

# **UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**



**ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA DE 10 CM DE ESPESOR, BASADOS EN ENSAYOS EXPERIMENTALES, PERÍODO 2011-2015**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Ing. DINA MARLENE COTRADO FLORES**

**Para Obtener el Grado Académico de:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**

**TACNA – PERÚ**

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quiero agradecer a Dios por todo lo que me ha dado en la vida, por guiar mis pasos y porque siempre pone en mi camino a personas buenas que me comprenden y me apoyan.

A la Universidad Privada de Tacna por ser mi alma mater y brindarme el camino de la superación profesional.

Al Dr. Omar Eyzaguirre Reinoso y Mg. José Acero Martínez, por su tiempo compartido en la asesoría de este trabajo.

Al Dr. Carlos Zavala Toledo por su valioso aporte y brindarme todas las facilidades e información necesaria de los ensayos experimentales realizados en el CISMID-UNI, así como al personal que actualmente acompaña al Dr. Zavala por haber compartido conmigo sus amplios conocimientos sobre el comportamiento no lineal y curvas de fragilidad en edificios de albañilería y de muros ductilidad limitada.

A mis familiares y amigos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de este trabajo de grado.

## **DEDICATORIA**

Con todo mi amor y cariño a mi pequeño hijo  
José Matías, por ser el motor que me impulsan  
a seguir adelante cada día.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	x
Resumen	xiii
Abstract	xv
Introducción	1

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMÁTICA DE LOS EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	05
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	08
1.2.1 Interrogante principal	08
1.2.2 Interrogantes secundarias	09
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	10

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.4.1 Objetivo general	12
1.4.2 Objetivos específicos	13
1.5 CONCEPTOS BÁSICOS	13
1.6 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO CIENTÍFICO**

2.1 CURVAS DE FRAGILIDAD	35
2.1.1 ¿Qué son curvas o funciones de fragilidad?	36
2.1.2 ¿Cómo se elaboran las funciones de fragilidad?	38
2.1.3 Funciones de fragilidad proporcionadas según la librería del PACT del FEMA P 58	39
2.1.4 Cálculo de funciones de fragilidad según el FEMA P 58	41
2.1.5 ¿Por qué la función de distribución acumulada lognormal es ampliamente utilizada para la fragilidad?	45
2.2 EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	46
2.2.1 Reseña Histórica de los edificios de Muros de Ductilidad Limitada	46
2.2.2 Especificaciones reglamentarias	49

2.2.3 Comportamiento sísmico	51
------------------------------	----

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

3.1 HIPÓTESIS	56
3.1.1 Hipótesis general	56
3.1.2 Hipótesis específicas	56
3.2 VARIABLES	58
3.2.1 Variable Dependiente	58
3.2.1.1 Denominación de la variable	58
3.2.1.2 Indicadores	59
3.2.1.3 Escala de medición	59
3.2.2 Variable Independiente	59
3.2.2.1 Denominación de la variable	59
3.2.2.2 Indicadores	59
3.2.2.3 Escala de medición	59
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN	60
3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	60
3.5 ÁMBITO DE ESTUDIO	67
3.6 POBLACIÓN Y MUESTRA	67
3.6.1 Unidad de estudio	67

3.6.2 Población	67
3.6.3 Muestra	68
3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	68
3.7.1 Técnicas	68
3.7.2 Instrumentos	69

## **CAPÍTULO IV**

### **LOS RESULTADOS**

4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	70
4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	75
4.3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	80
4.4 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS (DISCUSIÓN)	108

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES	118
5.2 RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
ANEXOS	127

## Índice de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1.1</b> <i>Características de los especímenes muros AGV</i>	22
<b>Tabla 1.2</b> <i>Características de los muros de ductilidad limitada – proyecto PUCP</i>	25
<b>Tabla 1.3</b> <i>Códigos y nomenclaturas de los especímenes ensayados – SENCICO</i>	27
<b>Tabla 2.1</b> <i>Estados límites en función de la deformación a tracción del acero y del desplazamiento entre plantas</i>	55
<b>Tabla 3.1</b> <i>Código y Nomenclatura de los especímenes ensayados</i>	61
<b>Tabla 4.1</b> <i>Nomenclatura de los especímenes</i>	75
<b>Tabla 4.2</b> <i>Parámetros para obtener la curva de fragilidad</i>	77
<b>Tabla 4.3</b> <i>Estado de daño 1 MDL-CCA1</i>	80
<b>Tabla 4.4</b> <i>Estado de daño 2 MDL-CCA1</i>	80
<b>Tabla 4.5</b> <i>Estado de daño 3 MDL-CCA1</i>	81
<b>Tabla 4.6</b> <i>Estado de daño 1 MDL-CCA2</i>	83
<b>Tabla 4.7</b> <i>Estado de daño 2 MDL-CCA2</i>	83
<b>Tabla 4.8</b> <i>Estado de daño 3 MDL-CCA2</i>	84
<b>Tabla 4.9</b> <i>Estado de daño 1 MDL-CCA3</i>	85
<b>Tabla 4.10</b> <i>Estado de daño 2 MDL-CCA3</i>	86
<b>Tabla 4.11</b> <i>Estado de daño 3 MDL-CCA3</i>	86



<b>Tabla 4.12</b> <i>Estado de daño 1 MDL-CCA4</i>	88
<b>Tabla 4.13</b> <i>Estado de daño 2 MDL-CCA4</i>	89
<b>Tabla 4.14</b> <i>Estado de daño 3 MDL-CCA4</i>	89
<b>Tabla 4.15</b> <i>Estado de daño 1 MDL-CCA5</i>	91
<b>Tabla 4.16</b> <i>Estado de daño 2 MDL-CCA5</i>	92
<b>Tabla 4.17</b> <i>Estado de daño 3 MDL-CCA5</i>	92
<b>Tabla 4.18</b> <i>Estado de daño 1 MDL-CCA6</i>	94
<b>Tabla 4.19</b> <i>Estado de daño 2 MDL-CCA6</i>	95
<b>Tabla 4.20</b> <i>Estado de daño 3 MDL-CCA6</i>	95
<b>Tabla 4.21</b> <i>Estado de daño 1 MDL-CCA7</i>	97
<b>Tabla 4.22</b> <i>Estado de daño 2 MDL-CCA7</i>	98
<b>Tabla 4.23</b> <i>Estado de daño 3 MDL-CCA7</i>	98
<b>Tabla 4.24</b> <i>Estado de daño 1 MDL-CCA8</i>	100
<b>Tabla 4.25</b> <i>Estado de daño 2 MDL-CCA8</i>	101
<b>Tabla 4.26</b> <i>Estado de daño 3 MDL-CCA8</i>	101
<b>Tabla 4.27</b> <i>Estado de daño 1 MDL-CCA9</i>	103
<b>Tabla 4.28</b> <i>Estado de daño 2 MDL-CCA9</i>	104
<b>Tabla 4.29</b> <i>Estado de daño 3 MDL-CCA9</i>	104
<b>Tabla 4.30</b> <i>Parámetro <math>\theta</math>, para diferentes estados de daños de los muros analizados</i>	106
<b>Tabla 4.31</b> <i>Parámetro <math>\theta</math>, para muros de ductilidad limitada con malla de acero de 3/8"</i>	107
<b>Tabla 5.1</b> <i>Derivas según estado de daño</i>	119



<b>Figura 2.02</b> Función de fragilidad logonormal típica	42
<b>Figura 2.03</b> Evaluación de las probabilidades individuales de estado de daño	42
<b>Figura 2.04</b> Relación IMM – VMP del daño para EMDL de 5 y 7 pisos	53
<b>Figura 3.01</b> Dimensiones MDL-CCA1	62
<b>Figura 3.02</b> Dimensiones MDL-CCA2	63
<b>Figura 3.03</b> Dimensiones MDL-CCA3	63
<b>Figura 3.04</b> Dimensiones MDL-CCA4	64
<b>Figura 3.05</b> Dimensiones MDL-CCA5	64
<b>Figura 3.06</b> Dimensiones MDL-CCA6	65
<b>Figura 3.07</b> Dimensiones MDL-CCA7	65
<b>Figura 3.08</b> Dimensiones MDL-CCA8	66
<b>Figura 3.09</b> Dimensiones MDL-CCA9	66
<b>Figura 4.01</b> Esquema de curva de capacidad y estados de daños en muros de ductilidad limitada	73
<b>Figura 4.02</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA1 (Deriva)	81
<b>Figura 4.03</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA1 (Desplazamiento)	82
<b>Figura 4.04</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA2 (Deriva)	84
<b>Figura 4.05</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA2 (Desplazamiento)	85
<b>Figura 4.06</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA3 (Deriva)	87
<b>Figura 4.07</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA3 (Desplazamiento)	87
<b>Figura 4.08</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA4 (Deriva)	90

<b>Figura 4.09</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA4 (Desplazamiento)	90
<b>Figura 4.10</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA5 (Deriva)	93
<b>Figura 4.11</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA5 (Desplazamiento)	93
<b>Figura 4.12</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA6 (Deriva)	96
<b>Figura 4.13</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA6 (Desplazamiento)	96
<b>Figura 4.14</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA7 (Deriva)	99
<b>Figura 4.15</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA7 (Desplazamiento)	99
<b>Figura 4.16</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA8 (Deriva)	102
<b>Figura 4.17</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA8 (Desplazamiento)	102
<b>Figura 4.18</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA9 (Deriva)	105
<b>Figura 4.19</b> Curva de fragilidad de MDL-CCA9 (Desplazamiento)	105
<b>Figura 4.20</b> Vista en planta del aparato de carga	111
<b>Figura 4.21</b> Lazos histeréticos MDL-09	113
<b>Figura 4.22</b> Curva de capacidad MDL-09	113
<b>Figura 4.23</b> Relación deriva 5/1000 y estado de daño de MDL-CCA3	115

## RESUMEN

**Objetivo:** La presente tesis titulada “**Elaboración de curvas de fragilidad de muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor, basados en ensayos experimentales, período 2011-2015**”, tuvo por finalidad contribuir con información para posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica en edificios de muros de ductilidad limitada (EMDL); para ello, se ha elaborado curvas de fragilidad en muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor según la librería del PACT del FEMA P-58.

**Metodología:** Para llevar a cabo este estudio fue necesario recopilar información de 20 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  $175 \text{ kg/cm}^2$ , poseen una malla de acero que varía de 2.8 mm a 3/8” de diámetro, el esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ , asimismo la carga axial varía de 8.6Tn a 19Tn.

**Resultados:** Las curvas de fragilidad expresan la probabilidad de que un muro de ductilidad limitada alcance o exceda un estado de daño seleccionado para un nivel de deriva o desplazamiento dado. De las curvas de fragilidad se puede observar que la probabilidad de exceder el 50% del estado de daño 2 (máxima resistencia del muro) es: 13mm para el MDL-CCA1, 16mm para el MDL-CCA2, 20mm para el MDL-CCA3, 2mm para el MDL-CCA4, 4mm para el MDL-CCA5, 4mm para el MDL-

CCA6, 5mm para el MDL-CCA7, 4mm para el MDL-CCA8, y 4mm para el MDL-CCA9.

**Conclusión:** Finalmente se concluye que las curvas de fragilidad desarrollada en este proyecto son una herramienta muy útil para posteriores estudios de evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificios de muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor.

**Palabras claves:** Edificios de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL), curvas de fragilidad, vulnerabilidad.

## ABSTRACT

**Objective:** The present thesis titled "Elaboration of fragility curves of walls of limited ductility of 10 cm of thickness, based on experimental tests, period 2011-2015", had the purpose of contributing with information for further studies of seismic vulnerability in buildings of walls Of limited ductility (EMDL); To this end, fragility curves have been developed in walls of limited ductility of 10 cm thickness according to the PACT library of the FEMA P-58.

**Methodology:** In order to carry out this study, it was necessary to gather information from 20 experimental tests carried out in the laboratory of structures of the Peruvian Center for Seismic Investigation and Disaster Mitigation of the National University of Engineering (CISMID-UNI). The compressive strength of the concrete of the walls is 175 kg / cm<sup>2</sup>, they have a steel mesh that varies from 2.8 mm to 3/8 "in diameter, the yield strength of the reinforcing rods is 4200 kg / cm<sup>2</sup>, The axial load varies from 8.6Tn to 19Tn.

**Results:** Fragility curves express the probability that a limited ductility wall will reach or exceed a selected damage state for a given drift or displacement level. From the fragility curves it is possible to observe that the probability of exceeding 50% of damage status 2 (maximum wall strength) is: 13mm for MDL-CCA1, 16mm for MDL-CCA2, 20mm for MDL- 2mm for MDL-CCA4, 4mm for MDL-CCA5, 4mm for MDL-CCA6, 5mm for MDL-CCA7, 4mm for MDL-CCA8, and 4mm for MDL-CCA9.

**Conclusion:** Finally it is concluded that the fragility curves developed in this project are a very useful tool for further studies of seismic vulnerability evaluation in buildings of walls of limited ductility of 10 cm thickness.

**Key words:** Limited Ductility Walls (EMDL), fragility curves, vulnerability.



## INTRODUCCIÓN

En 1998, después de ocurrido el fenómeno del niño, fue necesario reconstruir las viviendas de la ciudad de Ica colapsadas por las inundaciones. Para solucionar el déficit de las viviendas, el ing. Adolfo Gálvez propone un sistema estructural conformado por muros de concreto de 10 cm de espesor, de baja resistencia ( $100\text{Kg/cm}^2$ ) y acero de refuerzo mínimo. Este nuevo sistema estructural se utilizaba en las construcciones de viviendas populares de 1 y 2 pisos.

Posteriormente, debido a su bajo costo y rapidez en su construcción, entre los años 2000 y 2001 se empieza a construir edificios 5, 6 o 7 pisos. Estos edificios estaban conformados por un sistema estructural de muros de concreto de 10 a 12 cm de espesor con una sola malla de cuantía mínima y una resistencia del concreto de  $175\text{Kg/cm}^2$ , sin vigas ni columnas. A este tipo de sistema estructural se le denominó EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA (EMDL).

En el 2003, para solucionar el problema de la discontinuidad de los muros en las cocheras, las empresas constructoras proponen el uso de losas de transferencia con pisos que varían de 8 a 10. Sin embargo hasta esa fecha no contábamos con códigos de diseño para este sistema estructural, por lo que estas edificaciones pueden ser vulnerables ante un evento sísmico.

Ante esta situación, el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) viene realizando el estudio denominado “ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS EN VIVIENDA POPULAR ANTE LA OCURRENCIA DE UN SISMO SEVERO” con la finalidad de cuantificar las consecuencias de la vulnerabilidad de las edificaciones de albañilería confinada (formal e informal) y de muros de ductilidad limitada de las viviendas de los sectores socioeconómicos C-E, ubicadas en la costa central del Perú.

Es por ello, que en el año 2015, contrata los servicios del laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, para ejecutar el “Servicio de ensayos estructurales para determinar el comportamiento sísmico de muros de ductilidad limitada”. En Dicho trabajo se ensayaron 9 muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor a escala natural, el estudio incluye curvas de fragilidad y curvas de consecuencia.

Considerando que en el Laboratorio de Estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI) se han realizado varios ensayos en muros de ductilidad limitada, se propone el presente estudio, en el cual se han desarrollado curvas de fragilidad de muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor en base a los resultados experimentales realizados en el CISMID-UNI.

Las curvas de fragilidad permiten estimar la probabilidad de exceder un estado límite de daño y se pueden desarrollar para componentes estructurales y no

estructurales o edificios. Las curvas de fragilidad pueden desarrollarse a partir de: métodos empíricos, métodos analíticos, y métodos basados en la opinión de expertos.

En este trabajo, las curvas de fragilidad se han obtenido siguiendo la misma metodología desarrollada por la PUCP, es decir, siguiendo los lineamientos del FEMA P-58.

Este trabajo se encuentra estructurado en 05 capítulos. En el capítulo I, se determina la problemática de los edificios de muros de ductilidad limitada, la justificación, y los objetivos. Asimismo se da a conocer algunos conceptos básicos y antecedentes.

El capítulo II, está referido al fundamento teórico científico, es decir el marco referido a curvas fragilidad y edificios de muros de ductilidad limitada.

En el capítulo III, se desarrolla el marco metodológico, las hipótesis, variables, tipo de investigación, diseño, ámbito, población y muestra, y finalmente las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.

El capítulo IV, presenta los resultados de la investigación a partir de la descripción del trabajo de campo, el diseño, presentación de las tablas y curvas de fragilidad y discusión de la hipótesis.

En el capítulo V, se da a conocer las conclusiones del trabajo y sugerencias.

Finalmente, en referencias bibliográficas se presenta un listado de las referencias consultadas para la ejecución de este trabajo de investigación y en el Anexo 01 se presenta la recopilación de los 20 especímenes ensayados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI.

**El Autor**

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMÁTICA DE LOS EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el Perú para resolver el alto déficit poblacional, usualmente se empleaban diferentes alternativas de construcción como son las estructuras de albañilería y las de concreto armado (pórticos y placas).

Sin embargo, en 1998, en la ciudad de Ica, después de ocurrido el fenómeno del niño era necesario reconstruir las viviendas que habían sido dañadas por las inundaciones, pero, el nivel de pobreza de los pobladores conllevaba a la autoconstrucción informal. Es entonces que en 1998 el ing. Adolfo Gálvez propone un sistema constructivo no convencional basado en muros de concreto muy delgados de baja resistencia ( $100\text{Kg/cm}^2$ ) y acero de refuerzo por debajo de la cuantía mínima. Este tipo de construcción estaba orientado específicamente para viviendas de interés social de uno o dos niveles y con el apoyo del Banco de Materiales se realizan los primeros trabajos de investigación en el Laboratorio de Estructuras del

Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI).

Posteriormente, entre los años 2000 y 2001, en el Perú se empieza a construir varios edificios de mediana altura (5, 6 o 7 pisos), con un sistema estructural de muros de concreto de espesor muy delgado armados con una sola malla de cuantía mínima, sin vigas ni columnas. A este tipo de construcción se le denomina EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA (EMDL), el cual es muy usado en los niveles socio económicos C y D, debido a su bajo costo y rapidez en su construcción.

También es importante señalar que vivimos en un país sísmico, y es recién en el año 2003 que en la Norma Técnica de Edificaciones E.030 se dan algunas especificaciones para el diseño sismoresistente de EMDL como es el caso del máximo número de pisos 7, las distorsión permisible de 0.005, entre otros. Sin embargo, existen edificios en Lima y algunas provincias que cuentan con más de 7 pisos y se desconoce cuál será su comportamiento sísmico.

En ese sentido, el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) a través de la Gerencia de Investigación y Normalización (GIN), viene realizando el estudio denominado “ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS EN VIVIENDA POPULAR ANTE LA OCURRENCIA DE UN SISMO SEVERO”. El estudio se viene ejecutando con la finalidad de cuantificar las consecuencias de la vulnerabilidad de las edificaciones de albañilería confinada (formal e informal) y de

muros de ductilidad limitada de las viviendas de los sectores socioeconómicos C-E, ubicadas en la costa central del Perú.

El estudio antes mencionado comprende 04 fases: **Edificaciones típicas de vivienda popular: unifamiliar y multifamiliar**, realizado en el año 2013, por la consultora Corporación Suyo; **Generación de acelerogramas sintéticos para la costa central del Perú** realizado en el año 2013, por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI); **Ensayos estructurales para determinar el comportamiento sísmico de muros**, realizado en el año 2016, se ensayaron muros a escala natural de albañilería confinada (formal) y muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor en el laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, incluye curvas de fragilidad y curvas de consecuencia. Los ensayos en muros de albañilería confinada informal recién se encuentra en ejecución en el laboratorio de Estructuras del CISMID-UNI; y finalmente la cuarta fase es **Incidencia de las Pérdidas Esperadas en edificaciones de vivienda popular, en el PBI Nacional**. Esta fase está orientada a estimar las pérdidas en vivienda popular ante un evento sísmico de magnitud mayor a 8.5 grados en la escala de Richter, en la Costa Central, siguiendo la metodología del FEMA P 58. Esta fase aún no ha sido ejecutada.

Considerando que los ensayos experimentales son bastantes costosos y que existen ensayos en muros de ductilidad limitada realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI y que estos se encuentran publicados en su página web

oficial <http://www.cismid-uni.org/wallx/>, es que se ha ejecutado este trabajo de tesis en el cual se han desarrollado curvas de fragilidad de muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor en base a los resultados experimentales realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI, siguiendo la misma metodología solicitada por SENCICO a la PUCP en la fase 03 del estudio “ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS EN VIVIENDA POPULAR ANTE LA OCURRENCIA DE UN SISMO SEVERO”.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Interrogante principal**

En los años 2011-2015 el CISMID-UNI desarrolla el Proyecto de fortalecimiento de tecnologías para la mitigación de desastres por sismos y tsunamis en el Perú. Este proyecto es patrocinado por la Agencia de Ciencias y Tecnologías del Japón (JST) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) bajo el marco de la "Asociación para la Investigación Científica y Tecnológica para un Desarrollo Sostenible (SATREPS).

Una de las actividades del Proyecto SATREPS fue la creación de una base de datos de ensayos de laboratorio realizados en elementos estructurales como son muros de albañilería y los muros de ductilidad limitada.

Esta base de datos fue publicada en la página oficial del CISMID (<http://www.cismid-uni.org/wallx/>) en la que se presenta los ensayos de laboratorio



que se han realizado y que puede ser utilizado para determinar las curvas de fragilidad y de esta manera contribuir con más información al proyecto “ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS EN VIVIENDA POPULAR ANTE LA OCURRENCIA DE UN SISMO SEVERO” desarrollado por SENCICO.

En base a lo descrito se formula el siguiente problema principal:

**¿Cómo se puede contribuir con información para para posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica en edificios de muros de ductilidad limitada (EDML) de 10 cm de espesor, en base a ensayos experimentales realizados en el laboratorio de Estructuras del CISMID-UNI, en el periodo 2011-2015?**

### **1.2.2 Interrogantes secundarias**

Para dar respuesta a la pregunta anterior, se formularon las siguientes interrogantes como problemas secundarios:

- A. ¿Cuál es el comportamiento sísmico de los muros de ductilidad limitada realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI?
- B. ¿Cuáles son los umbrales de desplazamiento de las curvas de capacidad de los muros de ductilidad limitada de los ensayos realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI?

C. ¿Cómo se puede establecer valores de distorsiones permisibles para diferentes estados de daños en muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor en base a los ensayos realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación se justifica por las siguientes razones:

Desde el aspecto sísmico, porque según Tavera y Bernal (2004) “A nivel mundial, el Perú es uno de los países de mayor potencial sísmico debido a que forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico. Dentro de este contexto, la actividad sísmica está asociada al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana y tiene su origen, en la fricción de ambas placas produciendo los sismos de mayor magnitud con relativa frecuencia y en la deformación interna de ambas placas, siendo los sismos más destructores los que se producen a niveles superficiales”. (p.19)

Desde el aspecto de la construcción, porque según Blanco (2004) “Tradicionalmente las viviendas se hacían con muros de albañilería confinada, pues este sistema está plenamente difundido en nuestro país. Pero, a partir del año 2001, con el impulso dado por el Gobierno para fomentar la construcción de vivienda popular, se comienza a usar el sistema de muros

portantes, pero con muros de concreto armado de ductilidad limitada en lugar de muros de albañilería. Las razones que impulsan este cambio se circunscriben a una mejora de la tecnología del concreto que permite hacer vaciados con espesores reducidos, a la posibilidad de alquilar encofrados metálicos o de aluminio, a la toma de conciencia de la importancia de evitar los tiempos muertos en las obras, al mayor uso de concreto premezclado y al hecho que con concreto se pueden hacer muros más delgados que con unidades de ladrillo, lo que redonda en un mayor espacio útil en las viviendas”. (p.1)

Desde el aspecto normativo, se justifica porque de acuerdo a Delgado y Peña (2006) “En el 2003, ya se habían construido muchos edificios sin contar con normas específicas. El entusiasmo que generó este nuevo sistema condujo en algunos casos a soluciones estructurales con matices de osadía para enfrentar planteamientos arquitectónicos muy exigentes. Se hicieron algunos edificios de mediana altura (8, 10 pisos) con muros delgados y edificios con losas de transferencia para salvar la discontinuidad de muros entre el nivel de estacionamiento y los niveles de departamentos”. (p.4 )

Desde el aspecto de la formalidad, se justifica porque, según el estudio “El mercado de edificaciones urbanas en Lima Metropolitana y el Callao” desarrollado por CAPECO en el año 2015 dice: “El 70% de las viviendas son construidas informalmente, sin presencia de profesionales en el diseño y construcción, utilizando materiales de baja calidad, sin licencia de edificación

ni supervisión municipal, sin cumplir con obligaciones tributarias ni laborales. Además, muchas de estas viviendas se sitúan en áreas de riesgo, en suelos invadidos o poco aparentes para la construcción. La informalidad genera grandes riesgos para la vida y la propiedad, mayores inversiones para la provisión de servicios, equipamientos e infraestructura, conflictos sociales por la propiedad del suelo, y significativos sobrecostos a las empresas y a los trabajadores. Se estima que un tercio del PBI de la construcción es informal. (p.1)

Desde el aspecto estructural, porque el uso masivo de la construcción de nuevos edificios en el Perú hace necesario el estudio de este sistema estructural, a fin de determinar y verificar su comportamiento sísmico y desarrollar curvas de fragilidad y vulnerabilidad que permitan la estimación de pérdidas en caso de un escenario de sismo severo, por lo tanto este estudio es relevante tanto técnica como socialmente.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Contribuir con información para los estudios de vulnerabilidad sísmica en EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA (EMDL), de 10 cm de espesor, mediante la elaboración de curvas de fragilidad en base a

ensayos experimentales realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI en el período 2011-2015.

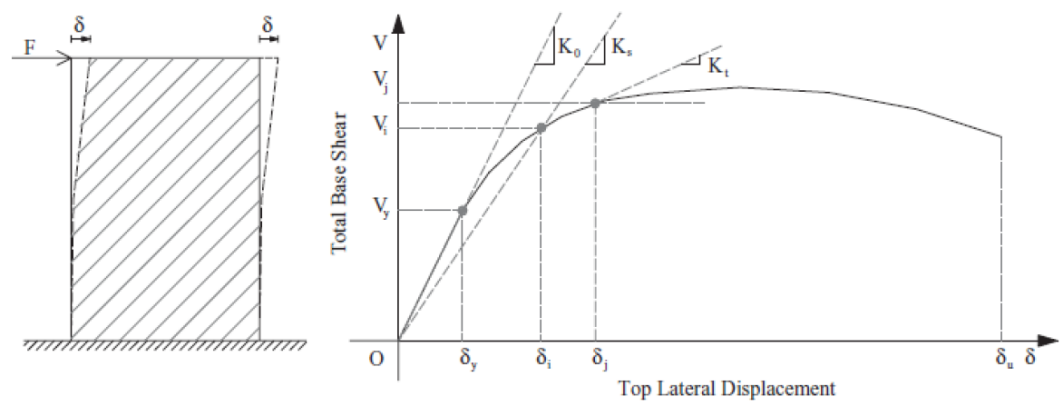
#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Caracterizar el comportamiento sísmico de los muros de ductilidad limitada de los ensayos cíclicos realizados en el CISMID-UNI.
- b) Identificar en las curvas de capacidad los umbrales de desplazamiento para tres estados de daños DS1 (Inicio del agrietamiento), DS2 (resistencia pico) y DS3 (deriva que implica una resistencia posterior a la resistencia pico).
- c) Establecer valores de distorsiones permisibles para diferentes estados de daños mediante la elaboración de curvas de fragilidad según la librería del PACT del FEMA P 58, para tres estados de daños:
  - DS1, donde se inicia el agrietamiento y por lo tanto los daños y consecuentemente las pérdidas.
  - DS2, en la resistencia pico.
  - DS3, en la resistencia ultima.

