

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFORME DE TESIS**

**“ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD Y  
CONSECUENCIA DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA  
CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Ing. Kenny Eduardo Nicasio Colque Huayhua

Bach. Ing. Alexander Oquendo Baez

**TACNA – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD Y  
CONSECUENCIA DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA  
CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER:**

**Bach. Ing. Kenny Eduardo Nicasio Colque Huayhua**

**Bach. Ing. Alexander Oquendo Baez**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

<b>PRESIDENTE</b>	<b>: Mtro. DINA MARLENE COTRADO FLORES</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>: Mtro. EDGAR HIPÓLITO CHAPARRO QUISPE</b>
<b>VOCAL</b>	<b>: ING. LUIS VALLE CASTRO</b>
<b>ASESOR</b>	<b>: Mtro. JOSÉ ALBERTO ACERO MARTÍNEZ</b>

**TACNA- PERÚ**

**2017**

## **DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Yo, KENNY EDUARDO NICASIO COLQUE HUAYHUA, en calidad de BACHILLER de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI. N° 70282175.

Declaro bajo juramento que:

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

“ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD Y CONSECUENCIA DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”.

La misma que presento para optar:

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.

Lugar y fecha : Tacna, Octubre 2017

Firma : \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos : Kenny Eduardo Nicasio Colque Huayhua

DNI : 70282175

## **DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Yo, ALEXANDER OQUENDO BAEZ, en calidad de BACHILLER de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI. N° 80004389.

Declaro bajo juramento que:

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

“ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD Y CONSECUENCIA DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”.

La misma que presento para optar:

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.

Lugar y fecha : Tacna, Octubre 2017

Firma : \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos : Alexander Oquendo Baez

DNI : 80004389

*A DIOS: Por haberme dado la vida, por brindarme buena salud y por guiarme por el buen camino a lo largo de mi carrera.*

*A MIS PADRES: Ruth y Nicasio, porque creyeron en mí, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por su paciencia, por los buenos valores y sobre todo por haberme heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: AMOR.*

*A MIS FAMILIARES: Karina, Patricia y Sonia mis queridas hermanas por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. A mis sobrinos Vania, Rafael, Fabiano, Jurdems y Ottmar porque llenan de alegría cada día de mi vida. A mi abuela porque a pesar de la distancia siempre estuvo aconsejándome y apoyándome en todo momento.*

*A todos ustedes, con amor*

*Kenny Eduardo Nicasio Colque Huayhua*

*Al creador de todas las cosas que  
ilumina mi camino, dedico primeramente  
mi tesis a DIOS.*

*De igual forma dedico esta tesis a mi  
papá Nestor Oquendo Mendoza, a mi  
mamá Esther Baez Velásquez a mis  
hermanos y seres queridos que siempre  
me brindaron su amor y apoyo  
incondicional y que son parte de mi  
vida.*

*A los docentes de mi alma mater de la  
facultad de Ingeniería Civil que forman  
parte de mi formación profesional el cual  
estoy agradecido.*

*Alexander Oquendo Baez*



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar damos gracias a Dios, por acompañarnos todos los días, por bendecirnos y por habernos dado fuerza y voluntad para culminar esta etapa de nuestra vida.

A la Universidad Privada de Tacna, por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

A nuestro asesor de tesis Mg. José Acero Martínez, por la orientación, la dedicación, la motivación y la supervisión del presente trabajo de investigación

Al Mg. Nicol Tarque Ruiz, por su valioso aporte en el suministro de los datos necesarios para la realización de la parte empírica de curvas de fragilidad y curvas de consecuencia.

A la Ingeniera Dina Cotrado Flores, por brindarnos su apoyo incondicional, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en nosotros que podamos terminar nuestros estudios con éxito.

Especial reconocimiento merece nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, porque todos han aportado con un granito de arena para nuestra formación.

A nuestros amigos y familiares por la paciencia, la motivación, el apoyo y el ánimo que nos brindaron.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.2.1. INTERROGANTE PRINCIPAL.....	7
1.2.2. INTERROGANTES SECUNDARIAS.....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	7
1.4. OBJETIVOS.....	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.5. HIPÓTESIS.....	10
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	10
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	11
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	12
2.1.1. PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II.....	12
2.1.2. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE TRES MUROS A ESCALA NATURAL – ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA BLOCKER II (2016).....	18
2.1.3. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE MURO CON REFORZAMIENTO Y SU COMPARACIÓN CON MUROS SIN REFORZAMIENTO A ESCALA NATURAL.....	20
2.1.4. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE TRES MUROS A ESCALA NATURAL – ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA BLOCKER II (2017).....	22

2.1.5. SERVICIOS DE ENSAYOS ESTRUCTURALES PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA (TARQUE, 2016).....	24
2.2. BASES TEÓRICAS .....	30
2.2.1. CURVAS DE FRAGILIDAD.....	30
2.2.1.1. ¿QUÉ ES FUNCIÓN DE FRAGILIDAD?.....	31
2.2.1.2. DOCUMENTACIÓN.....	34
2.2.1.3. DERIVACIÓN DE PARÁMETROS DE FRAGILIDAD.....	35
2.2.1.3.1. DATOS DE DEMANDA REAL.....	35
2.2.1.3.2. EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	36
2.2.1.4. ¿POR QUÉ LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA LOGNORMAL ES AMPLIAMENTE UTILIZADA PARA LA FRAGILIDAD?.....	37
2.2.2. CURVAS DE CONSECUENCIA.....	38
2.2.2.1. ¿QUÉ ES FUNCIÓN DE CONSECUENCIA?.....	38
2.2.2.2. COSTOS DE REPARACIÓN.....	39
2.2.2.3. TIEMPO DE REPARACIÓN.....	40
2.2.2.4. ¿CUÁLES SON LOS PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE CONSECUENCIA?.....	41
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	42
2.3.1. CURVAS DE FRAGILIDAD.....	42
2.3.2. CURVAS DE CONSECUENCIA.....	42
2.3.3. ALBAÑILERÍA O MAMPOSTERÍA.....	43
2.3.4. ALBAÑILERÍA CONFINADA.....	43
2.3.5. UNIDAD DE ALBAÑILERÍA.....	43
2.3.6. UNIDAD DE ALBAÑILERÍA HUECA.....	43
2.3.7. UNIDAD DE ALBAÑILERÍA SÓLIDA O MACIZA.....	43
2.3.8. CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA.....	44
2.3.9. PELIGRO SÍSMICO.....	44
2.3.10. VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	44
2.3.11. RIESGO SÍSMICO.....	44
2.3.12. MOVIMIENTO SÍSMICO.....	44
2.3.13. ESCALA RICHTER.....	45
2.3.14. ESCALA MAGNITUD MOMENTO.....	45

2.3.15. EDIFICACIÓN.....	45
2.3.16. DISPERSIÓN ESTÁNDAR .....	45
2.3.17. ESTADO DE DAÑO.....	45
2.3.18. MORTERO .....	46
2.3.19. CONFINAMIENTO.....	46
2.3.20. REPARACIÓN.....	46
2.3.21. REFORZAMIENTO.....	46
2.3.22. CRECIMIENTO POBLACIONAL.....	46
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>47</b>
3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	47
3.2. POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO.....	47
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	49
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	50
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	50
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
4.1. RESULTADOS DE CURVAS DE FRAGILIDAD MHI-CQ.....	54
4.1.1. ESTADO DE DAÑO 1 O ESTADO LÍMITE 1 .....	56
4.1.2. ESTADO DE DAÑO 2 O ESTADO LÍMITE 2.....	58
4.1.3. ESTADO DE DAÑO 3 O ESTADO LÍMITE 3.....	59
4.2. RESULTADOS DE CURVAS DE CONSECUENCIA .....	64
4.2.1. REPARACIÓN DE UN MURO (ESTADO DE DAÑO 1) .....	65
4.2.2. REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE UN MURO (ESTADO DE DAÑO 2) .....	67
4.2.3. DEMOLICIÓN, CONSTRUCCIÓN Y REFORZAMIENTO DE UN MURO (ESTADO DE DAÑO 3).....	70
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN .....</b>	<b>77</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA N°01:</b> Resumen de daños, sismo 23 de junio de 2001 en el departamento de Tacna.....	04
<b>TABLA N°02:</b> Material predominante de construcción .....	05
<b>TABLA N°03:</b> Crecimiento Poblacional al 2025 en el departamento de Tacna.....	08
<b>TABLA N°04:</b> Limitaciones en el uso de unidad de albañilería para fines estructurales .....	09
<b>TABLA N°05:</b> Ensayos de dimensionamiento - Largo .....	13
<b>TABLA N°06:</b> Ensayos de dimensionamiento - Ancho .....	13
<b>TABLA N°07:</b> Ensayos de dimensionamiento - Alto .....	14
<b>TABLA N°08:</b> Ensayos de alabeo .....	14
<b>TABLA N°09:</b> Resistencia a la compresión $f'_b$ .....	15
<b>TABLA N°10:</b> Porcentajes de vacíos.....	15
<b>TABLA N°11:</b> Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de mortero .....	16
<b>TABLA N°12:</b> Identificación de los especímenes (Pilas de Albañilería).....	16
<b>TABLA N°13:</b> Determinación de $f'_m$ y $E'_m$ .....	17
<b>TABLA N°14:</b> Resultados de los ensayos de compresión diagonal de los muretes	17
<b>TABLA N°15:</b> Resumen de ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes .....	18
<b>TABLA N°16:</b> Códigos, descripción y dimensiones de los especímenes ensayados - SENCICO .....	25
<b>TABLA N°17:</b> Cálculo de parámetros $\theta$ y $\beta$ .....	36
<b>TABLA N°18:</b> Características de los muros de albañilería confinada .....	48
<b>TABLA N°19:</b> Operacionalización de variables .....	49
<b>TABLA N°20:</b> Cálculo de demanda ( $d_i$ ) .....	55
<b>TABLA N°21:</b> Determinación de los parámetros $\Theta$ y $\beta$ – estado de daño 1.....	56
<b>TABLA N°22:</b> Determinación de los parámetros $\Theta$ y $\beta$ – estado de daño 2.....	58
<b>TABLA N°23:</b> Determinación de los parámetros $\Theta$ y $\beta$ – estado de daño 3.....	59
<b>TABLA N°24:</b> Materiales para la construcción, reparación y reforzamiento de un muro .....	64
<b>TABLA N°25:</b> Mano de obra para la construcción, reparación y reforzamiento de un muro .....	65

<b>TABLA N°26:</b> Costo de materiales para la reparación de un muro.....	65
<b>TABLA N°27:</b> Número total de días de trabajo para la reparación de un muro.....	65
<b>TABLA N°28:</b> Costo de mano de obra para la reparación de un muro .....	66
<b>TABLA N°29:</b> Costo total para la reparación de un muro .....	66
<b>TABLA N°30:</b> Costo de materiales para la reparación y reforzamiento de un muro	67
<b>TABLA N°31:</b> Número total de días de trabajo para la reparación y reforzamiento de un muro.....	68
<b>TABLA N°32:</b> Costo de mano de obra para la reparación y reforzamiento de un muro .....	68
<b>TABLA N°33:</b> Costo total para la reparación y reforzamiento de un muro.....	68
<b>TABLA N°34:</b> Costo de materiales para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro.....	70
<b>TABLA N°35:</b> Número total de días de trabajo para la demolición, construcción, y reforzamiento de un muro .....	71
<b>TABLA N°36:</b> Costo de mano de obra para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro .....	71
<b>TABLA N°37:</b> Costo total para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro .....	71
<b>TABLA N°38:</b> Parámetros de curvas de consecuencia para cada estado de daño	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA – 01:</b> Construcción de Vivienda en la Ciudad de Tacna .....	05
<b>FIGURA – 02:</b> Viviendas en base al sistema de albañilería confinada en la Ciudad de Tacna.....	06
<b>FIGURA – 03:</b> Comparación de las curvas histeréticas de los especímenes ensayados .....	20
<b>FIGURA – 04:</b> Comparación de la curva de capacidad de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo .....	22
<b>FIGURA – 05:</b> Comparación de las curvas histeréticas de los especímenes ensayados .....	24
<b>FIGURA – 06:</b> Curva de fragilidad de MA-SQ (deriva).....	26
<b>FIGURA – 07:</b> Curva de fragilidad de MA-SQ (desplazamiento).....	27
<b>FIGURA – 08:</b> Curva de fragilidad de MA-CQ (deriva) .....	27
<b>FIGURA – 09:</b> Curva de fragilidad de MA-SQ (desplazamiento).....	27
<b>FIGURA – 10:</b> Curva de fragilidad de MA-R-SQ (deriva).....	28
<b>FIGURA – 11:</b> Curva de fragilidad de MA-R-SQ (desplazamiento).....	28
<b>FIGURA – 12:</b> Curva de consecuencia de costos para todos los estados de daño.	29
<b>FIGURA – 12:</b> Curva de consecuencia de tiempo para todos los estados de daño	30
<b>FIGURA – 14.01:</b> Función de fragilidad lognormal típica .....	32
<b>FIGURA – 14.02:</b> Evaluación de las probabilidades individuales de estado de daño.....	33
<b>FIGURA – 15:</b> Función de consecuencia típica para los costos de reparación .....	42
<b>FIGURA – 16:</b> Espécimen básico, unidad de medida metros .....	48
<b>FIGURA – 17:</b> Curva de capacidad de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo .....	54
<b>FIGURA – 18:</b> Curva de capacidad de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo .....	55
<b>FIGURA – 19:</b> Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 1 (deriva de entre piso).....	57
<b>FIGURA – 20:</b> Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 1 (desplazamiento de entre piso) .....	57
<b>FIGURA – 21:</b> Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 2 (deriva de entre piso).....	58

<b>FIGURA – 22:</b> Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 2 (desplazamiento de entre piso) .....	59
<b>FIGURA – 23:</b> Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 3 (deriva de entre piso).....	60
<b>FIGURA – 24:</b> Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 3 (desplazamiento de entre piso) .....	60
<b>FIGURA – 25:</b> Curva de fragilidad de muro MHI-CQ (deriva de entre piso) .....	61
<b>FIGURA – 26:</b> Curva de fragilidad de muro MHI-CQ (desplazamiento de entre piso).....	61
<b>FIGURA – 27:</b> Interpretación de la curva de fragilidad de muro MHI-CQ (deriva de entre piso).....	62
<b>FIGURA – 28:</b> Interpretación de la curva de fragilidad de muro MHI-CQ (desplazamiento de entre piso) .....	63
<b>FIGURA – 29:</b> Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 1 (costo).....	66
<b>FIGURA – 30:</b> Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 1 (tiempo).....	67
<b>FIGURA – 31:</b> Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 2 (costo).....	69
<b>FIGURA – 32:</b> Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 2 (tiempo).....	69
<b>FIGURA – 33:</b> Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 3 (costo).....	72
<b>FIGURA – 34:</b> Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 3 (tiempo).....	72
<b>FIGURA – 35:</b> Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR (costo de reparación, reforzamiento y construcción) .....	73
<b>FIGURA – 36:</b> Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR (tiempo de reparación, reforzamiento y construcción) .....	74
<b>FIGURA – 37:</b> Interpretación de la curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR (costo de reparación, reforzamiento y construcción) .....	75
<b>FIGURA – 38:</b> Interpretación de la curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR (tiempo de reparación, reforzamiento y construcción) .....	76
<b>FIGURA – 39:</b> Relación deriva 5/1000 y estado de daño de MHI-CQ.....	78



**ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO – 01:</b> Matriz de consistencia.....	88
<b>ANEXO – 02:</b> Documentación de curvas de fragilidad y consecuencia, según libería del PACT del FEMA P58-1.....	90

## RESUMEN

**Objetivo:** El presente trabajo de investigación titulado “**Elaboración de curvas de fragilidad y consecuencia de muros de albañilería confinada construidos con Blocker II**”, tuvo como propósito contribuir con información para futuros estudios de vulnerabilidad sísmica en muros de albañilería confinada con ladrillos Blocker II; para ello, se ha elaborado curvas de fragilidad y curvas de consecuencia en muros de albañilería confinada de 13 cm de espesor según la librería del PACT del FEMA P-58.

**Métodos:** Para llevar a cabo este estudio fue necesario recopilar información de 05 ensayos experimentales realizados en el laboratorio de estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI). La resistencia a compresión del concreto de los muros es  $175 \text{ kg/cm}^2$ , el refuerzo es con una malla electrosoldada  $1/4"$  de diámetro y mortero de 5cm de espesor, asimismo la carga axial es de 10Tn.

### **Resultados:**

Las curvas de fragilidad indican la probabilidad condicional de incurrir en un determinado nivel de daño para un valor dado de una demanda, es decir, indica la probabilidad de que un muro de albañilería confinada llegue o supere un estado de daño proporcionado para un nivel de deriva o desplazamiento dado. De las curvas de fragilidad se puede observar que para una deriva de  $5/1000$  (límite permisible por la N.T.E. E.030) la probabilidad de que se presente el estado de daño 1 es del 100%, la probabilidad de que se encuentre el estado de daño 2 es del 97% y la probabilidad de que se produzca el estado de daño 3 es del 23%.

Las curvas de consecuencia nos permiten conocer el costo y tiempo de reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada en un determinado estado de daño. De las curvas de consecuencia se puede observar que para una vivienda que cuenta con 5 muros en estado de daño 2, el costo de la reparación y reforzamiento por muro será de 291.05 USD y el tiempo será de 3.87 días.

**Conclusión:** Por último, se concluye que las curvas de fragilidad y curvas de consecuencia son una herramienta muy útil, ya que nos permiten estimar la probabilidad de daño que ocasionaría un sismo y pueden emplearse para determinar las pérdidas económicas, costos y tiempo de reposición.

**Palabras claves:** Curvas de consecuencia, curvas de fragilidad, muros de albañilería confinada.

## ABSTRACT

**Objective:** The present work of investigation titled "Elaboration of curves of fragility and consequence of walls of confined masonry built with Blocker II", had as purpose to contribute with information for future studies of seismic vulnerability in masonry walls confined with Blocker II bricks; To this end, fragility curves and consequence curves have been prepared in confined masonry walls 13 cm thick according to the FACT PACT P-58 library.

**Methods:** To carry out this study, it was necessary to collect information from an experimental trial conducted in the laboratory of structures of the Japanese-Peruvian Center for Seismic Research and Disaster Mitigation of the National University of Engineering (CISMID-UNI). The resistance to compression of the concrete of the walls 175 kg / cm, the reinforcement is with a welded mesh 1/4 "of diameter and mortar of 5 cm of thickness, also the axial load is of 10 Tn.

### Results:

The fragility curves indicate the conditional probability of incurring a certain level of damage for a given value of a demand, that is, it indicates the probability that a confined masonry wall reaches or exceeds a state of damage provided for a level of drift or displacement given. From the fragility curves it can be seen that for a drift of 5/1000 (limit permissible by NTE E.030) the probability that damage state 1 is present is 100%, the probability that the damage state is found 2 is 97% and the probability of damage 3 occurring is 23%.

The consequence curves allow us to know the cost and time of repair and reinforcement of a masonry wall confined in a determined state of damage. From the consequence curves it can be seen that for a house that has 5 walls in state of damage 2, the cost of repair and reinforcement per wall will be 291.05 USD and the time will be 3.87 days.

**Conclusion:** Finally, it is concluded that fragility curves and consequence curves are a very useful tool, since they allow us to estimate the probability of damage that an earthquake would cause and can be used to determine economic losses, costs and replacement time.

**Key words:** Consequence curves, fragility curves, confined masonry walls.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tacna se encuentra ubicada en el extremo Sur del Perú, en la región Costa, en una zona de alta actividad sísmica. Como sabemos los sismos liberan gran cantidad de energía con efectos catastróficos a la vida y al patrimonio de la sociedad, como el ocurrido el 13 de agosto de 1868, hace 150 años.

Por otro lado, según los especialistas nos indican que existe un “silencio sísmico”, y a pesar de haberse dado el terremoto del 23 de junio de 2001; cuyo epicentro fue ubicado a 82km al Noroeste de la localidad de Ocoña, departamento de Arequipa; se espera la ocurrencia de un sismo de mayor grado de intensidad que el del 2001, por tanto, la población debe estar preparada para enfrentarlo.

El terremoto del 23 de junio de 2001 que azotó a Tacna, puso al descubierto la fragilidad de las construcciones existentes, las cuales no fueron adecuadamente diseñadas ni construidas con asistencia técnica, despertando el interés de las autoridades involucradas en la gestión del riesgo.

Debido a las altas tasas de migración y crecimiento poblacional, gran cantidad de edificaciones fueron construidas con el sistema de albañilería confinada, cuyos materiales empleados, no están estandarizados en la Norma Técnica de Edificaciones E-070, como es el caso de la unidad hueca “Blocker II”.

Por consiguiente, desde el año 2015, la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna, viene desarrollando diferentes investigaciones referidas a la unidad de albañilería Blocker II. En la actualidad se ha ejecutado 06 ensayos experimentales de muros construidos a escala real y una propuesta de reforzamiento del muro construido con Blocker II, en el Laboratorio de Estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI).

Sin embargo, no existe estudio alguno sobre curvas de fragilidad y curvas de consecuencia en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II, es por ello que teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las construcciones informales en la ciudad de Tacna y el alto riesgo de pérdidas humanas y materiales que se podría presentar ante un evento sísmico severo, se realiza el presente trabajo de investigación titulado “ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD Y CONSECUENCIA DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”, con la finalidad de contribuir con información para posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica, así como estimar la probabilidad de daño, costo y tiempo de reparación y reforzamiento de muros construidos con Blocker II.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto, está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales (*Alva, 2002, pág.167*).

