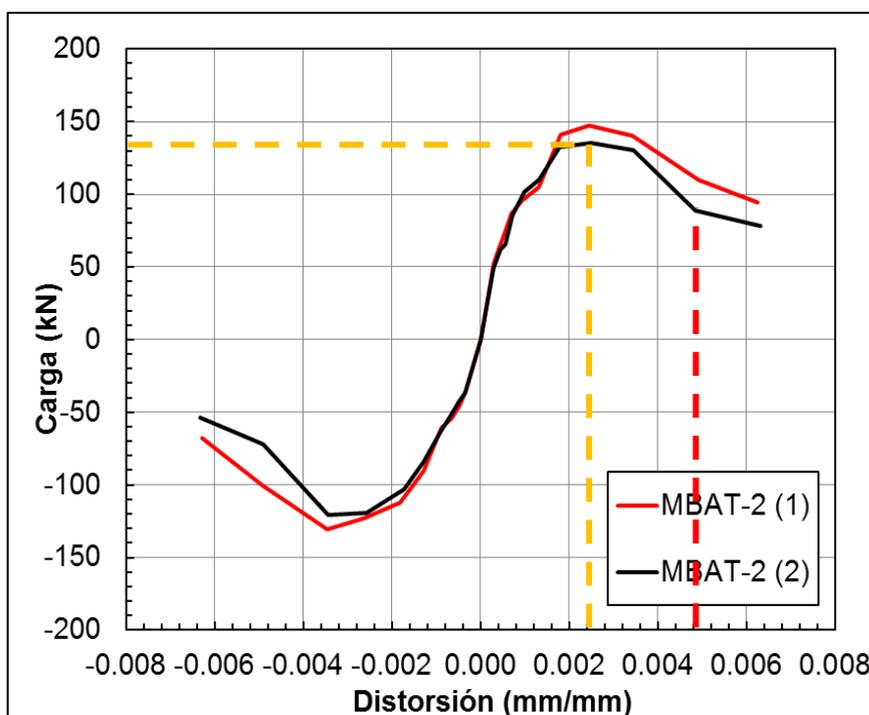


Figura 63. Curva de capacidad del espécimen MBAT-2 (Distorsión)

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, CISMID (2016)

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Hipótesis específica 1:

No se cuenta con suficiente información de ensayos realizados en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II. El muro MBAT-1 muestra restricciones para soportar actividad sísmica debido a que tiene poca capacidad para tolerar tracciones y a su comportamiento débil cuando se produce la deformación.

Los primeros estudios que se vienen realizando son desde el año 2016. La información recopilada es la siguiente:

- “PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”
- “ENSAYO A CARGA LATERAL DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDA CON BLOCKER II”

Según los ensayos recopilados antes del presente proyecto, fueron desfavorables para la utilización de las unidades blocker II, en la construcción de muros portantes. Ya que la unidad blocker II está clasificada como unidad hueca, no cumpliendo con lo indicado en la norma E.070 y también no teniendo un buen comportamiento sísmico en muros portantes según requerimiento de la norma E.030.

Para el cálculo de los estados límites promedio de este tipo de muros de albañilería se debería tener una base de datos con ensayos realizados y así poder tener los estados límites más próximos, verídicos y comportamiento sísmico de los muros ante sismos. Pero en la actualidad la información y la realización de ensayos de carga lateral cíclica en muros de albañilería confinada construidos con blocker II es escasa e insuficiente.

Las autoridades deberían realizar ensayos e informar a la población sobre el comportamiento del muro ante un evento sísmico; o financiar e incentivar a las universidades para que se sigan haciendo estudios, dado que el costo de la construcción de cada muro, el traslado de materiales y el ensayo es elevado.

Hipótesis específica 2:

El muro MBAT-2 después de ser sometido a una carga lateral y vertical de 10 tn, no cumple con el límite máximo de distorsión dispuesto en la Norma Técnica de Edificaciones E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Según el proyecto “ENSAYO A CARGA LATERAL DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDA CON BLOCKER II” denominado muro ensayado MBAT-1, se concluye que el muro no tiene un buen comportamiento sísmico según los requerimientos de la norma peruana de diseño sismo resistente E.030-2016. Cabe indicar que el muro presentó trituración de unidades, como también agrietamientos diagonales extendidos en un nivel de distorsión 0.0025 (1/400).

Por tal motivo se vio por conveniente la construcción de un nuevo espécimen denominado MBAT-2 con las mismas condiciones y características del MBAT-1, para que sea ensayado a carga lateral cíclica y ubicar los estados límites en las curvas histeréticas y así conocer la carga máxima y desplazamiento promedio de los dos especímenes, en una distorsión objetivo que se presentan.