### **1.5 CONCEPTOS BÁSICOS**

#### **A.- Rigidez (Marte, 2014)**

Se define como la capacidad de un elemento o un conjunto de elementos estructurales de resistir desplazamientos cuando está sujeto a acciones como se muestra en la figura 1.01. Este parámetro es expresado como la relación de fuerza y desplazamiento. Este valor no es constante en la estructura. En la figura 1.01,  $K_i$  es la rigidez para un desplazamiento  $\delta$  requerido y su correspondiente fuerza resistente  $V_i$ . La rigidez gráficamente es la pendiente tangente a un punto cualquiera en la curva o lo que es lo mismo la derivada de esa función en un punto dado. (p.5)



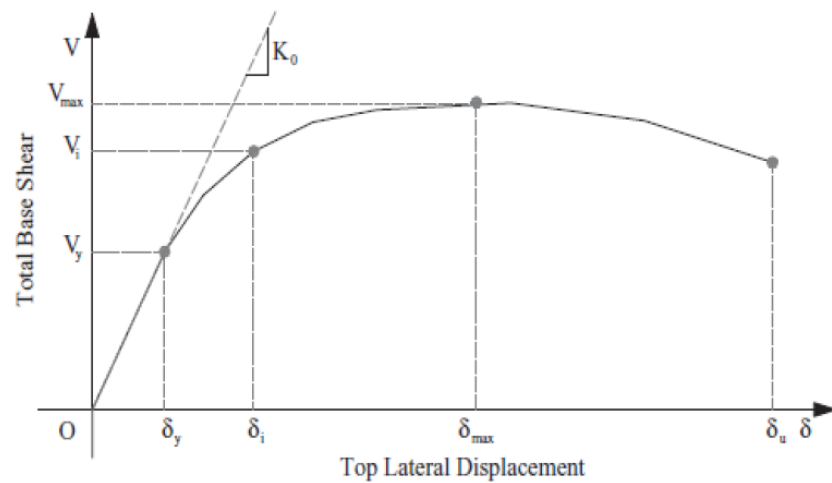
**Figura 1.01** Curva típica de respuesta estructural para sistemas sujetos a cargas horizontales (Marte, 2014, p.5)

Mientras la rigidez de un elemento es una función de las de las propiedades de su sección, la longitud y condiciones de contorno, la rigidez de un sistema estructural es una función de los mecanismos de resistencia lateral utilizados (pórticos resistentes a momentos, pórticos

arriostrados, muros, etc.) En la figura 1.01, la pendiente inicial  $K_0$  es la rigidez elástica de la estructura, mientras la rigidez secante es la pendiente  $K_s$  de la línea correspondiente a un nivel de carga dado. La rigidez inicial  $K_0$  es más alta que la rigidez secante  $K_s$  para materiales convencionales de construcción. Variaciones en rigidez en el rango inelástico son usualmente expresado por la rigidez tangente  $K_t$  la cual es la pendiente tangente a la curva de respuesta. (p.5)

**B.- Resistencia o capacidad estructural (Marte, 2014)**

Es la capacidad un elemento o un sistema estructural de resistir cargas y que depende del uso de la estructura. La resistencia es usualmente definida como función del tipo de acción. Las resistencias a carga axial, momento y cortante son empleadas para cuantificar la capacidad de una estructura y sus elementos en ingeniería sísmica. En la curva de capacidad que se muestra en la figura 1.02, la capacidad a cortante  $V$  de la estructura es definida tanto por  $(V_y)$ , que es aquel cortante resistente que define el límite elástico, como por la máxima resistencia a cortante  $(V_{max})$ . De manera parecida, se puede graficar la resistencia a axil y momento. La primera en función al desplazamiento provocado por la carga axial y la segunda en términos de rotación. (p.11)



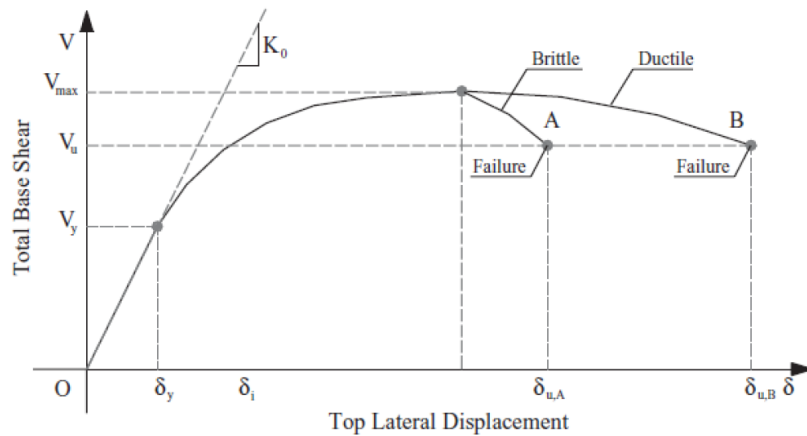
**Figura 1.02** Resistencia o capacidad estructural (Marte, 2014, p.11)

### C.- Ductilidad (Marte, 2014)

Es la habilidad de un elemento o sistema estructural de deformarse más allá del límite elástico con aceptable reducción de la rigidez y resistencia. En la figura 1.03, se establece una comparación entre la respuesta estructural de una estructura dúctil y frágil. En la figura, las curvas A (estructura frágil) y curva B (estructura dúctil), muestran la relación cortante-desplazamiento para sistemas estructurales con la misma rigidez y resistencia, pero con distinto post pico comportamiento inelástico. Estructuras frágiles fallan a pocas deformaciones inelásticas después de alcanzar su resistencia máxima. El colapso de estas estructuras es repentino y no avisan. Opuestamente, las estructuras dúctiles son capaces de mantener mayor cantidad de deformación inelástica luego de haber alcanzado el pico



más alto de resistencia a cortante, manteniendo la rigidez y resistencia en rangos aceptables. (p.15)



**Figura 1.03** Ductilidad estructural (Marte, 2014, p.15)

La mayoría de las estructuras son diseñadas por razones económicas para comportarse inelásticamente bajo fuertes terremotos. Las amplitudes de respuesta de terremoto inducidas por vibraciones, dependen del nivel de energía de disipación de las estructuras, el cual es una función de su habilidad para absorber y disipar energía a través de deformaciones dúctiles. La definición general y analítica de ductilidad de desplazamiento viene dada como (p.16):

$$\mu_{\delta} = \Delta_u / \Delta_y$$

Donde  $\Delta_u$  y  $\Delta_y$  son los desplazamientos últimos y de plastificación, respectivamente. Los desplazamientos pueden ser reemplazados por

curvaturas, rotaciones u otra cantidad de deformación. El ratio se conoce como factor de ductilidad. Las siguientes ductilidades son usadas para medir la respuesta estructural (p.16):

- **Ductilidad del material ( $\mu_\epsilon$ )**, caracteriza las deformación plástica de los materiales.
- **Ductilidad de curvatura de sección ( $\mu_\chi$ )**, relaciona las curvaturas plásticas de las secciones transversales
- **Ductilidad de rotación de elemento ( $\mu_\theta$ )**, cuantifica las rotaciones plásticas que pueden tomar lugar en los elementos estructurales tales como vigas y columnas. Este tipo de ductilidad es empleada también para uniones entre miembros.
- **Ductilidad estructural de desplazamiento ( $\mu_\delta$ )**, es una medida global del desempeño inelástico de la estructura sujeta a cargas horizontales.

#### **D. Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL)**

Según la NTE E.030 lo define como edificaciones que se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad está dada por muros de concreto armado de espesores reducidos, en los que se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola capa.

**E.- Sistemas de transferencias**

La NTE E.030 indica que son estructuras de losas y vigas que transmiten las fuerzas y momentos desde elementos verticales discontinuos hacia otros del piso inferior.

En las zonas sísmicas 4, 3 y 2 no se permiten estructuras con sistema de transferencia en los que más del 25 % de las cargas de gravedad o de las cargas sísmicas en cualquier nivel sean soportadas por elementos verticales que no son continuos hasta la cimentación. Esta disposición no se aplica para el último entrepiso de las edificaciones.

**F.- Fragilidad (Porter, 2016)**

Una definición no técnica de la fragilidad es "la calidad de ser fácilmente roto o dañado". Se puede definir una función de fragilidad como una función matemática que expresa la probabilidad de que se produzca algún suceso indeseable (por ejemplo que un edificio o un componente estructural o no estructural alcance o supere algún estado límite claramente definido) en función de alguna medida de excitación ambiental como por ejemplo una aceleración, deformación o fuerza en un terremoto u otra condición de carga externa. (p.11)

Algunos autores usan el término curva de fragilidad para significar lo mismo que la función de fragilidad. Algunos usan fragilidad y vulnerabilidad de forma intercambiable. En el caso del Fema P-58 en la

página web [https://www.atcouncil.org/files/FEMAP-58-3\\_2\\_ProvidedFragilityData.zip](https://www.atcouncil.org/files/FEMAP-58-3_2_ProvidedFragilityData.zip), se muestra un conjunto de funciones de fragilidad de diferentes componentes estructurales y no estructurales utilizados en la construcción como por ejemplo muros, losas, ventanas, etc.

#### **G.- Vulnerabilidad (Porter, 2016)**

La vulnerabilidad no es fragilidad. La vulnerabilidad mide la probabilidad de pérdida, la fragilidad mide la probabilidad de daño. Cuando la pérdida se representa como una función de la excitación ambiental, la función se puede llamar una función de vulnerabilidad. Una función de vulnerabilidad sísmica relaciona la pérdida incierta con una medida de excitación sísmica, tal como la respuesta de aceleración espectral a alguna razón de amortiguación y período. Las funciones de vulnerabilidad también son conocidas como funciones de daño, funciones de pérdida, curvas de vulnerabilidad, entre otros.  
(p.22)

### **1.6 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En el Perú existe información de diversos ensayos en muros de ductilidad limitada realizados en los laboratorios de estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI) y en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

En lo que respecta a curvas de fragilidad en muros de ductilidad limitada sólo se ha encontrado un trabajo desarrollado por la PUCP para SENCICO, el mismo que se denomina: **Servicio de ensayos estructurales para determinar el comportamiento sísmico de muros de ductilidad limitada desarrollado por el Mag. Acero en el 2016.**

A continuación se describe brevemente las investigaciones realizadas en muros de ductilidad limitada:

- **Estudio del comportamiento frente a cargas laterales de muros AGV. (Zavala y Gálvez, 1998)**

Se presentan los parámetros de resistencia y comportamiento de cuatro muros de concreto de 10 cm de espesor que han sido fabricados a partir de un fuste con malla electrosoldada y concreto de baja resistencia. El concreto utilizado en cada espécimen corresponde a un diseño de mezcla cuya dosificación en peso y resistencia es presentada en la Tabla N.1.1

Los resultados mostraron que los muros alcanzan poca resistencia y capacidad de deformación limitada, siendo el espécimen N° 2 el que logra mayor deformación (desplazamiento máximo de 0,004). Por otra parte se observó que las curvas de histéresis poseen degradación de rigidez significativa con capacidad de disipación de energía

moderada. Este hecho es reflejado también por el efecto de estrangulamiento de los lazos de histéresis. El modo de fallo observado fue de deslizamiento por cortante en la base. Además de ello, se estudió también un modelo de vivienda de una planta a escala natural compuesto por muros con características similares a los ensayados previamente y que permitieron conocer el comportamiento del sistema.

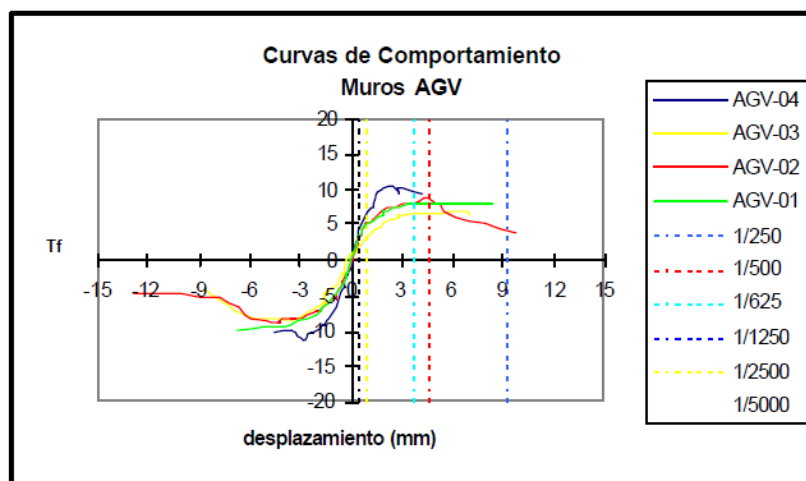
**Tabla 1.1.** Características de los especímenes muros AGV

Denominación Del Especímen	Resistencia del Concreto – $f'_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Dosificación en Peso (Kg/m <sup>3</sup> )	Calidad Esperada
AGV-01	90	200	Pobre
AGV-02	72	255	Bueno
AGV-03	135	230	Medio
AGV-04	NR	NR	Mejorada

Nota:

NR, No Registrada

Fuente: Zavala y Gálvez, 1998, p.2.



**Figura 1.04** Vista de envolventes de los ensayos cíclicos, obtenidas a partir de las curvas histerísticas (Zavala y Gálvez, 1998,p.4)

- **Comportamiento sísmico de placas de concreto reforzadas con mallas electrosoldadas. (San Bartolomé y Muñoz, 2003)**

Esta investigación fue solicitada por SENCICO. Se construyeron tres placas con las mismas características geométricas (2.4 m de alto, 2.0 m de largo y 10 cm de espesor). Los parámetros que se variaron fueron: la placa P1 utilizó como refuerzo una malla electrosoldada, la placa P2 tuvo un refuerzo convencional y la placa P3 doble malla electrosoldada y confinamiento en los extremos.

Las tres placas fueron ensayadas a carga lateral cíclica con desplazamiento horizontal controlado y manteniendo constante la carga vertical (esta carga simulaba las cargas que soporta un muro central de un edificio de cuatro pisos).

Se concluyó lo siguiente:

- La falla por deslizamiento debe evitarse al ser muy peligrosa sobre todo en muros con una sola línea de refuerzo. Además se concluyó que para evitar la falla por deslizamiento el diseño a la rotura debe considerar una deriva máxima de 0.005 junto con un factor de reducción sísmica  $R=3$ .
- La carga vertical ayuda a los muros a tener una mejor respuesta ante sollicitaciones de corte-fricción y disminuye la longitud de la zona fisurada a tracción flexión en la base del muro. Por otro lado, muros con baja carga axial (como puede

ser un muro esquinero) podrían presentar con anticipo una falla por deslizamiento.

- **Estudio del comportamiento experimental a escala natural de muros y módulo de concreto reforzados con malla electrosoldada. (Medina, 2005)**

Se ensayaron seis muros bajos (“squat wall”) armados con malla electrosoldada y armadura convencional y un módulo de vivienda a escala natural a fuerza lateral cíclica. Entre los objetivos de este proyecto de investigación destacan la obtención del coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas, así como la influencia del armado en la respuesta histerética de los muros. En el caso de los muros individuales se variaron la cuantía de armado, además de ensayar un muro con fuerza perpendicular a su plano.

A pesar de existir estudios previos, esta información es muy reducida. Faltan estudios teóricos que complementen los ensayos.

- **Comportamiento a Carga Lateral de Muros Delgado de Concreto reforzados con Mallas Electrosoldadas y Acero Dúctil (San Bartolomé, 2006)**

El objetivo fue comparar el comportamiento sísmico de Muros delgados de ductilidad limitada reforzados en su zona central en un caso con malla electrosoldada y en el otro caso con refuerzo dúctil,



ante los dos tipos principales de falla que podrían ocurrir en estos sistemas: corte y flexión.

Para el proyecto se construyeron cuatro muros con las mismas características físicas, ver tabla 1.2. La junta de construcción cimentación-muro fue rayada con una profundidad de 5 mm para mejorar la adherencia en la junta de construcción. Los muros a ensayar tenían un refuerzo en su zona central distinto, en una placa se usó malla electrosoldada y en la otra, refuerzo de acero dúctil.

**Tabla 1.2.** *Características de los muros de ductilidad limitada – proyecto PUCP*

Muro	Dimensiones (cm)	Refuerzo vertical dúctil en extremos	Cuantía de refuerzo interno (*)	Falla esperada
ME1	200x190x10	3 $\phi$ 5/8"	0.0025	Corte
RD1	200x190x10	3 $\phi$ 5/8"	0.0025	Corte
ME2	200x190x10	3 $\phi$ 5/8"	0.0050	Flexión
RD2	200x190x10	3 $\phi$ 5/8"	0.0050	Flexión

Nota:

(\*), De acuerdo a la Norma E.060, las cuantías se aplican indistintamente de la resistencia del material y cuando se emplea malla electrosoldadas debe adoptarse con fines de diseño estructural un esfuerzo de fluencia  $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$ .

Fuente: San Bartolomé, 2006,p.2.

Luego de ensayados los muros, se sugiere la revisión de la prohibición del uso de mallas electrosoldadas en el tercio inferior de la altura de las edificaciones, debido a que el comportamiento sísmico fue similar al de los muros reforzados con acero dúctil en fallas por corte y mixta flexión-corte.

- **Análisis experimental de muros delgados de hormigón armado para viviendas de baja altura (Almeida, 2015)**

En este trabajo se evalúa el desempeño sísmico de muros de hormigón armado delgados con una malla de refuerzo central única, que pueda ser utilizado en viviendas de baja altura. El programa experimental del proyecto Fondef HEAT consideró el ensayo de 9 muros en escala 1:1; sin embargo, en este trabajo sólo se analizan los seis primeros muros. Los muros, tienen un largo de 1600 mm ( $l_w$ ), una altura de 1600 mm ( $h_w$ ), y un espesor de 100 mm ( $t_w$ ) del M1 al M6 y de 80 mm ( $t_w$ ) del M7 al M9, todas las probetas fueron construidas con una viga superior para la aplicación de la carga horizontal y con una base inferior para anclar el muro al suelo.

De los ensayos experimentales se observó que el comportamiento y falla de los muros fue controlado por corte a excepción del muro M2 que tuvo un fallo por deslizamiento. Las primeras fisuras observadas en los especímenes fueron grietas diagonales en su mayoría, los ensayos terminaron cuando los muros no eran capaces de soportar más la carga lateral aplicada. Las variables estudiadas en el análisis de resultados fueron: la cuantía de refuerzo de la malla, el tipo de acero (malla electrosoldada o barras corrugadas), la cantidad de armadura vertical de borde y el espesor de muro. Adicionalmente, se analizaron

los resultados experimentales para evaluar los efectos de cuantía de borde, cuantía de malla electro soldada ACMA, tipo de acero, y cuantía de barras tradicionales.

- **Servicio de ensayos estructurales para determinar el comportamiento sísmico de muros de ductilidad limitada (Acero, 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 los 3 iniciales fueron reparados y reforzados y vueltos a ensayar hasta la condición de rotura. En la tabla 1.3 se muestran los códigos y nomenclaturas de los especímenes ensayados.

**Tabla 1.3.** *Códigos y nomenclaturas de los especímenes ensayados - SENCICO*

<b>Código</b>	<b>Nomenclatura de especímenes ensayados</b>	<b>Descripción</b>
MDL-SCA-LR	MDL 01 MDL 02 MDL 03	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y sin carga axial, llevado al límite de reparabilidad.
MDL-R-SCA	MDL 01 R MDL 02 R MDL 03 R	Muro de ductilidad limitada reparado con carga lateral y sin carga axial.
MDL-SCA	MDL 04 MDL 05 MDL 06	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y sin carga axial.
MDL-CCA	MDL 07 MDL 08 MDL 09	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 30 Tn.

Fuente: Acero, 2016, p.3

En este trabajo se definieron 3 estados de daños, Cada estado de daño se asocia a un parámetro de demanda, en este caso la deriva, ya que es el más frecuente para representar el daño en elementos estructurales:

### **Estado de Daño 1**

En este estado de daño se produce la primera fisura por flexión localizada en la zona de los talones del muro que establece el inicio del agrietamiento. Se estima que el espesor máximo de las fisuras es de 0.05 mm.

### **Estado de Daño 2**

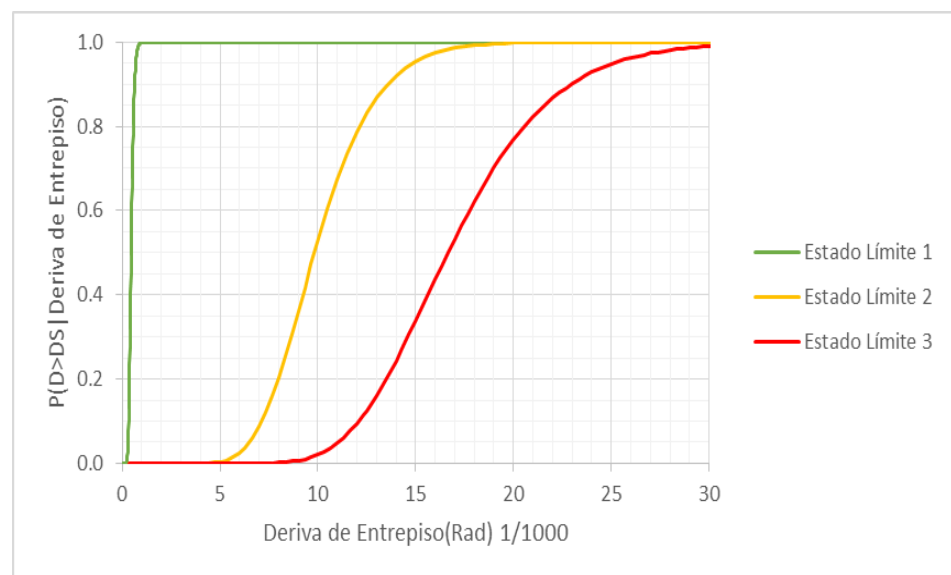
En este estado de daño se alcanza la máxima resistencia de los muros ensayados. Los muros presentaron fisuras diagonales por corte de espesor máximo de 2 mm. Además se dio inicio el aplastamiento del concreto en la zona de los talones.

### **Estado de Daño 3**

En este estado de daño se alcanza la resistencia última de los muros. Aumentaron los espesores de las grietas diagonales hasta 3 mm, se agrava el aplastamiento en el concreto y se observa pandeo de las barras de acero en la zona de los talones comprometiendo la estabilidad del muro.

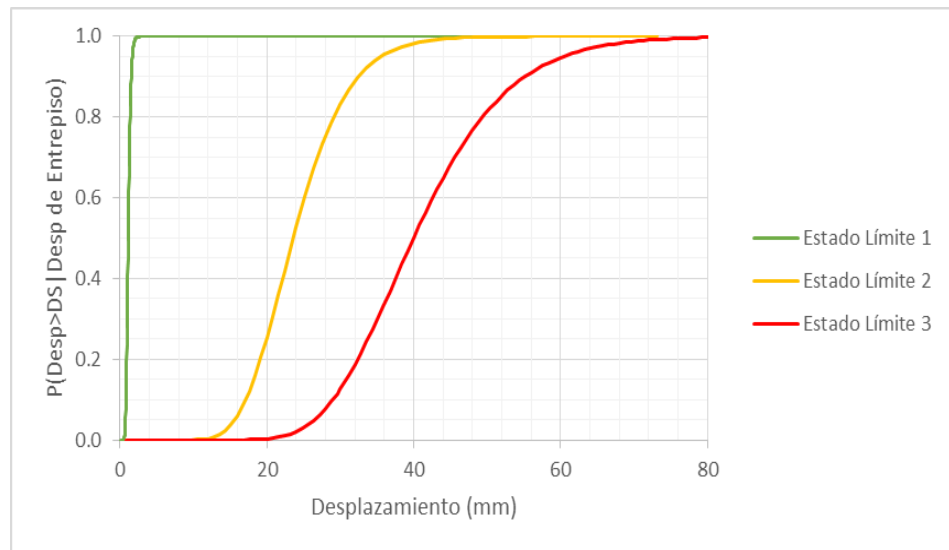
Con las derivas según el estado de daño y la descripción del daño por fases se elaboraron las curvas de fragilidad según el Fema P-58 y curvas de consecuencia. Las curvas de fragilidad estiman la probabilidad de exceder un determinado estado de daño y las curvas de consecuencias proporcionan los costos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

En las figuras 1.05 a 1.10 se muestran las curvas de fragilidad de los muros de ductilidad limitada (derivadas y desplazamientos).