La ciudad de Tacna se localiza en una zona de alto riesgo sísmico. Hasta el 23 de junio del 2001 existía un “silencio de sismos fuertes” de más de 130 años; por lo que se ha venido acumulando la energía sísmica, siendo probable que en el futuro próximo se presente un terremoto de grado superior a VIII (Mercalli); lo que afectaría a la población y la infraestructura de la ciudad de Tacna (*Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Tacna, 2015-2025, pág.130*).

El 23 de junio de 2001, siendo las 15 horas, 33 minutos con 48.5 segundos, la región Sur del Perú fue sacudida por un violento movimiento sísmico que causó daños en 04 departamentos, tuvo una magnitud de 6.9 en la Escala de Richter y 8.4 en la Escala de Mw. El epicentro fue ubicado 82 km al Noroeste de la localidad de Ocoña, departamento de Arequipa. Después del movimiento principal se registraron 60 réplicas considerables de II a III grado en la escala Modificada de Mercalli. En el departamento de Tacna el sismo causó daños a 04 provincias, 27 distritos, dejando un saldo de 74 767 personas damnificadas, 363 heridos, 14 fallecidos, 15 507 viviendas afectadas y 6 976 viviendas destruidas (*Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres 2006 - INDECI, pág. 15*), las mismas que se detallan en la tabla N°01.



El terremoto del 23 de junio del 2001 en Tacna, puso al descubierto la fragilidad de los asentamientos humanos no planificados o realizados sin una adecuada asistencia técnica, despertando el interés de las autoridades involucradas en la defensa civil en identificar los diferentes peligros presentes en una zona que la hacen vulnerable, y no solamente la organización de la población para casos de sismos (*Proyecto PNUD PER/02/051, 2004, Pág.2*).

En los últimos años la ciudad de Tacna ha presentado altas tasas de migración y crecimiento poblacional, frente a esta realidad la población de Tacna no obedece las normas y recomendaciones técnicas que se difunden para construir sus viviendas que permitiría mitigar los efectos sísmicos, y prefieren continuar con prácticas ancestrales (autoconstrucción, sin adecuada orientación técnica, mala calidad de los materiales y mano de obra no calificada), como se muestra en la figura – 01.

**Tabla Nº01:** Resumen de daños, sismo del 23 de junio de 2001 en el Departamento de Tacna

PROVINCIAS AFECTADAS	POBLACIÓN				VIVIENDAS	
	Damnificados	Desaparecidos	Heridos	Fallecidos	Afectadas	Destruídas
TACNA	58,135	0	252	10	14,404	3,772
CANDARAVE	8,703	0	28	3	220	1,874
TARATA	2,445	0	15	0	453	441
JORGE BASADRE	5,484	0	68	1	430	889
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>74,767</b>	<b>0</b>	<b>363</b>	<b>14</b>	<b>15,507</b>	<b>6,976</b>

**Fuente:** Segunda y Tercera Región de Defensa Civil – Ministerio de Salud – Comités de Defensa Civil.

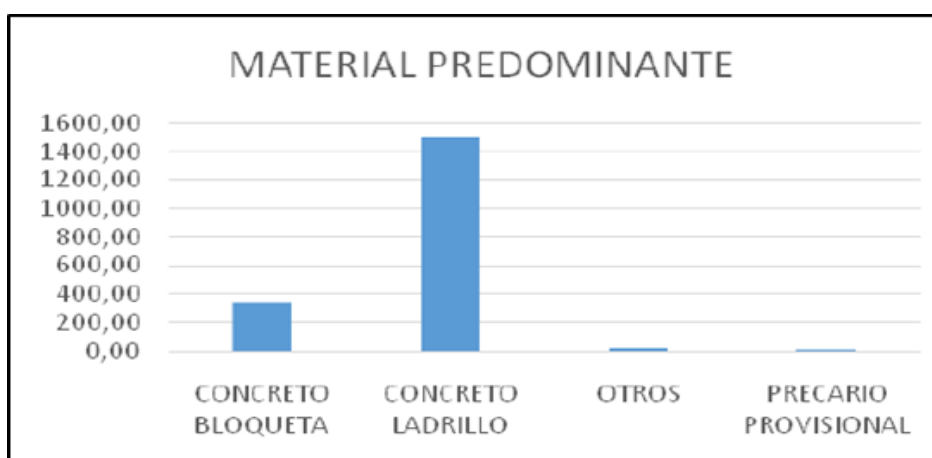


**Figura - 01:** Construcción de Vivienda en la Ciudad de Tacna

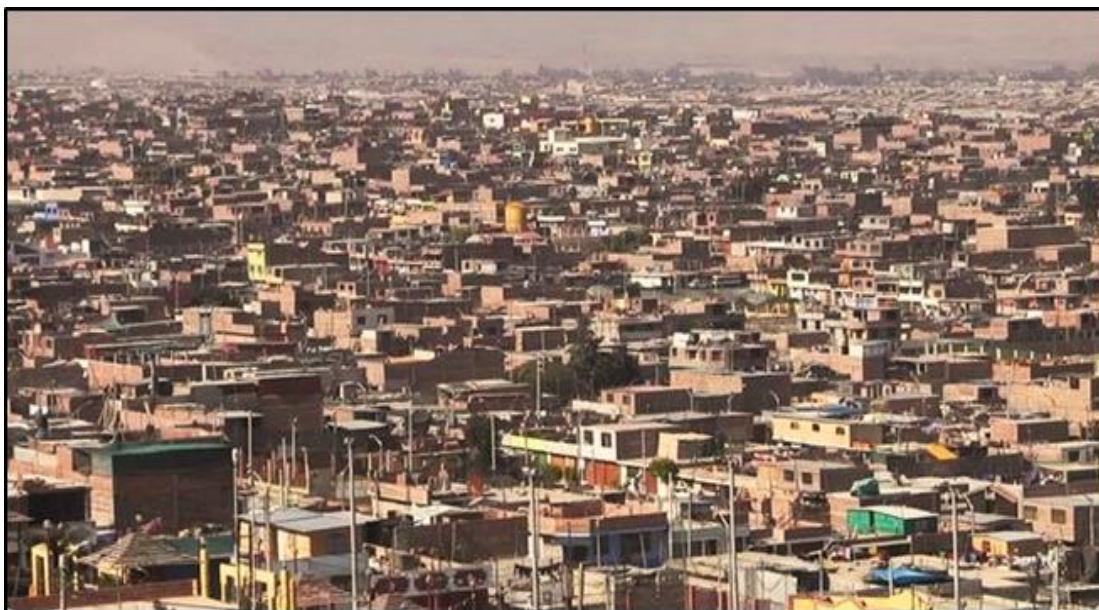
**Fuente:** <https://www.Diariocorreo.pe>

En la ciudad de Tacna, aproximadamente el 80.59% de edificaciones son construidas con el sistema de albañilería confinada, en donde se emplean diferentes tipos de unidades para la construcción de muros de albañilería como son: Blocker I, Blocker II, bloqueta artesanal, ladrillo pandereta y rara vez ladrillos de techo, tal como se muestra en la tabla N°02 y la figura – 02.

**Tabla N° 02:** Material Predominante de Construcción



**Fuente:** PAT-PDU /2015-2025, 20, pág. 72



**Figura – 02:** Viviendas en base al sistema de albañilería confinada en la Ciudad de Tacna.

**Fuente:** <https://www.google.com.pe>

Desde el año 2015, la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Privada de Tacna, viene desarrollando diferentes investigaciones referidas a la unidad de albañilería Blocker II. A la actualidad se ha ejecutado 06 ensayos experimentales de muros construidos a escala real y una propuesta de reforzamiento del muro construido con Blocker II, en el Laboratorio de Estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI).

En esta oportunidad mediante este trabajo de investigación pretendemos ampliar los estudios ya efectuados, proponiendo curvas de fragilidad y curvas de consecuencia, tomando como Data los ensayos en muros construidos con Blocker II, realizado por otros tesisistas.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. INTERROGANTE PRINCIPAL**

¿Cómo contribuir con información para posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de albañilería confinada de la ciudad de Tacna construidas con Blocker II, mediante la elaboración de curvas de fragilidad y curvas de consecuencia en base a ensayos experimentales en muros?

### **1.2.2. INTERROGANTES SECUNDARIAS**

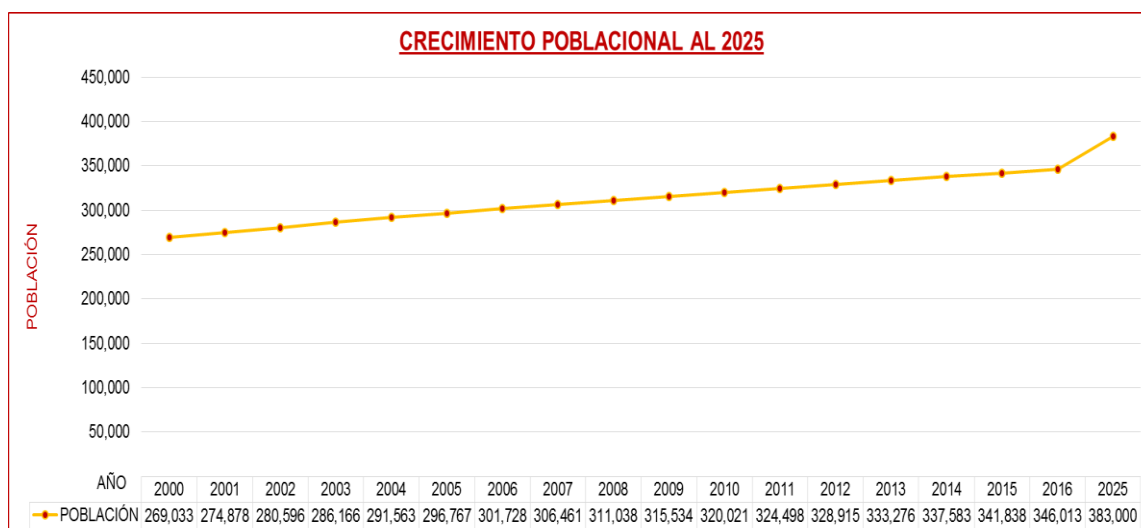
- a) ¿Cómo determinar valores de distorsiones permisibles para tres estados de daños, basados en ensayos experimentales en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II, mediante la elaboración de curvas de fragilidad según la librería del PACT del FEMA P 58?
  
- b) ¿Cómo determinar el costo y tiempo de reparación y reforzamiento para un muro de albañilería confinada construido con Blocker II para tres estados de daños basados en ensayos experimentales, mediante la elaboración de curvas de consecuencia según la librería del PACT del FEMA P 58?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El departamento de Tacna se ubica en el extremo sur del Perú, limita con el Océano Pacífico por el Suroeste, con la región Puno por el Norte, con la región Moquegua por el Noroeste, con Bolivia por el este y con Chile por el Sur, se encuentra a 560 m.s.n.m. y cuenta con una población cercana a los 346 mil habitantes, se estima que para el año 2025 dicha población alcance los 383 mil habitantes (<http://www.inei.gob.pe/>), como se muestra en la tabla N° 03.

Tacna cuenta con una extensión de 16 033.77 kilómetros cuadrados, así mismo el 87.3% de su población reside en el área urbana y el 12.7% en el ámbito rural (*Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Tacna, 2015-2025, pág. 10*).

**Tabla N°03:** Crecimiento Poblacional al 2025 en el Departamento de Tacna



**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística e Informática

Desde el 13 de agosto de 1868 el departamento de Tacna no sufre sismos de consideración, el último sismo moderado ocurrió el 23 de junio de 2001, de magnitud 6.9 en la Escala de Richter y 8.4 en la escala Mw, que causó mucha alarma y desesperación en la población; por ello el Proyecto INDECI – PNUD PER 02/52. CIUDADES SOSTENIBLES en su pág. 106 indica “*Analizando la secuencia de los sismos ocurridos en el Perú de Norte a Sur, con una frecuencia de 6 a 10 años y considerando un período de retorno para uno como el de 1868 (150 a 250 años), prácticamente este sector de América se encuentra ad portas de un mega sismo, que tendría una magnitud superior al sismo del 23-06-2001*”.

La poca conciencia sísmica de la población, al momento de edificar sus viviendas, hace que la mayoría construya con ladrillos Blocker II ignorando los conceptos de muros portantes y no portantes, así como su comportamiento frente a un evento sísmico de gran magnitud. Se considera aproximadamente que el 80.59%

de edificaciones son construcciones hechas con el sistema de albañilería informal sin una supervisión técnica de un Profesional de Ingeniería Civil.

El uso de ladrillos de Blocker II, que es una unidad hueca, que tiene perforaciones perpendiculares a la cara de asiento y que representa más del 30% de su área neta, implica un alto riesgo ya que no cumplen con las características que la NTE 0.70 nos indica según la tabla N° 04.

**Tabla N° 04:** Limitaciones en el uso de unidad de albañilería para fines estructurales

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

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

**Fuente:** N.T.E. 070 Albañilería, 2006.

Con la finalidad de cuantificar las consecuencias de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones construidas con Blocker II en la ciudad de Tacna, es necesario determinar las curvas de fragilidad y curvas de consecuencia de tal manera que sirva como información para los planes de prevención ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Contribuir con información para posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de albañilería confinada de la ciudad de Tacna construidas con Blocker II, mediante la elaboración de curvas de fragilidad y curvas de consecuencia en base a ensayos experimentales en muros.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Determinar valores de distorsiones permisibles para tres estados de daños basados en ensayos experimentales en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II, mediante la elaboración de curvas de fragilidad según la librería del PACT del FEMA P 58.
  
- b) Determinar el costo y tiempo de reparación y reforzamiento para un muro de albañilería confinada construido con Blocker II para tres estados de daños basados en ensayos experimentales, mediante la elaboración de curvas de consecuencia según la librería del PACT del FEMA P 58.

## **1.5. HIPÓTESIS**

### **1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Mediante la elaboración de curvas de fragilidad y curvas de consecuencia en base a ensayos experimentales en muros, se contribuyen probabilidades de daños, costos y tiempo de reparación y reforzamiento para tres estados de daños, los cuales son muy útiles para futuros estudios de vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de albañilería de la ciudad de Tacna construidas con Blocker II.

## **1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

### **a) Hipótesis Específica 01**

Los valores de distorsiones permisibles para tres estados de daños se determinan mediante la elaboración de curvas de fragilidad según la librería del PACT del FEMA P 58, tomando como base ensayos experimentales en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II.

### **b) Hipótesis Específica 02**

El costo y tiempo de reparación y reforzamiento para un muro de albañilería confinada construido con Blocker II para tres estados de daños se determinan mediante la elaboración de curvas de consecuencia según la librería del PACT del FEMA P 58, tomando como base ensayos experimentales.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Los proyectos que anteceden a este estudio de investigación son:

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

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

#### Resumen:

El proyecto de investigación consta de ensayos en pilas y muretes de albañilería construidos con Blocker II de la ladrillera Martorell (Ladrillos Maxx), y mediante la recopilación de otros ensayos se ha podido determinar las propiedades mecánicas del Blocker II como son  $f'm$  y  $v'm$ .

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

**Resultados:****Tabla N°05:** Ensayos de dimensionamiento – Largo

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

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°06:** Ensayos de dimensionamiento – Ancho

<b>Muestra N°</b>	<b>Largo en mm</b>				<b>Promedio</b>
M-1	124	124	124	124	124.00
M-2	125	125	125	125	125.00
M-3	126	126	125	125	125.50
M-4	125	124	124	125	124.50
M-5	124	124	124	124	124.50
				<b>MP</b>	<b>124.6</b>
				<b>DE</b>	<b>120</b>
				<b>V en %</b>	<b>-3.83</b>
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, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°07:** Ensayos de dimensionamiento – Alto

<b>Muestra N°</b>	<b>Largo en mm</b>				<b>Promedio</b>
M-1	175	175	172	170	173.00
M-2	172	173	169	170	171.00
M-3	174	173	171	170	172.00
M-4	174	173	171	170	172.00
M-5	174	173	171	170	172.00
<b>MP</b>					<b>172</b>
<b>DE</b>					<b>170</b>
<b>V en %</b>					<b>-1.18</b>
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, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°08:** Ensayos de Alabeo

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

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°09:** Resistencia a la compresión  $f'b$ 

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

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°10:** Porcentaje de vacíos

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

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°11:** Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de mortero

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

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°12:** Identificación de los especímenes (Pilas de Albañilería)

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

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°13:** Determinación de  $f'm$  y  $E'm$ 

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

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°14:** Resultados de los ensayos de compresión diagonal de los muretes

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

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. 2016

**Tabla N°15:** Resumen de ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes

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

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. 2016

### 2.1.2. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE TRES MUROS A ESCALA NATURAL – ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA BLOCKER II (2016)

Estudio realizado a propuesta de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna por los tesisistas Bach. Ing. David Conde Copa, Bach. Ing. Rolando Chambi Chambi, Bach. Ing. Elmer Choquepata Mamani, Bach. Ing. Nohelia Bernedo Vicente, Bach. Ing. Liss Calderón Gonzalo y Bach. Ing. Melissa Maque Gutierrez, bajo la asesoría de los docentes Mag. José Acero, Ing. Dina Cotrado.

## **Resumen**

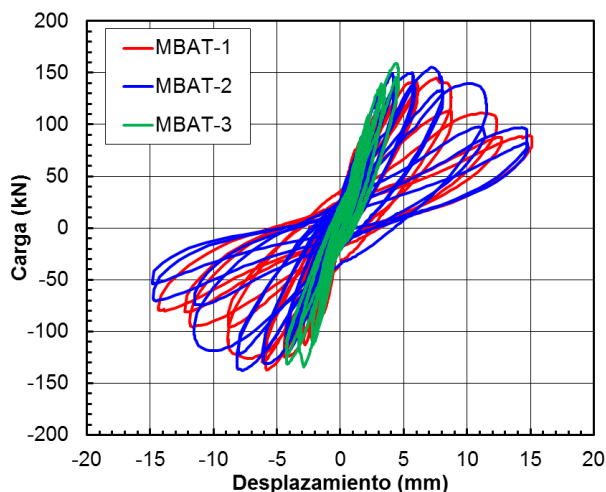
El estudio de ensayo estático cíclico a escala natural se realizó con el propósito de conocer el comportamiento estructural de tres muros de albañilería con unidades tipo Blocker II, frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo, los ensayos fueron efectuados en el Laboratorio de Estructuras de CISMID – UNI.

## **Resultados**

Según el estudio de Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural, presentado por el CISMID, se tiene que:

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





**Figura – 03.** Comparación de las Curvas histeréticas de los especímenes ensayados

**Fuente:** *Ensayo de Carga Cíclica de tres muros a escala natural – 2016*

### 2.1.3. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE MURO CON REFORZAMIENTO Y SU COMPARACIÓN CON MUROS SIN REFORZAMIENTO A ESCALA NATURAL (2017)

Este estudio fue realizado a propuesta de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna por los tesisistas: Bach. Ing. Diego Romero Infantes y Bach. Ing. Edson Vásquez, bajo la asesoría de los docentes Magister. José Acero, Ing. Dina Cotrado.

#### RESUMEN

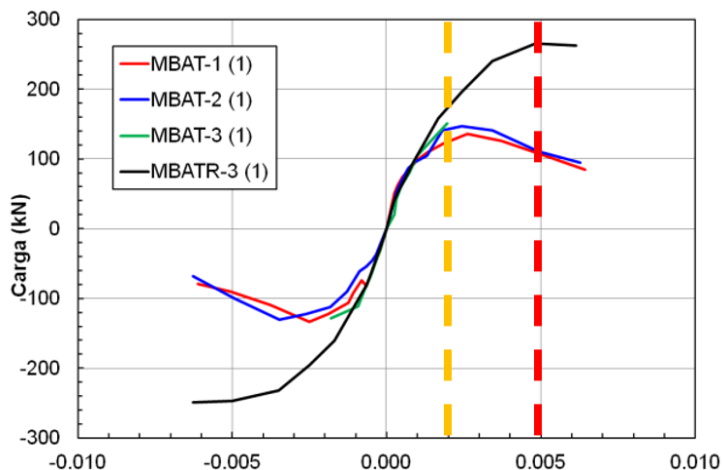
El estudio de ensayo estático cíclico a escala natural se realizó con el propósito de conocer el comportamiento estructural del muro de albañilería con unidades tipo Blocker II reforzado, frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo.

Este ensayo se realizó para hacer un comparativo entre muros sin reforzamiento y con reforzamiento, para poder observar su comportamiento y su mejora frente a fuerzas sísmicas.