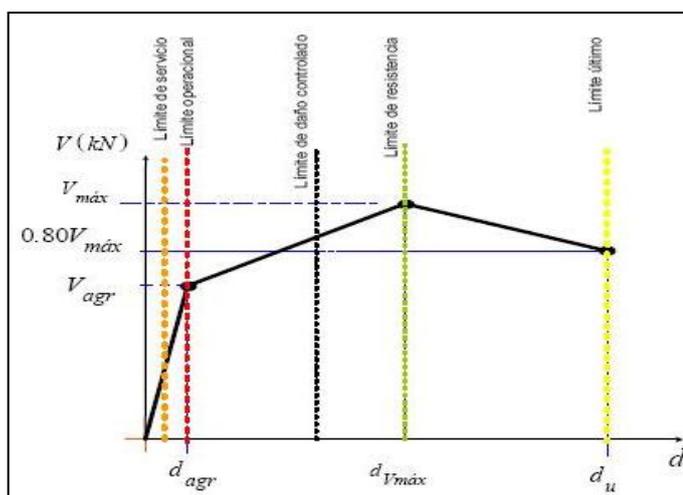


Figura 64. Relación de desplazamiento, distorsión, daño y Estados Límites

Fuente: Alcocer et al. (2013)

Finalmente con los nuevos resultados se pudo obtener los Estados límites del muro de albañilería construidos con la unidad Blocker II. Siendo estos muy similares

al muro MBAT-1, con una carga máxima de 130 kN y desplazamiento de 6 mm, que sucede a un nivel de distorsión objetivo de 0.0025 (1/400) aproximadamente, pero para un nivel de distorsión de 0.005 que indica la norma E.030 se obtuvo una carga promedio entre ambos muros de 87 kN.

En la distorsión 0.0025 el muro MBAT-2 ya supera el estado de daño y por lo tanto no tiene un buen comportamiento sísmico no cumpliendo con lo indicado en nuestra normativa.

Hipótesis general:

Los estados límites o niveles de desempeño se pueden identificar de las curvas histeréticas de los muros ensayados y según Maximiliano Astroza y Andrés Schmidt son: ELU, ELR, ELDC, ELO y ELS.

Por lo que se indica lo siguiente:

Los estados límites o niveles de desempeño nos proporcionan el patrón de daños en el muro confinado dependiendo del nivel de deformación o distorsión angular de cada ciclo según Astroza y Schmidt (2014).

Los estados límites como ELO, ELR y ELU son los puntos de color azul que indican los valores más importantes en la curva de capacidad, como el primer agrietamiento diagonal, máxima resistencia y falla de muro correspondientemente. Los estados límites ELS y ELDC son líneas de color rojo nos indican el comportamiento elástico y la degradación de la rigidez en el muro.

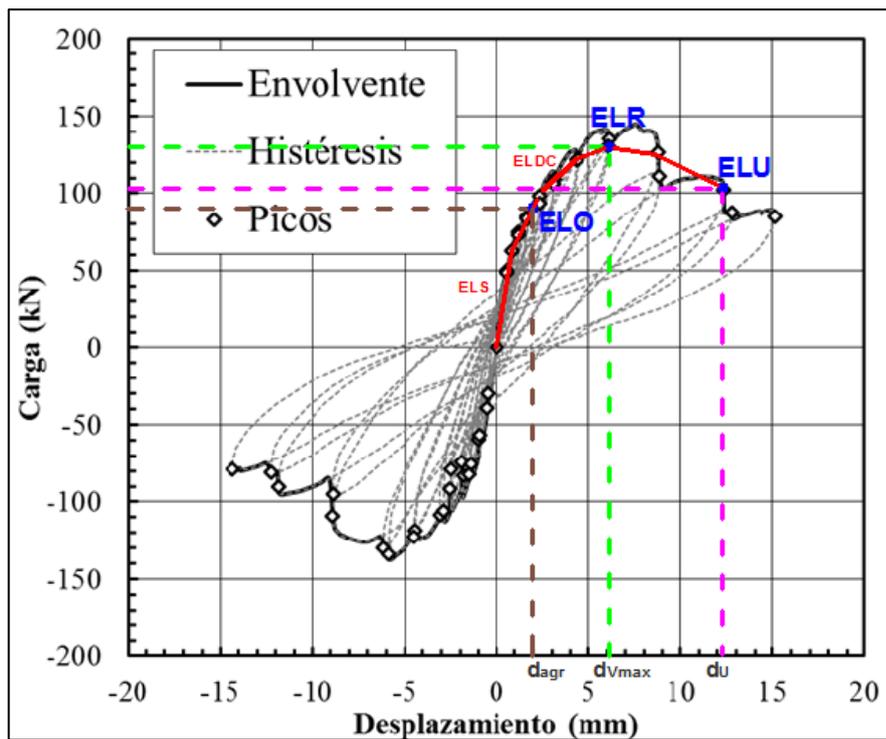


Figura 65. Identificación de los estados límites en la curvas de histéresis MBAT-1