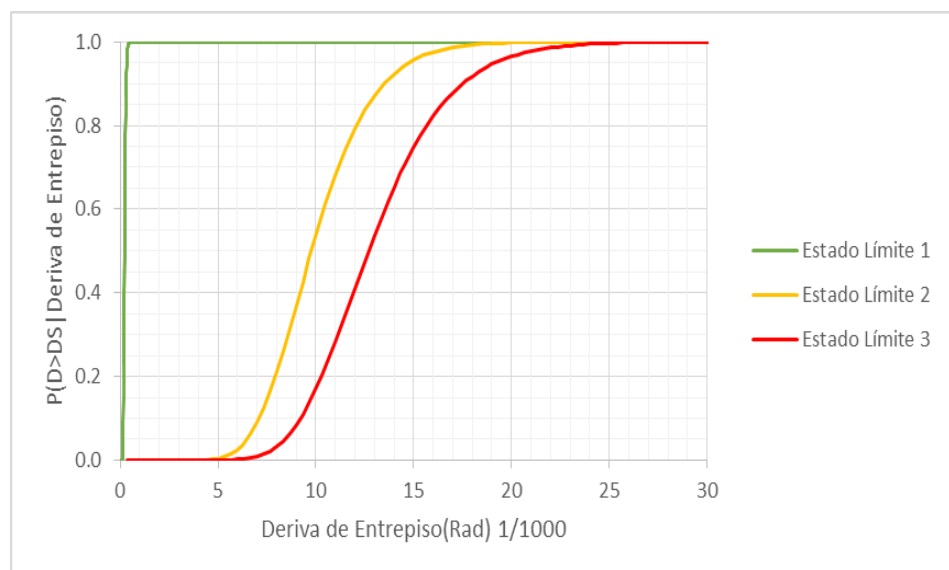


**Figura 1.05** Curva de fragilidad de MDL-R-SCA – deriva (Acero, 2016,

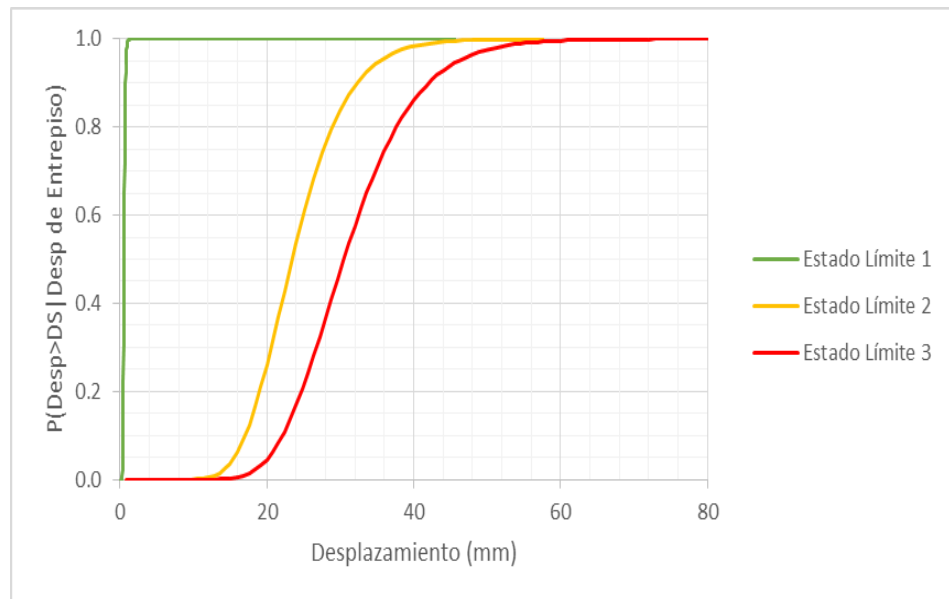
p.10)



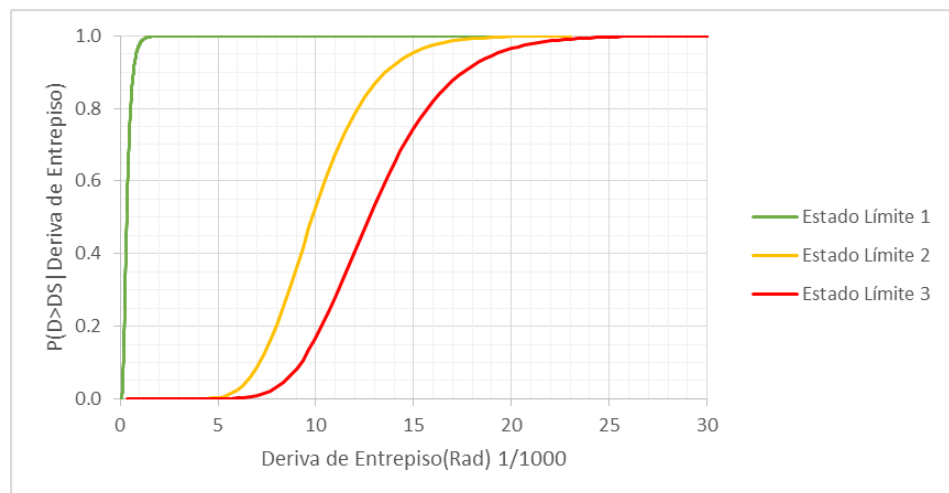
**Figura 1.06** Curva de fragilidad de MDL-R-SCA – desplazamiento  
(Acero, 2016, p.10)



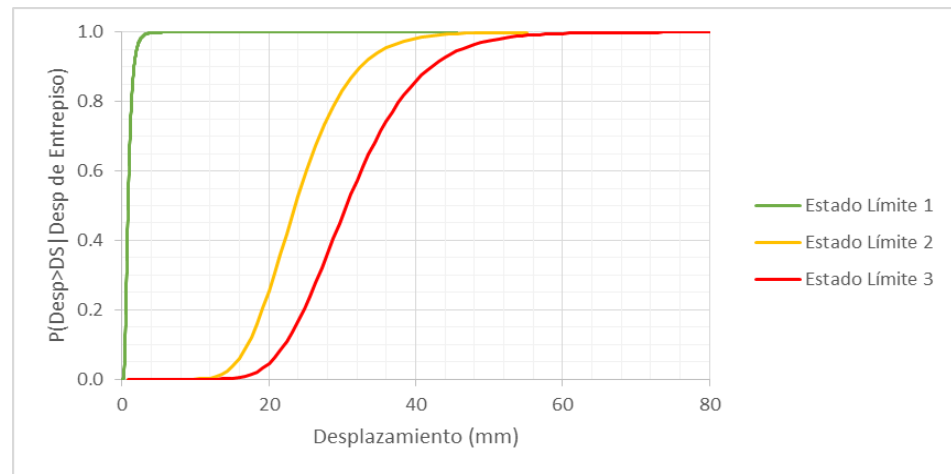
**Figura 1.07** Curva de fragilidad de MDL-SCA – deriva (Acero, 2016,  
p.15)



**Figura 1.08** Curva de fragilidad de MDL-SCA – desplazamiento (Acero, 2016, p.15)



**Figura 1.09** Curva de fragilidad de MDL-CCA – deriva (Acero, 2016, p.20)



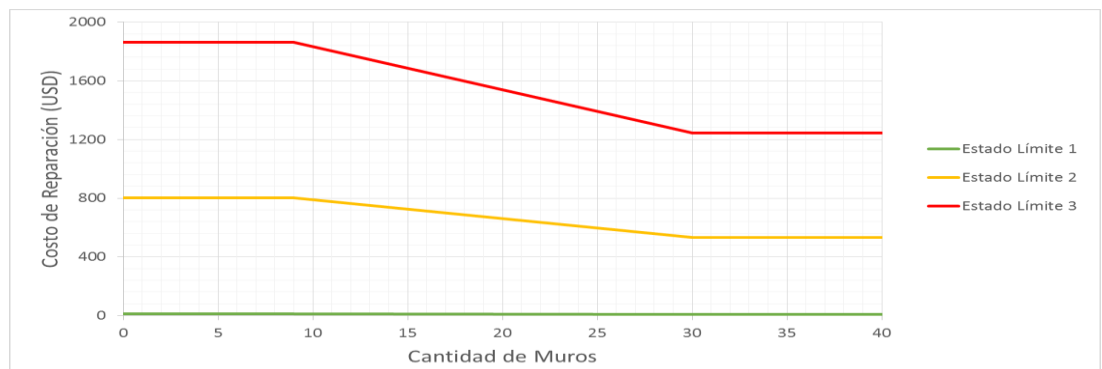
**Figura 1.10** Curva de fragilidad de MDL-CCA – desplazamiento (Acero, 2016, p.20)

Con las curvas de capacidad se podrá estimar pérdidas esperadas (número de colapsos, vidas humanas, escombros, etc.) útiles para la elaboración de planes de gestión y mitigación de riesgos de desastres sísmicos. Pero, para evaluar la vulnerabilidad de los edificios de ductilidad limitada se requiere estimar los costos y tiempos de reparación para cada estado de daño de los muros ensayados.

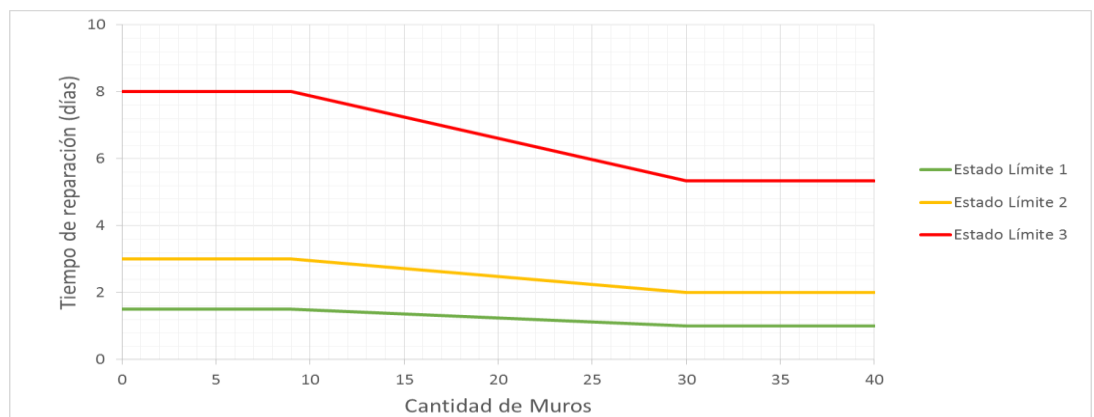
Las figuras 1.11 y 1.12 muestran las curvas de consecuencia de costos y tiempos para tres estados de daño. La figura 1.11 Indica el costo de reparación por cada muro en un determinado estado límite, se observa que el precio disminuye a medida que el número de muros a reparar aumenta. Esto debido que los procesos repetitivos disminuyen el costo de reparación. Lo mismo ocurre con los días necesarios para la reparación de los muros. Las curvas se interpretan de la siguiente



manera, por ejemplo de la fig. 1.11 se entiende que en una vivienda que presenta 5 muros en estado límite 2 (línea amarilla) el costo de reparación por muro será de 800.21 USD. Al mismo tiempo la Fig. 1.12 define el tiempo de reparación en 3.00 días, pudiendo iniciarse la reparación de todos los muros al mismo tiempo, o uno después de otro.



**Figura 1.11** Curva de consecuencia de costos para todos los estados de daño (Acero, 2016, p.25)



**Figura 1.12** Curva de consecuencia de tiempo para todos los estados de daño (Acero, 2016, p.25)

Las conclusiones fueron las siguientes:

- Se observó que para un 50% de probabilidad de exceder el estado 1 se presenta un desplazamiento de: 1.11 mm para el MDL-R-SCA, 0.82 mm para el MDL-CCA y 0.54 mm MDL-SCA. Entonces, el reforzamiento elegido retarda la generación del inicio del agrietamiento en comparación a los muros sin reforzar. Además, se comprueba que un muro con carga axial necesita un mayor desplazamiento para llegar al estado de agrietamiento.
- Se observó que para un 50% de probabilidad de exceder el estado 2 se presenta un desplazamiento de: 23.61 mm para el MDL-R-SCA, 23.49 mm para el MDL-CCA y 23.46 mm MDL-SCA. 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 (9.80 ‰ para este caso).
- Se observó que para un 50% de probabilidad de exceder el estado 3 se presenta un desplazamiento de: 39.97 mm para el MDL-R-SCA, 30.55 mm para el MDL-CCA y 30.40 mm MDL-SCA. Entonces, el reforzamiento elegido genera mayor capacidad de desplazamiento en comparación a los muros sin reforzar. Además, se aprecia que los muros con y sin carga axial llegaron a un desplazamiento similar; sin embargo, se observó en los ensayos la mayor degradación de la zona de los talones por aplastamiento en el muro con carga axial.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO CIENTÍFICO**

#### **2.1 CURVAS DE FRAGILIDAD**

En el Fema P-58, 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.

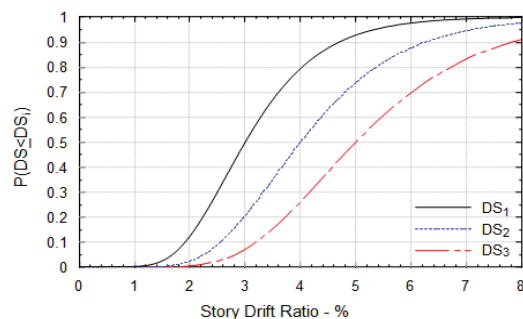
La teoría mostrada a continuación hace referencia específicamente a las funciones de fragilidad de un componente ya que los procedimientos para obtener curvas de fragilidad en un edificio son diferentes. Esta información está ampliamente explicada en el ítem 3.8 “Component Fragility” del Fema P-58, volumen 1 publicada en setiembre del 2012; y también en el ítem 2 “Fragility” de la Guía para principiantes de fragilidad, vulnerabilidad y riesgo (A Beginner’s Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk) publicada por Porter en noviembre del 2016. Existen otras publicaciones en internet referente a este tema pero en su mayoría están netamente referidos a edificios y no a componentes.

### 2.1.1 ¿Qué son curvas o funciones de fragilidad?

Según el FEMA P-58, el tipo y el alcance del daño que experimentará un componente es incierto. Las funciones de fragilidad de componentes son distribuciones estadísticas que indican la probabilidad condicional de incurrir en un determinado nivel de daño para un valor dado de una demanda.

Se supone que las funciones de fragilidad son distribuciones lognormal. Una única función de fragilidad es requerida para cada estado de daño secuencial y por cada grupo de estados de daños mutuamente exclusivos o simultáneos.

En la Figura 2.01 muestra el ejemplo de una familia de curvas de fragilidad para una sección de viga reducida (o comúnmente llamado hueso de perro) de una conexión viga-columna de acero sometida a momentos. Para este grupo de curvas de fragilidad se han definido tres estados de daño (DS1, DS2, DS3).

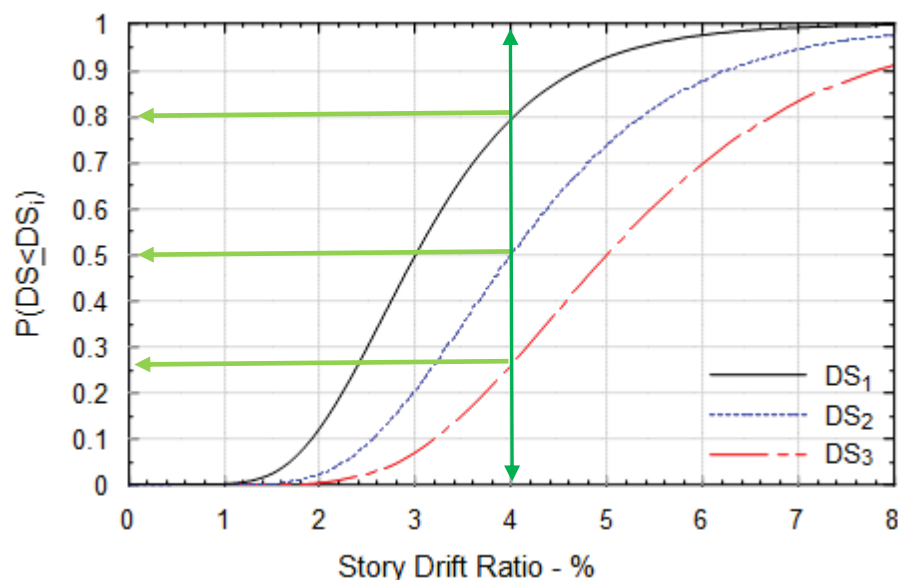


**Figura 2.01** Ejemplo de una familia de curvas de fragilidad para una sección de viga reducida de una conexión viga-columna de acero (Fema P-58-1, 2012, p.3-19).

Según el apéndice H, del FEMA P 58, 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.

Así por ejemplo, para los estados de daño representados en la figura 2.1, los valores de  $\Theta$  y  $\beta$  son: (1)  $\Theta = 3\%$  de la deriva,  $\beta = 0,35$  para DS1; (2)  $\Theta = 4\%$  de la deriva,  $\beta = 0,35$  para DS2; y (3)  $\theta = 5\%$  de la deriva,  $\beta = 0,35$  para DS3.

Por lo tanto, en la misma figura 2.01, para una deriva del 4%, se tiene:



**Figura 2.01** Ejemplo de una familia de curvas de fragilidad para una sección de viga reducida de una conexión viga-columna de acero (Fema P-58-1, 2012, p.3-19).

- La probabilidad de que se inicie el estado de daño es con el estado de daño 1 en el que se obtiene una probabilidad de un 80%, ya que estos estados de daños son secuenciales, además el estado de daño 1 (DS1) empieza antes que los otros estados de daño.
- La probabilidad de que no se produzca ningún daño es igual a la probabilidad de que no se inicie el estado de daño 1, 2 y 3. Es decir  $1.0 - 0.8 = 20\%$ .
- La probabilidad de que el daño sea en cualquier estado de daño es igual a la diferencia entre las probabilidades asociadas con un estado de daño dado y el siguiente estado de daño más alto. Para el estado de daño 1 (DS1) esto es  $0.80 - 0.50 = 30\%$ ; para el estado de daño 2 (DS2) esto es  $0.5 - 0.26 = 24\%$ , y para el estado de daño 3 (DS3), esto es  $0.26 - 0.0 = 26\%$ .

### 2.1.2 ¿Cómo se elaboran las funciones de fragilidad?

El autor Keith Porter en su guía para principiantes de fragilidad, vulnerabilidad y riesgo indica que los métodos más empleados para su determinación son:

#### A. Métodos empíricos

Una función de fragilidad empírica es aquella que se crea mediante el ajuste de una función para aproximar datos observados del laboratorio o de experiencias después de ocurrido un terremotos. Los datos de observación pueden ser: (1) pares ordenados de excitación ambiental y un indicador

binario de falla (es decir, alcanzar o superar el estado límite especificado); O (2) conjuntos ordenados de excitación ambiental, número de elementos expuestos a ese nivel de excitación, y el número de elementos que fallaron cuando se sometieron a la excitación ambiental.

#### **B.- Métodos analíticos**

Una función de fragilidad analítica es aquella que se obtiene de la creación y el análisis de un modelo estructural.

#### **C.- Métodos basados en la opinión de expertos**

Es la que se crea a partir de una encuesta a una o más personas que tienen experiencia en el sistema estructural en estudio, donde los expertos adivinan o juzgan la probabilidad de fracaso como una función de la excitación ambiental. El ATC-13 (Applied Technology Council, 1985) compila un gran número de funciones de fragilidad basadas en el juicio de expertos para edificios de California en Estados Unidos.

### **2.1.3 Funciones de fragilidad proporcionadas según la librería del PACT del FEMA P 58**

Recientemente, el FEMA P-58-1 (FEMA, 2012) realizó la recopilación de más de 700 especificaciones individuales de fragilidad de componentes estructurales y no estructurales. Cada especificación de fragilidad incluye: una descripción del componente, la descripción de los posibles estados de

daño, la interrelación lógica entre estados de daño, el parámetro de demanda utilizado para establecer la ocurrencia de un determinado estado de daño, las funciones de consecuencias asociadas a cada estado de daño y una calificación de la calidad de la información contenida. Esta calificación es una indicación de la confiabilidad de los datos y procedimientos utilizados en el desarrollo de la especificación de fragilidad. El mismo documento incluye una metodología específica para crear nuevas funciones de fragilidad o para modificar las existentes. Igualmente incluye la base de datos de especificaciones de fragilidad (Yamin, 2015). Sin embargo, hay que recalcar que algunos sistemas estructurales en el Perú no son utilizados en otros países.

En el FEMA 461 “Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components” del 2007 se dan recomendaciones para la realización de pruebas de laboratorio en componentes estructurales y no estructurales con fines de obtener las curvas de fragilidad.

El apéndice H del FEMA P 58, proporciona procedimientos cuantitativos para obtener el valor de la demanda media denominada “ $\Theta$ ” y una dispersión “ $\beta$ ”, para diferentes niveles de datos disponibles. Mientras que un resumen de las funciones de fragilidad son presentadas en el apéndice D.



La información completa de fragilidad está contenida en las especificaciones de fragilidad que comprende la Base de Datos de Fragilidad, proporcionada como parte del Volumen 3 “Supporting Electronic Materials and Background Documentation” del FEMA P 58.

#### 2.1.4 Cálculo de funciones de fragilidad según el FEMA P 58

Según el apéndice H, del FEMA P 58, 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.

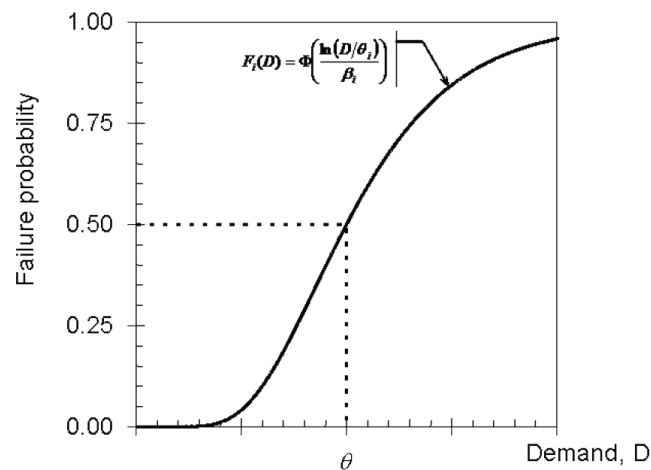
La función de probabilidad recomendada por el FEMA P-58 es la distribución Lognormal acumulada que tienen como valor medio “ $\Theta$ ” y una desviación estándar logarítmica de “ $\beta$ ”. La forma matemática de esta función es:

$$F_i(D) = \Phi \left( \frac{\ln(D/\theta_i)}{\beta_i} \right) \quad (1)$$

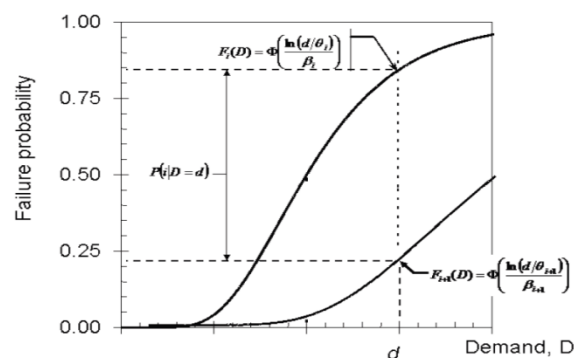
$$\theta_i = e^{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \ln(dm)} \quad (2)$$

En la ecuación (1)  $F_i(D)$  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 estándar de distribución acumulada

normal;  $\theta_i$  es el valor promedio de la función de distribución de probabilidad para el estado de daño “ $i$ ”; y  $\beta_i$  es la desviación estándar logarítmica para el estado límite “ $i$ ”. Tanto  $\theta_i$  y  $\beta_i$  se establecen para cada tipo de componente y estado de daño utilizando uno de los métodos presentados en la sección H.2 del FEMA P-58.  $M$  es el número de especímenes sometidos al mismo protocolo de ensayo;  $d_m$  es la demanda a la que el espécimen “ $m$ ” alcanzó el estado límite “ $i$ ”.



**Figura 2.02** Función de fragilidad lognormal típica (FEMA P-58-1,2012, p.H-2)



**Figura 2.03** Evaluación de las probabilidades individuales de estado de daño (FEMA P-58,2012, p.H-2)

La dispersión  $\beta_i$  representa la incertidumbre en el valor actual de la demanda “ $D$ ” a la cual el estado de daño “ $i$ ” comenzará. Esta incertidumbre es el resultado de la variabilidad en la calidad de la construcción del material y la instalación de los componentes en una edificación, al mismo tiempo representa la variabilidad de la historia de cargas que un componente experimentaría antes de su falla.

El valor total de la dispersión  $\beta$  para un determinado estado de daño se calcula como:

$$\beta = \sqrt{\beta_u^2 + \beta_r^2} \quad (3)$$

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

Asimismo, de acuerdo con las indicaciones del FEMA P-58 se recomienda  $\beta_u = 0.25$ , para los siguientes casos:

- Los datos de la prueba están disponibles para cinco (5) o menos especímenes
- Para todos los especímenes sometidos al mismo protocolo de carga.
- Se espera que el comportamiento real del componente dependa de Dos o más parámetros de demanda (por ejemplo, desviación simultánea en dos Ortogonal), pero los especímenes se cargaron con sólo una Demanda.

Finalmente, el valor de  $\beta_r$  se calcula mediante la siguiente formulación:

$$\beta_r = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{n=1}^M \left( \ln \left( d_m / \theta_i \right) \right)^2} \quad (4)$$

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

Ejemplo: Determine los parámetros  $\theta$  y  $\beta$  de una serie de 10 ensayos, todos los cuales produjeron en un estado de daño de interés. La historia de deriva es de: 0,9, 0,9, 1,0, 1,1, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,7 y 2 %. (Fema P-58-1, 2012, p H-6)

# de Ensayo	Demanda (di)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi)^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
		Σ1.9848		Σ0.62372

En la ecuación (2):  $\theta_i = e^{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \ln(dm)} = \theta_i = e^{\frac{1}{10} (1.9848)} = 1.2196$

En la ecuación (4):

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

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

$$\beta_r = 0.2633$$

### 2.1.5 ¿Por qué la función de distribución acumulada lognormal es ampliamente utilizada para la fragilidad?

Las razones que justifican su uso son (Porter, 2016, p.4):

- 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 EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA**

### **2.2.1 Reseña Histórica de los edificios de Muros de Ductilidad Limitada**

Tradicionalmente los edificios de vivienda económica se hacían con muros de albañilería confinada, pues este sistema está plenamente difundido en nuestro país. También se han hecho varios programas de vivienda económica con muros de albañilería armada, con unidades de albañilería sílico-calcáreos y con bloquetas de concreto vibrado (Blanco, 2004, p.1).

En los años 1985 y 1986 se hicieron varios programas de vivienda con muros de concreto armado, pues en esos años se congeló el precio del cemento y resultaron atractivos económicamente. Sin embargo, poco a poco se dejó de usar este sistema por las variaciones de los precios relativos entre el cemento y el ladrillo y porque se requería de encofrados metálicos que pocas empresas disponían (Blanco, 2004, p.1).

A partir del año 2001, con el impulso dado por el Gobierno para fomentar la construcción de vivienda popular, se comienza a usar nuevamente el sistema de muros portantes, pero en este caso con muros de concreto armado en lugar de muros de albañilería. Las razones que impulsan este cambio se circunscriben a una mejora de la tecnología del concreto que permite hacer vaciados con espesores reducidos, a la posibilidad de alquilar encofrados metálicos o de aluminio, a la toma de conciencia de la importancia de evitar los tiempos muertos en las obras, al mayor uso de concreto premezclado y al hecho que con concreto se pueden hacer muros más delgados que con unidades de ladrillo, lo que redundaría en un mayor espacio útil en las viviendas (Blanco, 2004, p.1).

Se generaliza entonces el uso de muros delgados de 10 a 12 cm. de espesor, para edificios de 5 pisos, que son los más requeridos para la vivienda multifamiliar económica. Paralelamente se introduce en el mercado las mallas electrosoldadas, que reemplazan el fierro convencional, permitiendo mayor rapidez en la obra. Frente a esta realidad, surgen algunos problemas

con las disposiciones de las normas vigentes, sea en el área del diseño sismorresistente y del concreto armado (Blanco, 2004, p.1).

Entre los años 2003 y 2004, los promotores y constructores que ya han usado este sistema, reconocen las ventajas de plazo, economía y ordenamiento de la obra, por lo que se plantean la opción de usarlos en edificios de 7, 8 y más pisos (Blanco, 2004, p.2).

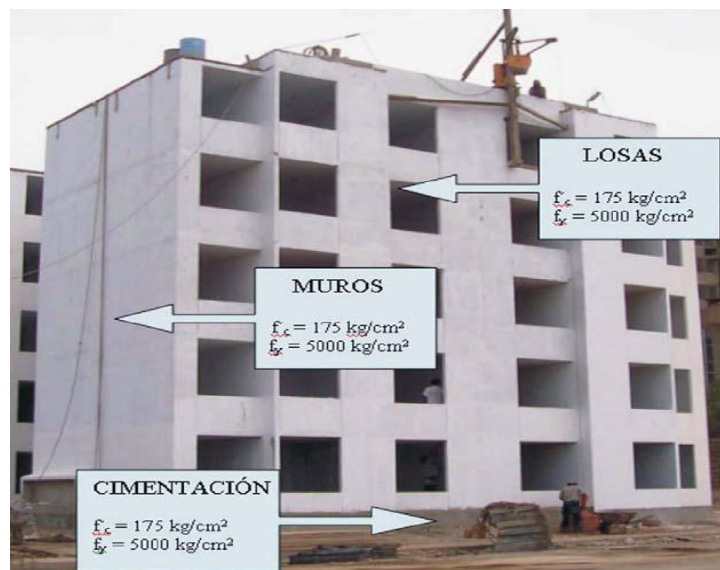
Posteriormente, se tiene el problema que cuando son necesarios sótanos o primeros pisos para estacionamientos, no se pueden usar los muros portantes pues son necesarias columnas y vigas por los espacios requeridos para los vehículos. Sin embargo, la falta de comprensión del comportamiento sísmico de edificios, hacen que se comience a hablar en muchos círculos profesionales del sistema de losas de transferencia (losa maciza y vigas de concreto armado de gran peralte para transferir las fuerzas horizontales generadas por el sismo a la cimentación), indicándose que es posible usar pórticos en el primer nivel y luego el sistema de muros (Blanco, 2004, p.2). Por lo que se empiezan a construir algunos edificios con losas de transferencia para resolver el problema de la discontinuidad de los muros de ductilidad limitada entre el nivel de estacionamiento y los niveles de departamentos.





**Foto 2.1** Edificaciones con muros de ductilidad limitada MDL en Chiclayo - Perú

Fuente: <http://edificacionesdecalidad.com/muros-ductilidad-peru>



**Foto 2.2** Características de un edificio representativo (Delgado & Peña, 2006, p.13)

### 2.2.2 Especificaciones reglamentarias

En el año 2003, se forma una comisión en el Colegio de Ingenieros del Perú y en el mes de diciembre de 2004, el Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento publica en el diario El Peruano, la resolución respectiva dando valor oficial a estas nuevas normas.

La recopilación de la información que a continuación se muestra, se encuentra especificada en las Normas Técnicas de Edificaciones E.030 y E.060, del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Algunas consideraciones indicadas en la norma E.030 de diseño sísmoresistente son las siguientes:

- Los EMDL se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad en las dos direcciones está dada por muros de concreto armado que no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes. En este sistema los muros son de espesores reducidos, se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola hilera. Los sistemas de piso son losas macizas o aligeradas que cumplen la función de diafragma rígido.
- El máximo número de pisos que se puede construir con este sistema es de 8.
- Para el análisis y diseño sísmico del edificio se deberá usar  $R = 4$ .
- El máximo desplazamiento relativo de entrepiso dividido entre la altura de entrepiso, no deberá exceder de 0,005.