## RESULTADOS

Según el estudio de Ensayo muro reforzado, presentado por el CISMID, se tiene que:

- El espécimen MBAT-3, se reparó y reforzó con malla electrosoldada y paso a ser el espécimen MBATR-3, sé que al ser ensayado de acuerdo a los resultados elevo su capacidad y rigidez en comparación a los otros muros.
- Los especímenes MBATR-3 se llevaron hasta su condición última (desplazamientos donde la carga sea menor que el 80% de la carga máxima aplicada).
- La carga máxima promedio para muros sin reforzamiento es de 140 kN ( $0.43 \text{ N/mm}^2$ ), que sucede a un nivel de distorsión de 0.0025 (1/400) y para un muro reforzado la fuerza es de 252 kN ( $0.65 \text{ N/mm}^2$ ), que sucede a un nivel de distorsión de 0.005 (1/200) aproximadamente.
- Para un nivel de distorsión de 0.005 (límite de distorsión de acuerdo a la NTE E030-2016) se obtiene una carga promedio de 86 kN ( $0.26 \text{ N/mm}^2$ ) para los muros sin reforzamiento. Y para el muro reforzado se obtiene una carga promedio de 236 kN ( $0.61 \text{ N/mm}^2$ ).
- De acuerdo a la máxima carga, en los muros reforzados soportan hasta un 45% más que los muros sin reforzamientos.
- El factor de amortiguamiento equivalente es más estable durante los ciclos donde la distorsión objetivo es repetida (2). Es por ello, que se considera como niveles de resistencias las cargas máximas obtenidas en la repetición de la distorsión objetivo.



**Figura – 04.** Comparación de la curva de capacidad de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo.

**Fuente:** Ensayo de Carga Cíclica de muro con reforzamiento y su comparación con muros sin reforzamiento a escala natural

#### 2.1.4. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE TRES MUROS A ESCALA NATURAL – ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA BLOCKER II (2017)

Este estudio fue realizado a propuesta de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna por los tesisistas: Bach. Ing. William Paco, Bach. Ing. Jean Leonel, Bach. Ing. Yaneth Atencio, Bach. Ing. Yudit Medina, Bach. Ing. Sarina Siña y Bach. Ing. Gabriel Medina, bajo la asesoría de los docentes Magister. José Acero, Ing. Dina Cotrado.

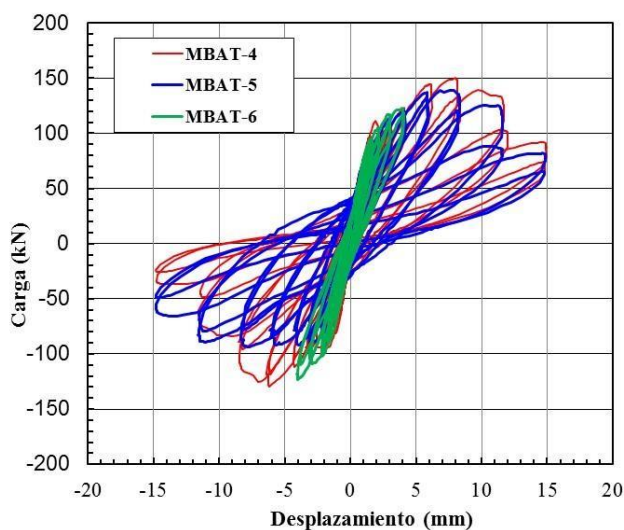
#### Resumen

El estudio de ensayo estático cíclico a escala natural se realiza con el propósito de conocer el comportamiento estructural de tres muros de albañilería con unidades tipo Blocker II, frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo, los ensayos fueron efectuados en el Laboratorio de Estructuras de CISMID – UNI.

## **Resultados**

Según el estudio de Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural, presentado por el CISMID, se tiene que:

- Los especímenes MBAT-4 y MBAT-5 se llevaron hasta su condición última (desplazamientos donde la carga sea menor que el 80% de la carga máxima aplicada).
- El espécimen MBAT-6, se llevó hasta la condición de reparabilidad que ocurre aproximadamente a un nivel de distorsión de 1/550.
- El factor de amortiguamiento equivalente es más estable durante los ciclos donde la distorsión objetivo es repetida (2). Es por ello, que se considera como niveles de resistencias las cargas máximas obtenidas en la repetición de la distorsión objetivo.
- La carga máxima promedio es de 136.5 kN (esfuerzo promedio de 0.42 MPa), que sucede a un nivel de distorsión de 0.0033 (1/300), aproximadamente.
- Para un nivel de distorsión de 0.005 (límite de distorsión de acuerdo a la NTE E030-2016) se obtiene una carga promedio de 84 kN (0.26 MPa), que representa el 62% de la carga máxima.



**Figura – 05.** Comparación de las Curvas histeréticas de los especímenes ensayados

**Fuente:** Ensayo de Carga Cíclica de tres muros a escala natural – 2017

#### **2.1.5.SERVICIOS DE ENSAYOS ESTRUCTURALES PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA (TARQUE, 2016)**

Se ensayaron en total 12 muros bajo la acción de una carga cíclica lateral: 3 muros fueron ensayados sin carga vertical y llevados hasta un límite de reparabilidad (deriva 0.005), 3 con carga vertical y llevados hasta la rotura, 3 sin carga vertical y llevados hasta la rotura y finalmente las 3 iniciales fueron reparados y reforzados y vueltos a ensayar hasta la condición de rotura.

En la tabla N° 16 se muestran los códigos, descripciones y dimensiones de los especímenes ensayados.

**Tabla N°16:** Códigos, descripción y dimensiones de los especímenes ensayados - SENCICO

Código	Descripción	Dimensiones (m)
MA-SQ-LR	Muro de albañilería con carga lateral llevado al límite de reparabilidad	2.60x2.40x0.13
MA-SQ	Muro de albañilería con carga lateral y sin carga axial	2.60x2.40x0.13
MA-CQ	Muro de albañilería con carga lateral y carga axial	2.60x2.40x0.13
MA-R-SQ	Muro de albañilería con carga lateral reparado	2.60x2.40x0.18

**Fuente:** Tarque, 2016, pág.3

Para este trabajo se han definido 3 estados de daño para los muros de albañilería. Estos estados de daño consisten en la descripción cualitativa del estado de los componentes estructurales de los muros de albañilería.

A continuación, se describe la definición de los estados de daño para los muros de albañilería confinada:

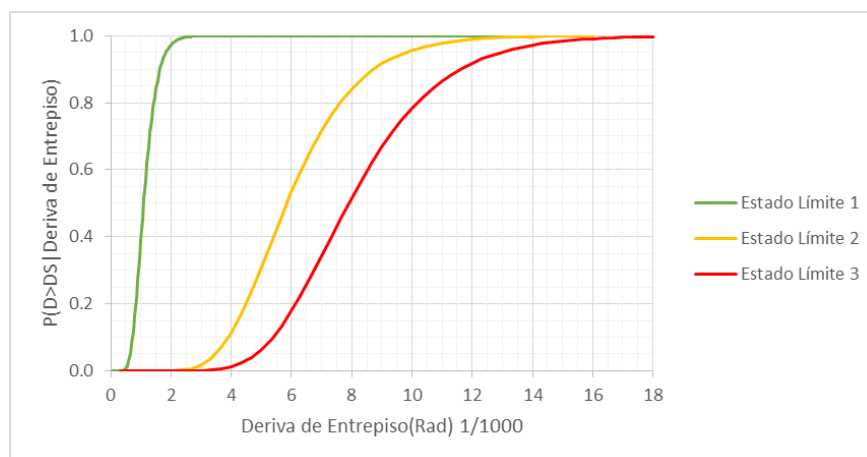
- **Estado de Daño 1:** En este estado de daño se inicia el agrietamiento por flexión en columnas de confinamiento y por tanto se inician los daños y consecuentemente las pérdidas. También se estiman fisuras en los muros de albañilería con un espesor máximo de 0.05 mm (el espesor del cabello humano es en promedio 0.1mm).
- **Estado de Daño 2:** En este estado de daño se alcanza la resistencia máxima de los muros de albañilería confinada. Se considera este estado de daño cuando las grietas del muro de albañilería se extienden de extremo a extremo en el panel, pero las columnas y vigas de confinamiento no presentan grandes grietas que puedan afectar la estabilidad global.

- **Estado de Daño 3:** En este estado de daño se registra el desplazamiento último y la resistencia última del muro de albañilería confinada. Para valores de desplazamiento altos, es aceptable la reducción de la resistencia siempre que esta reducción no sea abrupta, y que no se comprometa la estabilidad del panel o de los elementos de confinamiento.

Con las derivas según el estado de daño y la descripción del daño por fases se elaboraron las curvas de fragilidad y curvas de consecuencia según el Fema P-58. Las curvas de fragilidad estiman la probabilidad de exceder un determinado estado de daño y las curvas de consecuencias proporcionan los costos y tiempos de reparación y reforzamiento para cada estado de daño.

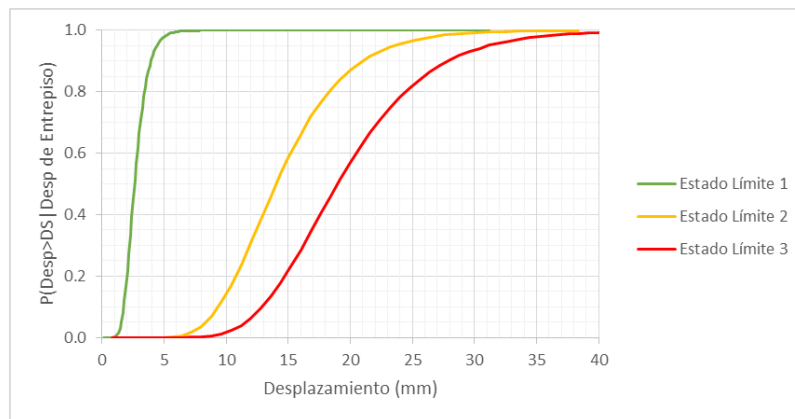
#### Curvas de fragilidad en muros de albañilería confinada:

En las figuras 06 a 11, se muestran las curvas de fragilidad de los muros de albañilería confinada (derivas y desplazamientos).



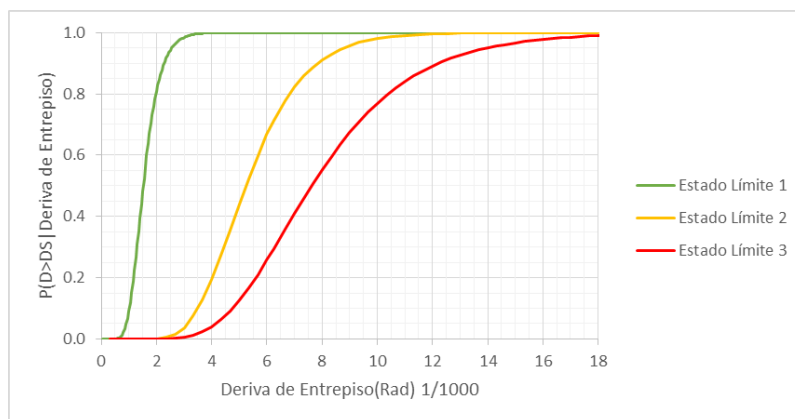
**Figura – 06.** Curva de fragilidad de MA-SQ deriva

**Fuente:** Tarque, 2016, pág.9.



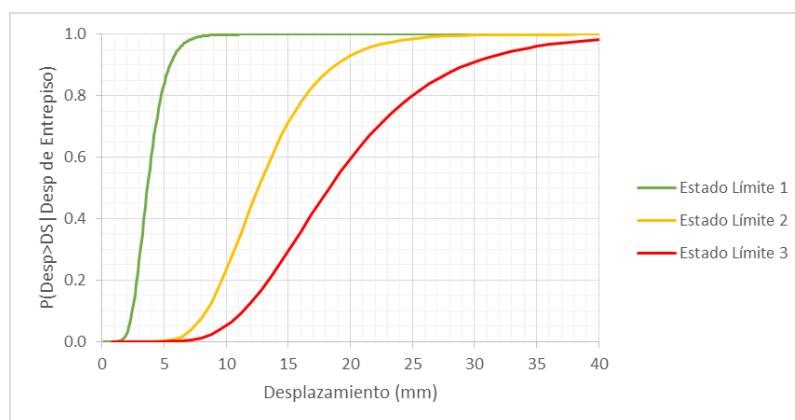
**Figura – 07.** Curva de fragilidad de MA-SQ desplazamiento

**Fuente:** Tarque, 2016, pág.10.



**Figura – 08.** Curva de fragilidad de MA-CQ deriva

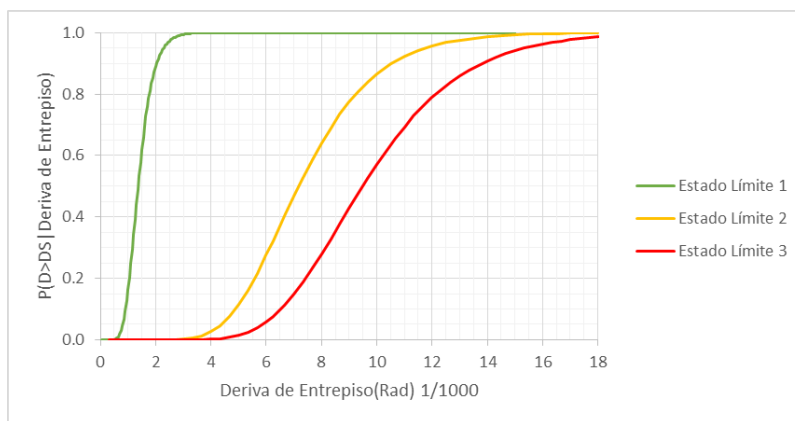
**Fuente:** Tarque, 2016, pág.14.



**Figura – 09.** Curva de fragilidad de MA-CQ desplazamiento

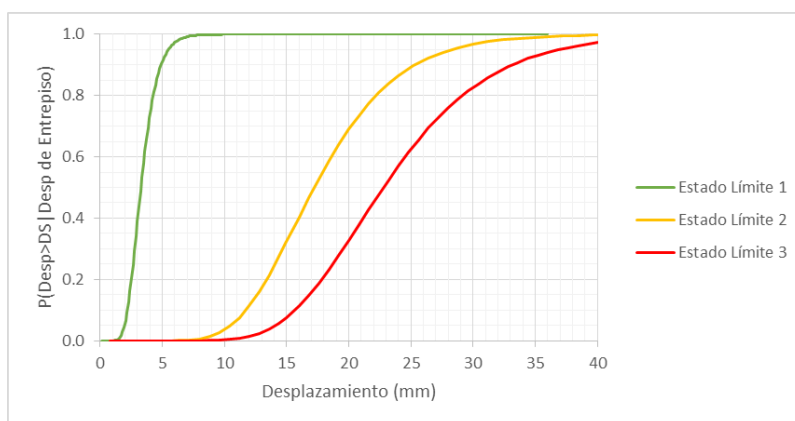
**Fuente:** Tarque, 2016, pág.14.





**Figura – 10.** Curva de fragilidad de MA-R-SQ deriva

**Fuente:** Tarque, 2016, pág.18.



**Figura – 11:** Curva de fragilidad de MA-R-SQ desplazamiento

**Fuente:** Tarque, 2016, pág.18.

Las conclusiones fueron las siguientes:

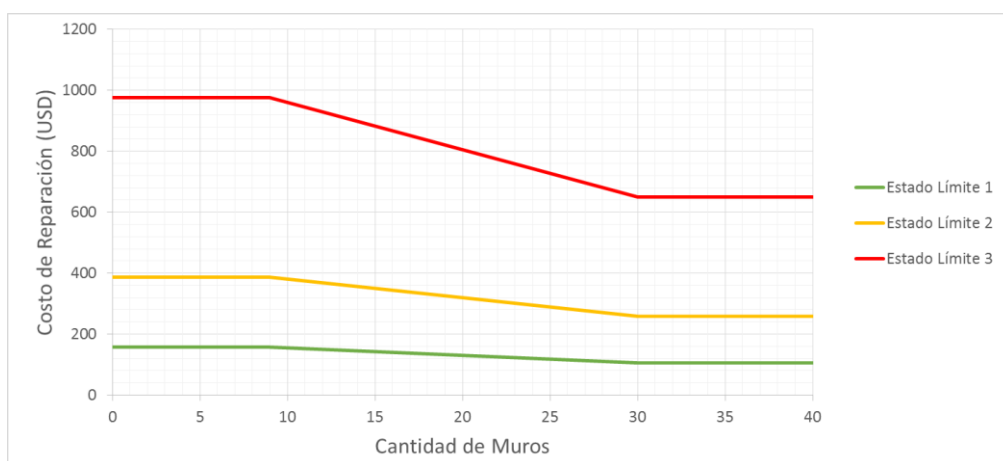
- Se observó que para un 50% de probabilidad de exceder el estado 1 se presenta un desplazamiento de: 2.65 mm para el MA-SQ, 3.71 mm para el MA-CQ y 3.35 mm MA-R-SQ. Entonces, el reforzamiento elegido retarda la generación del inicio del agrietamiento en comparación a los muros sin reforzar.
- Se observó que para un 50% de probabilidad de exceder el estado 2 se presenta un desplazamiento de: 13.95 mm para el MA-SQ, 12.61 mm para

el MA-CQ y 17.31 mm MA-R-SQ. Los resultados son aproximadamente iguales en los tres muros, indicando que el inicio de degradación total no depende del muro ni de las condiciones de carga, sino que se asocia a una determinada distorsión.

- Se observó que para un 50% de probabilidad de exceder el estado 3 se presenta un desplazamiento de: 18.91 mm para el MA-SQ, 18.38 mm para el MA-CQ y 22.82 mm MA-R-SQ. Entonces, el reforzamiento elegido genera mayor capacidad de desplazamiento en comparación a los muros sin reforzar.

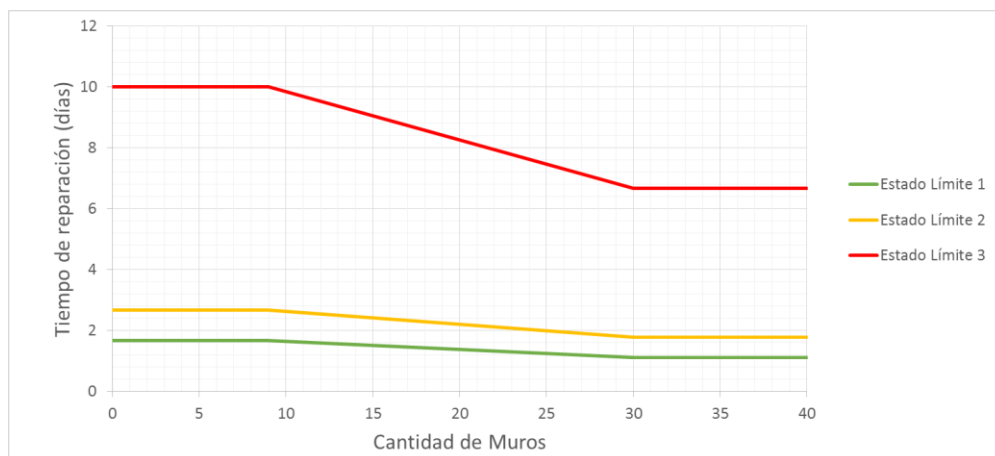
### Curvas de consecuencia en muros de albañilería confinada:

Las figuras 12 y 13 muestran las curvas de consecuencia de costos y tiempos para tres estados de daño, respectivamente. La figura 12 Indica el costo de reparación por cada muro en un determinado estado límite, se observa que el precio disminuye a medida que el número de muros a reparar aumenta. Esto debido que los procesos repetitivos disminuyen el costo de reparación. Lo mismo ocurre con los días necesarios para la reparación de los muros.



**Figura – 12.** Curva de consecuencia de costos para todos los estados de daño.

**Fuente:** Tarque, 2016, pág.23.



**Figura – 13.** Curva de consecuencia de tiempo para todos los estados de daño

**Fuente:** Tarque, 2016, pág.24.

Las conclusiones fueron las siguientes:

- Se pueden realizar lecturas de las curvas de la siguiente manera, de la Figura – 12, se entiende que en una vivienda que presenta 5 muros en estado límite 2 (línea amarilla) el costo de reparación por muro será de 387.00 USD.
- En la Figura – 13, se define el tiempo de reparación en 2.67 días por muro, pudiendo iniciarse la reparación de todos los muros al mismo tiempo, o uno después de otro.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. CURVAS DE FRAGILIDAD

En el Fema P-58-1, las curvas de fragilidad son denominadas funciones de fragilidad y estas se elaboran para componentes estructurales y no estructurales de un edificio, como, por ejemplo: losas, muros, pisos, ventanas, puertas, tuberías, etc. (Cotrado, 2017, pág.35).

La teoría que presentamos a continuación fue traducida del FEMA P-58-1, *Appendix H. Fragility Development*, donde hace referencia particularmente a las funciones de fragilidad. Existen diversas investigaciones en internet referente a este tema, pero en su mayoría están netamente referidos a edificios y no a componentes.

### 2.2.1.1. ¿QUÉ ES FUNCIÓN DE FRAGILIDAD?

Las Funciones de fragilidad son distribuciones estadísticas que se utiliza para indicar la probabilidad que un componente, elemento, o sistema pueda dañarse en función de un parámetro.

Las funciones de fragilidad para cada estado de daño se definen mediante el valor de la demanda media denominada “ $\Theta$ ” para la cual hay un 50 % de probabilidad de que el estado de daño haya iniciado y una dispersión “ $\beta$ ” que indica la incertidumbre de que el estado de daño haya iniciado para este valor de la demanda.

Por ello, toman la forma de distribución acumulativa logarítmico-normal, como un valor mediano “ $\theta$ ”, y desviación estándar logarítmica o dispersión “ $\beta$ ”. La forma matemática para tal función de fragilidad es:

$$F_i(D) = \Phi\left(\frac{\ln(D/\theta_i)}{\beta_i}\right) \dots\dots\dots (a)$$

Donde:

- $F_i(D)$  = Es la probabilidad condicional de que el componente alcanzará o superará el estado de daño “ $i$ ” para un nivel de demanda “ $D$ ”.
- $\Phi$  = Denota la función de distribución estándar de distribución acumulada normal (gaussiana).
- $\theta_i$  = Denota el valor promedio de la distribución de probabilidad para el estado de daño “ $i$ ”.
- $\beta_i$  = Denota la desviación estándar logarítmica para el estado de daño “ $i$ ”.