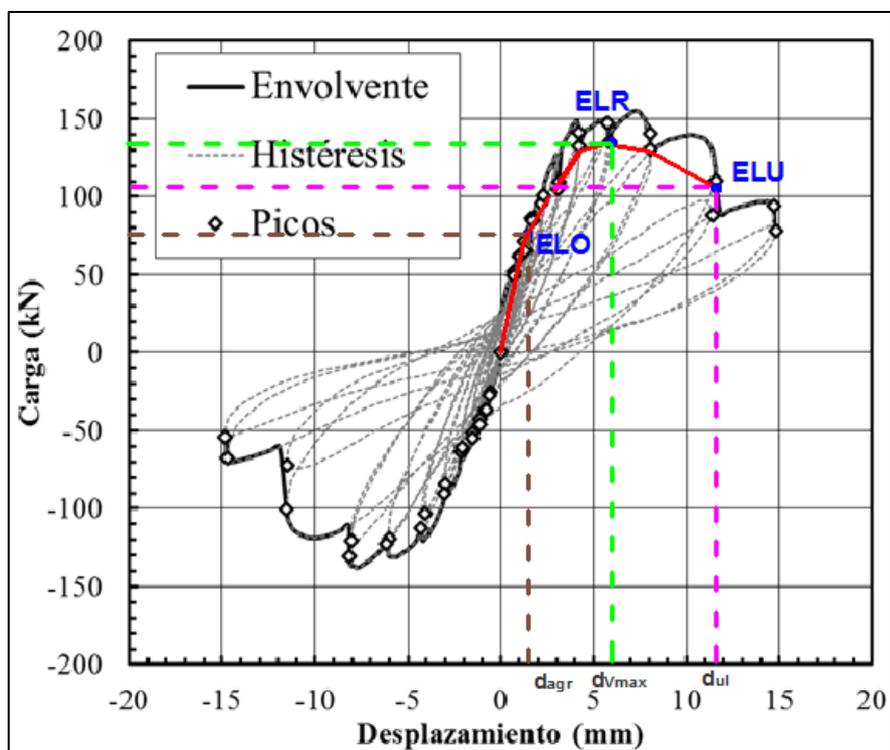


Figura 66. Identificación de los estados límites en la curvas de histéresis MBAT-2

En la Figura 65 y 66 correspondiente a los especímenes MBAT-1 y MBAT-2, podemos indicar que para cada estado límite localizado en las curvas histéresis le corresponde una carga aplicada con su respectivo desplazamiento.

Tabla 17. Estados límites de Especímenes

ESPECIMEN	ESTADOS LIMITES					
	ELO		ELR		ELU	
	kN	mm	kN	mm	kN	mm
MBAT-1	90.00	2.00	130.00	6.00	104.00	12.20
MBAT-2	77.00	1.47	133.00	5.50	106.00	11.60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Distorsión y Desplazamiento Objetivo

ESTADOS LIMITES	DISTORSION		DESPLAZAMIENTO
			mm
ELO	1/1500	0.00067	1.47
ELR	1/400	0.00250	5.50
ELU	1/200	0.0050	11.00

Fuente: Elaboración propia.

La curva de histéreticas para el espécimen MBAT-2 que se muestra en la Figura 66, son lazos histeréticos angostos y por tanto revelan la baja capacidad de disipación de energía ante cargas cíclicas en esta clase de unidad de albañilería. Se puede apreciar de la curva histerética la máxima carga aplicada al espécimen que es de 133 kN y un desplazamiento de 5.5 mm aproximadamente.