La norma E.060 Concreto Armado indica los siguientes requerimientos mínimos para el diseño de EMDL:

- La resistencia a la compresión en los EMDL debe ser como mínimo 17 MPa (175 kg/cm<sup>2</sup>) salvo en sistemas de transferencia donde deberá usarse 28 MPa (280 kg/cm<sup>2</sup>).
- El diseño de mezclas para los muros de espesores reducidos deberá tomar en cuenta las consideraciones de trabajabilidad.
- El acero de las barras de refuerzo en los muros deberá ser dúctil y de grado 60 siguiendo las especificaciones ASTM A615 y ASTM A706.
- Se podrá usar malla electrosoldada corrugada con especificaciones ASTM A496 y A497, como refuerzo repartido de los muros de edificios de hasta 3 pisos. Y en el caso de mayor número de pisos, se podrá usar malla sólo en los pisos superiores, debiéndose usar acero dúctil en el tercio inferior de la altura.

### **2.2.3 Comportamiento sísmico**

El Perú es un país ubicado en una zona altamente sísmica. La experiencia de sismos pasados ha permitido que se hagan modificaciones en nuestras normas y se mejoren los procedimientos de diseño de nuestros edificios. Sin embargo, la construcción de edificios con muros de ductilidad limitada data de no más de 17 años por lo que no existe experiencia del comportamiento sísmico de estos edificios ante un evento sísmico severo.

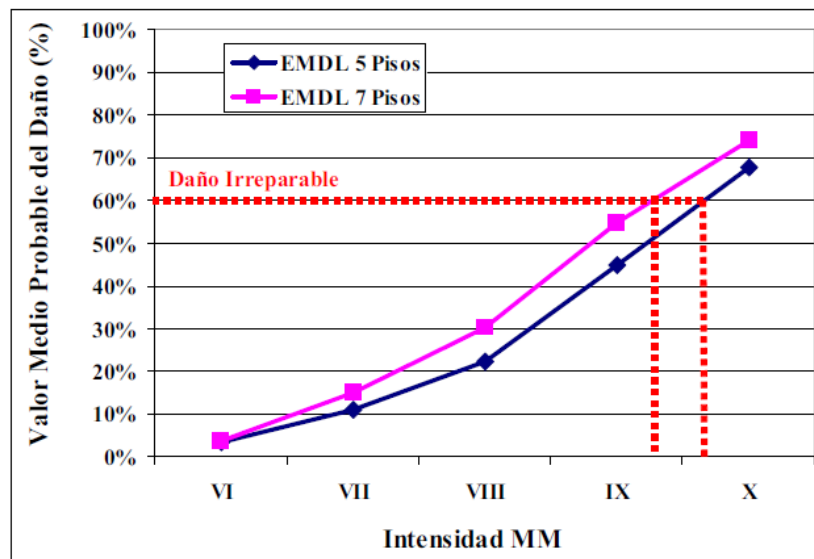
A continuación, se menciona algunas conclusiones sobre el comportamiento sísmico que se espera en estos edificios.

**Estudio: Edificios Peruanos con Muros de ductilidad limitada (Delgado & Peña, 2006).**

En este trabajo se desarrollaron herramientas para estimar el desempeño sismorresistente y para cuantificar las posibles pérdidas materiales (daño) en los edificios de muros de ductilidad limitada (EMDL). En base a la opinión de expertos se logró desarrollar un modelo de probabilidades para cuantificar la relación Intensidad – Daño. Esta relación se expresó por medio de Curvas de Fragilidad y Matrices de Daño.

Las conclusiones del trabajo fueron las siguientes:

- Los resultados de este trabajo indican que los EMDL típicos (5 y 7 pisos), quedarían con daño irreparable ( $FDM > 60\%$ ) para intensidades mayores o iguales a IX+ MM.



**Figura 2.04** Relación IMM – VMP del daño para EMDL de 5 y 7 pisos (Delgado & Peña, 2006, p.117)

- En el caso de sismos frecuentes, los resultados muestran que el daño sería reparable, con un FDM del orden del 11% para edificios de 5 pisos y 15% para edificios de 7 pisos. El daño a pesar de no ser muy elevado, significaría un costo de reparación demasiado alto para los usuales propietarios de estos edificios, quienes generalmente adquieren sus departamentos con hipotecas a largo plazo.
- En el caso de sismos raros, los resultados indican que estos edificios presentarían un daño reparable con un FDM del orden del 45% para edificios de 5 pisos y 55% para edificios de 7 pisos.
- La comunidad de ingenieros peruanos supone que estos edificios tendrían un desempeño sismorresistente muy por encima de lo que se espera de muchos otros sistemas estructurales. Aunque alentadora, esta conclusión debería ser estudiada en detalle en trabajos posteriores.

- Aunque los resultados indican que el daño en estos edificios podría ser menor que en otras edificaciones, el costo de reparación puede ser difícil de manejar para familias de escasos recursos económicos, quienes difícilmente podrían costear reparaciones que representan el 15% o 50% del valor de construcción. En el caso de conjuntos habitacionales, el problema de financiamiento es aún mayor.

**Estudio: Comportamiento sísmico de edificios con muros delgados de hormigón. Aplicación a zonas de alta sismicidad en el Perú. (Gonzales, 2010).**

Se presenta un estudio numérico de la vulnerabilidad sísmica de edificios de muros delgados construidos en Perú. Para llevar a cabo la investigación, se han seleccionado siete edificios representativos ubicados en Lima y Chiclayo. Los períodos naturales han sido identificados a partir de trabajo de campo, determinándose también la resistencia del hormigón mediante pruebas esclerométricas. El estudio numérico de la vulnerabilidad de estas construcciones consiste en efectuar análisis estáticos no lineales (push-over) y análisis dinámicos también no lineales, comparándose las conclusiones derivadas de ambos. Dada la elevada rigidez horizontal de los edificios, se ha tenido en cuenta la interacción entre el suelo y la estructura.

El comportamiento estructural de los edificios se describe mediante modelos de fibras, éstos se implementan en el programa PERFORM-3D. Los estados

límites de daño han sido definidos a partir de los resultados experimentales disponibles en Perú.

Los resultados de este estudio permiten concluir que los edificios con muros delgados de hormigón armado proyectados con la versión anterior del código sísmico peruano [E.030, 2003], podrían presentar un comportamiento inadecuado; por otra parte, la consideración de la última versión del código [E.030, 2006], podría ser insuficiente. Asimismo indica que el límite de distorsión de 0.005 corresponde a un daño severo.

En la tabla 2.1 se muestra la propuesta de estados límites en función de la deformación a tracción del acero y del desplazamiento entre plantas.

**Tabla 2.1.** *Estados límites en función de la deformación a tracción del acero y del desplazamiento entre plantas.*

<b>Estados límites considerados</b>	<b>Deformación a tracción (%)</b>	<b>Desplazamiento entre plantas (%)</b>
Daño leve (IO)	0,2 – 0,6	0 – 0,25
Daño moderado (LS)	0,6 – 1,6	0,25 – 0,375
Daño severo (CP)	1,6 – 2,6	0,375 – 0,50

Fuente: Gonzales, 2010, p.236.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 2. 3.1 HIPÓTESIS

##### 2.1 3.1.1 Hipótesis general

Como hipótesis general se ha definido la siguiente manera:

Para llevar a cabo estudios de vulnerabilidad de edificios de muros de ductilidad limitada, es necesario tener información del daño estructural que pudiera experimentar ante un escenario sísmico. Para tal fin, las curvas de fragilidad de muros de ductilidad limitada (EDML) de 10 cm de espesor, en base a ensayos experimentales realizados en el laboratorio de Estructuras del CISMID-UNI, en el periodo 2011-2015, son una herramienta muy útil y componente clave para futuros estudios de vulnerabilidad sísmica.

##### 2.2 3.1.2 Hipótesis específicas

##### 2.3

Como hipótesis específica, se ha considerado las siguientes:



**A. Hipótesis específica 1****2.4**

El comportamiento estructural de los muros de ductilidad, es limitada ante sismos debido a la resistencia, el espesor y malla de acero que le dan gran rigidez pero poca ductilidad a los muros, probado en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI.

**B. Hipótesis específica 2****2.5**

**Los umbrales de desplazamiento se obtienen de la respuesta histerética de los muros y mediante estos gráficos se pueden obtener resultados máximos de carga vs desplazamiento para cada estado de daño.**

**2.6****C.- Hipótesis específica 3****2.7**

Es posible establecer valores de distorsiones permisibles para diferentes estados de daños en muros de ductilidad limitada mediante la elaboración de curvas de fragilidad, que representan una herramienta adecuada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.

## **2.8 3.2 VARIABLES**

### **2.9**

**Las variables, constituyen los factores que intervienen en la investigación para señalar los valores específicos, que caracterizan las cualidades que describen los elementos teóricos que conforman la investigación.**

**Una variable, es una característica que al ser medida en diferentes individuos, es susceptible de adoptar diferentes valores.**

**Para la ejecución de la presente tesis, se ha identificado 2 variables que pueden ser medidas:**

### **2.10 3.2.1.- VARIABLE DEPENDIENTE (VD)**

**Curvas de Fragilidad**

#### **2.11 3.2.1.1 Denominación de la variable**

### **2.12**

**Curvas de fragilidad: En el Fema P-58, las curvas de fragilidad son denominadas funciones de fragilidad y estas se elaboran para edificios o componentes estructurales y no estructurales de un edificio. Las funciones de fragilidad de componentes son distribuciones estadísticas que indican la probabilidad**

**condicional de incurrir en un determinado nivel de daño para un valor dado de una demanda.**

**2.13 3.2.1.2 Indicadores**

**Estado de daño**

**3.2.1.3 Escala de medición**

**Para el estado de daño, se utilizará una medida de deriva en radianes y desplazamientos en mm.**

**2.14 3.2.2.- VARIABLE INDEPENDIENTE (VI)**

**Muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor**

**2.15 3.2.2.1 Denominación de la variable**

**2.16**

**Muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor**

**2.17 3.2.2.2 Indicadores**

- Especímenes
- Carga máxima
- Desplazamiento

**3.2.2.3 Escala de medición**

- Número de especímenes

- Para la Carga máxima, se utilizará una medida cuantitativa en Tn (Tonelada)
- Para el Desplazamiento, se utilizará una medida cuantitativa en mm (milímetro)

### **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.**

Por la finalidad, es una investigación científica del tipo Pura, porque está orientada a contribuir con nuevos conocimientos en el campo de la ingeniería civil estructural, mediante la elaboración de curvas de fragilidad y de esta manera se pretende contribuir con los estudios de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de muros de ductilidad limitada (EDML) de 10 cm de espesor, en base a muros ensayados experimentalmente en el laboratorio de Estructuras del CISMID-UNI, en el periodo 2011-2015

### **3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.**

El diseño de investigación es la causal explicativa orientado a contribuir con los estudios ya realizados por SENCICO referentes a los estudios de vulnerabilidad sísmica en EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA (EMDL) para una resistencia del concreto de  $f'c$  de 175Kg/cm<sup>2</sup>. Para ello, se ha adaptado a conveniencia la data experimental existente del CISMID ya que los ensayos experimentales son muy costosos.

A continuación se realiza una descripción de los muros ensayados y el código de identificación para el presente trabajo:

**Tabla 3.1** Código y Nomenclatura de los especímenes ensayados

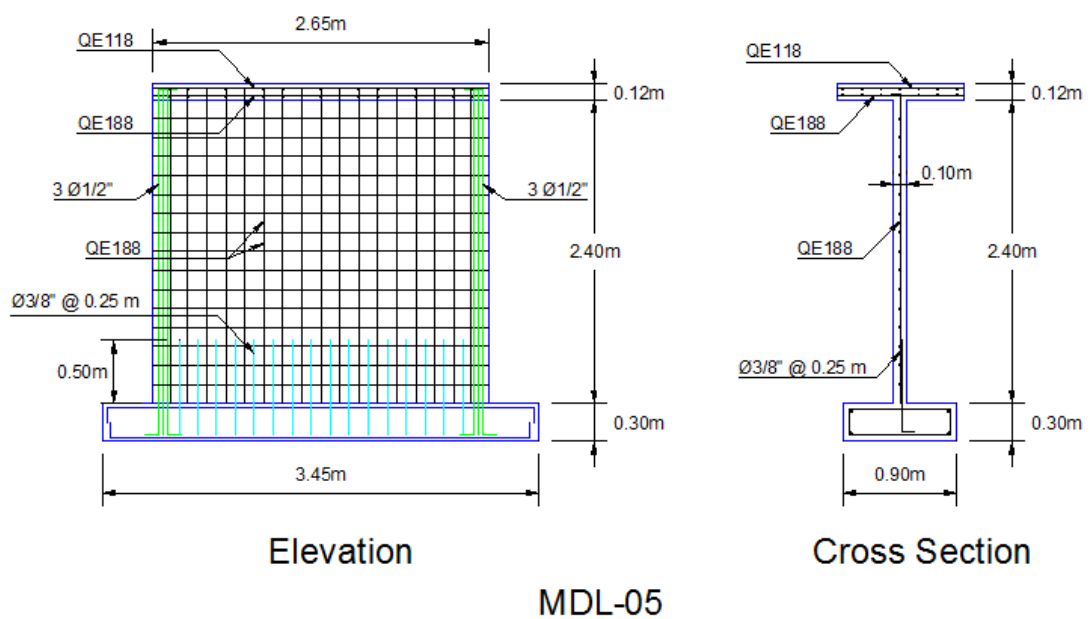
Código	Nomenclatura	Descripción	Dimensiones (m)
SN	MDL- 01 MDL- 02	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 3.1Tn, $f'c=100\text{Kg/cm}^2$ .	2.00x2.30x0.10
MDL-CCA1	MDL-03 MDL-04 MDL-05	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 19Tn, $f'c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada QE188 (6mm @ 0.15m)	2.65x2.40x0.10
MDL-CCA2	MDL-06 MDL-07 MDL-08	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 19Tn, $f'c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada QE257 (7mm @ 0.15m)	2.65x2.40x0.10
MDL-CCA3	MDL-09	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 19Tn, $f'c=175\text{Kg/cm}^2$ , acero corrugado de 3/8" @ 0.25m	3.00x2.40x0.10
MDL-CCA4	MDL-10 MDL-14	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f'c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q139 (4.2mm @ 0.10m)	3.00x2.40x0.10
MDL-CCA5	MDL-11	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f'c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q91 (3.4mm @ 0.10m)	3.00x2.40x0.10
MDL-CCA6	MDL-12 MDL-22 MDL-23 MDL-24	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f'c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q62 (2.8mm @ 0.10m)	3.00x2.40x0.10

MDL-CCA7	MDL-15	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f'c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q91 (3.4mm @ 0.10m), con ventana alta	3.00x2.40x0.10
MDL-CCA8	MDL-17 MDL-18 MDL-19	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f'c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q62 (2.8mm @ 0.10m), con ventana grande	3.00x2.40x0.10
MDL-CCA9	MDL-20 MDL-21	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f'c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q62 (2.8mm @ 0.10m), con ventana alta	3.00x2.40x0.10
SN	MDL-13 MDL-16	No especifica el área de acero	

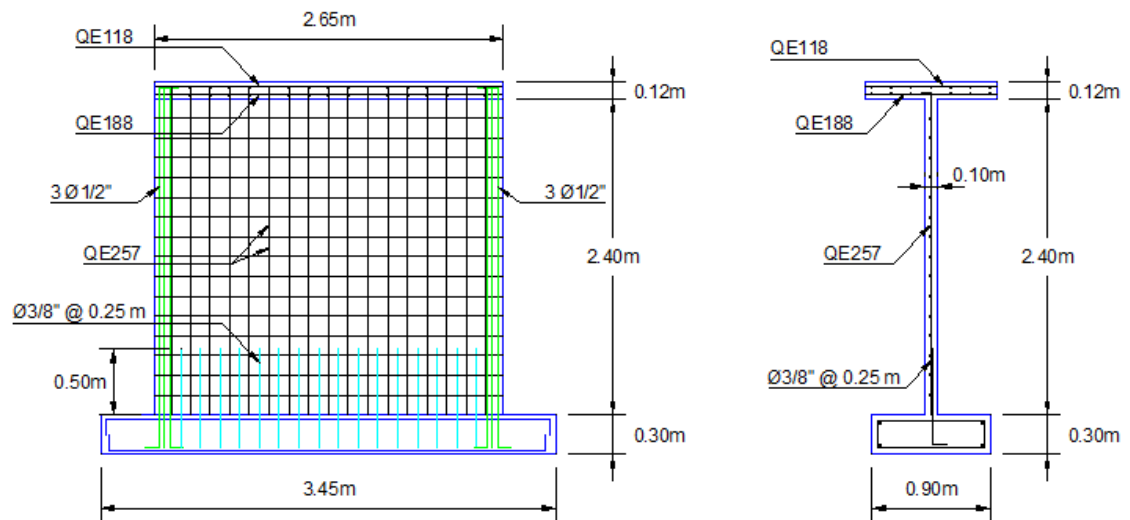
Nota:

SN = sin nomenclatura; ya que la resistencia del concreto es menor a  $f'c=175\text{Kg/cm}^2$  o no se conoce el área de acero. Por lo tanto, no se considerará en este estudio.

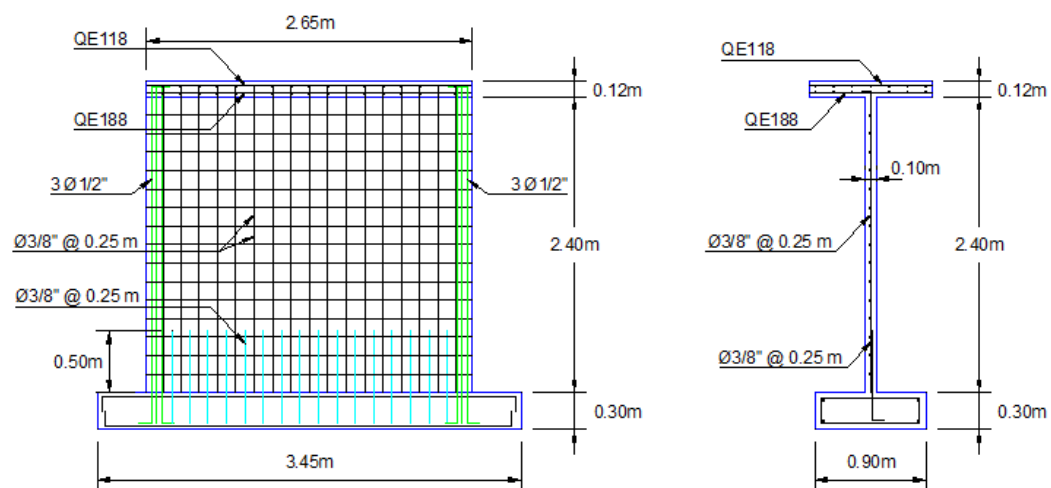
Para el presente trabajo sólo se tomará en cuenta los códigos MDL-CCA1 al MDL-CCA9.



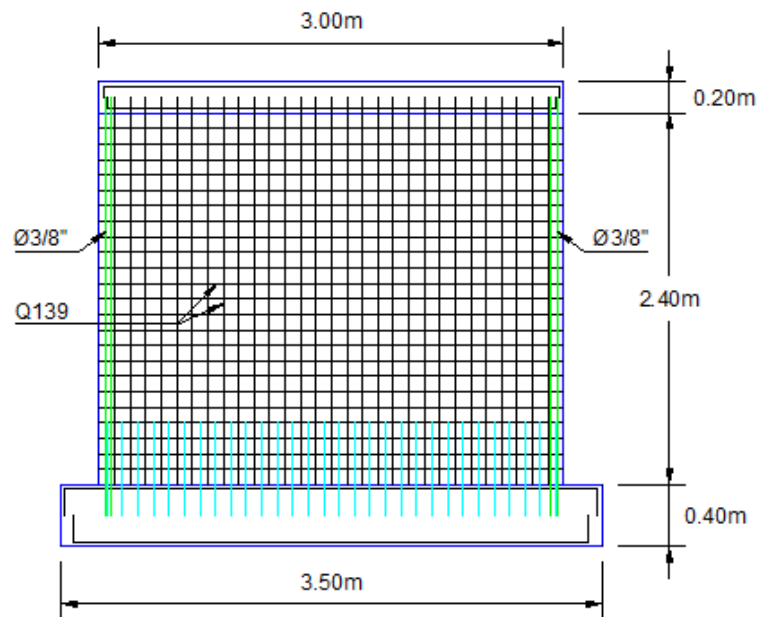
**Figura 3.01** Dimensiones MDL-CCA1 (<http://www.cismid-uni.org/wallx/index.php>)



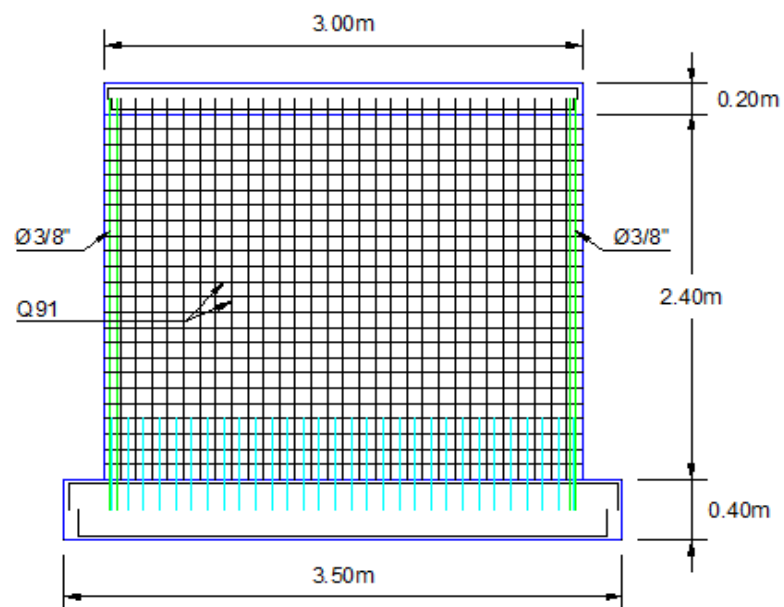
**Figura 3.02** Dimensiones MDL-CCA2 (<http://www.cismid-uni.org/wallx/index.php>)



**Figura 3.03** Dimensiones MDL-CCA3 (<http://www.cismid-uni.org/wallx/index.php>)

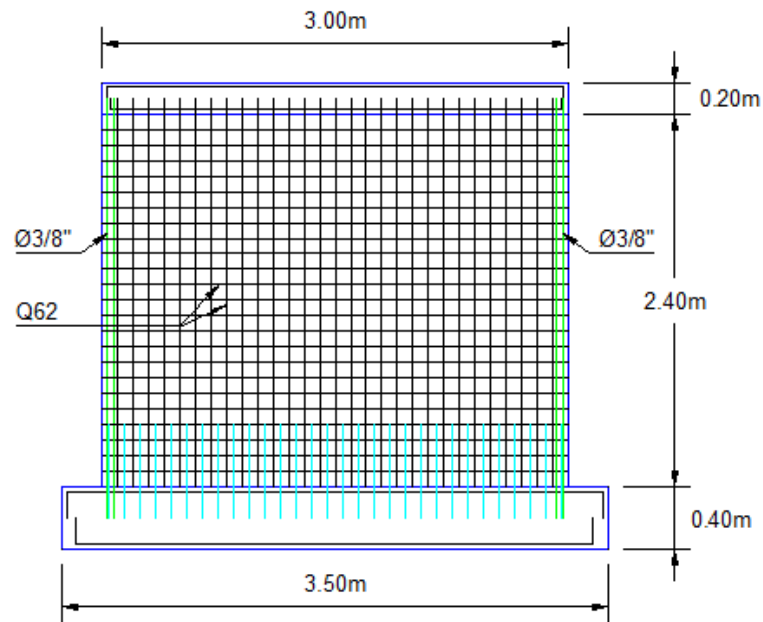


**Figura 3.04** Dimensiones MDL-CCA4 (<http://www.cismid-uni.org/wallx/index.php>)

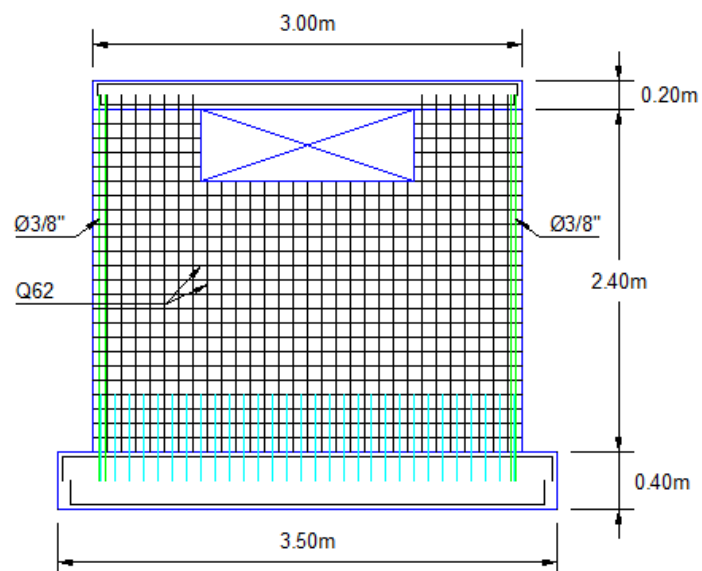


**Figura 3.05** Dimensiones MDL-CCA5 (<http://www.cismid-uni.org/wallx/index.php>)

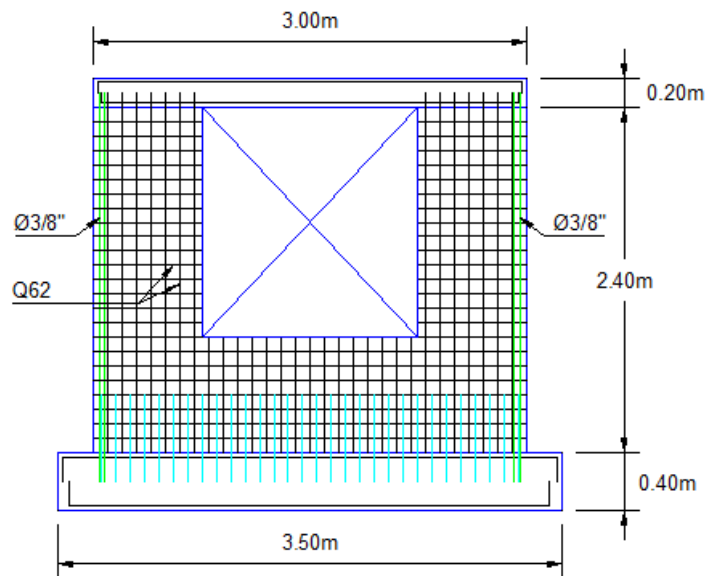




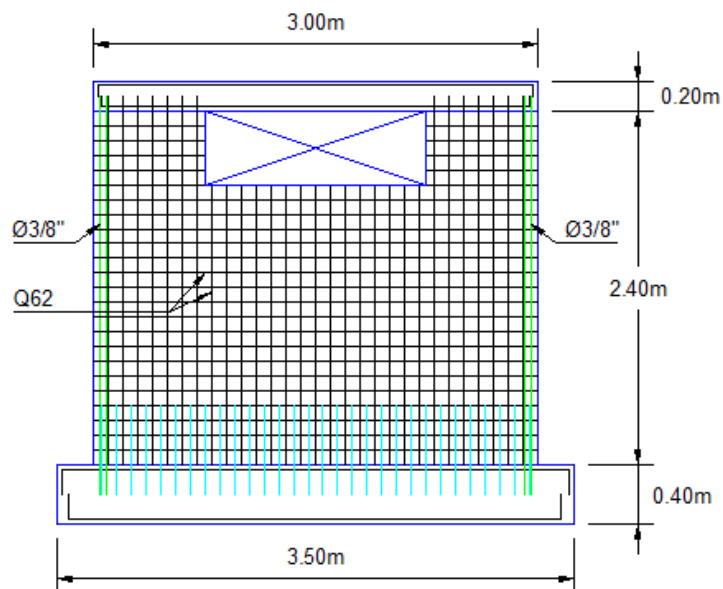
**Figura 3.06** Dimensiones MDL-CCA6 (<http://www.cismid-uni.org/wallx/index.php>)



**Figura 3.07** Dimensiones MDL-CCA7 (<http://www.cismid-uni.org/wallx/index.php>)



**Figura 3.08** Dimensiones MDL-CCA8 (<http://www.cismid-uni.org/wallx/index.php>)



**Figura 3.09** Dimensiones MDL-CCA9 (<http://www.cismid-uni.org/wallx/index.php>)

En base a los resultados de los ensayos experimentales hay que realizar un análisis del comportamiento sísmico y posterior elaboración de las curvas de fragilidad según el FEMA P-58, para tres estados de daños:

**DS1**, donde se inicia el agrietamiento y por lo tanto, los daños y consecuentemente las pérdidas.

**DS2**, en la resistencia pico.

**DS3**, en la resistencia última.

### **5. 3.5 ÁMBITO DE ESTUDIO**

Los edificios de muros de ductilidad limitada, se construyen a nivel nacional.