Tanto  $\theta_i$  y  $\beta_i$  se establecen para cada estado de daño y tipo de componente utilizando uno de los métodos presentados en el numeral 2.2.1.3.

Para los Estados de daños secuenciales, la probabilidad condicional que un componente dañara al estado de daño “i”, dado que experimenta la demanda “D”, es:

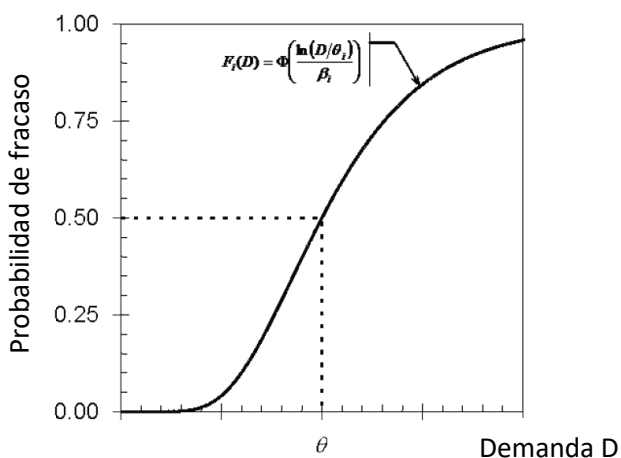
$$P[i/D] = F_{i+1}(D) - F_i(D) \dots \dots \dots (b)$$

Donde:

- $F_{i+1}(D)$  = Es la probabilidad condicional de que el componente dañe el estado de daño "i+1" o un estado más severo.
- $F_i(D)$  = Es como se definió anteriormente.

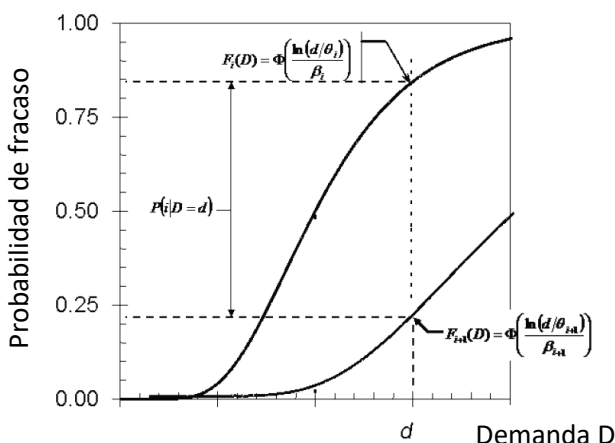
Tenga en cuenta que, cuando  $\beta_i + 1$  es mayor que  $\beta_i$ , las funciones de fragilidad se están cruzando, y la ecuación (b) puede producir una probabilidad negativa para algunos niveles de “D”, lo que carece de sentido.

En la figura – 14, se muestra la forma de una función de fragilidad lognormal típica cuando se trazan en la forma de una función de distribución acumulativa, e ilustra el cálculo de la probabilidad de que un componente esté en estado de daño “i” en un determinado nivel de demanda, “d”.



**Figura – 14.01:** Función de fragilidad lognormal típica

**Fuente:** FEMA P-58-1, Appendix H. Fragility Development



**Figura – 14.02:** Evaluación de las probabilidades individuales de estado de daño.

**Fuente:** FEMA P-58-1, Appendix H. Fragility Development

La dispersión  $\beta_i$ , representa la incertidumbre en el valor real de la demanda “D”, a la cual el estado de daño “i” es probable que se inicie. Esta incertidumbre es el resultado de la variabilidad en la calidad de la construcción del material e instalación de componentes en una edificación, así como la variabilidad de la historia de cargas que un componente podría experimentar antes de que fallara.

La dispersión total “ $\beta$ ” para un determinado estado de daño se calcula como:

$$\beta = \sqrt{\beta_r^2 + \beta_u^2} \dots \dots \dots (c)$$

Donde:

- $\beta_r$ : Representa la variabilidad aleatoria que es observada en los resultados de los ensayos a partir de los que se calculará las curvas de fragilidad.
- $\beta_u$ : Representa la incertidumbre que el ensayo manifieste condiciones actuales de la instalación y carga, o incertidumbre de que los datos disponibles tienen el tamaño de muestra adecuado para representar adecuadamente el verdadero valor de la incertidumbre.

Se recomiendan los siguientes valores mínimos de incertidumbre  $\beta_u$ :

- Se debe utilizar un valor mínimo de  $\beta_u = 0,25$  si se aplica cualquiera de las siguientes condiciones:
  - o Los datos de prueba están disponibles para cinco (5) o menos especímenes.
  - o Para todos los especímenes que fueron sometidos al mismo protocolo de carga.
  - o Se espera que el comportamiento real del componente dependa de dos o más parámetros de demanda (Por ejemplo, desviación simultánea en dos direcciones ortogonales), pero los especímenes se cargaron usando sólo un parámetro de demanda.
- De lo contrario, se puede usar un valor de  $\beta_u = 0,10$ .

#### 2.2.1.2. DOCUMENTACIÓN

Cada función de fragilidad debe ir acompañada de la documentación de las fuentes de datos y los procedimientos utilizados para que otros puedan evaluar la calidad de los parámetros de fragilidad resultantes. Como mínimo, la documentación debe incluir:

- **Aplicabilidad:** Descripción del tipo de elemento tratado, incluyendo limitaciones sobre el tipo de instalación a la que se aplica la fragilidad.
- **Tipos de muestras:** Descripción de los especímenes utilizados para establecer la fragilidad, incluyendo el número de ejemplares examinados, sus ubicaciones y los detalles específicos de la fabricación, construcción, montaje e instalación del espécimen.

- **Parámetros de demanda y aplicación de cargas:** Descripción del protocolo de carga o características del movimiento sísmico aplicado a cada espécimen; identificación de los parámetros de demanda examinados que podrían estar más estrechamente relacionados con la probabilidad de falla y como se calcula o deduce la demanda a partir del protocolo de carga o excitación; indicación de si las cantidades de demanda comunicadas son o no el valor en el que se produjeron los daños, o los máximos a los que cada muestra fue sometida.
  
- **Estado de daños:** Descripción de cada estado de daño, incluyendo los daños físicos observados y cualquier cantidad de deformación de fuerza registrada, definición cuantitativa de los estados de daño en términos de las reparaciones requeridas y posibles consecuencias de accidentes o de carteles inseguros.
  
- **Resumen de la observación, método de análisis y resultados:** Lista tabular o gráfica de especímenes, parámetros de demanda y estados de daño que identifican el método utilizado para derivar parámetros de fragilidad; resumen de los parámetros de la función de fragilidad resultante, “ $\theta$ ” y “ $\beta$ ”; y resultados de pruebas para establecer la calidad de la función de fragilidad, incluyendo cálculos de muestra.

### 2.2.1.3. DERIVACIÓN DE PARÁMETROS DE FRAGILIDAD

#### 2.2.1.3.1. DATOS DE DEMANDA REAL

Cuando se dispone de datos de una serie adecuada de ensayos y el estado de interés de los daños se inició a un valor conocido de la demanda “ $d_i$ ”, para cada espécimen ensayado, el valor promedio de la demanda a la cual el estado de daño es probable que inicie “ $\theta$ ”, viene dado por la ecuación:

$$\theta = e^{\left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \ln d_i\right)} \dots \dots \dots (d)$$



Donde:

- M = Número total de especímenes sometidos al mismo protocolo de ensayo.
- $d_i$  = Demanda en la prueba "i" en la que se observó que ocurrió el estado de daño.

Por último, el valor de la dispersión aleatoria " $\beta_r$ ", se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\beta_r = \sqrt{\left[ \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M \left( \ln \left( \frac{d_i}{\theta} \right) \right)^2 \right]} \dots\dots\dots (e)$$

Donde:

- M,  $d_i$  y  $\theta$  son como se definió anteriormente.

### 2.2.1.3.2. EJEMPLO DE APLICACIÓN:

A continuación se muestra un ejemplo para encontrar los parámetros " $\theta_i$ " y " $\beta_i$ ".

Determine los parámetros " $\theta$ " y " $\beta$ " de una serie de 10 ensayos, todos los cuales produjeron el estado de daño de interés. El estado de daño iniciado a proporciones de deriva de la historia de: 0,9, 0,9, 1,0, 1,1, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,7 y 2 por ciento.

**Tabla N°17:** Cálculo de parámetros  $\theta$  y  $\beta$

Número de Ensayo	Demanda ( $d_i$ )	$\ln(d_i)$	$\ln\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)$	$\left(\ln\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)\right)^2$
1	0.9000	-0.1054	-0.3038	0.09232
2	0.9000	-0.1054	-0.3038	0.09232
3	1.0000	0.0000	-0.1985	0.03940
4	1.1000	0.0953	-0.1032	0.01064

5	1.1000	0.0953	-0.1032	0.01064
6	1.2000	0.1823	-0.0162	0.00026
7	1.3000	0.2624	0.0639	0.00408
8	1.4000	0.3365	0.1380	0.01904
9	1.7000	0.5306	0.3321	0.11032
10	2.0000	0.6931	0.4947	0.24469
		<b>Σ1.9848</b>		<b>Σ0.62372</b>

Reemplazando en la ecuación (d):

$$\theta_i = e^{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \ln(d_i)}$$

$$\theta_i = e^{\frac{1}{10} (1.9848)}$$

$$\theta_i = 1.22$$

Reemplazando en la ecuación (e):

$$\beta_r = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{n=1}^M \left( \ln \left( d_m / \theta_i \right) \right)^2}$$

$$\beta_r = \sqrt{\frac{1}{10-1} (0.62372)}$$

$$\beta_r = 0.26$$

#### 2.2.1.4. ¿POR QUÉ LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA LOGNORMAL ES AMPLIAMENTE UTILIZADA PARA LA FRAGILIDAD?

Las razones que justifican su uso son: (Cotrado, 2017, pág.46)

- **Sencillez:** Tiene una forma paramétrica simple para aproximar una cantidad de incertidumbre que debe tomar un valor positivo, utilizando sólo una estimación del valor central y la incertidumbre.

- **Precedencia:** Ha sido ampliamente utilizado durante varias décadas en la ingeniería sísmica.
- **Razones de información teórica:** Esta la distribución que asume el menor conocimiento si sólo se conoce que la variable se valora positivamente con la media especificada y desviación estándar logarítmica.
- **Ajuste de datos:** A menudo se ajusta razonablemente a distribuciones observadas tales como el movimiento del suelo condicionado a la magnitud y la distancia, la capacidad de colapso de las estructuras, y la distribución marginal de la pérdida condicionada por el sismo.

## 2.2.2. CURVAS DE CONSECUENCIA

En el informe de ensayo “Servicio de Ensayos Estructurales para determinar el comportamiento sísmico de muros de albañilería confinada”, el Dr. Nicola Tarque define las curvas de consecuencia como relaciones que indican la potencial distribución de pérdidas para un determinado estado límite. Es decir que transforman costo de reposición con el número de objetos a reponer, o tiempo de reposición con el número de objetos a reparar.

La teoría que presentamos a continuación fue traducida del FEMA P-58-1, *Chapter 3. Numeral 3.9 Consequence Functions*.

### 2.2.2.1. ¿QUÉ ES FUNCIÓN DE CONSECUENCIA?

Las funciones de consecuencia se utilizan para convertir los estados de daños de componentes y edificaciones en medidas de rendimiento que incluyen costos y tiempos de reparación y reforzamiento. Para cada estado de daño se debe incluir descripciones de reparación que proporcionan la información necesaria para desarrollar los costos y tiempos de reparación y reforzamiento.

Las funciones de consecuencia se desarrollan en base a lo descrito en el numeral 2.2.2.2 y 2.2.2.3.

#### **2.2.2.2. COSTOS DE REPARACIÓN**

Los costos de reparación incluyen el costo de todas las actividades de construcción necesarias para devolver los componentes dañados a su condición previa al terremoto.

Para realizar la reparación se debe incluir los siguientes pasos:

- Orientar la estructura circundante (si es necesario).
- Eliminar o proteger el contenido adyacente al área dañada.
- Proteja el área circundante del polvo, ruido, etc. con un cerramiento temporal.
- Eliminar los sistemas arquitectónicos, según sea necesario, para obtener acceso a la reparación.
- Obtener nuevos materiales y transportarlos al sitio.
- Realice la reparación.
- Reemplace los sistemas arquitectónicos, según sea necesario.

Para muchas reparaciones, el costo de acceder al área dañada para realizar la reparación y proteger el área circundante es mayor que el costo de la reparación en sí.

Para cada estado de daño, los costos de reparación se describen con los parámetros mencionados en el numeral 2.2.2.4.

### **2.2.2.3. TIEMPO DE REPARACIÓN**

El tiempo real en que un componente y edificación será inutilizable para una ocupación beneficiosa es muy difícil de determinar. Los factores que pueden afectar esto incluyen:

- La parte responsable de realizar las reparaciones, es decir, el propietario o los inquilinos.
- Si la parte responsable de realizar las reparaciones tiene los recursos financieros necesarios para pagar las reparaciones necesarias.
- La disponibilidad de profesionales del diseño para diseñar operaciones de reparación y la disponibilidad de contratistas para realizar estas operaciones.
- Si la edificación ha sido etiquetada como "inseguro", y el tiempo necesario para convencer al funcionario del edificio de que es seguro llevar a cabo las operaciones de reparación dentro del edificio.

Estas incertidumbres hacen que la estimación del tiempo de interrupción de la ocupación general sea un problema insoluble. Por lo tanto, estos procedimientos proporcionan las siguientes medidas de interrupción de ocupación:

- El tiempo necesario para realizar las reparaciones.
- La necesidad de adquirir artículos con largos plazos de entrega.

- La probabilidad de que la edificación se etiquete como inseguro para la ocupación.

Para estimar el tiempo de reparación, cada estado de daño incluye una función de consecuencia relacionada con el tiempo que indica el número de horas de trabajo asociadas con la reparación requerida. Un parámetro importante en el desarrollo de estimaciones de tiempo de reparación es la cantidad de trabajadores que pueden ocupar la vivienda al mismo tiempo.

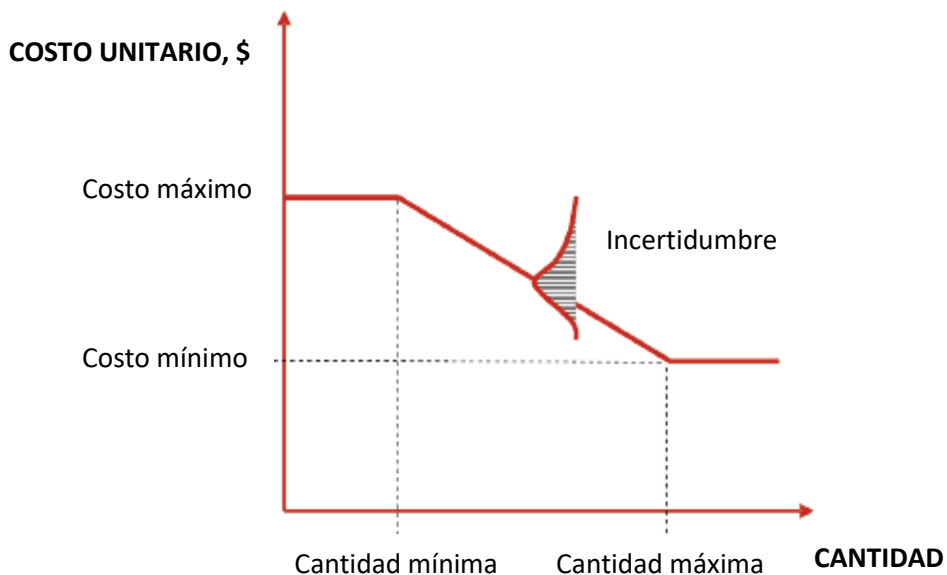
Para cada estado de daño, el tiempo de reparación se describe con los parámetros mencionados en el numeral 2.2.2.4.

#### **2.2.2.4. ¿CUÁLES SON LOS PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE CONSECUENCIA?**

A continuación, los parámetros de las funciones de consecuencia considerando daños estructurales son:

- **Cantidad Menor:** En concordancia con el PACT para elementos de albañilería con altura de hasta 3.00m la cantidad menor es de 9.
- **Costo Máximo:** Es el costo máximo de reparación en ambas caras del muro en un determinado estado de daño.
- **Cantidad Mayor:** En concordancia con el PACT para elementos de albañilería con altura de hasta de 3.00m la cantidad mayor es de 30.
- **Costo Mínimo:** Se estima según el PACT como  $2/3$  del costo máximo.
- **Tiempo Máximo:** Se refiere al tiempo máximo en reparar un determinado muro según en estado de daño.

- **Tiempo Mínimo:** Se estima según el PACT como  $2/3$  del tiempo máximo.
- **Covarianza:** Se considera 0.25 como valor de covarianza para la distribución normal.



**Figura – 15:** Función de consecuencia típica para los costos de reparación.

**Fuente:** FEMA P-58-1. Pág. 3-32.

## 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

### 2.3.1. CURVAS DE FRAGILIDAD

Son distribuciones estadísticas que indican la probabilidad condicional de incurrir en un determinado nivel de daño para un valor de una demanda.

### 2.3.2. CURVAS DE CONSECUENCIA

Son relaciones que indican la potencial distribución de pérdidas para un determinado estado límite. Es decir, que transforman costo de reposición con el número de objetos a reponer, o tiempo de reposición con el número de objetos a reparar.

### **2.3.3. ALBAÑILERIA O MAMPOSTERIA**

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

### **2.3.4. ALBAÑILERIA CONFINADA**

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

### **2.3.5. UNIDAD DE ALBAÑILERIA**

Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular.

### **2.3.6. UNIDAD DE ALBAÑILERIA 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.

### **2.3.7. UNIDAD DE ALBAÑILERIA SOLIDA O MACIZA**

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



### **2.3.8. CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA**

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

### **2.3.9. PELIGRO SÍSMICO**

Se define por la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un valor fijado; la ocurrencia de un evento sísmico es de carácter aleatorio y la teoría de las probabilidades es aplicable en el análisis del riesgo de su ocurrencia.

### **2.3.10. VULNERABILIDAD SÍSMICA**

Se refiere a los daños que puede sufrir las edificaciones, que realiza el ser humano y depende de las características de su diseño, calidad de los materiales y la técnica de construcción, ante la ocurrencia de un evento sísmico determinado.

### **2.3.11. RIESGO SÍSMICO**

Se define como el grado de pérdida, destrucción o daño esperado debido a la ocurrencia de un determinado sismo.

### **2.3.12. MOVIMIENTO SÍSMICO**

El rozamiento entre placas tectónicas ocasiona una enorme acumulación de energía. Este proceso lento provoca fuertes deformaciones en las rocas en el interior de la tierra, las cuales, al romperse, hacen que la energía acumulada se libere de repente en forma de ondas y sacuda la superficie terrestre.

### **2.3.13. ESCALA DE RICHTER**

Conocida como escala de magnitud local, ML. Calcula la magnitud basándose en el tamaño de las ondas sísmicas en un sismógrafo, es decir mide la magnitud del terremoto

### **2.3.14. ESCALA DE MAGNITUD MOMENTO**

Se denota como  $M_w$  y es una escala de medida absoluta. Es contrario a la de Richter, esta no compara un sismo con otro, sino que calcula el valor absoluto de cada evento, es decir calcula la magnitud basándose en la energía total que se libera en una falla.

### **2.3.15. EDIFICACIÓN**

Obra de carácter permanente cuyo destino es albergar actividades humanas. Comprende las instalaciones fijas y complementarias adscritas a ella.

### **2.3.16. DISPERSIÓN ESTÁNDAR**

Medida de dispersión para variables de razón y de intervalo, variables cuantitativas o cantidades racionales

### **2.3.17. ESTADO DE DAÑO**

Daño leve o severo de una estructura que puede ser medible.

### **2.3.18. MORTERO**

Material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería.

### **2.3.19. CONFINAMIENTO**

Conjunto de elementos de concreto armado, horizontales y verticales, cuya función es la de proveer ductilidad a un muro portante.

### **2.3.20. REPARACIÓN**

Se refiere al arreglo o a la solución de algún elemento, para la reparación de un daño se utiliza una técnica la cual debe ser probable y estable, con el fin de llegar a la solución.

### **2.3.21. REFORZAMIENTO**

Técnica y utilización de diversos materiales con el fin de fortalecer una edificación y prevenir los posibles efectos provocados por un desastre o emergencia.

### **2.3.22. CRECIMIENTO POBLACIONAL**

Es el incremento en el número de habitantes de una región producido por un intervalo determinado de tiempo. La tasa de crecimiento poblacional se encuentra directamente afectada por las tasas de nacimiento y por las altas tasas de migración.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

En la investigación presentada se considera el tipo exploratorio, por que consiste en proveer una referencia general de curvas de fragilidad y curvas de consecuencia en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II, y que actualmente no existe referencia alguna acerca de este estudio.

El diseño de investigación es documental, porque analizamos resultados de estudios en base a la data experimental existente en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II.