CONCLUSIONES

- Se identificó y se ubicó los estados límites de los muros ensayados MBAT-1 y MBAT-2 en las curvas histeréticas, los cuales se sometieron al ensayo de carga lateral cíclica y carga vertical de 10 tn. Se obtuvo una carga máxima promedio de 132 kN que ocurre en un nivel de distorsión de 0.0025 (1/400).
- Se recopiló información del proyecto de investigación: "PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II" donde se determinó por los ensayos realizados que la unidad en mención se clasifica como unidad de albañilería hueca. También se obtuvo información de la tesis: "ENSAYO A CARGA LATERAL DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDA CON BLOCKER II" en la cual se halló la resistencia a carga lateral del MBAT-1, lo que sirvió para realizar la comparación con el muro MBAT-2.
- Se construyó un muro MBAT-2 con las mismas características al muro MBAT-1 y se sometió al ensayo de carga cíclica lateral, se obtuvo una carga máxima de 133 kN, 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 entre ambos muros de 87 kN lo cual no cumple con lo establecido en la norma E 030.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los muros se han construidos con los mismos materiales y mismo periodo de tiempo, para que alcancen conjuntamente los Estados Límites.
- Se recomienda que las instituciones públicas en Tacna, realicen investigaciones para tener un mejor resultado del comportamiento del muro y se tenga más información, ya que los ensayos tienen un alto costo.
- Se recomienda a la población, no hacer uso del Blocker II para la construcción de muros portantes, ya que el límite de distorsión no cumple con lo establecido en la norma E 030 Diseño Sismoresistente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (2016). Norma Técnica E.030 “Diseño Sismoresistente”
- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (2006). Norma Técnica E.070 “Albañilería”
- COTRADO, D., ACERO, J. (2016). “Propuesta de Fórmula para la determinación de la Densidad de Muros Construidos con Bloque II”. Universidad Privada de Tacna, Tacna.
- CONDE, D., CHAMBI, R. (2017). “Ensayo a Carga Lateral Cíclica lateral de un muro de albañilería confinada construida con Blocker II”. Universidad Privada de Tacna, Tacna.
- SAN BARTOLOMÉ, A., QUIUN, D., SILVA, W. (2001). “Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente De Albañilería”.
- ANGLES, PAOLA. (2008). “Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- ASTROZA, M., SCHMIDT, A. (2004). “Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño”. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C. México.
- GALLEGOS, H., CASABONNE, C. (2005). “Albañilería Estructural”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- ALCOCER, S., HERNÁNDEZ, H., SANDOVAL, HARRY. (2013). “Envoltorio de resistencia lateral de piso para estructuras de mampostería confinada”.

Páginas Web:

- CISMID: <http://www.cismid-uni.org>
- LADRILLOS MAXX: <http://www.ladrillosmaxx.com>
- Instituto Geofísico de la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA): <http://rpp.pe/peru/actualidad/se-podria-producir-un-terremoto-en-el-norte-de-chile-y-al-sur-del-peru-noticia-769802>
- BEDOYA, C. “Sismicidad de Tacna 2006”: <http://www.unjbg.edu.pe/coin2/pdf/01011003106.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 19. Matriz de consistencia

INTERROGANTE DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MÉTODOS	ESTRATEGIA
¿Cuáles son los estados límites de dos muros portantes de albañilería confinada sometidos a carga lateral, construidos con la unidad hueca Blocker II?	Identificar los estados límites de dos muros de albañilería confinada, construidos con la unidad hueca "Blocker II", en base al patrón de daños alcanzados mediante ensayos cíclicos a carga lateral y vertical.	Los estados límites o niveles de desempeño se pueden identificar de las curvas histeréticas de los muros ensayados y según Maximiliano A. y Andrés S. son: ELU, ELR, ELDC, ELO y ELS.	Variable dependiente: Estados límites.	Estado de daño.	Ensayo a carga lateral cíclica.	Elaboración de curvas de capacidad.
¿Se tiene información acerca de ensayos realizados en muros de albañilería confinada utilizando la unidad hueca Blocker II?	Recopilar información del ensayo experimental realizado en el trabajo de tesis: "Ensayo a carga lateral de un muro de albañilería confinada construido con Blocker II" muro denominado MBAT-1.	No se cuenta con suficiente información de ensayos realizados en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II. El muro MBAT-1 muestra restricciones para soportar actividad sísmica debido a que tiene poca capacidad para tolerar tracciones y a su comportamiento débil cuando se produce la deformación.	Variable independiente: Muros de albañilería construidos con Blocker II.	Especímenes, carga máxima y desplazamiento	Ensayo a carga lateral cíclica.	Elaboración de curvas de capacidad.
¿El muro de albañilería construido con "Blocker II", cumple con el límite máximo de distorsión dispuesto en la Norma Técnica de Edificaciones E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, para ser usado en muros portantes?	Construir un muro MBAT-2 con las mismas características al muro MBAT-1, someterlo a la misma condición de ensayo y compararlo con la Norma Técnica de Edificaciones E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.	El muro MBAT-2 después de ser sometido a una carga lateral y vertical de 10 tn, no cumple con el límite máximo de distorsión dispuesto en la Norma Técnica de Edificaciones E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.				

Fuente: Elaboración propia.