### **6. 3.6 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.6.1 Unidad de estudio**

Muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor, para una resistencia  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>.

#### **3.6.2 Población**

La población objeto del estudio, estará compuesto por 20 muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor con características especiales de trabajabilidad, resistencia y durabilidad.

En el estudio se elaboraron curvas de fragilidad de muros de ductilidad limitada tomando como referencia los ensayos realizados en 20 muros de ductilidad limitada en el Laboratorio de Estructuras del CISMID-UNI.

### **3.6.3 Muestra**

En este trabajo se realizará las curvas de fragilidad en base al comportamiento sísmico de los muros de ductilidad limitada de concreto para una resistencia  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>. Para ello, se tomará en cuenta los muros ensayados de los códigos MDL-CCA1 al MDL-CCA9, de la tabla 3.1 (20 ensayos).

## **3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

### **7.**

#### **7.1 3.7.1 Técnicas**

Las principales técnicas que se utilizaron para la recolección de datos fueron:

- Investigación bibliográfica
- Recolección de datos de la Fase experimental y observación experimental en muros de ductilidad limitada mediante visitas realizadas al CISMID-UNI, y
- Entrevistas a especialistas del CISMID-UNI y PUCP

## **7.2 3.7.2 Instrumentos**

Cuestionarios y fichas de registro de datos.

## **CAPÍTULO IV**

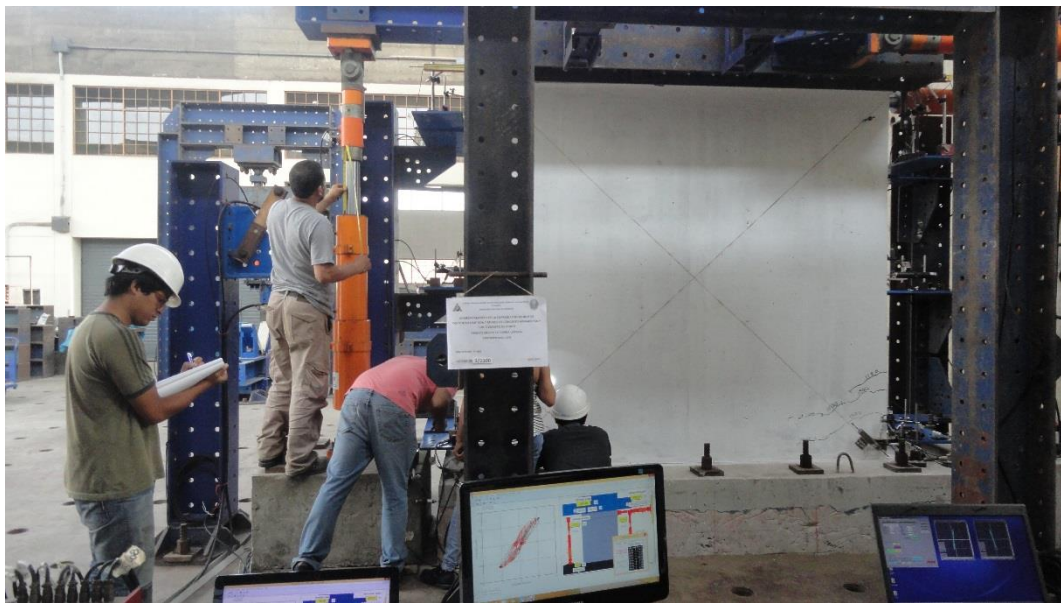
### **LOS RESULTADOS**

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO**

En el Perú existen muy pocos trabajos o investigaciones en el tema de elaboración de curvas de fragilidad en muros de ductilidad limitada basados en ensayos experimentales. Hasta donde se ha investigado, el único trabajo efectuado a la fecha es el desarrollado por la PUCP correspondiente al “Servicio de ensayos estructurales para determinar el comportamiento sísmico de muros de ductilidad limitada” del concurso público 005-2015-SENCICO, desarrollado por el Mg. José Acero y presentado a SENCICO en el mes de septiembre del 2016.

En ese sentido, una vez aprobado este proyecto se siguió la misma metodología pero basada en los ensayos experimentales efectuados por el CISMID y que se encuentran publicados en su página web. El trabajo de campo consistió en lo siguiente:

En el mes de enero y la primera semana del mes de febrero del 2017 se realizaron varias visitas al laboratorio de estructuras del CISMID para cumplir con dos objetivos principales: El primero fue para recoger información sobre los ensayos efectuados en los muros de ductilidad limitada en diversos programas de investigaciones, los mismos que se encuentran anexados en el presente estudio; el segundo objetivo fue para conocer los procedimientos que se deben seguir durante los ensayos experimentales que se viene efectuando en muros de ductilidad limitada, correspondiente al proyecto “Comportamiento de la capacidad de muros de ductilidad limitada y muros de concreto armado sin y con elementos de borde”.



**Foto 4.1** Vista de ensayo en muro de ductilidad limitada de 10 cm de espesor  
(Especimen MDL1-10SC)



**Foto 4.2** Vista de especímenes a ensayarse en el laboratorio de estructuras del CISMID

Después de la recopilación de ensayos, se identificaron los tres estados de daños por cada muro de acuerdo a la siguiente codificación:

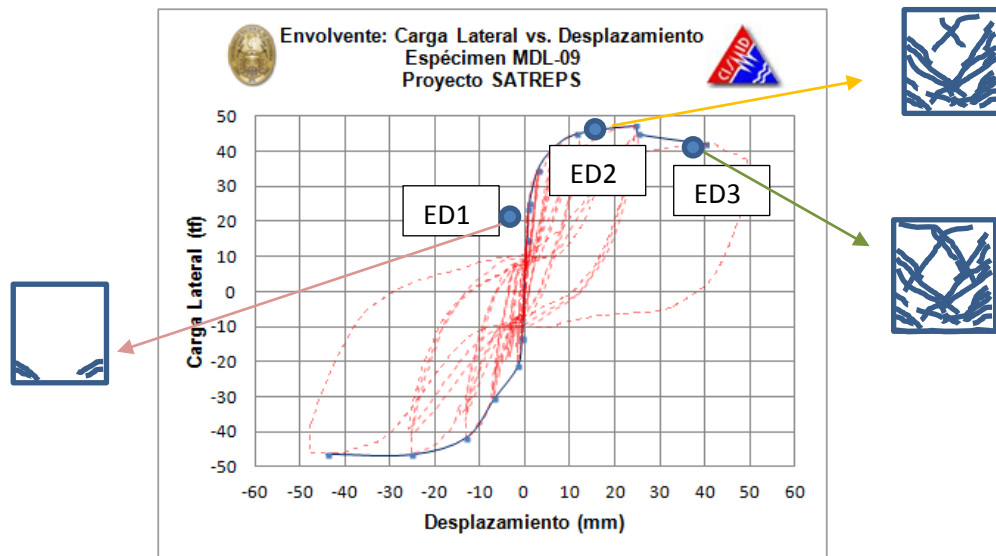
**Estado de daño 1 (ED1)**, o estado límite 1, corresponde a la aparición de la primera grieta diagonal o grieta por flexión.

**Estado de daño 2 (ED2)**, o estado límite 2, cuando el espécimen alcanza su resistencia máxima, se produce la grieta diagonal.

**Estado de daño 3 (ED3)**, o estado límite 3, se registra el desplazamiento último y la resistencia última o falla del muro.

Con fines ilustrativos, en la figura 4.01 se muestra esquemáticamente una curva envolvente carga lateral-distorsión lateral obtenida para un muro de ductilidad limitada y sus respectivos estados de daño.

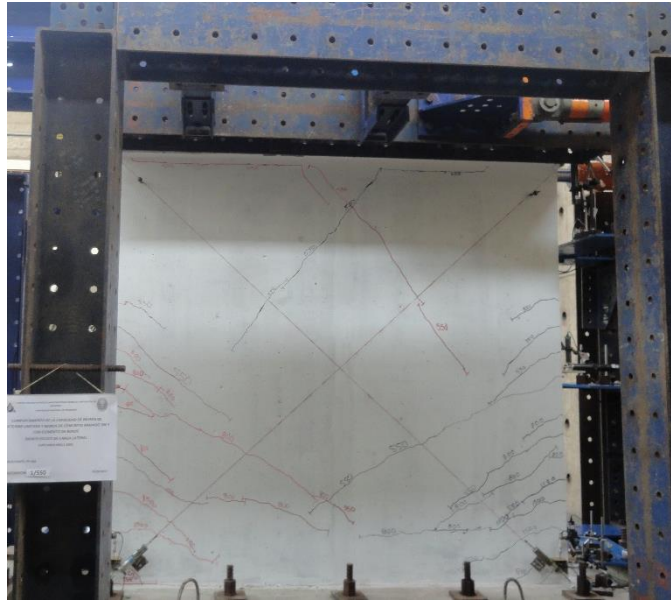




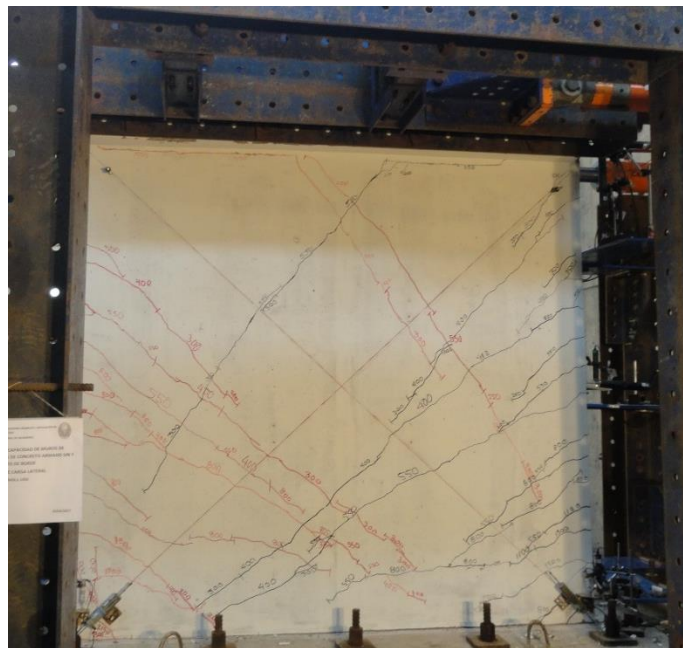
**Figura 4.01** Esquema de curva de capacidad y estados de daños en muros de ductilidad limitada



**Foto 4.3** Vista de daños para el ED1 de un muro de ductilidad limitada



**Foto 4.4** Vista de daños para el ED2 de un muro de ductilidad limitada



**Foto 4.5** Vista de daños para el ED3 de un muro de ductilidad limitada

Concluida esta actividad se elaboraron las curvas de fragilidad según los lineamientos del Fema P-58. Se elaboraron tablas y gráficos que seguidamente serán presentados.

## 4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

La descripción de los especímenes, características, lazos histéricos, degradación de la rigidez y curvas de capacidad son mostrados en el anexo 1.

Se presentan tablas en la que se han ingresado las distorsiones máximas para tres estados de daños o estados límites que corresponden a los muros MDL-CCA1 al MDL-CCA9 y cuyas características se muestra en la tabla 4.1. Asimismo, se determina los parámetros de valor medio “ $\Theta$ ” y una desviación estándar logarítmica de “ $\beta$ ”.

**Tabla 4.1.** *Nomenclatura de los especímenes*

<b>Código</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Dimensiones (m)</b>
MDL- CCA1	MDL-03	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 19Tn, $f^c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada QE188 (6mm @ 0.15m)	2.65x2.40x0.10
	MDL-04		
	MDL-05		
MDL- CCA2	MDL-06	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 19Tn, $f^c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada QE257 (7mm @ 0.15m)	2.65x2.40x0.10
	MDL-07		
	MDL-08		
MDL- CCA3	MDL-09	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 19Tn, $f^c=175\text{Kg/cm}^2$ , acero corrugado de 3/8” @ 0.25m	3.00x2.40x0.10
MDL- CCA4	MDL-10 MDL-14	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f^c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla	3.00x2.40x0.10

		electrosoldada Q139 (4.2mm @ 0.10m)	
MDL- CCA5	MDL-11	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f^c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q91 (3.4mm @ 0.10m)	3.00x2.40x0.10
MDL- CCA6	MDL-12 MDL-22 MDL-23 MDL-24	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f^c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q62 (2.8mm @ 0.10m)	3.00x2.40x0.10
MDL- CCA7	MDL-15	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f^c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q91 (3.4mm @ 0.10m), con ventana alta	3.00x2.40x0.10
MDL- CCA8	MDL-17 MDL-18 MDL-19	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f^c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q62 (2.8mm @ 0.10m), con ventana grande	3.00x2.40x0.10
MDL- CCA9	MDL-20 MDL-21	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 8.6Tn, $f^c=175\text{Kg/cm}^2$ , malla electrosoldada Q62 (2.8mm @ 0.10m), con ventana alta	3.00x2.40x0.10

Nota:

MDL-CCA, muro de ductilidad limitada con carga axial.

Los datos ingresados para cada estado de daño son mostrados en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2.** *Parámetros para obtener la curva de fragilidad*

Código	Especimen	Nro. de ensayo	Distorsión (%)			$\beta_u$
			Estado de daño 1	Estado de daño 2	Estado de daño 3	
MDL- CCA1	MDL-03	1	0.8333	6.2500	12.9167	0.25
	MDL-04	2	0.6250	5.0000	8.7500	
	MDL-05	3	0.8333	6.2500	20.8333	
MDL- CCA2	MDL-06	1	1.2500	4.5833	14.5833	0.25
	MDL-07	2	0.8333	5.0000	20.4167	
	MDL-08	3	0.8333	5.4167	14.5833	
MDL- CCA3	MDL-09	1	0.8333	8.3333	16.6667	0.25
MDL- CCA4	MDL-10	1	0.2083	0.7500	2.0000	0.25
MDL- CCA5	MDL-14	2	0.5000	1.5833	2.4167	
MDL- CCA5	MDL-11	1	0.4167	1.6667	2.9167	0.25
MDL- CCA6	MDL-12	1	0.4167	1.6667	4.5833	0.25
	MDL-22	2	0.4167	1.6667	2.9167	
	MDL-23	3	0.4167	2.1667	4.0833	
	MDL-24	4	0.4167	1.6667	2.9167	
MDL- CCA7	MDL-15	1	0.6250	2.0833	4.1667	0.25

MDL- CCA8	MDL-17	1	0.4167	1.2500	2.9167	0.25
	MDL-18	2	0.3333	2.0833	4.5833	
	MDL-19	3	0.4167	2.0833	5.8333	
MDL- CCA9	MDL-20	1	0.4167	1.6667	2.5000	0.25
	MDL-21	2	0.4167	2.0000	3.1250	

---

$\beta_u$  : Representa la incertidumbre que el ensayo represente condiciones actuales de la instalación y carga, o incertidumbre de que los datos disponibles tienen el tamaño muestra adecuado para representar adecuadamente el verdadero valor de la incertidumbre.

---

Así, por ejemplo, para el muro MDL CCA1 en el estado de daño 1 se ingresa los siguientes valores a la hoja de cálculo MS Excel:

**En # de ensayos**, se ingresan la cantidad de ensayos cuyas características geométricas, constructivas y de aplicación de cargas verticales sean similares. Para este caso 1, 2, 3.

**En Demanda (di) (‰)**, por cada estado de daño, se ingresa la distorsión obtenida para cada ensayo. En la tabla se observa que para el estado de daño 1, en el ensayo 1 la distorsión es de 0.8333, para el ensayo 2 la distorsión es 0.6250 y para el ensayo 3, la distorsión es 0.8333.

**Finalmente, se ingresa el valor de  $\beta_u=0.25$** , cuando los datos de la prueba están disponibles para cinco (5) o menos especímenes.

Los valores de las funciones  $\ln(d_i)$ ,  $\ln(d_i/\theta_i)$ ,  $\ln(d_i/\theta_i)^2$ , el valor medio  $\theta$ , la desviación estándar logarítmica de  $B_r$  y  $B$  son determinados por la hoja de cálculo MS Excel, según las fórmulas dadas en el ítem 2.4.1

Una vez ingresado los datos y con ayuda de hojas de cálculo de MS Excel, se han desarrollado curvas de fragilidad basadas en deriva y desplazamiento para los tres estados de daños o estados límites. Para ello, se ha empleado el mismo formato de presentación del proyecto presentado por la PUCP a SENCICO.

Para la elaboración de la curva se ha empleado una distribución paramétrica logonormal descrita en el capítulo 2.

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

En lo que respecta a interpretación de las curvas, nos vamos a enfocar a dos aspectos. En primer lugar, a la lectura de la deriva de 5/1000, ya que es la distorsión o deriva máxima permitida por nuestra para evitar el colapso de un Edificio de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL). En segundo lugar, a la probabilidad de exceder el 50% de daños para el estado límite 2, el cual podría suponerse igual al estado límite de seguridad contra el colapso.

### 4.3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las hojas de cálculo MS Excel y las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites de los muros MDL-CCA1 al MDL-CCA9.

#### 4.3.1 CURVAS DE FRAGILIDAD MDL – CCA1

##### 7.3 Estado de daño 1 o estado límite 1

**Tabla 4.3.** Estado de daño 1 MDL-CCA1

# de Ensayo	Demanda (di) (‰)	ln(di)	ln(di/Θi)	ln(di/Θi)^2
1	0.8333	-0.1823	0.0959	0.00920
2	0.6250	-0.4700	-0.1918	0.03678
3	0.8333	-0.1823	0.0959	0.00920
		-0.8346		0.05517

Θ	0.7571
Br	0.1661
Bu	0.2500
B	0.3001

##### 7.4

##### 7.5 Estado de daño 2 o estado límite 2

**Tabla 4.4.** Estado de daño 2 MDL-CCA1

# de Ensayo	Demanda (di) (‰)	ln(di)	ln(di/Θi)	ln(di/Θi)^2
1	6.2500	1.8326	0.0744	0.00553
2	5.0000	1.6094	-0.1488	0.02213
3	6.2500	1.8326	0.0744	0.00553
		5.2746		0.03320

Θ	5.8020
Br	0.1288
Bu	0.2500
B	0.2812



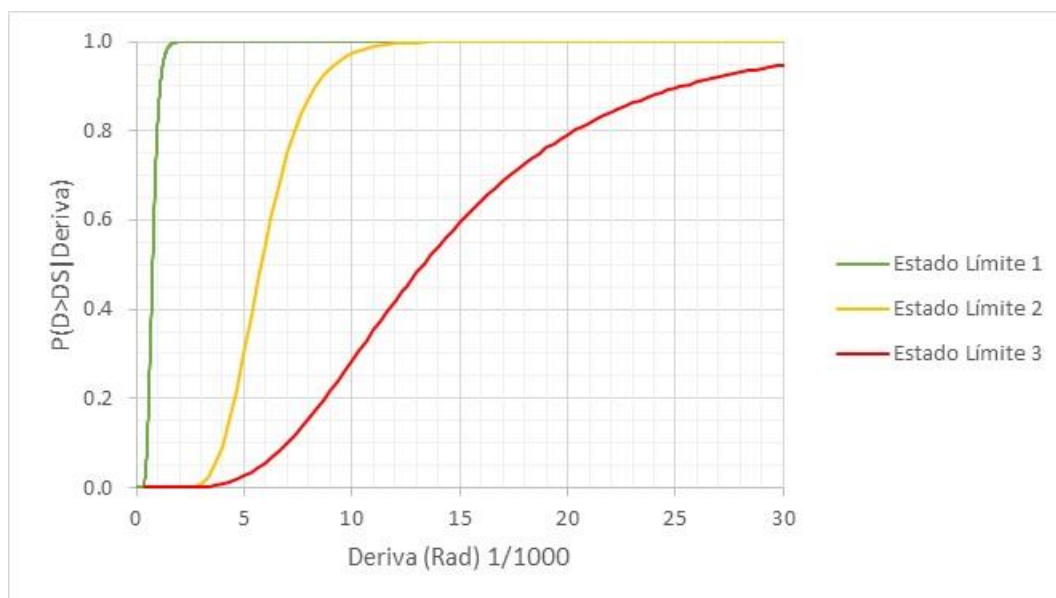
## 7.6 Estado de daño 3 o estado límite 3

**Tabla 4.5.** Estado de daño 3 MDL-CCA1

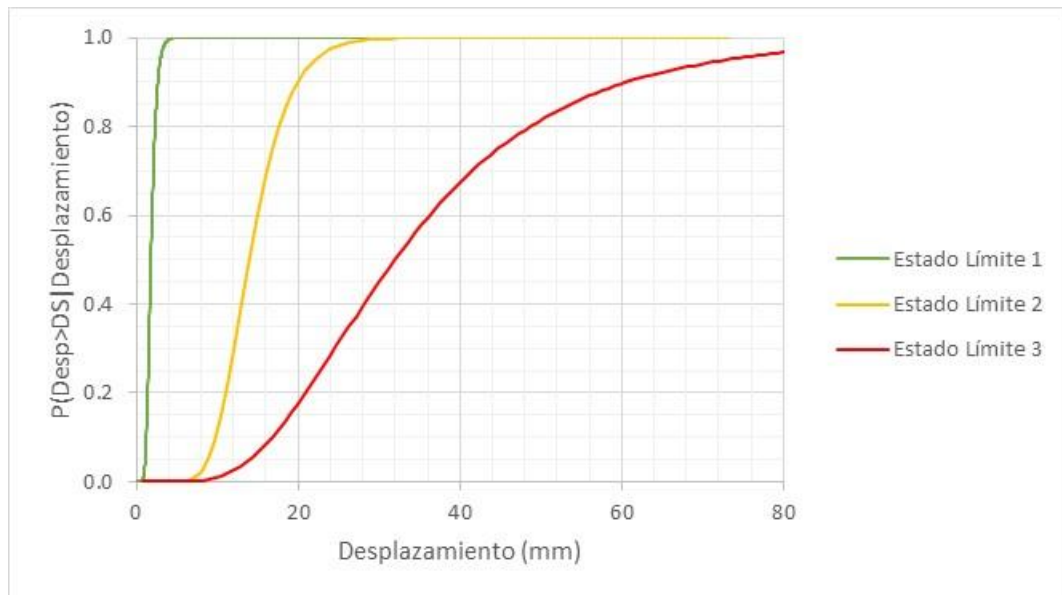
# de Ensayo	Demanda (di)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi) <sup>2</sup>
1	12.9167	2.5585	-0.0295	0.00087
2	8.7500	2.1691	-0.4190	0.17555
3	20.8333	3.0366	0.4485	0.20116
		7.7641		0.37759

θ	13.3037
Br	0.4345
βu	0.2500
β	0.5013

8. A continuación, se muestra las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites de los muros MDL-03, 04, y 05.



**Figura 4.02** Curva de fragilidad de MDL-CCA1 (Deriva)



**Figura 4.03** Curva de fragilidad de MDL-CCA1 (Desplazamiento)

## INTERPRETACIÓN

Las curvas se interpretan de la siguiente manera:

- Para una deriva de 5/1000, en la figura 4.02, la probabilidad de que se inicie el estado de daño 1 es del 100%.
- En la figura 4.02 se puede observar que existe un 50% de probabilidad de que existan grietas diagonales en forma de “X” en la superficie del muro (estado de daño 2 o estado límite 2) para un nivel de deriva de 6/1000 o un desplazamiento de 13mm para el caso de la figura 4.03.

### 4.3.2 CURVAS DE FRAGILIDAD MDL – CCA2

#### 8.1 Estado de daño 1 o estado límite 1

**Tabla 4.6.** Estado de daño 1 MDL-CCA2

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (‰)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	1.2500	0.2231	0.2703	0.07307
2	0.8333	-0.1823	-0.1352	0.01827
3	0.8333	-0.1823	-0.1352	0.01827
		-0.1415		0.10960

$\theta$	0.9539
$\beta_r$	0.2341
$\beta_u$	0.2500
$B$	0.3425

#### 8.2 Estado de daño 2 o estado límite 2

**Tabla 4.7.** Estado de daño 2 MDL-CCA2

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (‰)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	4.5833	1.5224	-0.0847	0.00717
2	5.0000	1.6094	0.0023	0.00001
3	5.4167	1.6895	0.0824	0.00678
		4.8213		0.01396

$\theta$	4.9884
$\beta_r$	0.0836
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2636

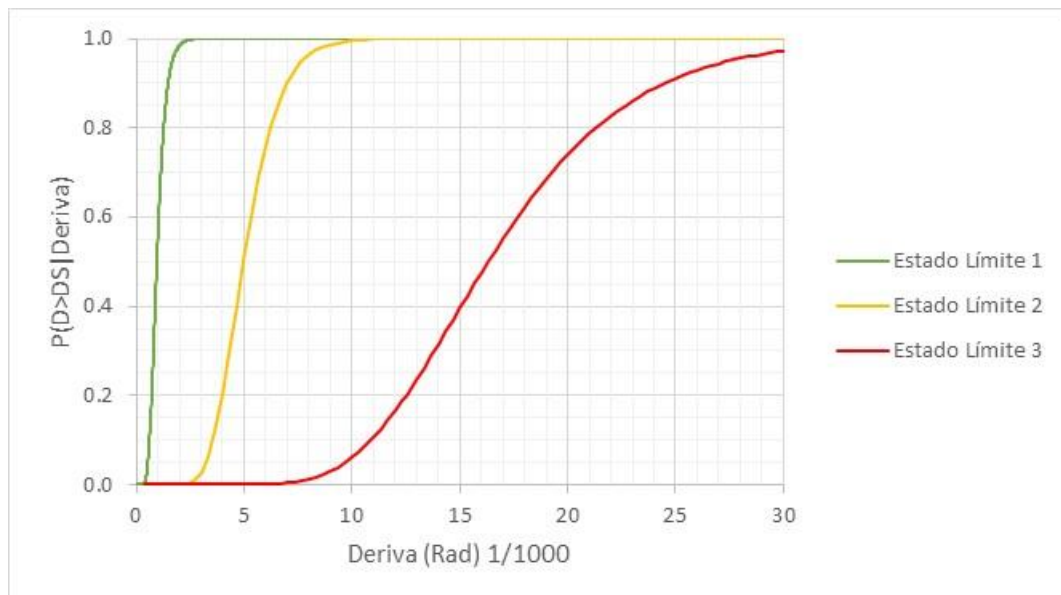
### Estado de daño 3 o estado límite 3

**Tabla 4.8.** Estado de daño 3 MDL-CCA2

# de Ensayo	Demanda (di)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi)^2
1	14.5833	2.6799	-0.1122	0.01258
2	20.4167	3.0164	0.2243	0.05032
3	14.5833	2.6799	-0.1122	0.01258
		8.3761		0.07548

$\Theta$	16.3142
$\beta_r$	0.1943
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.3166

9. Ahora, se tiene las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites de los muros MDL-06, 07, y 08.



**Figura 4.04** Curva de fragilidad de MDL-CCA2 (Deriva)



**Figura 4.05** Curva de fragilidad de MDL-CCA2 (Desplazamiento)

## INTERPRETACIÓN

- Para una deriva de 5/1000, en la figura 4.04, la probabilidad de que se inicie el estado de daño 1 es del 100% y para que se inicie el estado de daño 2 es del 50% o un desplazamiento de 16 mm para el caso de la figura 4.05.