#### **3.2. POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO**

La población del estudio para la elaboración de las curvas de fragilidad estará compuesta por 4 muros de albañilería confinada construidos a escala natural con ladrillo tipo Blocker II con carga vertical de 10 Tn. Para la elaboración de curva de consecuencia se tomará como data 01 muro de albañilería confinada construida a escala natural con ladrillo tipo Blocker II con carga vertical de 10 Tn, el cual ha sido reparado y reforzado con una malla electrosoldada de  $\frac{1}{4}$ " con espaciamiento de 15cm y mortero de 5cm de espesor con una relación de 1:4.

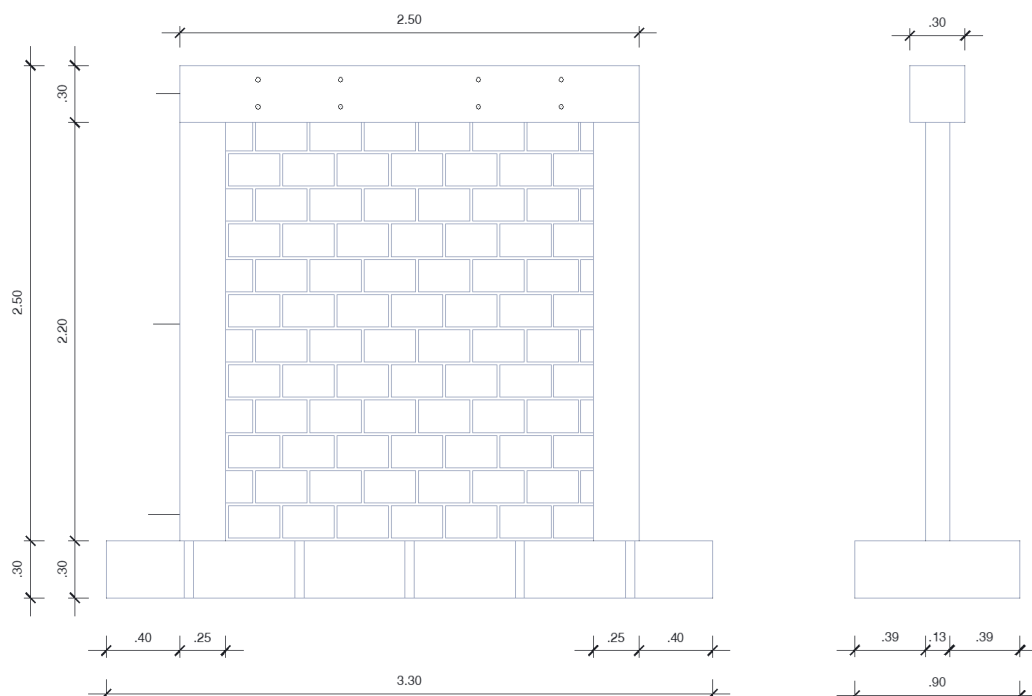
Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI).

**Tabla N°18:** Características de los muros de albañilería confinada

CÓDIGO	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES (m)
MHI-CQ (*)	MBAT-1 MBAT-2 MBAT-4 MBAT-5	Muros de albañilería confinada con carga axial de 10 Tn, $f'c=175\text{kg/cm}^2$ .	2.50x2.50x0.13
MHI-CQ-LR (**)	MBAT-3	Muro de albañilería confinada con carga axial de 10 Tn, reforzado con malla electrosoldada de $\frac{1}{4}$ ".	2.50x2.50x.13

(\*) Muro de ladrillo hueco industrial.

(\*\*) Muro de ladrillo hueco industrial llevado al límite de reparabilidad.



**Figura – 16:** Espécimen básico. Unidad de medida: metros.

**Fuente:** Ensayo de Carga Cíclica de tres muros a escala natural, 2016-2017.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla N°19: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES
<b>Variable dependiente:</b> <b>Curvas de fragilidad</b>	Son distribuciones estadísticas que indican la probabilidad condicional de incurrir en un determinado nivel de daño para un valor dado de una demanda.	Valor dado de una Demanda	Estado de daño 1,2,3
<b>Variable dependiente:</b> <b>Curvas de consecuencia</b>	Son relaciones que indican la potencial distribución de pérdidas para un determinado estado límite, es decir transforma costo de reposición con el número de objetos a reponer o tiempo de reposición con el número de objeto a reparar.	Valor dado de una Demanda	- Costo de Reparación y reforzamiento. - Tiempo de Reparación y reforzamiento.
<b>Variable Independiente:</b> <b>Muros de Albañilería confinada con Blocker II.</b>	Es un muro construido con unidad de albañilería confinada con Blocker II, en forma tal que transmite cargas horizontales y verticales de un nivel a un nivel inferior y a la cimentación.	Valor dado de una Demanda	- Especímenes. - Carga máxima. - Desplazamiento.

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

En esta investigación las técnicas que se utilizaron fueron:

- Análisis e interpretación de datos de la parte experimental de ensayos realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI.
  
- Indagación bibliográfica y consultas en páginas web.
  
- Entrevistas realizadas a especialistas de la PUCP.

Los instrumentos que se utilizaron fueron:

- Protocolo de desplazamiento.
  
- Fichas de registro de datos.
  
- Cuestionarios.

### **3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Actualmente no existe estudio alguno sobre “Curvas de fragilidad y curvas de consecuencia en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II”, se tienen investigaciones hechas sobre curvas de fragilidad que dan un precedente experimental sobre el comportamiento de muros, como el estudio “Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros construidos con Blocker II”. 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.

Con el comienzo de esta investigación se dieron los estudios posteriores que permiten analizar las curvas de fragilidad que indican el comportamiento estructural, dado un valor de demanda y a su vez determinar las curvas de consecuencia en muros de albañilería construidos con ladrillos tipo Blocker II, en un escenario de sismo.

Para la realización de este trabajo de tesis se realizan los siguientes pasos:

- **CURVAS DE FRAGILIDAD:**

a) Recolección de Data de las curvas de capacidad de los muros ensayados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI, entre los que se tiene:

- Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural – especímenes de albañilería Blocker II (2016).

- Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural – especímenes de albañilería Blocker II (2017).

b) Identificación de las distorsiones (Demanda  $d_i$ ) para tres estados de daños:

- **Estado de Daño 1 (DS1):** En este estado de daño, se inicia el agrietamiento y por lo tanto se inician los daños y consecuentemente las pérdidas. También se estiman fisuras en los muros de albañilería con un espesor máximo de 0.05mm.

- **Estado de Daño 2 (DS2):** En este estado de daño, se alcanza la resistencia máxima de los muros de albañilería confinada (resistencia en el pico). Se considera este estado de daño cuando las grietas del muro de albañilería se extienden de extremo a extremo en el panel por lo general son un espesor máximo de 2mm.



- **Estado de Daño 3 (DS3):** En este estado de daño, se registra el desplazamiento último y la resistencia última del muro de albañilería (falla del muro).

c) Con la ayuda de una hoja de cálculo MS Excel, se calculó “ $l_n$ ” de la distorsión  $l_n(d_i)$ .

d) Se aplicó la ecuación  $\theta_i = e^{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M l_n(d_i)}$

e) Posteriormente se calculó  $l_n\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)$  y  $\left(l_n\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)\right)^2$

f) Seguidamente, el valor de “ $\beta_r$ ” se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\beta_r = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{n=1}^M \left(\ln\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)\right)^2}$$

g) De la igual manera se ingresa el valor de  $\beta_u$ , que para este trabajo de investigación se usará  $\beta_u = 0.25$ , porque utilizamos (4) especímenes.

h) Finalmente se obtiene las curvas de fragilidad para tres estados de daños.

#### - **CURVAS DE CONSECUENCIA:**

a) Recolección de Data de las curvas de capacidad de los muros ensayados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI, entre los que se tiene:

- Ensayo de carga cíclica de muro con reforzamiento y su comparación con muros sin reforzamiento a escala natural (2017).

b) Identificación de tres estados de daño:

- **Estado de daño 1:** Para el estado de daño 1, el procedimiento de reposición consiste en la reparación mínima del panel de albañilería y el resane de las columnas y vigas de confinamiento considerando las caras del muro.
  
  - **Estado de daño 2:** Para el estado de daño 2, el procedimiento de reposición consiste en la reparación del panel de albañilería y el reforzamiento con malla electrosoldada de  $\frac{1}{4}$ " y mortero de 5cm de espesor, además del resane de las columnas y vigas de confinamiento. Cabe resaltar que los tiempos no implican el tiempo de fraguado que se estima en 28 días.
  
  - **Estado de daño 3:** Para el estado de daño 3, el procedimiento de reposición consiste en la demolición del muro, la construcción de un nuevo muro y el reforzamiento con malla. Cabe resaltar que este cálculo no incluye el tiempo de fraguado que se estima en 28 días.
- c) Determinación del costo de los materiales para la construcción, reparación y reforzamiento del muro de albañilería confinada.
- d) Determinación del costo de la mano de obra para la construcción, reparación y reforzamiento del muro de albañilería confinada.
- e) Determinación de días de trabajo para la construcción, reparación y reforzamiento del muro de albañilería confinada.
- f) Seguidamente se calcula los parámetros de curvas de consecuencia para tres estados de daño, considerando: Costo máximo, costo mínimo, tiempo máximo, tiempo mínimo, cantidad mayor, cantidad menor y covarianza (0.25 para la distribución normal).
- g) Finalmente se obtiene las curvas de consecuencia para 3 estados de daño.

## CAPÍTULO IV

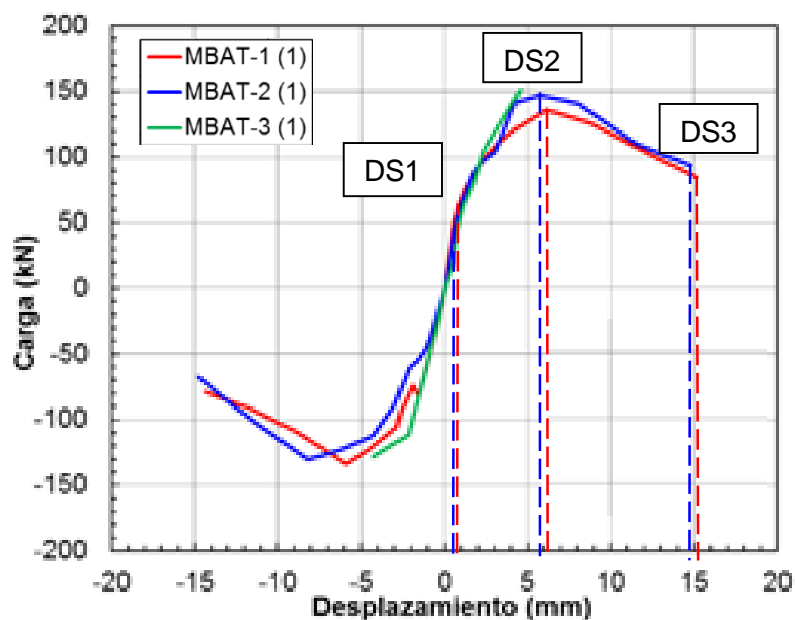
### RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las hojas de cálculo Microsoft Excel, curvas de fragilidad para tres estados de daños y curvas de consecuencia para el costo y tiempo de reparación y reforzamiento del muro:

#### 4.1. RESULTADOS DE CURVAS DE FRAGILIDAD MHI-CQ:

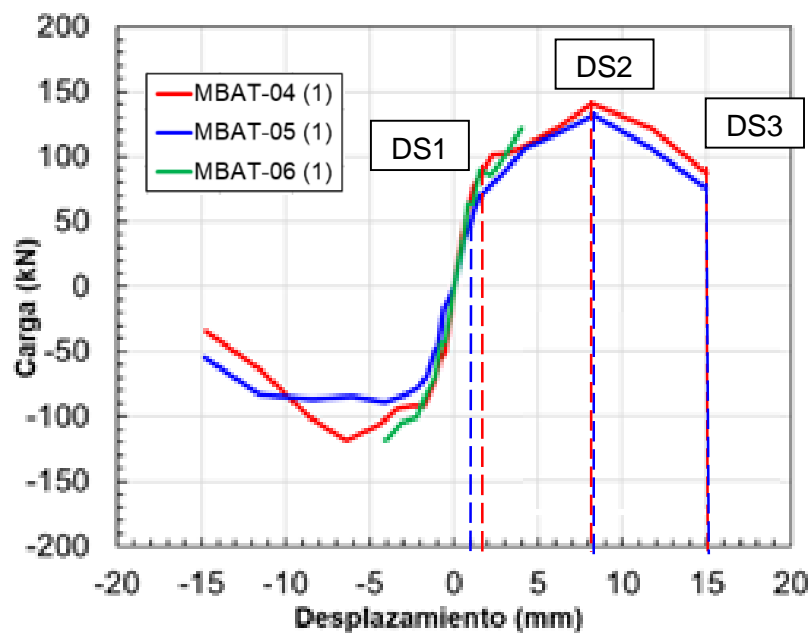
Para la determinación de los parámetros “ $\Theta$ ” y “ $\beta$ ” en los 3 estados de daños de cada muro, se calculó de la siguiente manera:

- A) Identificar los estados de daños: Donde empieza el agrietamiento (DS1), en su resistencia máxima (DS2) y en la resistencia última (DS3) de los muros MBAT-1, MBAT-2, MBAT-4 y MBAT-5. (Figura – 17 y figura – 18).



**Figura – 17:** Curva de capacidad de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo

**Fuente:** Ensayo de Carga Cíclica de tres muros a escala natural – 2016.



**Figura – 18:** Curva de capacidad de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo

**Fuente:** Ensayo de Carga Cíclica de tres muros a escala natural – 2017.

- B) Conocidos los desplazamientos, se halla la demanda “ $d_i$ ”, usando la siguiente fórmula:

$$d_i = \frac{\text{desplazamiento (mm)}}{\text{altura del muro (mm)}} \times 1000$$

**Tabla N°20:** Cálculo de demanda ( $d_i$ )

	INICIO	PUNTA	FIN
<b>MBAT-1</b>	0.85	6.15	15.2
	0.00034	0.00246	0.00608
	<b>0.34</b>	<b>2.46</b>	<b>6.08</b>
<b>MBAT-2</b>	0.61	5.84	14.84
	0.000244	0.002336	0.005936
	<b>0.24</b>	<b>2.34</b>	<b>5.94</b>
<b>MBAT-4</b>	1.9	8.19	15
	0.00076	0.003276	0.006
	<b>0.76</b>	<b>3.28</b>	<b>6</b>
<b>MBAT-5</b>	1	8.25	15
	0.0004	0.0033	0.006
	<b>0.40</b>	<b>3.30</b>	<b>6.00</b>

C) Seguidamente se determina los parámetros “ $\Theta$ ” y “ $\beta$ ” para cada estado de daño, usando las siguientes fórmulas:

$$i) \quad \theta_i = e^{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \ln(d_i)}$$

$$ii) \quad \beta_r = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{n=1}^M \left( \ln\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right) \right)^2}$$

$$iii) \quad \beta_u = 0,25 \text{ porque son 4 muros.}$$

$$iv) \quad \beta = \sqrt{\beta_r^2 + \beta_u^2}$$

Finalmente, para la elaboración de las figuras de curvas de fragilidad, se aplica la siguiente fórmula:

$$F_i(D) = \phi\left(\frac{\ln\left(\frac{D}{\theta_i}\right)}{\beta_i}\right)$$

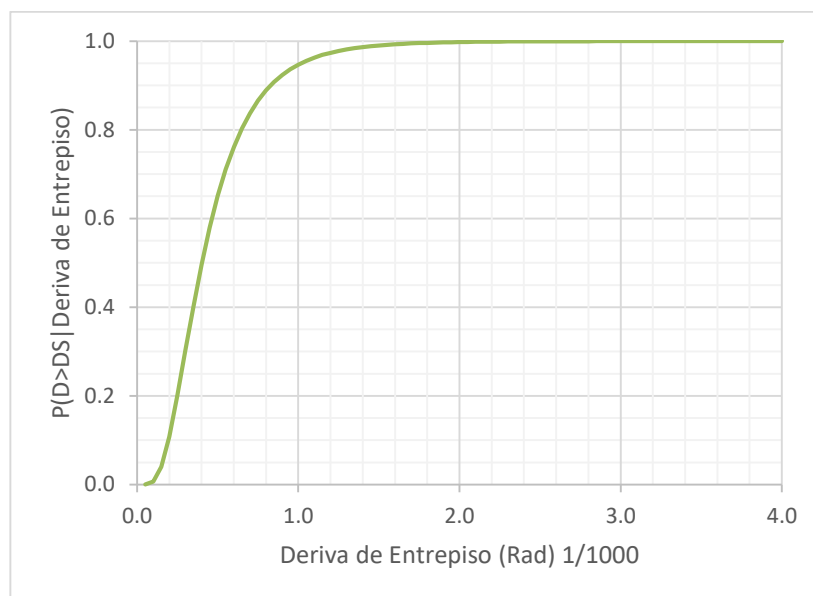
A continuación, se muestran los resultados de curvas de fragilidad obtenidos para cada estado de daño.

#### 4.1.1. Estado de daño 1 o estado límite 1:

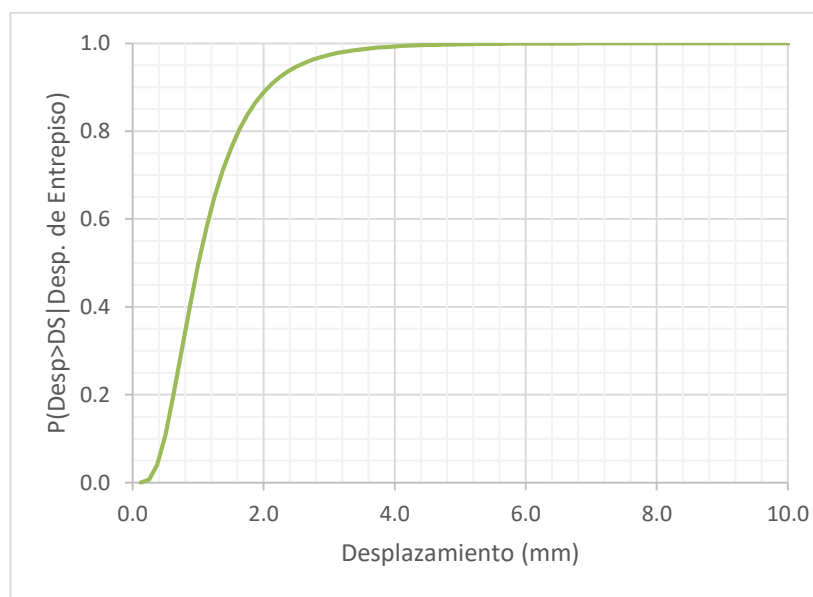
**Tabla N°21:** Determinación de los parámetros “ $\Theta$ ” y “ $\beta$ ” – estado de daño 1.

Número de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ): ( $d_i$ )/1000	$\ln(d_i)$	$\ln\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)$	$\left(\ln\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)\right)^2$
1	0.34	-1.0788	-0.1675	0.0280
2	0.24	-1.4271	-0.5158	0.2660
3	0.80	-0.2231	0.6882	0.4736
4	0.40	-0.9163	-0.0050	0.0000
		<b>-3.6454</b>		<b>0.7677</b>

$\Theta$	0.4020
$\beta_r$	0.5059
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.5643



**Figura – 19:** Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 1 (deriva de entre piso).



**Figura – 20:** Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 1 (desplazamiento de entre piso).

#### 4.1.2. Estado de daño 2 o estado límite 2:

Tabla N°22. Determinación de los parámetros “ $\Theta$ ” y “ $\beta$ ” – estado de daño 2.

Número de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ): ( $d_i$ )/1000	$l_n(d_i)$	$l_n\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)$	$\left(l_n\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)\right)^2$
1	2.46	0.9002	-0.1283	0.0165
2	2.34	0.8502	-0.1783	0.0318
3	3.28	1.1878	0.1594	0.0254
4	3.24	1.1756	0.1471	0.0217
		4.1137		0.0953

$\Theta$	2.7967
$\beta_r$	0.1782
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.3070

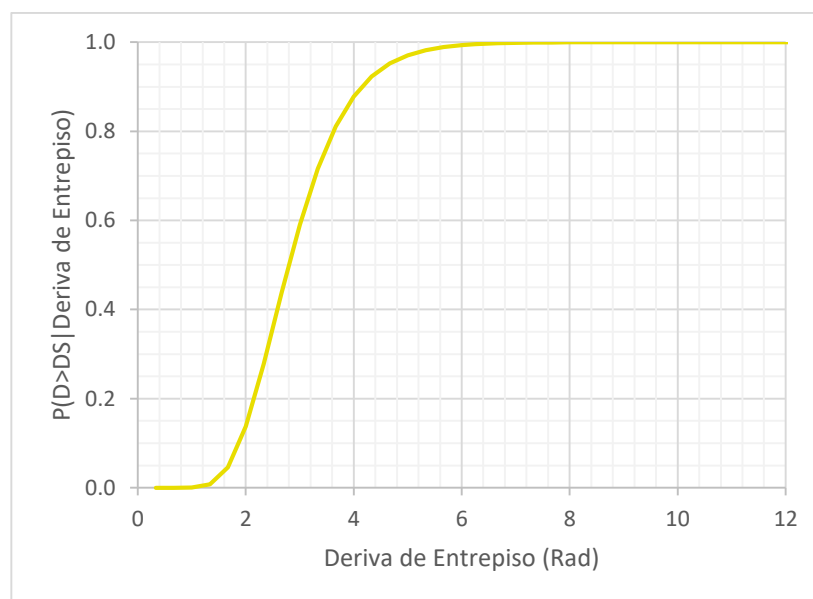
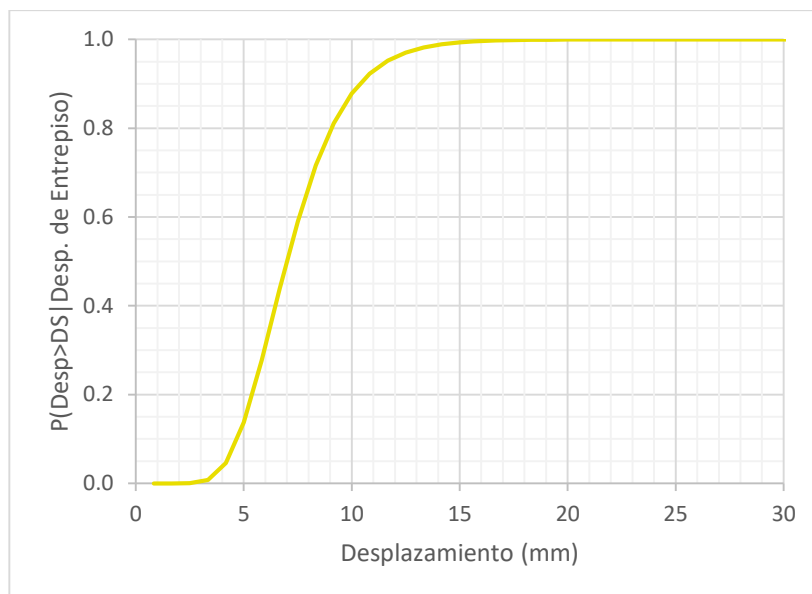


Figura – 21: Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 2 (deriva de entre piso).



**Figura – 22:** Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 2 (desplazamiento de entre piso).

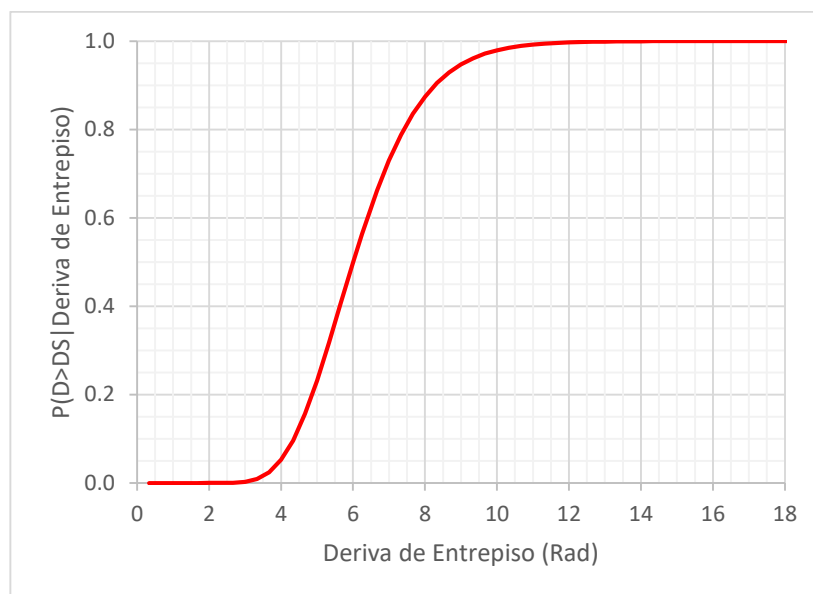
#### 4.1.3. Estado de daño 3 o estado límite 3:

**Tabla N°23.** Determinación de los parámetros  $\Theta$  y  $\beta$  – estado de daño 3.

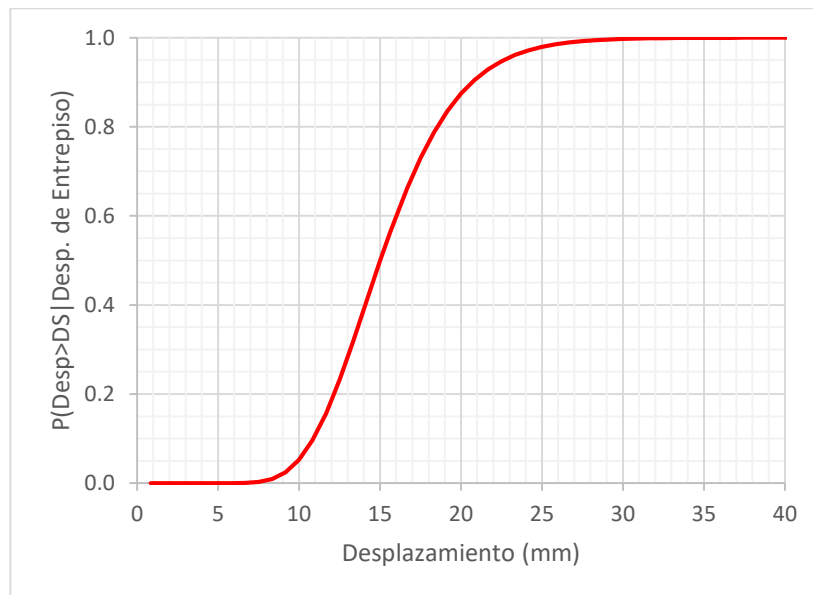
Número de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ): ( $d_i$ )/1000	$l_n(d_i)$	$l_n\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)$	$\left(l_n\left(\frac{d_i}{\theta_i}\right)\right)^2$
1	6.08	1.8050	0.0124	0.0002
2	5.94	1.7817	-0.0108	0.0001
3	6.00	1.7918	-0.0008	0.0000
4	6.00	1.7918	-0.0008	0.0000
		7.1702		0.0003

$\Theta$	6.0048
$\beta_r$	0.0096
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2502



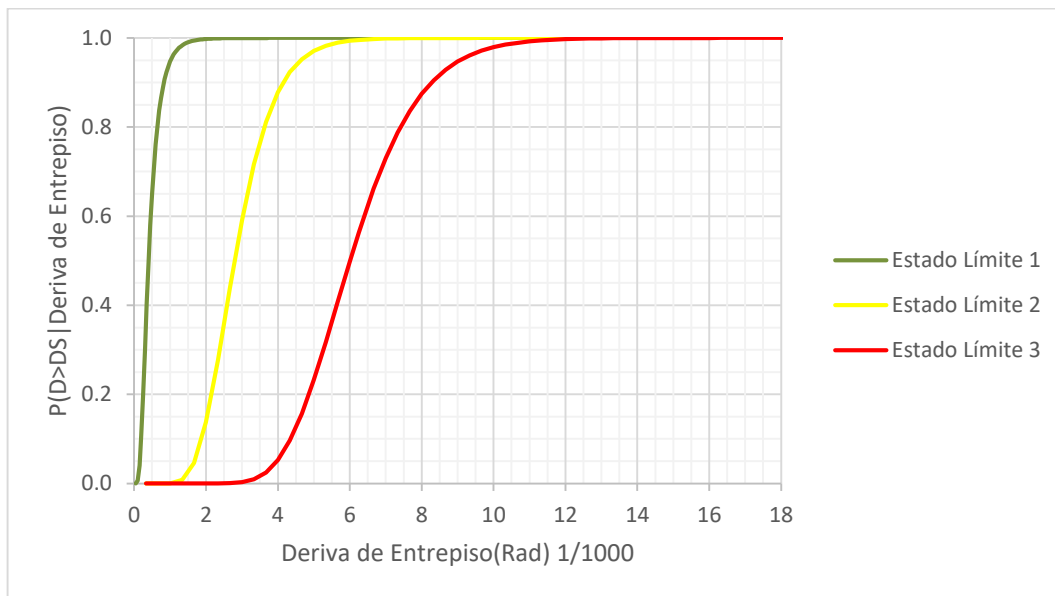


**Figura – 23:** Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 3 (deriva de entre piso).

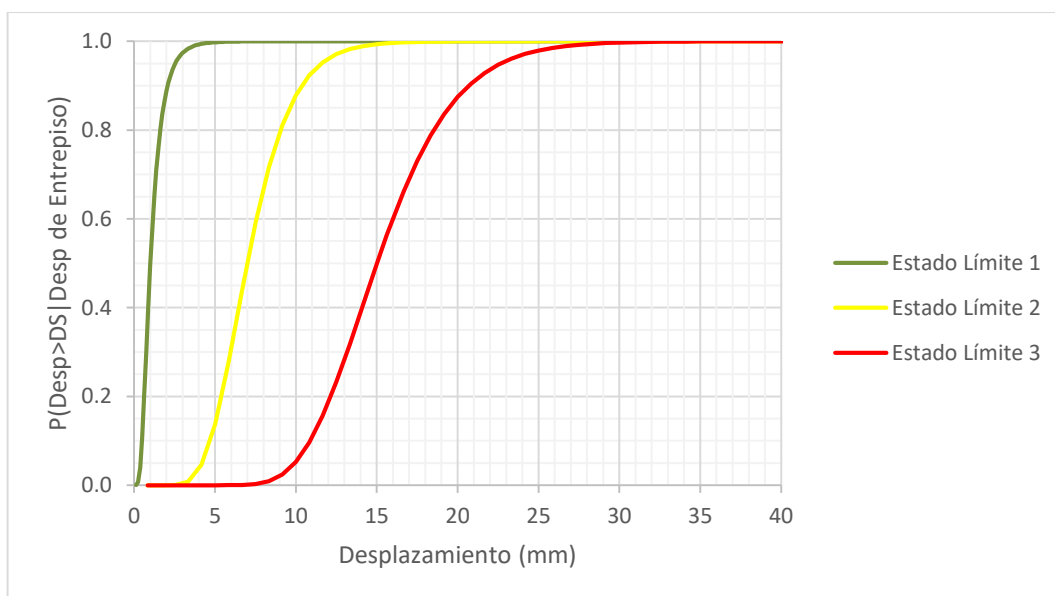


**Figura – 24:** Curva de fragilidad de muro MHI-CQ estado de daño 3 (desplazamiento de entre piso).

Finalmente se obtuvieron las curvas de fragilidad de los tres estados de daños respectivamente para muros de albañilería confinada construidos con ladrillo tipo Blocker II, con una carga axial de 10 TN.



**Figura – 25:** Curva de fragilidad de muro MHI-CQ (deriva de entre piso).



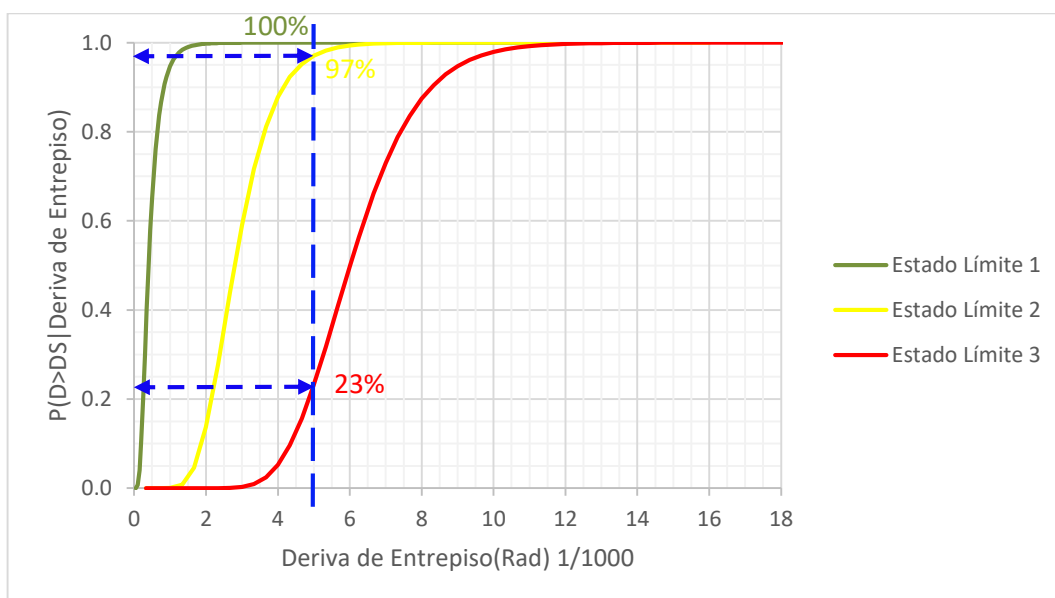
**Figura – 26:** Curva de fragilidad de muro MHI-CQ (desplazamiento de entre piso).

## INTERPRETACIÓN:

Las curvas se pueden interpretar de varias formas, así, por ejemplo:

En la figura – 27, se puede observar que:

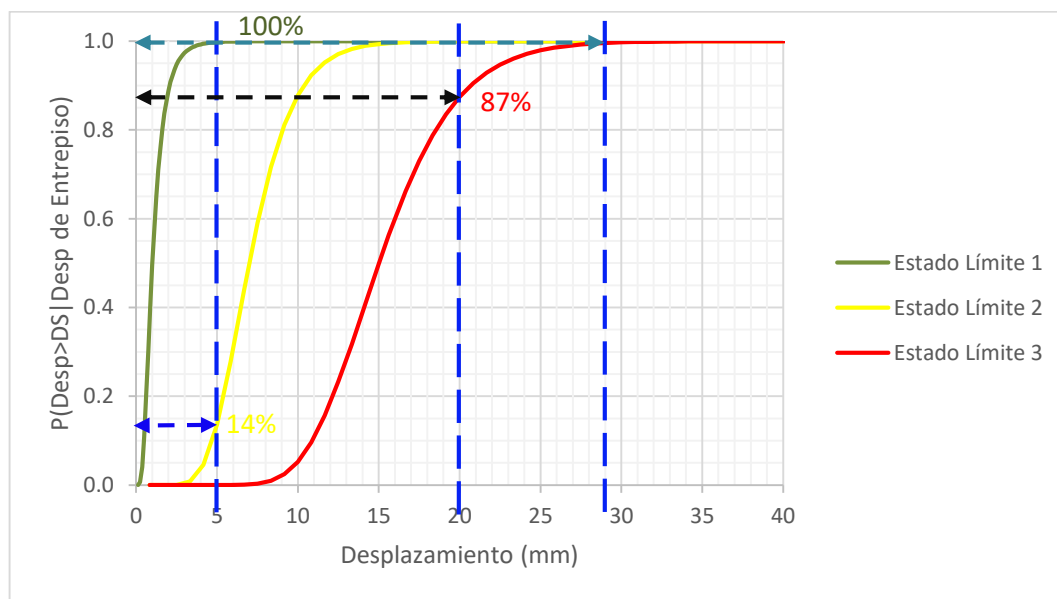
- Para un nivel de deriva de 5/1000 (límite máximo para albañilería establecido en la N.T.E. E.030), existe la probabilidad de que el 100% de los muros de albañilería confinada construidos con ladrillo tipo Blocker II han superado el estado de daño o límite 1 (línea verde).
- Para un nivel de deriva de 5/1000 existe la probabilidad de que el 97% de los muros se encuentran en el estado de daño o límite 2 (línea amarilla), mientras que para se inicie el estado de daño o límite 3 (línea roja) la probabilidad es del 23%.



**Figura – 27:** Interpretación de la Curva de fragilidad de muro MHI-CQ (deriva de entre piso).

En la figura – 28, se puede observar que:

- Para un desplazamiento de 5mm, el 100% de los muros se encuentran en el estado de daño 1 (línea verde), el 14% de los muros se encuentran en el estado de daño 2 (línea amarilla).
- Para un desplazamiento de 20mm, el 100% de los muros se encuentran en el estado de daño 1 y 2, mientras que 87% de los muros se encuentran en el estado de daño 3 (línea roja).
- Para un desplazamiento de entre piso de 29mm, el 100% de los muros habrían colapsado.



**Figura – 28:** Interpretación de la Curva de fragilidad de muro MHI-CQ (desplazamiento de entre piso).

#### 4.2. RESULTADOS DE CURVAS DE CONSECUENCIA

A continuación, realizamos Curvas de consecuencia, detallando los resultados de costo y tiempo para la reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada en sus tres estados de daños.

Para la determinación del costo para la construcción, reparación y reforzamiento del muro, necesitamos conocer el costo y la cantidad de los materiales, y el costo de la mano de obra que intervendrán en el proceso. Todo ello, será presentado usando unidades monetarias soles (S/.), dólares (\$) y euros (€).

**Tabla N° 24:** Materiales para construcción, reparación y reforzamiento de un muro

Material	Cantidad	Unidad	Costo(S/.)x
			Unid
<b>Construcción</b>			
Alambre # 8	8	kg	4
Clavos con cabeza	2	kg	3.78
Acero de refuerzo 1/2" fy=4200kg/cm2	3	Varilla	24.86
Acero de refuerzo 1/4" fy=4200kg/cm2	6	Varilla	14.01
Acero de refuerzo 3/8" fy=4200kg/cm2	2	Varilla	14.8
Arena gruesa	0.585	m3	45
Piedra chancada 1/2"	0.435	m3	45
Arena fina	0.081	m3	65
Ladrillo Blocker II	82	und.	1.63
Cemento Yura Tipo IP	8	Bolsa	21
Agua	150	lts	0.025
Madera de encofrado	20	p2	2.4
<b>Reparación</b>			
Cemento	2	Bolsa	21
Arena fina	0.26	m3	65
Agua	55	lts	0.025
<b>Reforzamiento</b>			
Malla electrosoldada 1/4"	5.5	m2	8.4
Clavos	0.5	Kg.	3.78
Acero de refuerzo 1/2" fy=4200kg/cm2	1	Kg.	24.86

**Tabla N° 25:** Mano de obra para construcción, reparación y reforzamiento de un muro

Trabajador	Cantidad	Costo soles/día
Técnico	1	140
Ayudante	1	70

Seguidamente, se detalla el costo total (costo de materiales + costo de mano de obra) y el número de días de trabajo para tres estados de daños, para la construcción, reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada.

#### 4.2.1. Reparación de un muro (Estado de daño 1):

La tabla N° 26, muestra el costo de materiales para la reparación de un muro de albañilería.

**Tabla N° 26:** Costo de materiales para la reparación de un muro.

Reparación							
Cemento	2	Bolsa	21	42.00	60.28	18.55	15.66
Arena fina	0.26	m3	65	16.90			
Agua	55	lts	0.025	1.38			

El número total de días para la reparación de un muro de albañilería se calcula de acuerdo a los trabajos que se realiza (ver Tabla N° 27).

**Tabla N° 27:** Número total de días de trabajo para la reparación de un muro.

Función	Cantidad
Picado de fisuras mayores a 0.8 mm	0.60
Resanado de las grietas	0.60
Reparación de los nudos de concreto	0.33
<b>Total x muro</b>	<b>1.53</b>

El costo de la mano de obra para la reparación de un muro de albañilería confinada, consiste en el número de días de trabajo y el monto de remuneración que percibe cada trabajador (01 técnico y 01 ayudante), tal como se visualiza en la tabla N° 28.

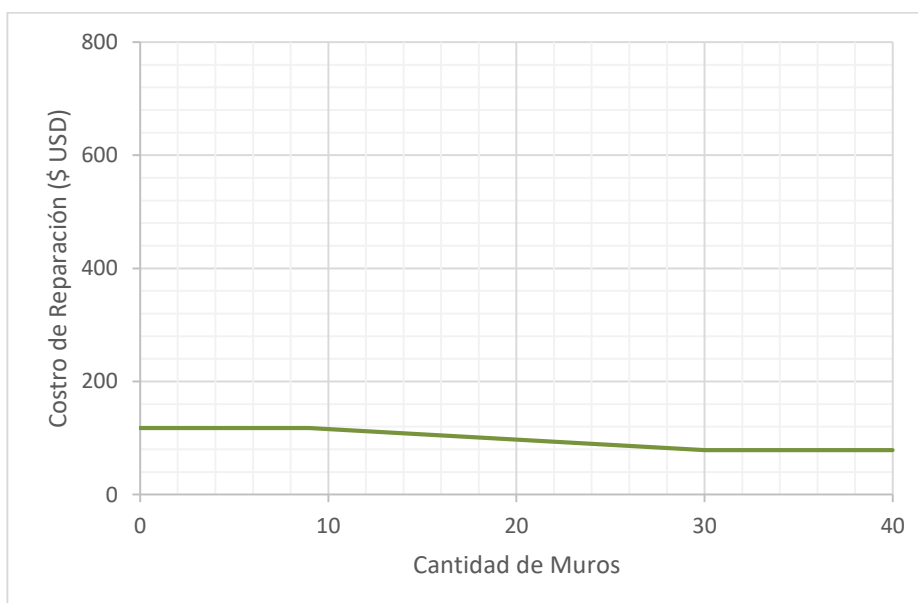
**Tabla N° 28:** Costo de mano de obra para la reparación de un muro.