### 4.3.3 CURVAS DE FRAGILIDAD MDL – CCA3

#### Estado de daño 1 o estado límite 1

**Tabla 4.9.** Estado de daño 1 MDL-CCA3

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (‰)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	0.8333	-0.1823	0.0000	0.00000
		-0.1823		0.00000

$\theta$	0.8333
$\beta_r$	0.0000
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2500

### Estado de daño 2 o estado límite 2

**Tabla 4.10.** Estado de daño 2 MDL-CCA3

# de Ensayo	Demanda (di) (‰)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi) <sup>2</sup>
1	8.3333	2.1203	0.0000	0.00000
		2.1203		0.00000

θ	8.3333
β <sub>r</sub>	0.0000
β <sub>u</sub>	0.2500
β	0.2500

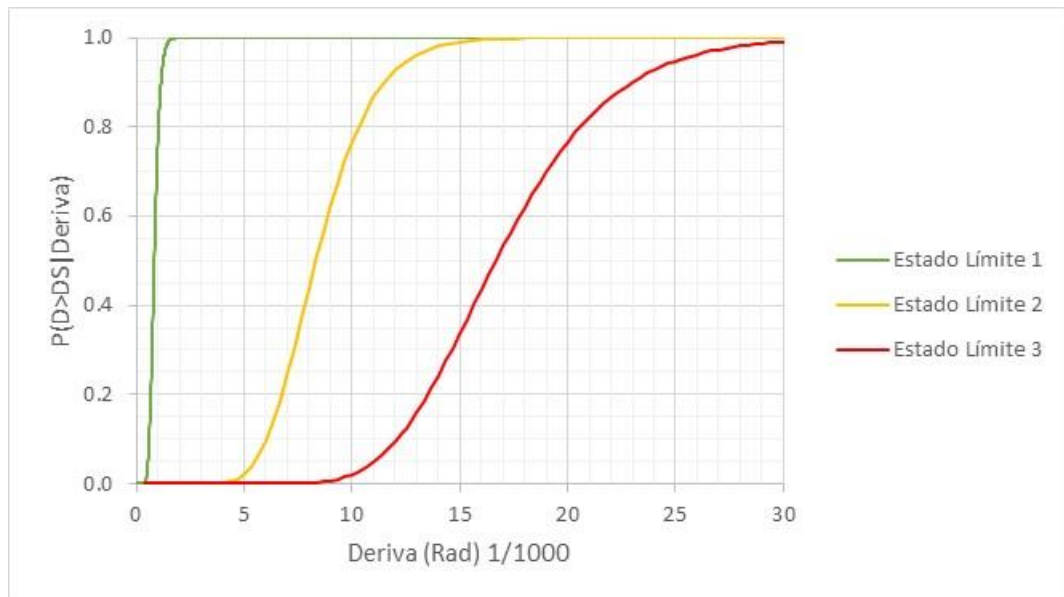
### Estado de daño 3 o estado límite 3

**Tabla 4.11.** Estado de daño 3 MDL-CCA3

# de Ensayo	Demanda (di)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi) <sup>2</sup>
1	16.6667	2.8134	0.0000	0.00000
		2.8134		0.00000

θ	16.6667
β <sub>r</sub>	0.0000
β <sub>u</sub>	0.2500
β	0.2500

**10. A continuación, se obtiene las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites de los muros MDL-09.**



**Figura 4.06** Curva de fragilidad de MDL-CCA3 (Deriva)



**Figura 4.07** Curva de fragilidad de MDL-CCA3 (Desplazamiento)

## INTERPRETACIÓN

- La figura 4.06 muestra que para una deriva de 5/1000, en la figura 4.06, la probabilidad de que se inicie el estado de daño 1 es del 100% y para que se inicie el estado de daño 2 es del 2%.
- En la figura 4.06 se puede observar que existe un 50% de probabilidad de que existan grietas diagonales en forma de “X” en la superficie del muro (estado de daño 2 o estado límite 2) para un nivel de deriva de 8.3/1000 o un desplazamiento de 20mm para el caso de la figura 4.07.

### 4.3.4 CURVAS DE FRAGILIDAD MDL – CCA4

#### Estado de daño 1 o estado límite 1

**Tabla 4.12.** Estado de daño 1 MDL-CCA4

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (‰)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	0.2083	-1.5686	-0.4377	0.19161
2	0.5000	-0.6931	0.4377	0.19161
		-2.2618		0.38322

$\theta$	0.3227
$\beta_r$	0.6190
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.6676



## Estado de daño 2 o estado límite 2

**Tabla 4.13.** Estado de daño 2 MDL-CCA4

# de Ensayo	Demanda (di) (‰)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi) <sup>2</sup>
1	0.7500	-0.2877	-0.3736	0.13958
2	1.5833	0.4595	0.3736	0.13958
		0.1719		0.27916

θ	1.0897
β <sub>r</sub>	0.5284
β <sub>u</sub>	0.2500
β	0.5845

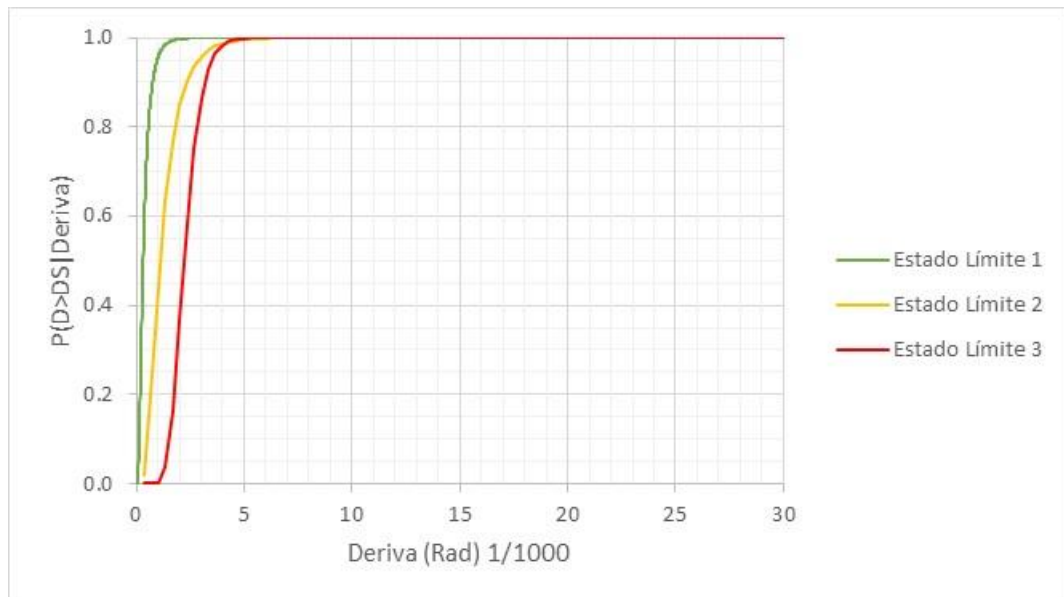
## 10.1 Estado de daño 3 o estado límite 3

**Tabla 4.14.** Estado de daño 3 MDL-CCA4

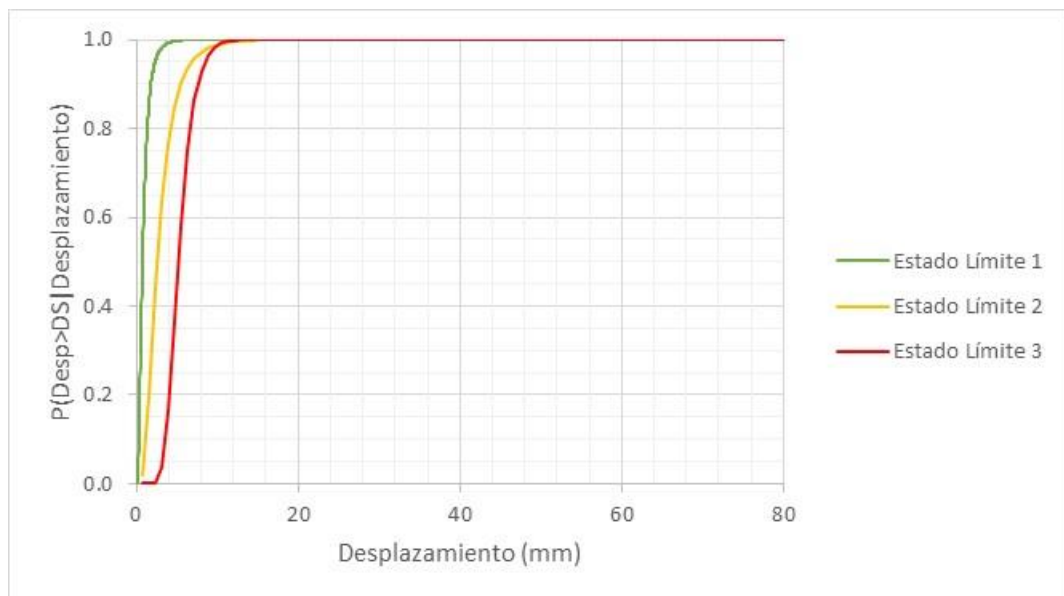
# de Ensayo	Demanda (di)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi) <sup>2</sup>
1	2.0000	0.6931	-0.0946	0.00895
2	2.4167	0.8824	0.0946	0.00895
		1.5755		0.01791

θ	2.1985
β <sub>r</sub>	0.1338
β <sub>u</sub>	0.2500
β	0.2836

11. Seguidamente se tiene las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites de los muros MDL-10 y 12.



**Figura 4.08** Curva de fragilidad de MDL-CCA4 (Deriva)



**Figura 4.09** Curva de fragilidad de MDL-CCA4 (Desplazamiento)

### INTERPRETACIÓN:

- En la figura 4.08, para una deriva de 5/1000, en la figura 4.08, existe una probabilidad de que el 100% de los muros hayan superado el estado de daño 1, 2, y 3.
- En la figura 4.08 se puede observar que existe un 50% de probabilidad de que existan grietas diagonales en forma de “X” en la superficie del muro (estado de daño 2 o estado límite 2) para un nivel de deriva de 1/1000 o un desplazamiento de 2mm para el caso de la figura 4.09.

### 4.3.5 CURVAS DE FRAGILIDAD MDL – CCA5

#### Estado de daño 1 o estado límite 1

**Tabla 4.15.** Estado de daño 1 MDL-CCA5

# de Ensayo	Demanda (di) (‰)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi)^2
1	0.4167	-0.8755	0.0000	0.00000
		-0.8755		0.00000

θ	0.4167
β <sub>r</sub>	0.0000
β <sub>u</sub>	0.2500
β	0.2500

### Estado de daño 2 o estado límite 2

**Tabla 4.16.** Estado de daño 2 MDL-CCA5

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (%)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	1.6667	0.5108	0.0000	0.00000
		0.5108		0.00000

$\theta$	1.6667
$\beta_r$	0.0000
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2500

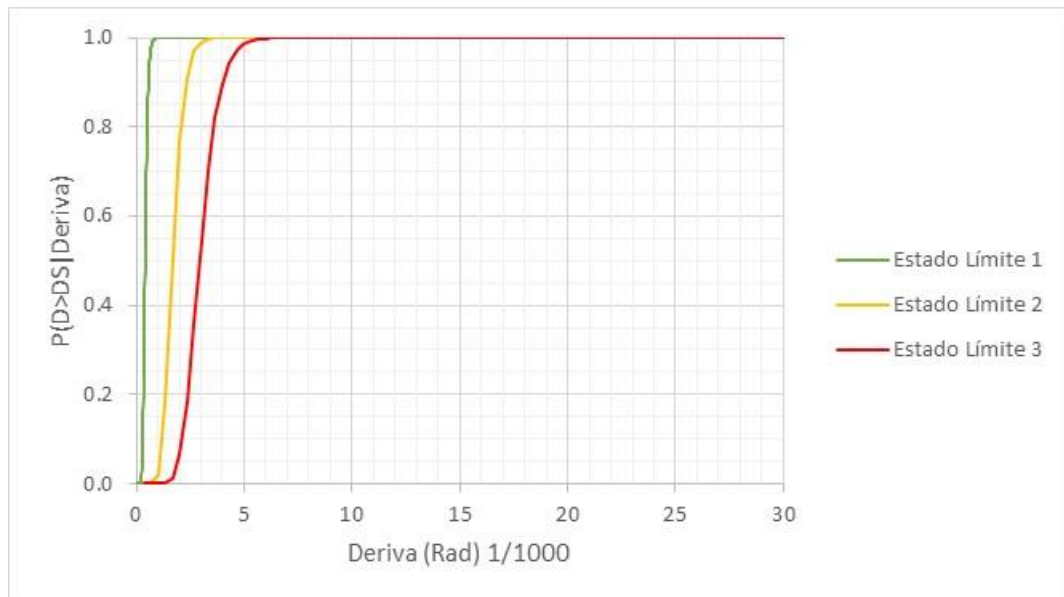
### Estado de daño 3 o estado límite 3

**Tabla 4.17.** Estado de daño 3 MDL-CCA5

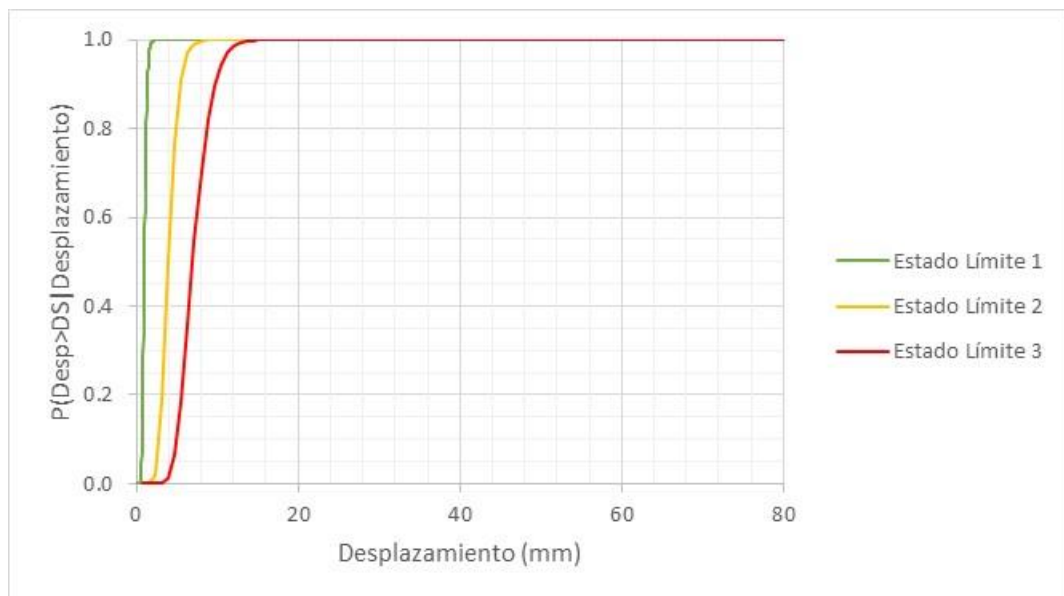
# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ )	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	2.9167	1.0704	0.0000	0.00000
		1.0704		0.00000

$\theta$	2.9167
$\beta_r$	0.0000
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2500

12. Posteriormente se tiene las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites de los muros MDL-11.



**Figura 4.10** Curva de fragilidad de MDL-CCA5 (Deriva)



**Figura 4.11** Curva de fragilidad de MDL-CCA5 (Desplazamiento)

### INTERPRETACIÓN:

- En la figura 4.10, para un nivel de deriva de 5/1000 existe una probabilidad de que el 100% de los muros hayan superado el estado de daño 1 y 2, y el 99% de los muros se encuentren en el nivel de daño 3.
- Asimismo, en la figura 4.10 también se puede observar que existe un 50% de probabilidad de que existan grietas diagonales en forma de “X” en la superficie del muro (estado de daño 2 o estado límite 2) para un nivel de deriva de 1.8/1000 o un desplazamiento de 4mm para el caso de la figura 4.11.

### 4.3.6 CURVAS DE FRAGILIDAD MDL – CCA6

#### Estado de daño 1 o estado límite 1

**Tabla 4.18.** Estado de daño 1 MDL-CCA6

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (‰)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	0.4167	-0.8755	0.0000	0.00000
2	0.4167	-0.8755	0.0000	0.00000
3	0.4167	-0.8755	0.0000	0.00000
4	0.4167	-0.8755	0.0000	0.00000
		-3.5019		0.00000

$\theta$	0.4167
$\beta_r$	0.0000
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2500

### Estado de daño 2 o estado límite 2

**Tabla 4.19.** Estado de daño 2 MDL-CCA6

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (%)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	1.6667	0.5108	-0.0656	0.00430
2	1.6667	0.5108	-0.0656	0.00430
3	2.1667	0.7732	0.1968	0.03872
4	1.6667	0.5108	-0.0656	0.00430
		2.3057		0.05163

$\theta$	1.7796
$\beta_r$	0.1312
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2823

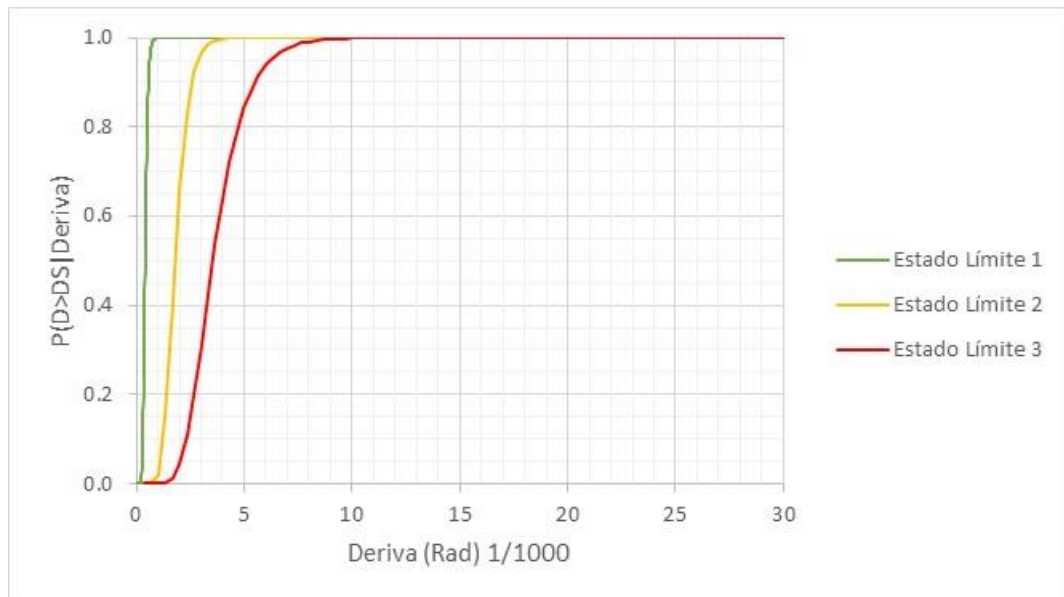
### Estado de daño 3 o estado límite 3

**Tabla 4.20.** Estado de daño 3 MDL-CCA6

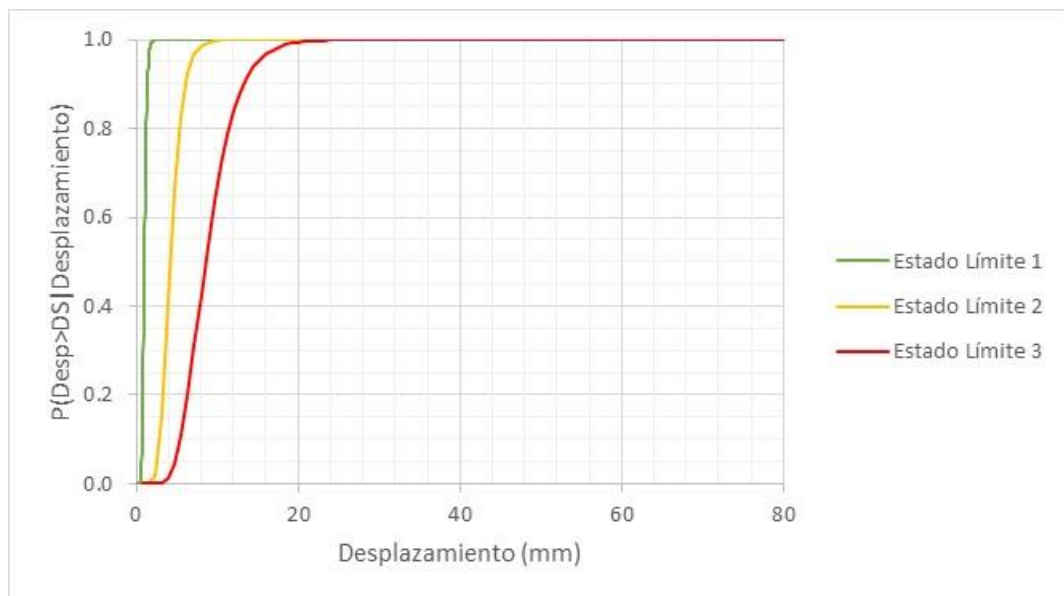
# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ )	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	4.5833	1.5224	0.2549	0.06496
2	2.9167	1.0704	-0.1971	0.03885
3	4.0833	1.4069	0.1394	0.01942
4	2.9167	1.0704	-0.1971	0.03885
		5.0702		0.16209

$\theta$	3.5522
$\beta_r$	0.2324
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.3414

13. Después se obtiene las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites de los muros MDL-12, 22, 23, y 24.



**Figura 4.12** Curva de fragilidad de MDL-CCA6 (Deriva)



**Figura 4.13** Curva de fragilidad de MDL-CCA6 (Desplazamiento)



**INTERPRETACIÓN:**

- En la figura 4.12, para un nivel de deriva de 5/1000 existe una probabilidad de que el 100% de los muros hayan superado el estado de daño 1 y 2, y el 83% de los muros se encuentren en el nivel de daño 3.
- En la figura 4.12 se puede observar que existe un 50% de probabilidad de que existan grietas diagonales en forma de “X” en la superficie del muro (estado de daño 2 o estado límite 2) para un nivel de deriva de 1.9/1000 o un desplazamiento de 4 mm para el caso de la figura 4.13.

**4.3.7 CURVAS DE FRAGILIDAD MDL – CCA7****Estado de daño 1 o estado límite 1****Tabla 4.21.** *Estado de daño 1 MDL-CCA7*

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (‰)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	0.6250	-0.4700	0.0000	0.00000
		-0.4700		0.00000

$\theta$	0.6250
$\beta_r$	0.0000
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2500

### Estado de daño 2 o estado límite 2

**Tabla 4.22.** Estado de daño 2 MDL-CCA7

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (%)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	2.0833	0.7340	0.0000	0.00000
		0.7340		0.00000

$\theta$	2.0833
$\beta_r$	0.0000
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2500

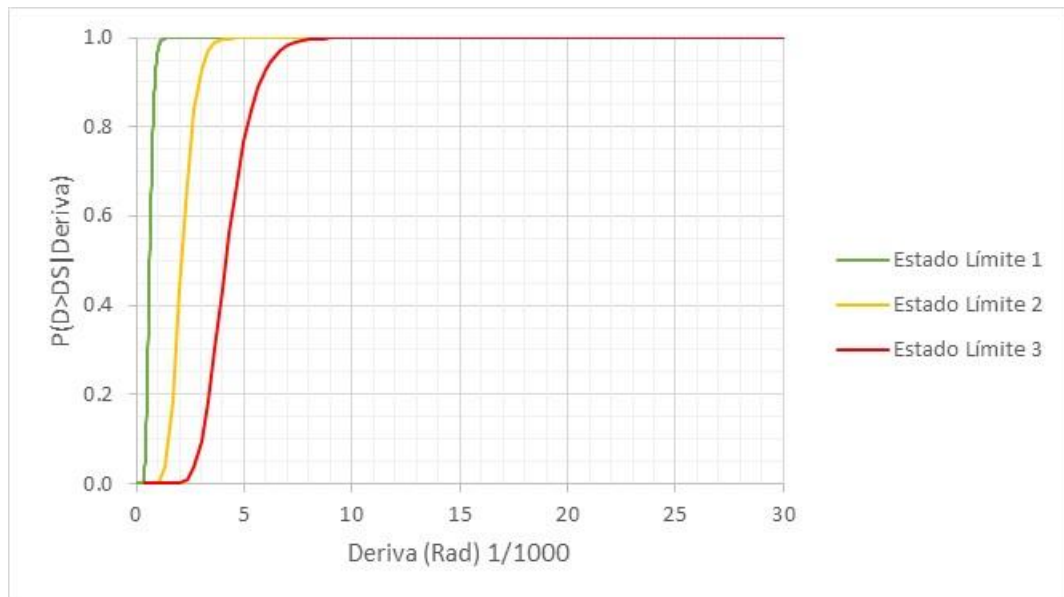
### Estado de daño 3 o estado límite 3

**Tabla 4.23.** Estado de daño 3 MDL-CCA7

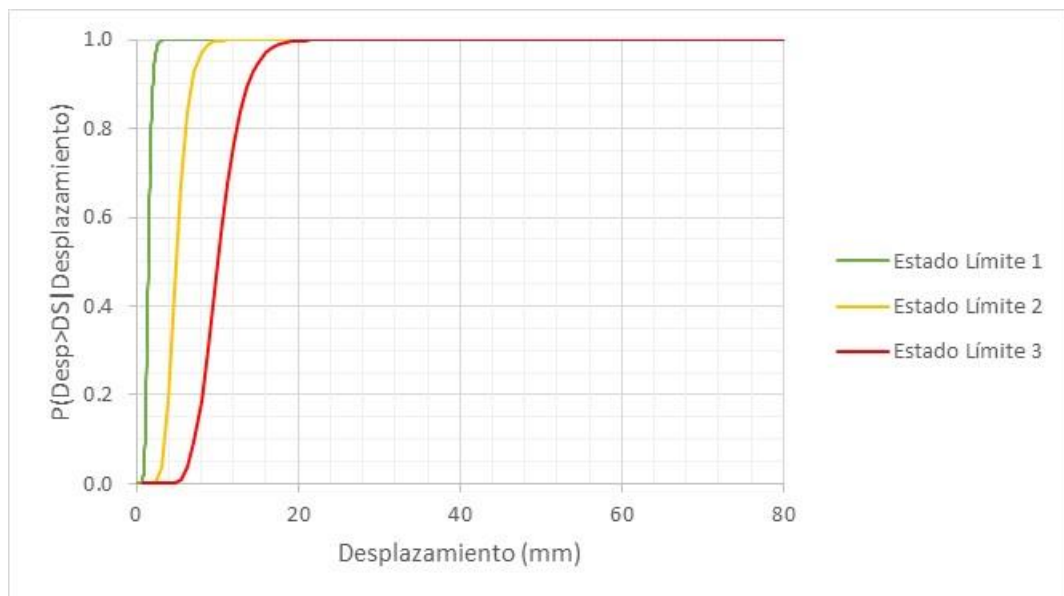
# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ )	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	4.1667	1.4271	0.0000	0.00000
		1.4271		0.00000

$\theta$	4.1667
$\beta_r$	0.0000
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2500

14. Seguidamente se tiene las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites del muro MDL-15.



**Figura 4.14** Curva de fragilidad de MDL-CCA7 (Deriva)



**Figura 4.15** Curva de fragilidad de MDL-CCA7 (Desplazamiento)

**INTERPRETACIÓN:**

- En la figura 4.14, para un nivel de deriva de 5/1000 existe una probabilidad de que el 100% de los muros hayan superado el estado de daño 1 y 2, y el 75% de los muros se encuentren en el nivel de daño 3
- Para estos muros, en la figura 4.14 se puede observar que existe un 50% de probabilidad de que existan grietas diagonales en forma de “X” en la superficie del muro (estado de daño 2 o estado límite 2) para un nivel de deriva de 2.2/1000 o un desplazamiento de 5mm para el caso de la figura 4.15.

**4.3.8 CURVAS DE FRAGILIDAD MDL – CCA8****Estado de daño 1 o estado límite 1****Tabla 4.24.** *Estado de daño 1 MDL-CCA8*

# de Ensayo	Demanda (di) (‰)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi)^2
1	0.4167	-0.8755	0.0744	0.00553
2	0.3333	-1.0986	-0.1488	0.02213
3	0.4167	-0.8755	0.0744	0.00553
		-2.8495		0.03320

θ	0.3868
β <sub>r</sub>	0.1288
β <sub>u</sub>	0.2500
β	0.2812

### Estado de daño 2 o estado límite 2

**Tabla 4.25.** Estado de daño 2 MDL-CCA8

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (%)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	1.2500	0.2231	-0.3406	0.11597
2	2.0833	0.7340	0.1703	0.02899
3	2.0833	0.7340	0.1703	0.02899
		1.6911		0.17396

$\theta$	1.7572
$\beta_r$	0.2949
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.3866

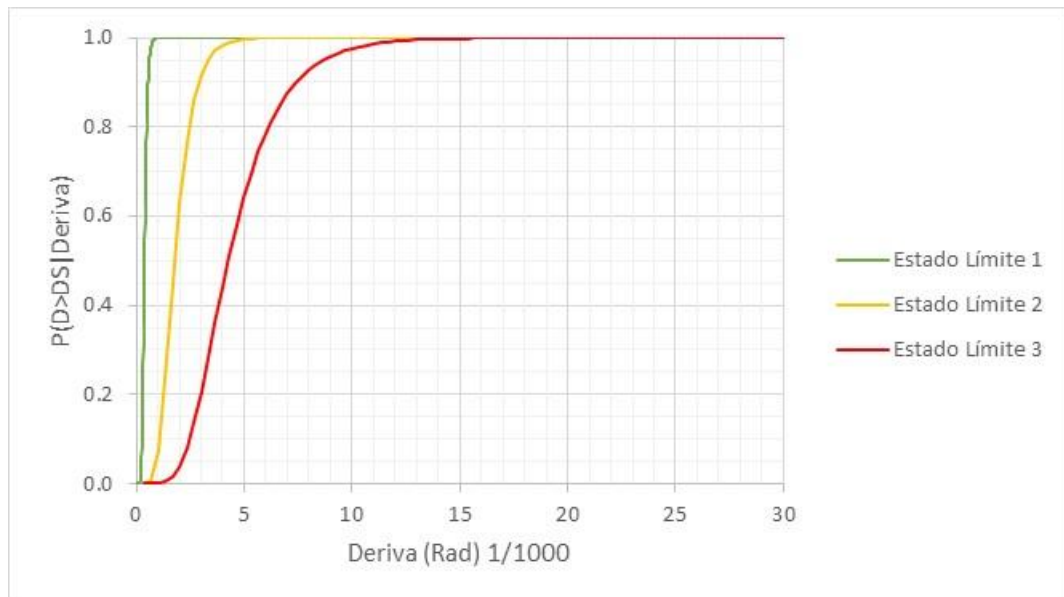
### Estado de daño 3 o estado límite 3

**Tabla 4.26.** Estado de daño 3 MDL-CCA8

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ )	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	2.9167	1.0704	-0.3817	0.14570
2	4.5833	1.5224	0.0703	0.00494
3	5.8333	1.7636	0.3114	0.09699
		4.3565		0.24763

$\theta$	4.2723
$\beta_r$	0.3519
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.4316

15. Ahora, se tiene las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites de los muros MDL-17, 18, y 19.



**Figura 4.16** Curva de fragilidad de MDL-CCA8 (Deriva)



**Figura 4.17** Curva de fragilidad de MDL-CCA8 (Desplazamiento)

### INTERPRETACIÓN:

- En la figura 4.16, para un nivel de deriva de 5/1000 existe una probabilidad de que el 100% de los muros hayan superado el estado de daño 1 y 2, y el 65% de los muros se encuentren en el nivel de daño 3.
- En la figura 4.16 se puede observar que existe un 50% de probabilidad de que existan grietas diagonales en forma de “X” en la superficie del muro (estado de daño 2 o estado límite 2) para un nivel de deriva de 2/1000 o un desplazamiento de 4 mm para el caso de la figura 4.17.

### 4.3.9 CURVAS DE FRAGILIDAD MDL – CCA9

#### Estado de daño 1 o estado límite 1

**Tabla 4.27.** Estado de daño 1 MDL-CCA9

# de Ensayo	Demanda ( $d_i$ ) (‰)	$\ln(d_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)$	$\ln(d_i/\theta_i)^2$
1	0.4167	-0.8755	0.0000	0.00000
2	0.4167	-0.8755	0.0000	0.00000
		-1.7509		0.00000

$\theta$	0.4167
$\beta_r$	0.0000
$\beta_u$	0.2500
$\beta$	0.2500

### Estado de daño 2 o estado límite 2

**Tabla 4.28.** Estado de daño 2 MDL-CCA9

# de Ensayo	Demanda (di) (‰)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi) <sup>2</sup>
1	1.6667	0.5108	-0.0912	0.00831
2	2.0000	0.6931	0.0912	0.00831
		1.2040		0.01662

θ	1.8257
β <sub>r</sub>	0.1289
β <sub>u</sub>	0.2500
β	0.2813

### Estado de daño 3 o estado límite 3

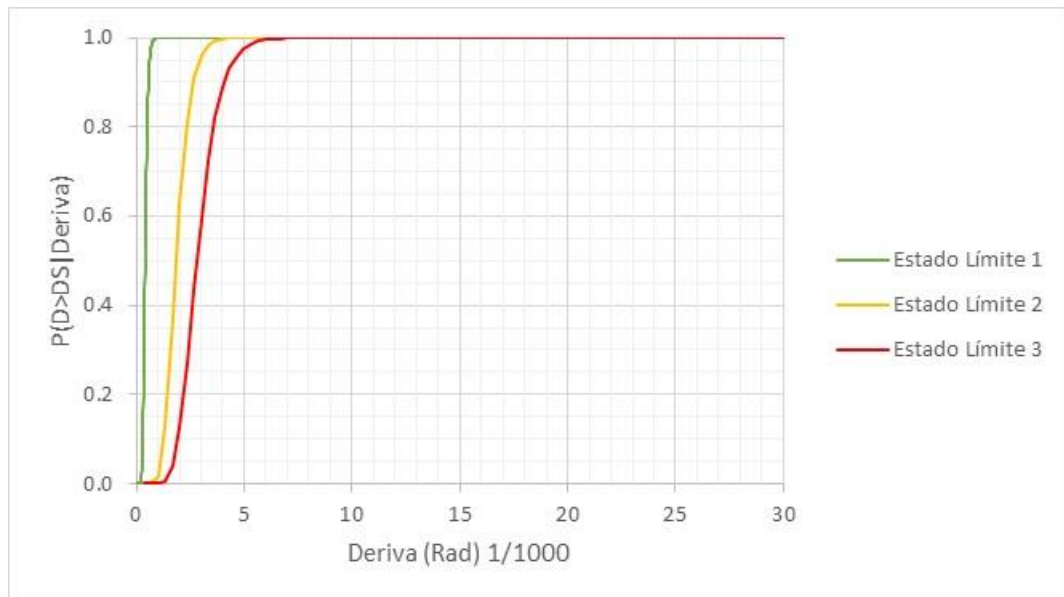
**Tabla 4.29.** Estado de daño 3 MDL-CCA9

# de Ensayo	Demanda (di)	ln(di)	ln(di/θi)	ln(di/θi) <sup>2</sup>
1	2.5000	0.9163	-0.1116	0.01245
2	3.1250	1.1394	0.1116	0.01245
		2.0557		0.02490

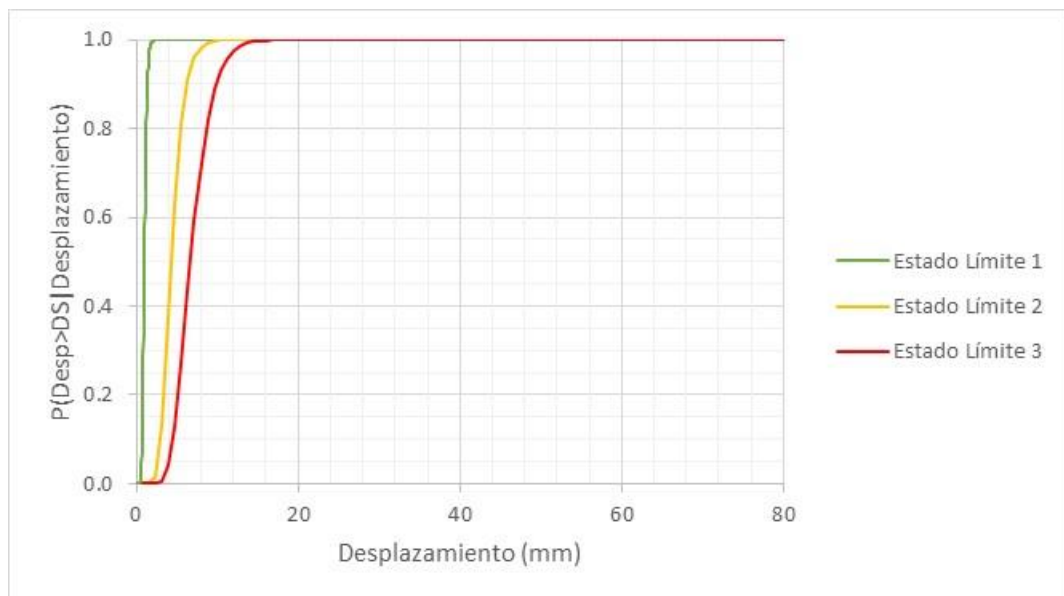
θ	2.7951
β <sub>r</sub>	0.1578
β <sub>u</sub>	0.2500
β	0.2956

16. Seguidamente se tiene las curvas de fragilidad para los tres estados de daños o estados límites de los muros MDL-20 y 21.





**Figura 4.18** Curva de fragilidad de MDL-CCA9 (Deriva)



**Figura 4.19** Curva de fragilidad de MDL-CCA9 (Desplazamiento)

**INTERPRETACIÓN:**

- La figura 4.18, muestra que para un nivel de deriva de 5/1000 existe una probabilidad de que el 100% de los muros hayan superado el estado de daño 1 y 2, y el 95% de los muros se encuentren en el nivel de daño 3.
- En la figura 4.18 se puede observar que existe un 50% de probabilidad de que existan grietas diagonales en forma de “X” en la superficie del muro (estado de daño 2 o estado límite 2) para un nivel de deriva de 2/1000 o un desplazamiento de 4mm para el caso de la figura 4.19.

De los resultados mostrados, podemos elaborar una tabla referencial del parámetro  $\theta$ , para los diferentes estados de daños:

**Tabla 4.30.** *Parámetro  $\theta$ , para diferentes estados de daños de los muros analizados*

Código	Especimen	Nro. de ensayo	$\theta$		
			Estado de daño 1	Estado de daño 2	Estado de daño 3
MDL-CCA1	MDL-03	1			
	MDL-04	2	0.7571	5.802	13.3037
	MDL-05	3			
MDL-CCA2	MDL-06	1			
	MDL-07	2	0.9539	4.9884	16.3142
	MDL-08	3			
MDL-CCA3	MDL-09	1	0.8333	8.3333	16.6667
MDL-CCA4	MDL-10	1			
	MDL-14	2	0.3227	1.0897	2.1985
MDL-CCA5	MDL-11	1	0.4167	1.6667	2.9167

MDL- CCA6	MDL-12	1	0.4167	1.7796	3.5522
	MDL-22	2			
	MDL-23	3			
	MDL-24	4			
MDL- CCA7	MDL-15	1	0.625	2.0833	4.1667
MDL- CCA8	MDL-17	1	0.3868	1.7572	4.2723
	MDL-18	2			
	MDL-19	3			
MDL- CCA9	MDL-20	1	0.4167	1.8257	2.7951
	MDL-21	2			

De la tabla 4.30, se puede observar que la relación  $\theta$  vs el estado de daño tienen una relación directa, a mayor valor de  $\theta$ , mayor es el rango de deriva y desplazamiento para cada estado de daño.

Finalmente, debemos mencionar que no se pudo realizar una comparación con el trabajo realizado por la PUCP, debido a que el único espécimen del CISMID con malla de acero de 3/8" era el espécimen MDL-09, pero estaba sometido a una carga axial de 19 Tn.

**Tabla 4.31.** *Parámetro  $\theta$ , para Muro de ductilidad limitada con malla de acero de 3/8"*

Entidad	Código	Nomenclatura de especímenes ensayados	Descripción	$\theta$		
				Estado de daño 1	Estado de daño 2	Estado de daño 3
PUCP	MDL-R- SCA	MDL 01 R	Muro de ductilidad limitada reparado con carga lateral y sin carga axial.	0.4639	9.8372	16.6581
		MDL 02 R				
		MDL 03 R				

PUCP	MDL-SCA	MDL 04	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y sin carga axial.	0.2264	9.7781	12.7012
		MDL 05				
		MDL 06				
PUCP	MDL-CCA	MDL 07	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 30 Tn.	0.3424	9.8351	12.7299
		MDL 08				
		MDL 09				
CISMID	MDL-CCA3	MDL 09	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 19 Tn.	0.8333	8.3333	16.6667

#### 4.4 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

En cuanto a las hipótesis específicas:

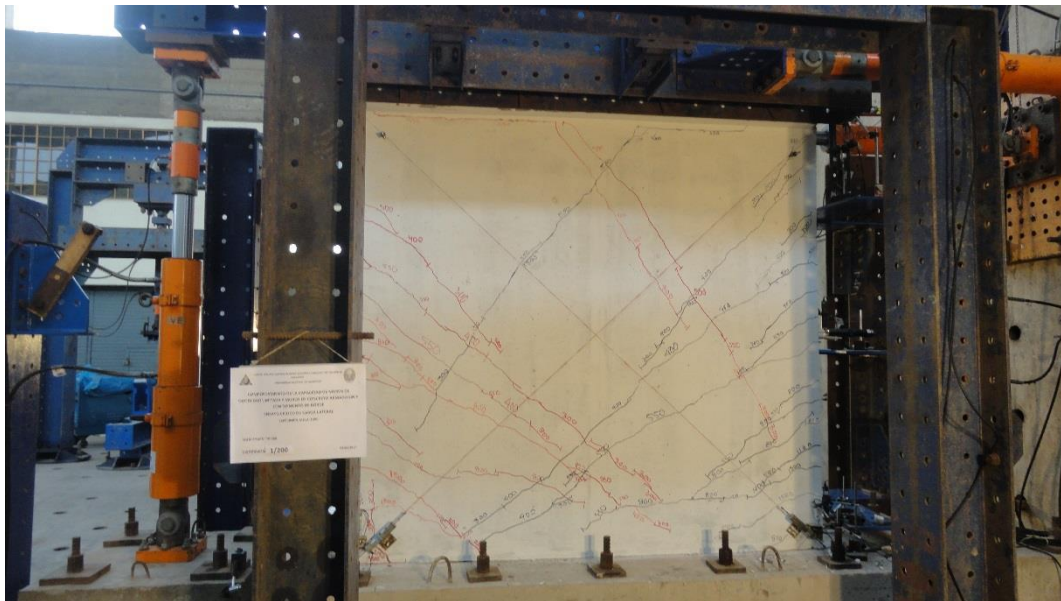
**Como hipótesis específica 1, se había planteado:**

**“El comportamiento estructural de los muros de ductilidad, es limitada ante sismos debido a la resistencia, el espesor y malla de acero que le dan gran rigidez pero poca ductilidad a los muros, probado en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI.”.**

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

- Según el estudio “Comportamiento sísmico de edificios con muros delgados de hormigón. Aplicación a zonas de alta sismicidad en el Perú” (Gonzales, 2010, p.236). Se concluye que los edificios con muros delgados de hormigón armado proyectados con la versión anterior del código sísmico peruano [E.030, 2003], podrían presentar un comportamiento inadecuado; por otra parte, la consideración de la última versión del código [E.030, 2006], podría ser insuficiente.
  
- Actualmente, la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), indica que el límite para la distorsión de un edificio de concreto armado con muros de ductilidad limitada es 0.005 y con este sistema se puede construir como máximo 8 pisos; sin embargo, estos edificios tienen características muy especiales, por lo que existe discrepancia entre los especialistas en relación a su diseño y construcción. Así, por ejemplo en base a los resultados de los ensayos cíclicos realizados en el CISMID, el Dr. Carlos Zavala (Jefe del laboratorio de estructuras del CISMID-UNI) sugiere que sólo se debe trabajar con una distorsión máxima de 4/1000 o 0.004, así mismo se debe limitar el número de pisos a 4.
  
- En uno de los últimos ensayos realizados por el CISMID en el mes de febrero del 2017, en el cual tuve la oportunidad de estar presente, se pudo observar que la falla en la base se presenta para una distorsión de 5/1000 o 0.005, así como la rotura de la malla. Asimismo revisando los antecedentes del

proyecto desde que se iniciaron los ensayos en el año 1998 a la fecha se han realizado mejoras en nuestras normas, por lo que debe seguir investigando y realizar los cambios respectivos.



**Foto 4.5** Vista de daños de un muro de ductilidad limitada para una distorsión de 0.005

**Como hipótesis específica 2, se había planteado:**

**“Los umbrales de desplazamiento se obtienen de la respuesta histerética de los muros y mediante estos gráficos se pueden obtener resultados máximos de carga vs desplazamiento para cada estado de daño”.**

- Hoy en día existen grandes avances en la predicción del comportamiento sísmico de diferentes elementos estructurales; sin embargo, existen muchos tipos de construcciones por estudiar, en los que los modelos numéricos no proporcionan datos cercanos a la realidad debido a la falta de modelos calibrados con ensayos experimentales.
- Uno de los ensayos que se realiza con el propósito de conocer el comportamiento de un muro frente a cargas cíclicas que simula la acción de un sismo es el ensayo estático cíclico.
- En el laboratorio de estructuras del CISMID, para realizar este ensayo se debe emplear un pórtico de acero o pórtico de reacción que rodea al espécimen, un sistema de aplicación de carga conformado por gatas hidráulicas, un sistema de medición conformado por celdas de carga y LVDTs, como se ve en la figura 4.20.

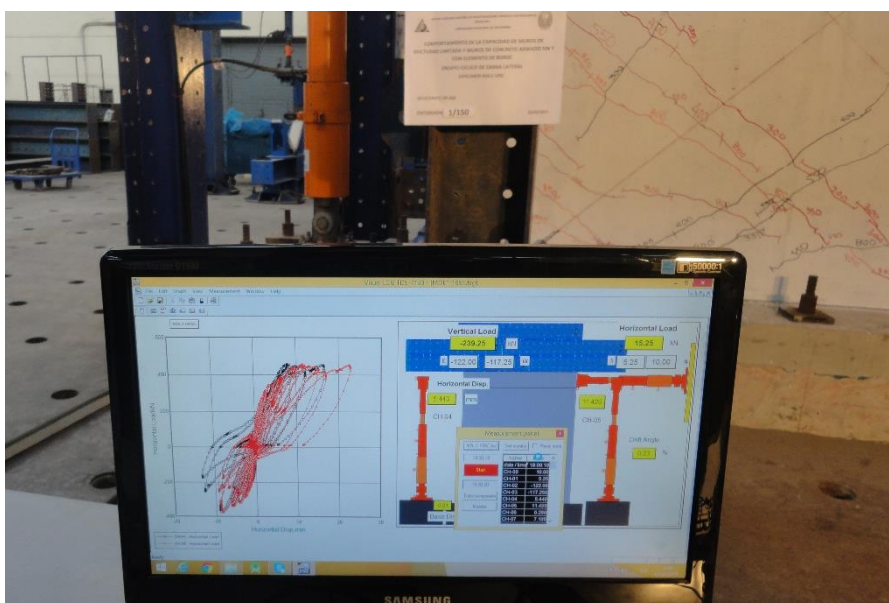


**Figura 4.20** Vista en planta del aparato de carga

Fuente: Ensayo a carga cíclica de tres muros a escala natural, diciembre 2016,

CISMID

- Se aplican desplazamientos laterales controlados sobre el espécimen muro, siguiendo las recomendaciones FEMA-461 "Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Non Structural Components" y mediante un programa de cómputo se determina la respuesta del espécimen representada por lazos histeréticos como se ve en la foto 4.6.

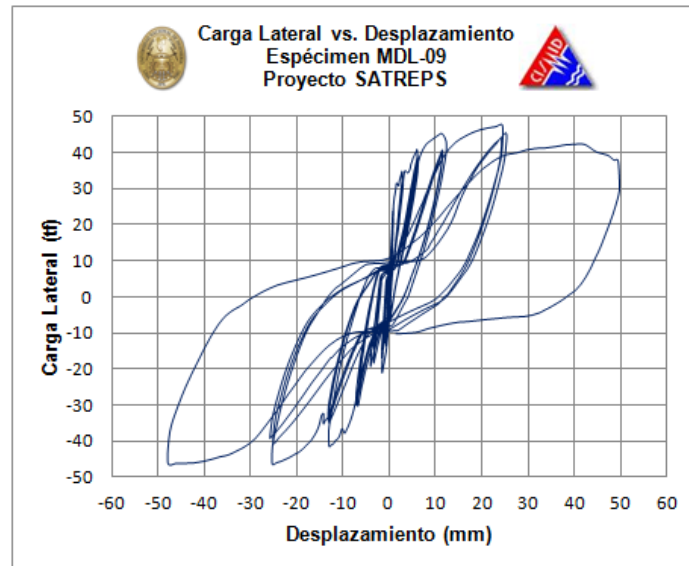


**Foto 4.6** Vista de programa de cómputo que registra el comportamiento de un muro de ductilidad limitada durante un ensayo estático cíclico.

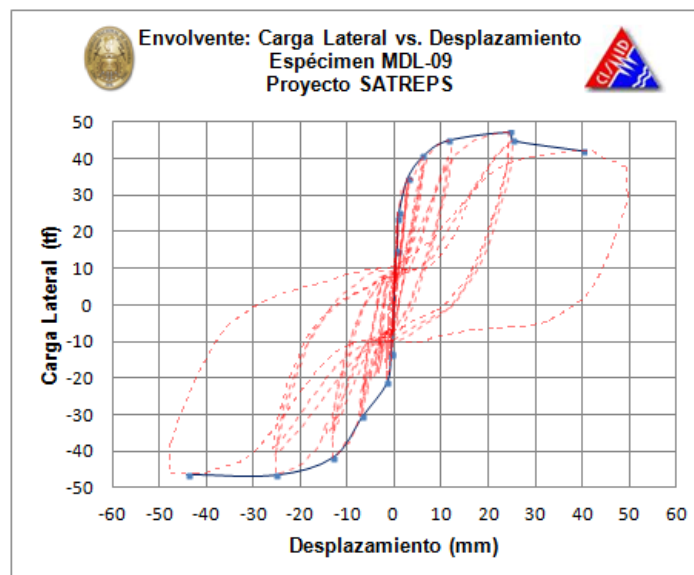
- Como ejemplo se muestra los resultados de un muro de ductilidad limitada con malla formada por varillas de acero corrugado de 3/8" de diámetro espaciadas cada 25 cm. Este espécimen corresponde al MDL – 09. La figura 4.21 muestra la relación entre la carga aplicada y el desplazamiento (curva de



histéresis). La figura 4.22 muestra la envolvente de la carga y el desplazamiento (curva de capacidad).



**Figura 4.21** Lazos histéricos MDL-09



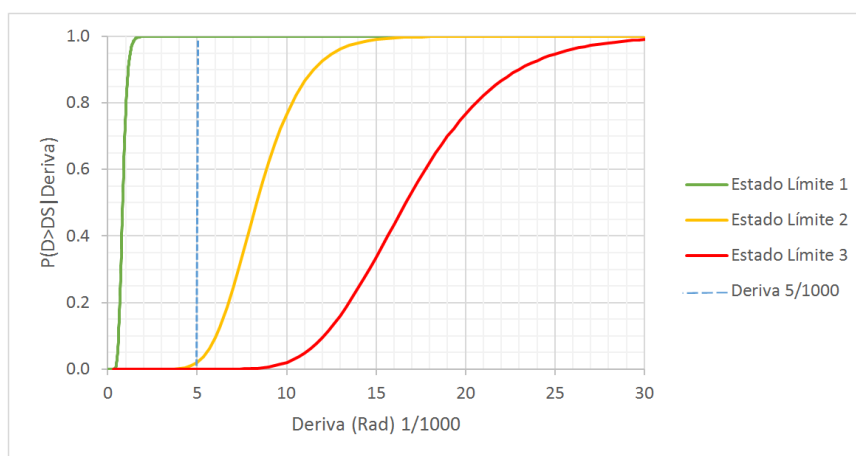
**Figura 4.22** Curva de capacidad MDL-09

Con respecto a la Hipótesis específica 3

**“Es posible establecer valores de distorsiones permisibles para diferentes estados de daños en muros de ductilidad limitada mediante la elaboración de curvas de fragilidad, que representan una herramienta adecuada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica”.**

- El Perú es un país sísmico, y las construcciones existentes son muy vulnerables, no sólo por la variedad de materiales que utilizamos durante la construcción de los edificios; sino también, por la informalidad durante el proceso constructivo.
- Como lo habíamos mencionado en el capítulo 2, el autor Porter, indica que la vulnerabilidad no es fragilidad. La vulnerabilidad mide la pérdida, la fragilidad mide la probabilidad.
- En ese sentido, para llevar a cabo diferentes estudios de vulnerabilidad y estimar las posibles pérdidas económicas en muros de ductilidad limitada y cualquier otro sistema estructural, es necesario primero estimar el daño que pudiera experimentar el elemento estructural ante un posible evento sísmico. Es por ello que las funciones de fragilidad o curvas de fragilidad son una herramienta muy útil para estimar la vulnerabilidad sísmica de un edificio.

- Así por ejemplo se puede comparar los valores de distorsión permisible indicados en norma técnica de edificaciones E.030, en donde para edificios de muros de ductilidad limitada la distorsión permisible es de 0.005, pero si comparamos con el Muro MDL-CCA3, para una deriva de 5/1000, en la figura 4.23, la probabilidad de que se inicie el estado de daño 1 es del 100% y para que se inicie el estado de daño 2 es del 2%.



**Figura 4.23** Relación deriva 5/1000 y estado de daño de MDL-CCA3

**Finalmente, como hipótesis general se había planteado:**

**“Para llevar a cabo estudios de vulnerabilidad de edificios de muros de ductilidad limitada, es necesario tener información del daño estructural que pudiera experimentar ante un escenario sísmico. Para tal fin, las curvas de fragilidad de muros de ductilidad limitada (EDML) de 10 cm de espesor, en base a ensayos experimentales realizados en el laboratorio de**

**Estructuras del CISMID-UNI, en el periodo 2011-2015, son una herramienta muy útil y componente clave para futuros estudios de vulnerabilidad sísmica.**

- La evaluación del riesgo sísmico podría realizarse utilizando funciones de fragilidad. La fragilidad de las viviendas está relacionada con la vulnerabilidad sísmica y puede ser cuantificada por las curvas de fragilidad. Estas herramientas son importantes ya que los resultados obtenidos se utilizan para tomar decisiones con el fin de mitigar los daños generados por los terremotos (Suarez, 2015, p.5).
- Las curvas de fragilidad se elaboran para edificios o componentes estructurales y no estructurales de un edificio. En el Fema P-58, las curvas de fragilidad se denominan funciones de fragilidad para el caso de un componente estructural y no estructural, mientras que cuando se analiza un edificio generalmente lo denominan curvas de vulnerabilidad.
- Es necesario aclarar que en este estudio se ha elaborado curvas de fragilidad para Muros de Ductilidad Limitada (MDL), no para un Edificio de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL), sin embargo, estas curvas son una herramienta para calibrar valores de distorsión permisible en EMDL y pueden emplearse en la estimación de pérdidas económicas.