Mano de obra						
Trabajador	Cantidad	Costo soles/día	Días	Total (S/.)	Dólares	Euros
Técnico	1	140	1.53	214.2	65.91	55.64
Ayudante	1	70	1.53	107.1	32.95	27.82
				321.3	98.86	83.45

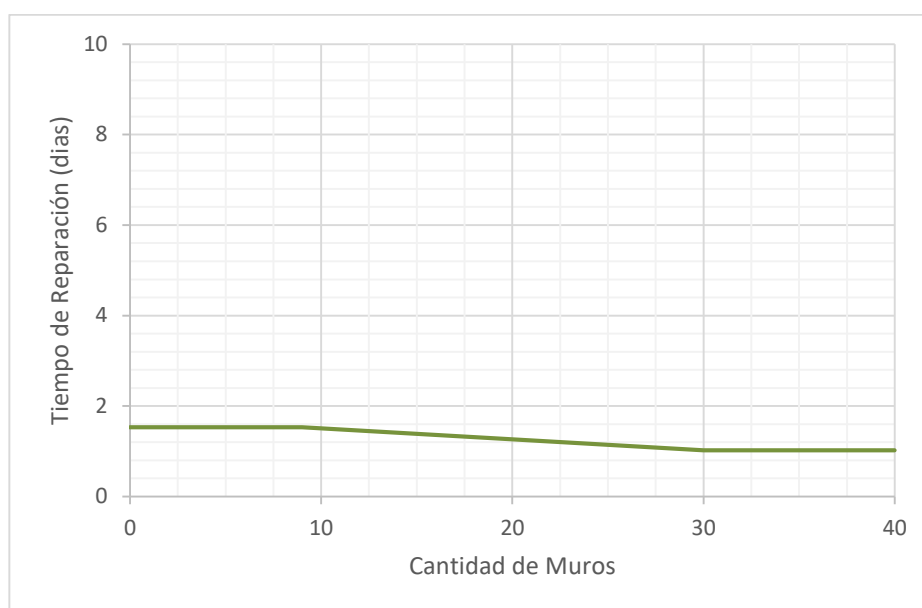
El costo total de los materiales más el costo total de la mano de obra para la reparación de un muro de albañilería se especifica en la tabla N° 29.

**Tabla N° 29:** Costo total para la reparación de un muro.

	Soles	Dólares	Euros
<b>Total x muro</b>	381.58	117.41	99.11



**Figura – 29:** Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 1 (costo).



**Figura – 30:** Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 1 (tiempo).

#### 4.2.2. Reparación y reforzamiento de un muro (Estado de daño 2):

La tabla N° 30, muestra el costo de materiales para la reparación y reforzamiento de un muro de albañilería.

**Tabla N° 30:** Costo de materiales para la reparación y reforzamiento de un muro.

Material	Cantidad	Unidad	Costo(S/.)x	Costo Parcial	Costo (S/.)	Costo Dólares	Costo Euros
			Unid				
<b>Reparación</b>							
<b>Cemento</b>	2	Bolsa	21	42.00	60.28	18.55	15.66
<b>Arena fina</b>	0.26	m3	65	16.90			
<b>Agua</b>	55	lts	0.025	1.38			
<b>Reforzamiento</b>							
<b>Malla electrosoldada 1/4"</b>	5.5	m2	8.4	46.20	72.95	22.45	18.95
<b>Clavos</b>	0.5	Kg.	3.78	1.89			
<b>Acero de refuerzo 1/2" fy=4200kg/cm2</b>	1	Kg.	24.86	24.86			



El número total de días para la reparación y reforzamiento de un muro de albañilería se calcula de acuerdo a los trabajos que se realiza, cabe mencionar que se debe añadir el número de días de la reparación (ver Tabla N° 31).

**Tabla N° 31:** Número total de días de trabajo para la reparación y reforzamiento de un muro.

<b>Función</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Pañeteo</b>	0.34
<b>Armado de la malla</b>	0.40
<b>Perforación y colocación de malla</b>	0.60
<b>Tarrajeo</b>	1
<b>Total reforzamiento x muro</b>	2.34
<b>Tiempo de reparación x muro</b>	1.53
<b>Total de reparación y reforzamiento</b>	3.87

El costo de la mano de obra para la reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada, consiste en el número de días de trabajo y el monto de remuneración que percibe cada trabajador (01 técnico y 01 ayudante), tal como se visualiza en la tabla N° 32.

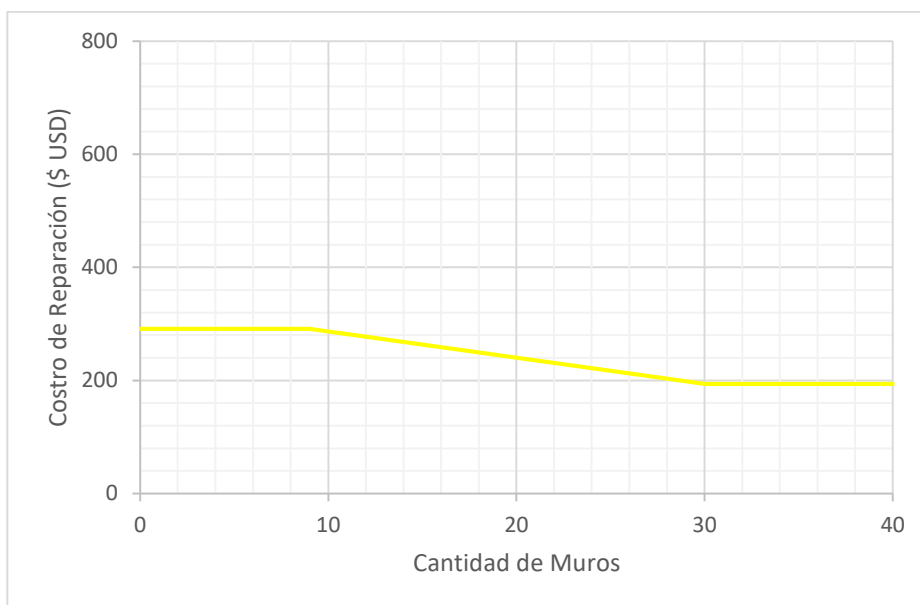
**Tabla N° 32:** Costo de mano de obra para la reparación y reforzamiento de un muro.

<b>Trabajador</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo soles/día</b>	<b>Días</b>	<b>Total (S/.)</b>	<b>Dólares</b>	<b>Euros</b>
<b>Técnico</b>	1	140	3.87	541.8	166.71	140.73
<b>Ayudante</b>	1	70	3.87	270.9	83.35	70.36
				812.7	250.06	211.09

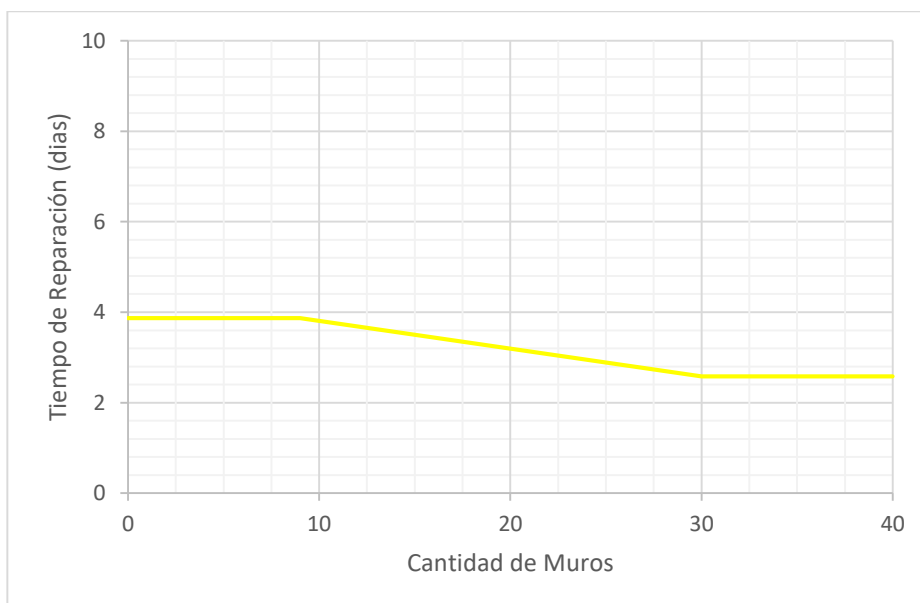
El costo total de los materiales más el costo de la mano de obra para la reparación y reforzamiento de un muro de albañilería se especifica en la tabla N° 33.

**Tabla N° 33:** Costo total para la reparación y reforzamiento de un muro.

	<b>Soles</b>	<b>Dólares</b>	<b>Euros</b>
<b>Total x muro</b>	945.93	291.05	245.69



**Figura – 31:** Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 2 (costo).



**Figura – 32:** Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 2 (tiempo).

#### 4.2.3. Demolición, construcción y reforzamiento de un muro (Estado de daño 3):

La tabla N° 34, muestra el costo de materiales para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro de albañilería.

**Tabla N° 34:** Costo de materiales para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro.

Material	Cantidad	Unidad	Costo(S/.)x	Costo Parcial	Costo (S/.)	Costo Dólares	Costo Euros
			Unid				
<b>Construcción</b>							
<b>Alambre # 8</b>	8	kg	4	32.00	632.38	194.58	164.25
<b>Clavos con cabeza</b>	2	kg	3.78	7.56			
<b>Acero de refuerzo 1/2" fy=4200kg/cm2</b>	3	Varilla	24.86	74.58			
<b>Acero de refuerzo 1/4" fy=4200kg/cm2</b>	6	Varilla	14.01	84.06			
<b>Acero de refuerzo 3/8" fy=4200kg/cm2</b>	2	Varilla	14.8	29.60			
<b>Arena gruesa</b>	0.585	m3	45	26.33			
<b>Piedra chancada 1/2"</b>	0.435	m3	45	19.58			
<b>Arena fina</b>	0.081	m3	65	5.27			
<b>Ladrillo Blocker II</b>	82	und.	1.63	133.66			
<b>Cemento Yura Tipo IP</b>	8	Bolsa	21	168.00			
<b>Agua</b>	150	lts	0.025	3.75			
<b>Madera de encofrado</b>	20	p2	2.4	48.00			
<b>Reforzamiento</b>							
<b>Malla electrosoldada 1/4"</b>	5.5	m2	8.4	46.20	72.95	22.45	18.95
<b>Clavos</b>	0.5	Kg.	3.78	1.89			
<b>Acero de refuerzo 1/2" fy=4200kg/cm2</b>	1	Kg.	24.86	24.86			

El número total de días para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro de albañilería se calcula de acuerdo a los trabajos que se realiza, cabe mencionar que se debe añadir el número de días del reforzamiento (ver Tabla N° 35).

**Tabla N° 35:** Número total de días de trabajo para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro.

Función	Cantidad
Demolición	1
Preparación del acero	1.67
Construcción de los paneles	1
Encofrado	1
Vaciado de concreto	0.34
<b>Total x muro</b>	<b>5.01</b>
<b>Tiempo de reforzamiento x muro</b>	<b>2.34</b>
<b>Total de construcción y reforzamiento</b>	<b>7.35</b>

El costo de la mano de obra para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro de albañilería confinada, consiste en el número de días de trabajo y el monto de remuneración que percibe cada trabajador (01 técnico y 01 ayudante), tal como se visualiza en la tabla N° 36.

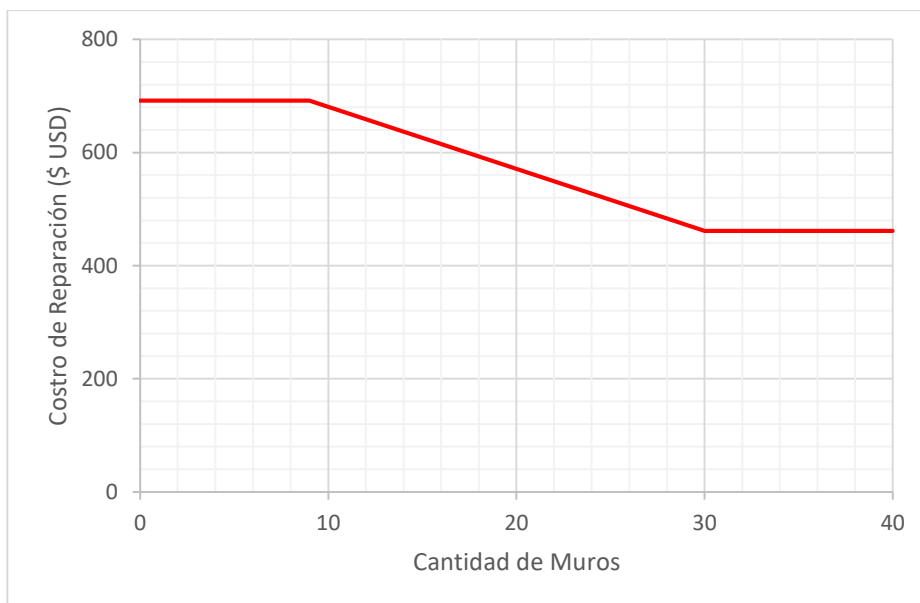
**Tabla N° 36:** Costo de mano de obra para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro.

Trabajador	Cantidad	Costo soles/día	Días	Total (S/.)	Dólares	Euros
Técnico	1	140	7.35	1029	316.62	267.27
Ayudante	1	70	7.35	514.5	158.31	133.64
				1543.5	474.92	400.91

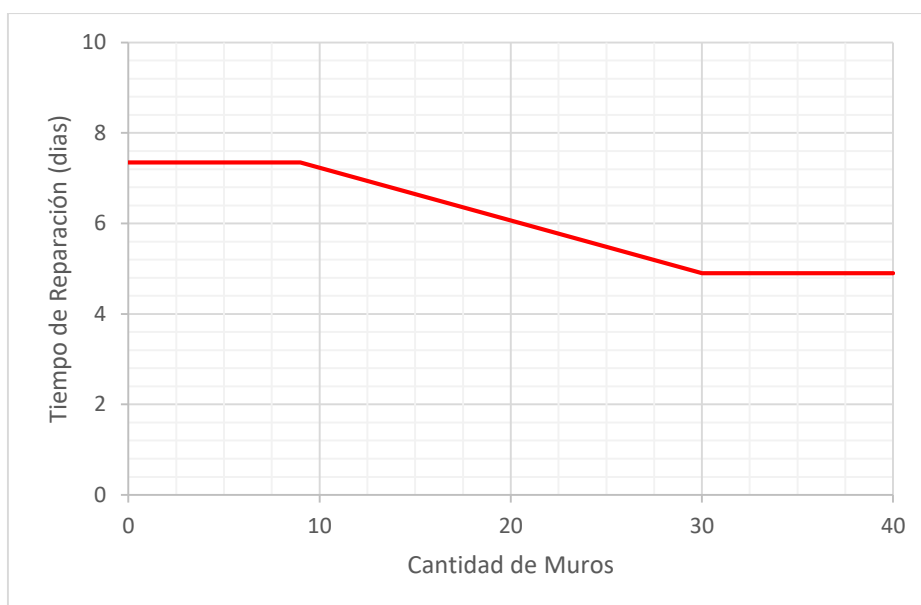
El costo total de los materiales más el costo de la mano de obra para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro de albañilería se especifica en la tabla N° 37.

**Tabla N° 37:** Costo total para la demolición, construcción y reforzamiento de un muro.

	Soles	Dólares	Euros
<b>Total x muro</b>	2248.83	691.95	584.11



**Figura – 33:** Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 3 (costo).



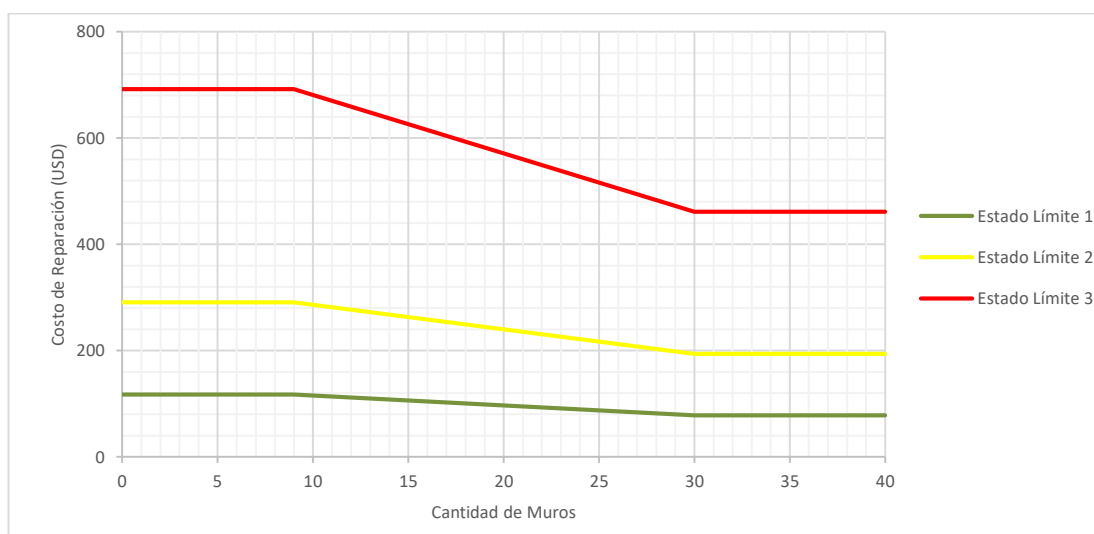
**Figura – 34:** Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR estado de daño 3 (tiempo).

Finalmente, en la tabla N° 38 se muestra los valores y parámetros estimados para los 3 estados de daños, y en las figuras 35 y 36, se muestra las curvas de consecuencia para los tres estados de daño. Los costos fueron obtenidos de acuerdo

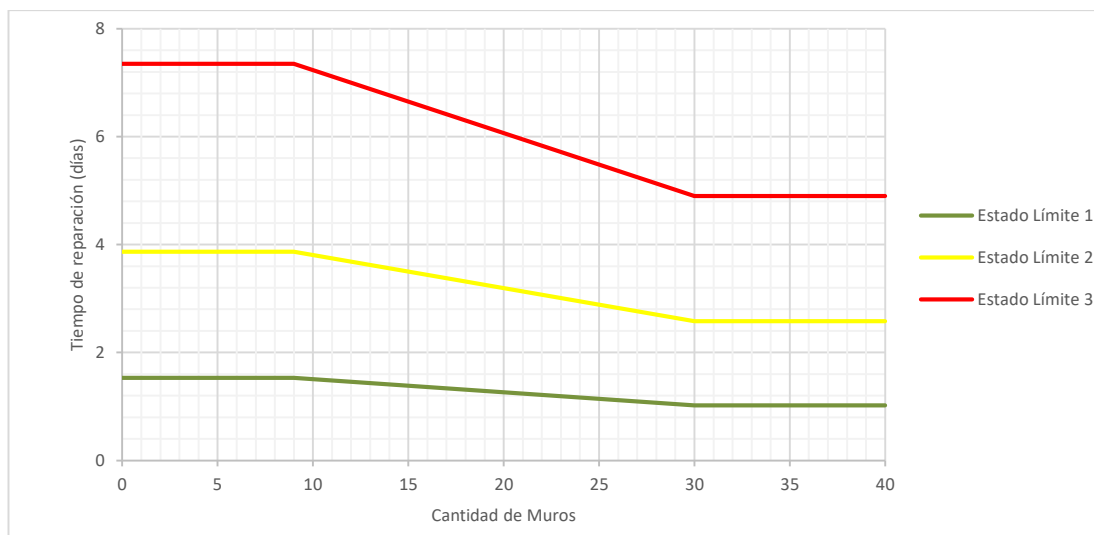
al presupuesto de materiales usada en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI, y la mano de obra de acuerdo a especialistas de la ciudad de Tacna.

**Tabla N°38:** Parámetros de curvas de consecuencia para cada estado de daño

Parámetro por muro	Estado de Daño		
	1	2	3
Costo máximo (\$)	117.41	291.05	691.95
Costo mínimo (\$)	78.27	194.04	461.30
Tiempo máximo (días)	1.53	3.87	7.35
Tiempo mínimo (días)	1.02	2.58	4.90
Cantidad mayor	30	30	30
Cantidad menor	9	9	9



**Figura – 35:** Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR (costo de reparación, reforzamiento y construcción).



**Figura – 36:** Curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR (tiempo de reparación, reforzamiento y construcción).

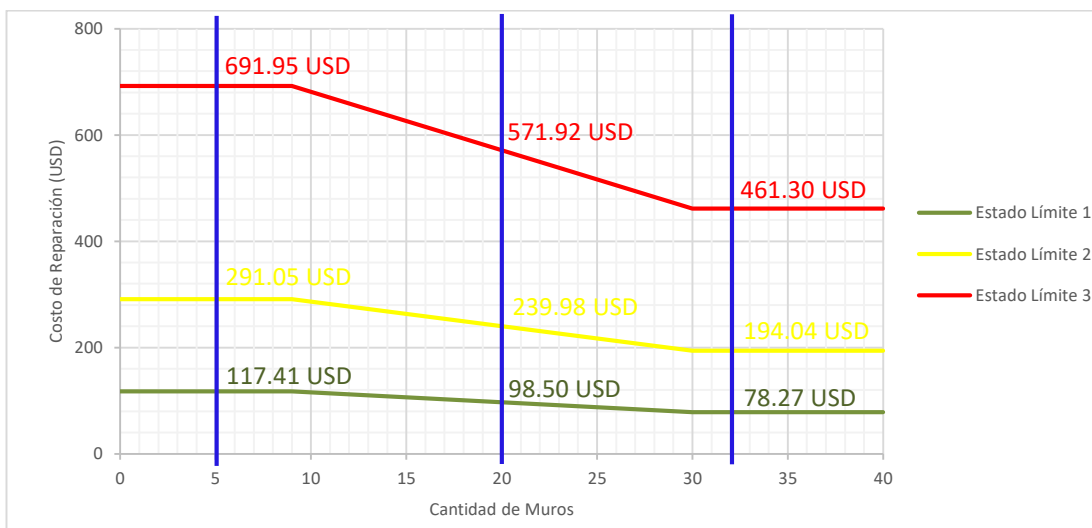
#### INTERPRETACIÓN:

Las curvas se pueden interpretar de varias formas, así, por ejemplo:

En la figura – 37, se puede observar que:

- Para una vivienda que cuenta con 5 muros en estado de daño o límite 1 (línea verde) el costo de la reparación por muro será de 117.41 USD, en estado de daño o límite 2 (línea amarilla) el costo de la reparación y reforzamiento por muro será de 291.05 USD, y si presenta el estado de daño o límite 3 (línea roja) el costo de la demolición, construcción y reforzamiento por muro será de 691.95 USD.
- Para una vivienda que cuenta con 20 muros en estado de daño o límite 1 (línea verde) el costo de la reparación por muro será de 98.50 USD, en estado de daño o límite 2 (línea amarilla) el costo de la reparación y reforzamiento por muro será de 239.98 USD, y si presenta el estado de daño o límite 3 (línea roja) el costo de la demolición, construcción y reforzamiento por muro será de 571.92 USD.

- Para una vivienda que cuenta con 32 muros en estado de daño o límite 1 (línea verde) el costo de la reparación por muro será de 78.27 USD, en estado de daño o límite 2 (línea amarilla) el costo de la reparación y reforzamiento por muro será de 194.04 USD, y si presenta el estado de daño o límite 3 (línea roja) el costo de la demolición, construcción y reforzamiento por muro será de 461.30 USD.



**Figura – 37:** Interpretación de la curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR (costo de reparación, reforzamiento y construcción).

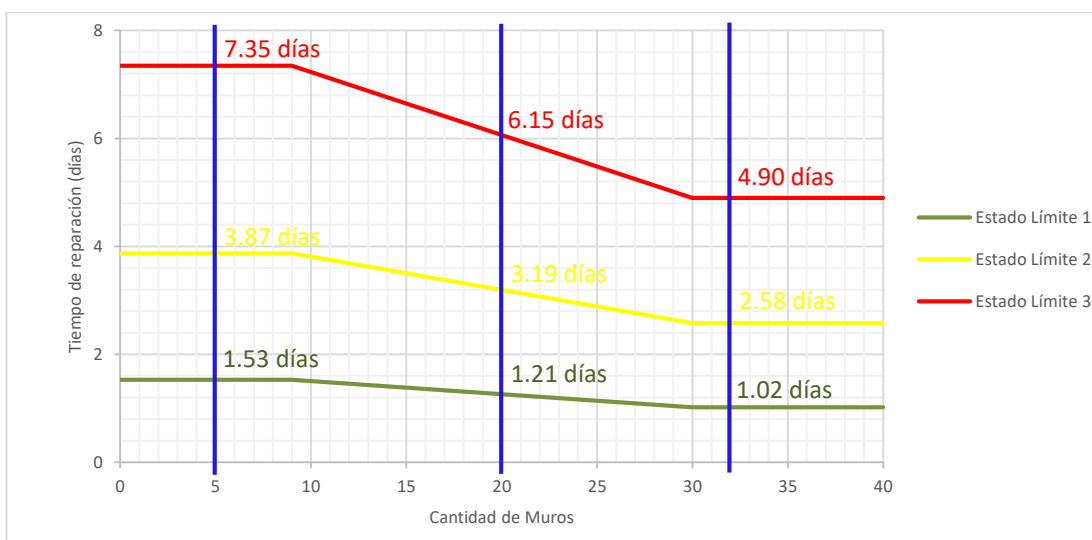
Como se observa el precio disminuye a medida que el número de muros a reparar, reforzar y construir aumenta. Esto debido que los procesos repetitivos disminuyen el costo de reparación.

En la figura – 38, se puede observar que:

- Para una vivienda que cuenta con 5 muros en estado de daño o límite 1 (línea verde) el tiempo de la reparación por muro será de 1.53 días, en estado de daño o límite 2 (línea amarilla) el tiempo de la reparación y reforzamiento por muro será de 3.87 días, y si presenta el estado de daño o límite 3 (línea roja) el tiempo de la demolición, construcción y reforzamiento por muro será de 7.35 días.



- Para una vivienda que cuenta con 20 muros en estado de daño o límite 1 (línea verde) el tiempo de la reparación por muro será de 1.21 días, en estado de daño o límite 2 (línea amarilla) el tiempo de la reparación y reforzamiento por muro será de 3.19 días, y si presenta el estado de daño o límite 3 (línea roja) el tiempo de la demolición, construcción y reforzamiento por muro será de 6.15 días.
- Para una vivienda que cuenta con 32 muros en estado de daño o límite 1 (línea verde) el tiempo de la reparación por muro será de 1.02 días, en estado de daño o límite 2 (línea amarilla) el tiempo de la reparación y reforzamiento por muro será de 2.58 días, y si presenta el estado de daño o límite 3 (línea roja) el tiempo de la demolición, construcción y reforzamiento por muro será de 4.90 días.



**Figura – 38:** Interpretación de la curva de consecuencia de muro MHI-CQ-LR (tiempo de reparación, reforzamiento y construcción).

Como se observa el tiempo disminuye a medida que el número de muros a reparar, reforzar y construir aumenta. Esto debido que los procesos repetitivos disminuyen el tiempo de reparación, cabe resaltar que se puede iniciar la reparación, el reforzamiento y la construcción de los muros al mismo tiempo, o uno después del otro.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

En cuanto a las hipótesis específicas:

#### 5.1. Como hipótesis específica 01, se había planteado:

**“Los valores de distorsiones permisibles para tres estados de daños se determinan mediante la elaboración de curvas de fragilidad según la librería del PACT del FEMA P 58, tomando como base ensayos experimentales en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II”.**

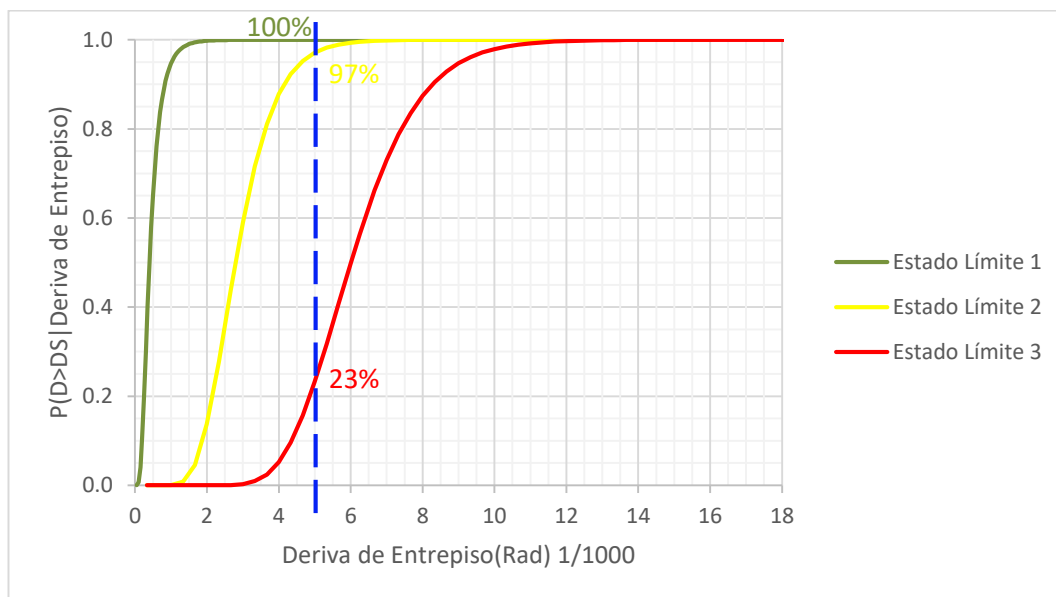
Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

Actualmente las construcciones existentes en la ciudad de Tacna son muy vulnerables, no solo por la mala calidad de materiales que se utilizaron, sino también, por que se han construido bajo la residencia de un maestro de obra o en muchos casos por el mismo propietario de la vivienda, sin cumplir nuestros códigos de diseño.

Por ello, para llevar a cabo diferentes estudios de vulnerabilidad sísmica y estimar las posibles pérdidas económicas en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II, es necesario determinar el nivel de daño para una demanda sísmica. Por consiguiente, las funciones de fragilidad o curvas de fragilidad son una herramienta muy útil para cuantificar los daños probabilísticos producidos en un evento sísmico.

En el presente trabajo de investigación se establece valores de distorsión permisibles para tres estados de daño (cuando inicia el agrietamiento, cuando alcanza la resistencia máxima y cuando llega a la resistencia última) en muros de

albañilería confinada construidos con Blocker II, los cuales se pueden comparar con lo declarado en la Norma Técnica de Edificaciones E.030, en donde para los límites de la distorsión (deriva) en albañilería es de 0.005, pero si comparamos con el muro MHI-CQ, para una deriva de 5/1000 en la figura – 39, la probabilidad de que se inicie el daño 1 es del 100%, mientras que para se inicie el estado de daño 2 la probabilidad es del 97% y por ultimo para el estado de daño 3 la probabilidad es del 23%.



**Figura – 39:** Relación deriva 5/1000 y estado de daño de MHI-CQ

## 5.2. Como hipótesis específica 02, se había planteado:

**“El costo y tiempo de reparación y reforzamiento para un muro de albañilería confinada construido con Blocker II para tres estados de daños se determinan mediante la elaboración de curvas de consecuencia según la librería del PACT del FEMA P 58, tomando como base ensayos experimentales”.**

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

La técnica de reparación y reforzamiento de muros de albañilería confinada no se usa comúnmente en la ciudad Tacna, debido a que no existe información

necesaria para poder determinar las ventajas y desventajas de esta técnica en el proceso constructivo.

Para conocer cuánto costará y durará la reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada construido con Blocker II en un determinado estado de daño, es necesario una herramienta que nos ayude a evaluar probabilidades de costo y tiempo.

En este estudio se han elaborado curvas de consecuencia para muros de albañilería construidos con Blocker II, las cuales nos permiten conocer el costo y tiempo de reparación y reforzamiento de un muro. Como se observa en la figura 37 y 38, el costo y tiempo disminuyen a medida que el número de muros a reparar, reforzar y construir aumentan, esto debido que los procesos repetitivos disminuyen el costo y tiempo de reparación, cabe resaltar que se puede iniciar la reparación, el reforzamiento y la construcción de los muros al mismo tiempo, o uno después del otro.

**Finalmente, como hipótesis general se planteó:**

**“Mediante la elaboración de curvas de fragilidad y curvas de consecuencia en base a ensayos experimentales en muros, se contribuyen probabilidades de daños, costos y tiempo de reparación y reforzamiento para tres estados de daños, los cuales son muy útiles para futuros estudios de vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de albañilería de la ciudad de Tacna construidas con Blocker II”.**

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

La ciudad de Tacna se localiza en una zona de alto riesgo sísmico, y gran porcentaje de las construcciones existentes son muy vulnerables, esto debido a la informalidad durante el proceso constructivo (sin una adecuada asistencia técnica) y a la mala calidad de materiales que se usaron durante la construcción.

En ese sentido, es necesario una herramienta que nos ayude a medir las probabilidades de daños en muros de albañilería confinada construidos con Blocker II y a la vez conocer el costo y tiempo de reparación y reforzamiento de estos.

En este estudio se han elaborado curvas de fragilidad y curvas de consecuencia para muros de albañilería construidos con Blocker II, las cuales nos permiten conocer los tres estados de años que pueden padecer los muros y del mismo modo podemos determinar cuánto costará y durará la reposición de muros.

Las curvas presentadas en este trabajo de investigación contribuyen con información para posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de albañilería de la ciudad de Tacna construidas con Blocker II.

## CONCLUSIONES

### **Primera conclusión:**

En este trabajo de investigación se han elaborado curvas de fragilidad y curvas de consecuencia para muros de albañilería confinada construidos con Blocker II. Las curvas nos permiten estimar la probabilidad de daño que ocasionaría un sismo y pueden emplearse para determinar las pérdidas económicas, costos y tiempos de reposición.

Las curvas presentadas en este trabajo contribuyen con información para posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de albañilería de la ciudad de Tacna construidas con Blocker II.

### **Segunda conclusión:**

La Norma Técnica de Edificaciones E.070, establece que el diseño de los muros esté orientado a proteger a la estructura contra daños ante eventos sísmicos frecuentes y a proveer la resistencia necesaria para soportar el sismo severo, limitando la degradación de resistencia y rigidez con el propósito de limitar el nivel de daños en los muros. Ello se logra limitando el límite de reparación fijado en una distorsión de 0.005 cuando actúa el sismo severo.

Sin embargo, en un muro de albañilería confinada construidos con Blocker II, para una deriva de 5/1000 (límite permisible por la N.T.E. E.030) la probabilidad de que se presente el estado de daño 1 es del 100%, mientras que la probabilidad de que se inicie el estado de daño 2 es del 97% y la probabilidad de que se produzca el estado de daño 3 (falla del muro) es del 23%.

### **Tercera conclusión:**

Cuando ocurre un movimiento sísmico severo la Norma de Diseño Sismo-resistente E.030 establece que una estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, los cuales deben ser evaluadas, reparadas y/o reforzadas de tal manera que se corrijan los posibles defectos estructurales que provocaron los daños y recuperen la capacidad de resistir un nuevo evento sísmico.

En ese sentido las curvas de consecuencia nos permiten el costo y tiempo de reparación y reforzamiento para cualquier elemento estructural.

En este trabajo de investigación se ha elaborado curvas de consecuencia para un muro de albañilería confinada construido con Blocker II, el cual ha sido sometido a carga lateral cíclica hasta llegar el límite de reparación. Posteriormente el muro ha sido reparado y reforzado con malla electrosoldada de  $\frac{1}{4}$ " con espaciamiento 15mm y mortero con una relación de 1:4, en una sola cara, para su posterior ensayo.

De los resultados de las curvas de consecuencia de costos se puede determinar que para un nivel de daño 2, para reparar y reforzar 5 muros el costo es de 291.05 USD por muro, para 20 muros el costo es de 239.98 USD por muro y para 32 muros el costo es de 194.04 USD por muro.

De la misma manera, de los resultados de las curvas de consecuencia de tiempo, para el estado límite 2, el tiempo para reparar y reforzar 5 muros es de 3.87 días por muro, para 20 muros es de 3.19 días por muro y para 32 muros es de 2.58 días por muro. De las curvas de consecuencias de costos y tiempo, también se observa que para los 3 estados de daños el costo disminuye a medida que el número de muros a reparar aumenta. Esto se debe a que los procesos repetitivos disminuyen el costo de reparación. Lo mismo ocurre con los días necesarios para la reparación de los muros.

## RECOMENDACIONES

### **Primera Recomendación**

Se recomienda a las Autoridades Municipales y Gobiernos Regionales, hacer cumplir a la población tacneña las Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones, para minimizar el riesgo sísmico y así evitar pérdidas humanas y económicas.

### **Segunda Recomendación**

Se recomienda al Comité Técnico Especializado, que es el encargado de elaborar el Proyecto de propuesta de las Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones y al Ministerio de Vivienda, construcción y Saneamiento que aprueba la misma, que realicen estudios de investigación de límites permisibles de distorsión o desplazamiento lateral asociados a diversos estados de daños, para posteriores estudios de desempeño sísmico en las viviendas informales de albañilería de la ciudad de Tacna.

### **Tercera Recomendación**

Para establecer valores más reales en cuanto a costo y tiempo, se recomienda a los futuros tesisistas poner en práctica la técnica de reparación y reforzamiento del enmallado de muros de albañilería construidos con Blocker II y de esta manera comparar los resultados con las curvas de consecuencia del presente trabajo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACERO, J. (2016). *“Servicios de ensayos estructurales para determinar el comportamiento sísmico de muros de ductilidad limitada”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- ALVA, J. (2002). *Peligro sísmico en el Perú*. Lima, Perú.
- BARTOLOMÉ, A. (1998). *Análisis de edificios*. Lima, Perú.
- BONETT, R. (2003). *“Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada”*. Universidad Politécnica de Catalunya. España. Recuperado de <http://www.tdr.cesca.es/bitstream/handle/10803/6230/05CAPITULO4.pdf?sequence=5>
- CALDERÓN, L. y MAQUE, M. (2017) *“Límite de Reparación de tres muros de albañilería confinada construidos con Blocker II”*. Tesis de grado. Universidad Privada de Tacna. Tacna, Perú.
- CASTILLO, J. (1994). *Peligro Sísmico en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- COTRADO, D. (2017). *“Elaboración de Curvas de Fragilidad de Muros de Ductibilidad Limitada de 10 cm de espesor, basados en ensayos experimentales, periodo 2011-2015”*. Tesis de maestría. Universidad Privada de Tacna. Tacna, Perú.
- FEMA P-58-1 (2012). *“Seismic Performance Assessment of building”*. Washington, D.C.
- FEMA P-58-VOLUMEN 2 (2012). *“Seismic Performance Assessment of building”*. Washington, D.C.
- FEMA 461 (2007). *Protocolos de Pruebas Provisorias para Determinar las Características de Rendimiento Sísmico de Componentes Estructurales y No Estructurales*. Washington, D.C.
- Instituto Cámara Peruana de la Construcción - CAPECO (2015). XX estudio *“El mercado de edificaciones urbanas en Lima Metropolitana y el Callao”*. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.capeco.org/publicaciones/xx-estudio-el-mercado-de-edificaciones-urbanas-en-lima-metropolitana-y-el-callao/>

- Instituto Nacional de defensa Civil (2001). *Compendio Estadístico de emergencia. Informe de los principales desastres ocurridos en el Perú, Lima, Perú.* recuperado de [http://www.indeci.gob.pe/compend\\_estad/2011/comp\\_2011.pdf](http://www.indeci.gob.pe/compend_estad/2011/comp_2011.pdf)
- LOVON, H. (2017). *“Estimación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada de Lima”*. Tesis de maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- MEDINA, G. (2005). *“Estudio del comportamiento experimental a escala natural de muros y módulo de concreto reforzados con malla electrosoldada”*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- MESTA, C. (2017). *“Estimación de pérdidas en el Stock de materiales de las edificaciones después de un terremoto. Caso de estudio: Ciudad de Chiclayo, Perú”*. Tesis de doctorado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- QUINTO, D. y ALFEREZ, K. (2015). *“Reforzamiento estructural de muros de albañilería de bloques artesanales de concreto”*. Tesis de maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- PARI, S. y MANCHEGO, J. (2017). *“Análisis experimental de muros de albañilería confinada en viviendas de baja altura en Lima, Perú”*. Tesis de doctorado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- PAT-PDU (2014-2023). *“Plan de Acondicionamiento Territorial-Plan de Desarrollo Urbano”*, Tacna, Perú.
- PORTER, K. (2016). *“A Beginner’s Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk”*. University of Colorado Boulder and SPA Risk LLC. Denver CO, USA.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2006): *Norma Técnica E.070 “Albañilería”*. Lima, Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2016): *Norma Técnica E.030 “Diseño Sismoresistente”*. Lima, Perú.
- REYES, A. (2017). *Estudio Analítico de vulnerabilidad sísmica de Edificios de Muros de Ductibilidad Limitada (EMDL) en la costa central del Perú*. Tesis de doctorado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

- SAN BARTOLOMÉ A., MUÑOZ A., ACUÑA C. Y VILLA GARCÍA. MARIELA (2003). “*Comportamiento Sísmico de Placas de Concreto Armado Reforzadas con Mallas Electrosoldadas*”. Proyecto SENCICO. Lima, Perú.
- SAN BARTOLOMÉ A. (2006). “*Comportamiento a Carga Lateral de Muros Delgado de Concreto reforzados con Mallas Electrosoldadas y Acero Dúctil*”. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- SENCICO (2016). “*Actualización de las NTE del RNE*”. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- SUAREZ, M. (2015). “*Fragility functions for non-engineered masonry dwelling in Perú*”. Building Research Institute. Tsukuba, Japan.
- TARQUE, N. (2016). “*Servicio de Ensayos Estructurales para determinar el comportamiento Sísmico de Muros de Albañilería Confinada*” Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- TAVERA, H. y BERNAL, I. (2002). “*Geodinámica, Sismicidad y Energía sísmica en el Perú*”. Monografía. Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú.
- VELÁSQUEZ, J. (2006). “*Estimación de pérdidas por sismo en edificios peruanos mediante Curvas de Fragilidad analíticas*”. Tesis de doctorado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- YAMIN, L. (2015) “*Riesgo sísmico de edificaciones en términos de pérdidas económicas mediante integración de costos de reparación de componentes*”. Universidad Politécnica de Catalunya. España. Recuperado de <http://www.tesisenred.net/handle/10803/385853?locale-attribute=es>
- Zavala, C. y Gálvez, V. (1998). “*Estudio del comportamiento frente a cargas laterales de muros AGV*”. Reporte de investigación CISMID/FIC/UNI, Lima, Perú.

# ANEXOS

**ANEXO 1:**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**



**ANEXO 2:**  
**DOCUMENTACIÓN DE CURVAS DE**  
**FRAGILIDAD Y CONSECUENCIA,**  
**SEGÚN LIBRERÍA DEL PACT DEL**  
**FEMA P 58-1**