- Las figuras 4.02 a 4.19 presentadas en este trabajo serán de mucha utilidad para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en Edificios de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL), no obstante es necesario complementar los estudios con la elaboración de curvas de consecuencia y curvas de vulnerabilidad.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones en base a los objetivos específicos y general son:

##### **Primera conclusión**

En el anexo 01 se muestra las curvas histeréticas y curvas de capacidad de 20 muros ensayados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI. Los muros son de concreto con una resistencia de 175Kg/cm<sup>2</sup>, de 10 cm de espesor y malla de acero que varía de 2.8 mm de diámetro a 3/8", asimismo la carga axial varia de 8.6Tn a 19Tn. De los resultados se puede observar que el muro de ductilidad limitada MDL - 05 tuvo una mayor resistencia que el resto de los demás muros. Su curva promedio llega a una resistencia de 41tn y un desplazamiento máximo de 50 mm. El muro de ductilidad limitada MDL-17 tuvo una menor resistencia llegando a una resistencia máxima de 10tn y un desplazamiento máximo de 7 mm.

## Segunda conclusión

En la tabla 5.1 se muestra las derivas asociadas a la formación de la primera fisura por flexión, a la primera grieta diagonal y a la falla del muro. Para una distorsión de 5/1000 los muros MDL-03, MDL-05, MDL-08 y MDL-09 presentan grieta diagonal por corte.

**Tabla 5.1.** *Derivas según estado de daño*

Código	Espécimen	Distorsión (‰)		
		Grieta por flexión	Grieta diagonal	Falla de muro
MDL-CCA1	MDL-03	0.8333	6.2500	12.9167
	MDL-04	0.6250	5.0000	8.7500
	MDL-05	0.8333	6.2500	20.8333
MDL-CCA2	MDL-06	1.2500	4.5833	14.5833
	MDL-07	0.8333	5.0000	20.4167
	MDL-08	0.8333	5.4167	14.5833
MDL-CCA3	MDL-09	0.8333	8.3333	16.6667
MDL-CCA4	MDL-10	0.2083	0.7500	2.0000
	MDL-14	0.5000	1.5833	2.4167
MDL-CCA5	MDL-11	0.4167	1.6667	2.9167
MDL-CCA6	MDL-12	0.4167	1.6667	4.5833
	MDL-22	0.4167	1.6667	2.9167
	MDL-23	0.4167	2.1667	4.0833
	MDL-24	0.4167	1.6667	2.9167
MDL-CCA7	MDL-15	0.6250	2.0833	4.1667
MDL-CCA8	MDL-17	0.4167	1.2500	2.9167
	MDL-18	0.3333	2.0833	4.5833
	MDL-19	0.4167	2.0833	5.8333
MDL-CCA9	MDL-20	0.4167	1.6667	2.5000
	MDL-21	0.4167	2.0000	3.1250

### **Tercera conclusión**

De las curvas de fragilidad se puede observar que la probabilidad de exceder el 50% del estado de daño 2 (límite permisible por la norma) es: 13mm para el MDL-CCA1, 16mm para el MDL-CCA2, 20mm para el MDL-CCA3, 2mm para el MDL-CCA4, 4mm para el MDL-CCA5, 4mm para el MDL-CCA6, 5mm para el MDL-CCA7, 4mm para el MDL-CCA8, y 4mm para el MDL-CCA9.

### **Cuarta conclusión**

Finalmente, se concluye que las curvas de fragilidad de componentes estructurales y no estructurales son una herramienta muy útil para establecer valores de distorsión permisibles para diferentes estados de daños. El estudio presentado contribuye con información para posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de muros de ductilidad limitada.

### **Quinta conclusión adicional**

La realización de este estudio, contribuye con información para la elaboración de proyectos de las ciudades del Perú. Para minimizar el riesgo sísmico en las Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada se debe limitar la deriva máxima a 0.004, el número de pisos debe limitarse a 4. Asimismo, el área de acero en los muros debe ser de 3/8" como mínimo.



## **5.2 RECOMENDACIONES**

### **Primera recomendación**

Se recomienda que el estado u otras entidades en el Perú realicen más investigaciones experimentales de los diferentes componentes estructurales de un edificio de muros de ductilidad limitada como son: muros, losas y vigas a fin de obtener curvas histeréticas y curvas de capacidad.

### **Segunda recomendación**

En base a los ensayos realizados en el CISMID-UNI, y a los resultados de otras investigaciones en Edificios de Muros de Ductilidad Limitada, se recomienda a los encargados de elaborar nuestras normativas revisar los límites permisibles de distorsión, ya que para un estado de daño 2 muchos de los muros ensayados sobrepasan los límites de reparabilidad indicado en la NTE E.030.

### **Tercera recomendación**

A los encargados de elaborar nuestras normativas se recomienda establecer límites de distorsión o desplazamiento lateral asociados a

varios estados de daño, para posteriores estudios de desempeño sísmico.

#### **Cuarta recomendación**

A SENCICO y otros investigadores, se recomienda continuar con estudios de elaboración de curvas de fragilidad en edificios o curvas de vulnerabilidad para estimar las pérdidas materiales en especial en edificios con losas de transferencia.

#### **Quinta recomendación adicional**

A las autoridades se recomienda proponer de una manera más completa los criterios técnicos de futuros proyectos de Edificios de Muros de Ductilidad Limitada y formular estrategias de rehabilitación de los edificios existente.

## BIBLIOGRAFÍA

Acero, J. (2016) “*Servicios de ensayos estructurales para determinar el comportamiento sísmico de muros de ductilidad limitada*”. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Almeida, F. (2015) “*Análisis experimental de muros delgados de hormigón armado para viviendas de baja altura*”. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile.

Blanco, A. (2004). “*Los edificios de muros muy delgados de concreto y las nuevas normas para su diseño*”. Lima, Perú. Recuperado de [http://www.institutoconstruir.org/centrocivil/concreto%20armado/Edificios\\_de\\_muros\\_delgados\\_de\\_concreto.pdf](http://www.institutoconstruir.org/centrocivil/concreto%20armado/Edificios_de_muros_delgados_de_concreto.pdf)

**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>**

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/>

Delgado, R y Peña, C. (2006) “*Edificios peruanos con muros de concreto de ductilidad limitada*”. Tesis para optar el título profesional de ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

FEMA P-58. (2012). “*Seismic Performance Assessment of building*”. Washington, D.C.

Gonzales, H. (2010) “*Comportamiento sísmico de edificios con muros delgados de hormigón. Aplicación a zonas de alta sismicidad de Perú*”. Universidad Politécnica de Catalunya. España. Recuperado de <file:///C:/Users/EPIC/Downloads/THFGF1de1.pdf>

Medina, G. (2005). “*Estudio del comportamiento experimental a escala natural de muros y módulo de concreto reforzados con malla electrosoldada*”. Bach. tesis, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Marte, C. (2014). “*Calibración de umbrales de daño sísmico para el análisis de fragilidad sísmica de estructuras de hormigón armado mediante análisis*

*estático no lineal (Push-Over)*". Tesis final de master de ingeniería estructural y de la construcción. Universidad Politécnica de Catalunya. España.

Porter, K. (2016) "*A Beginner's Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk*". University of Colorado Boulder and SPA Risk LLC. Denver CO, USA.

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.

Tavera, H. y Bernal, I. (2002). "*Geodinámica, Sismicidad y Energía sísmica en el Perú*". Monografía, Instituto Geofísico 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.

**ANEXO 1**

**ENSAYOS DE CARGA LATERAL CÍCLICA EN MUROS DE DUCTILIDAD  
LIMITADA**

**FUENTE: <http://www.cismid-uni.org/wallx/>**

## ESPÉCIMEN MDL – 03

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 2.65 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada QE188 ( $\phi$  6.0mm @ 0.15m). Además, se añadió 3 varillas de 1/2" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 19 toneladas para representar la acción de cinco pisos. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

### CARACTERÍSTICAS

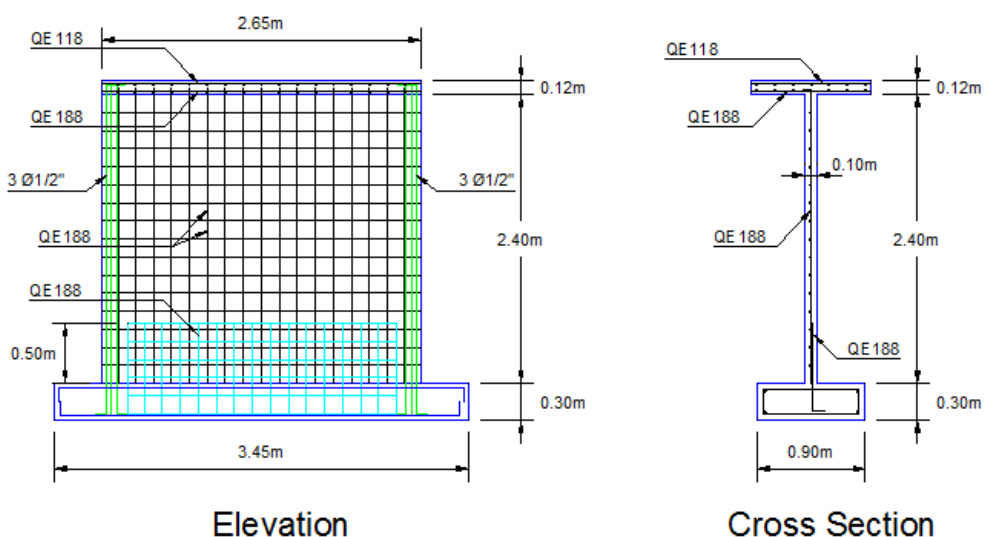
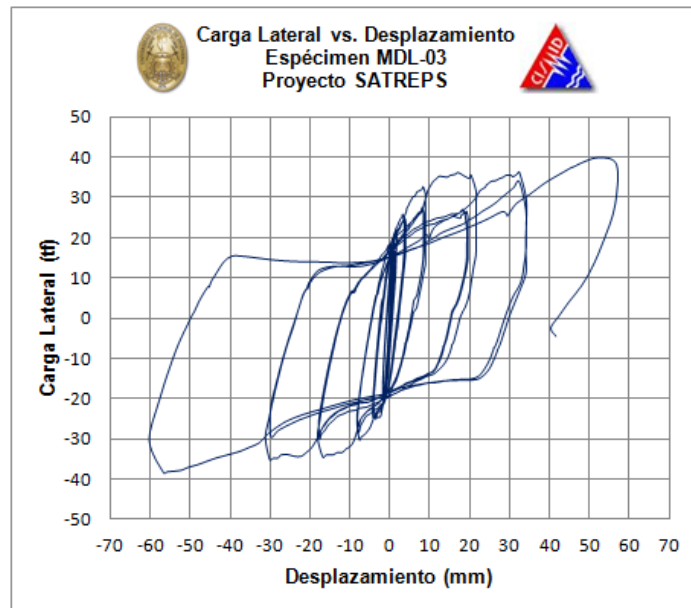


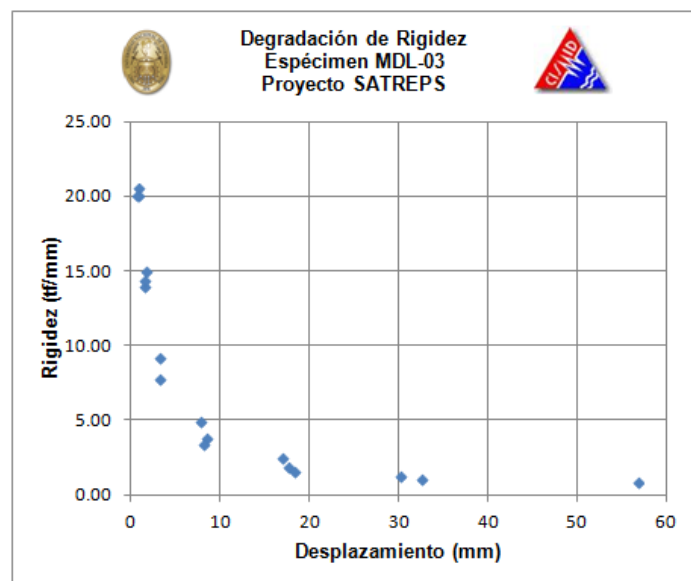
Figura A1.01 Dimensiones del muro MDL-03



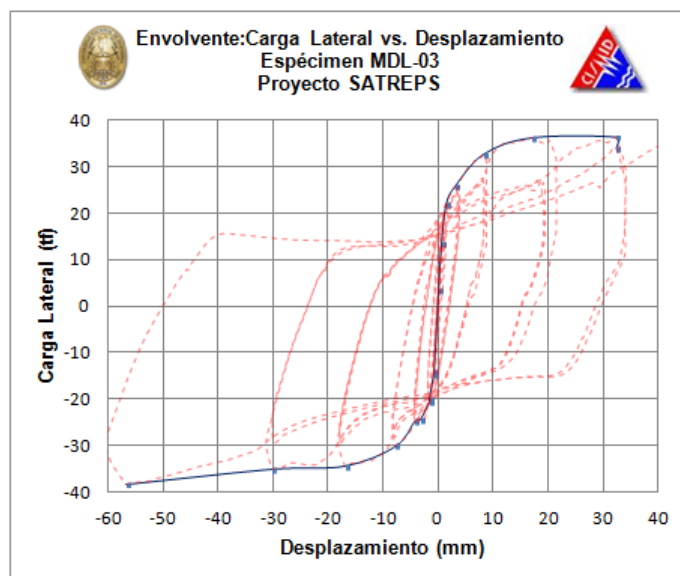
## RESULTADOS



**Figura A1.02** Lazos histéricos MDL-03



**Figura A1.03** Degradación de la rigidez MDL-03



**Figura A1.04** Curva de capacidad MDL-03

## ESPÉCIMEN MDL – 04

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 2.65 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada QE188 ( $\phi$  6.0mm @ 0.15m). Además, se añadió 3 varillas de 1/2" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 19 toneladas para representar la acción de cinco pisos. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

## CARACTERÍSTICAS

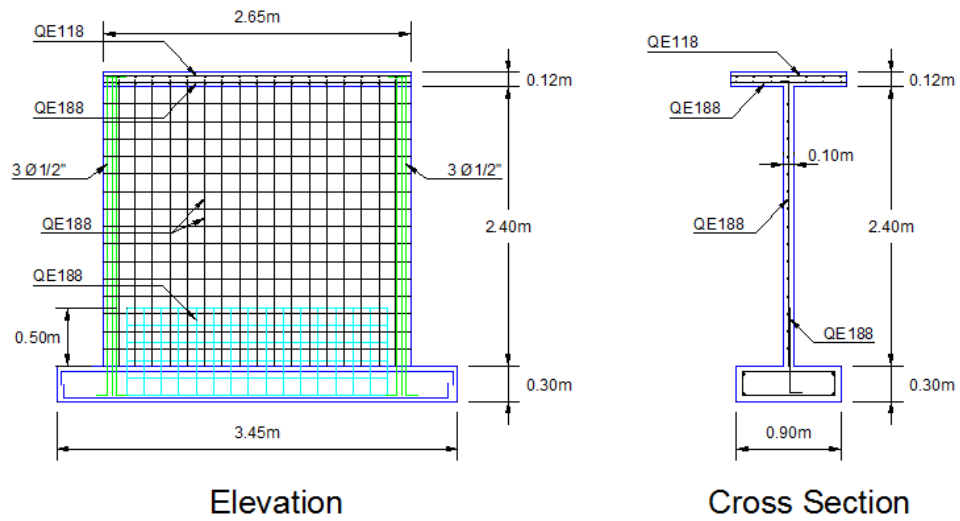


Figura A1.05 Dimensiones del muro MDL-04

## RESULTADOS

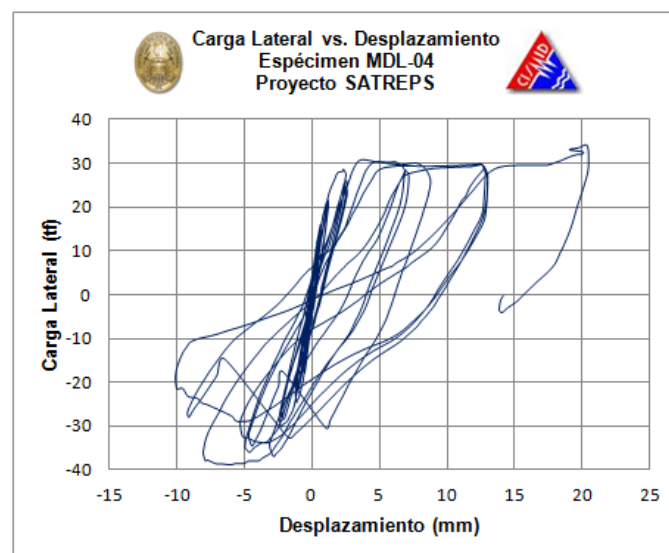


Figura A1.06 Lazos histeréticos MDL-04

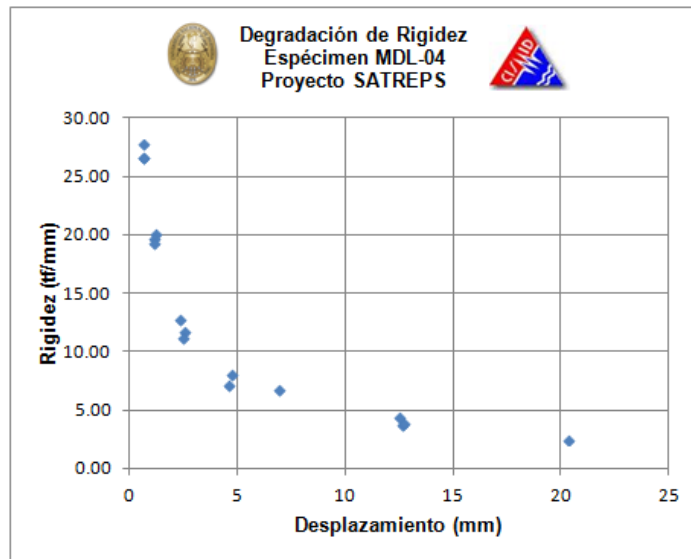


Figura A1.07 Degradación de la rigidez MDL-04

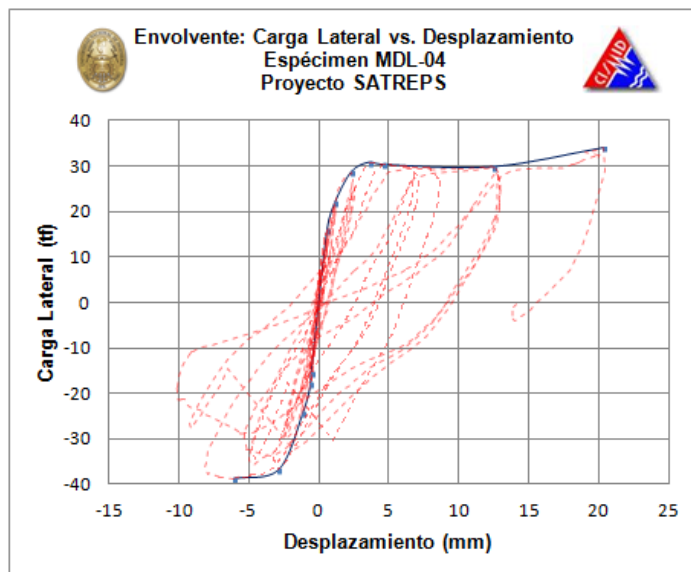


Figura A1.08 Curva de capacidad MDL-04

## ESPÉCIMEN MDL – 05

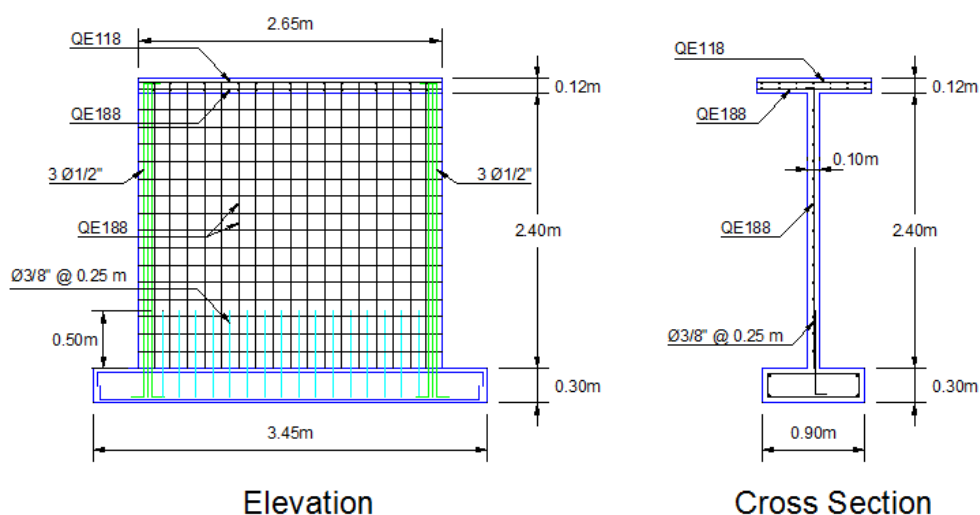
### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 2.65 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada QE188 ( $\phi$  6.0mm @ 0.15m). Además, se añadió 3 varillas de 1/2" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

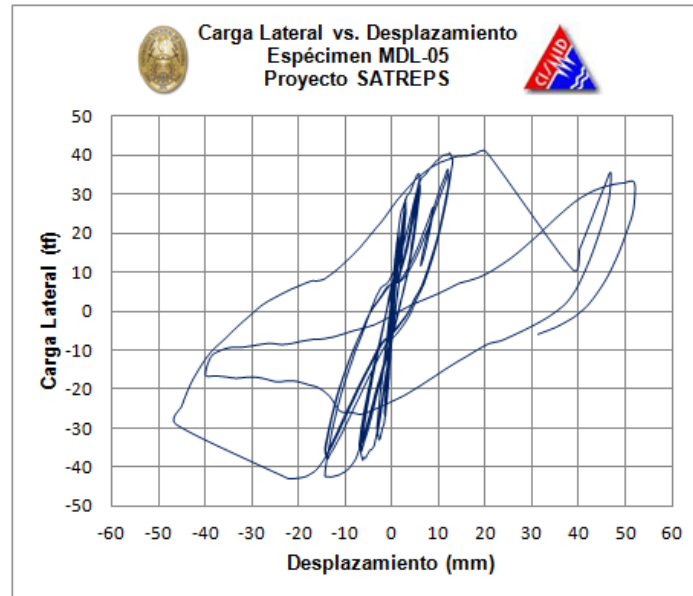
**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 19 toneladas para representar la acción de cinco pisos. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

### CARACTERÍSTICAS

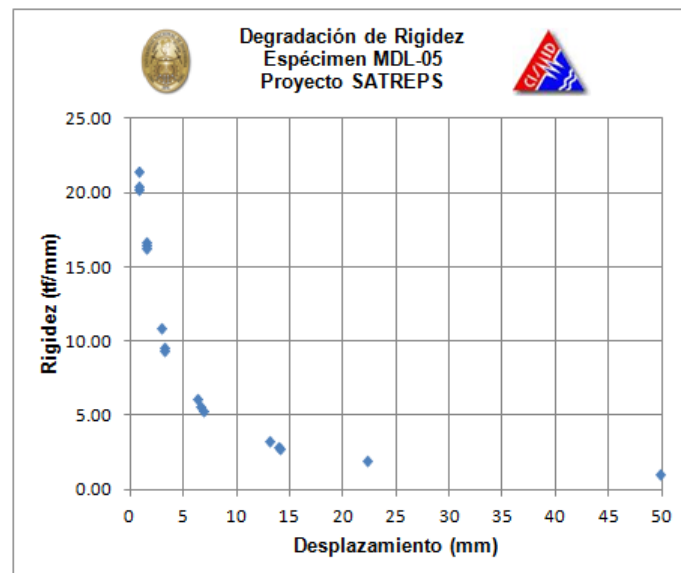


**Figura A1.09** Dimensiones del muro MDL-05

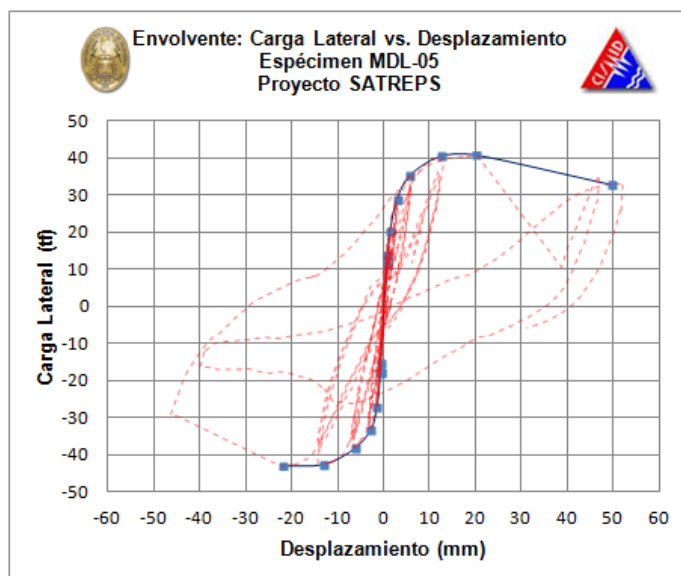
## RESULTADOS



**Figura A1.10** Lazos histeréticos MDL-05



**Figura A1.11** Degradación de la rigidez MDL-05



**Figura A1.12** Curva de capacidad MDL-05

## ESPÉCIMEN MDL – 06

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 2.65 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada QE257 ( $\phi$  7.0mm @ 0.15m). Además, se añadió 3 varillas de 1/2" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 19 toneladas para representar la acción de cinco pisos. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

## CARACTERÍSTICAS

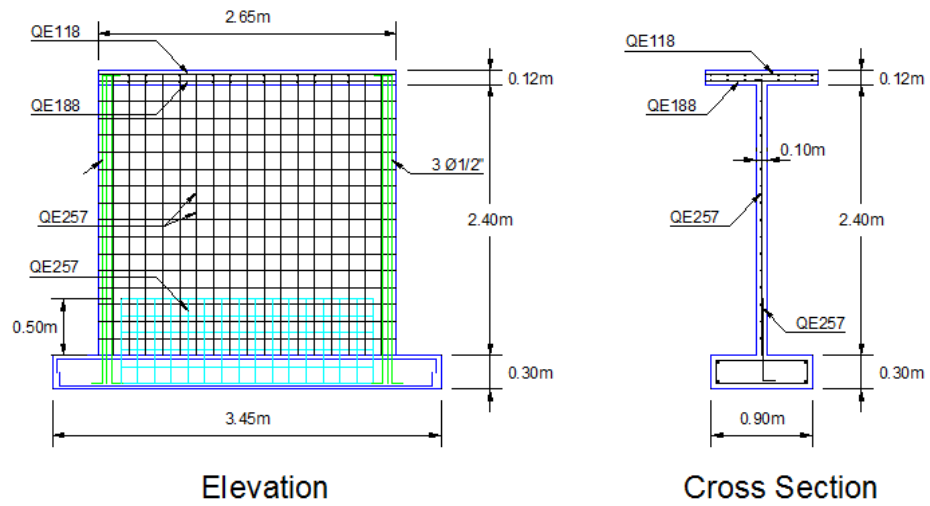


Figura A1.13 Dimensiones del muro MDL-06

## RESULTADOS

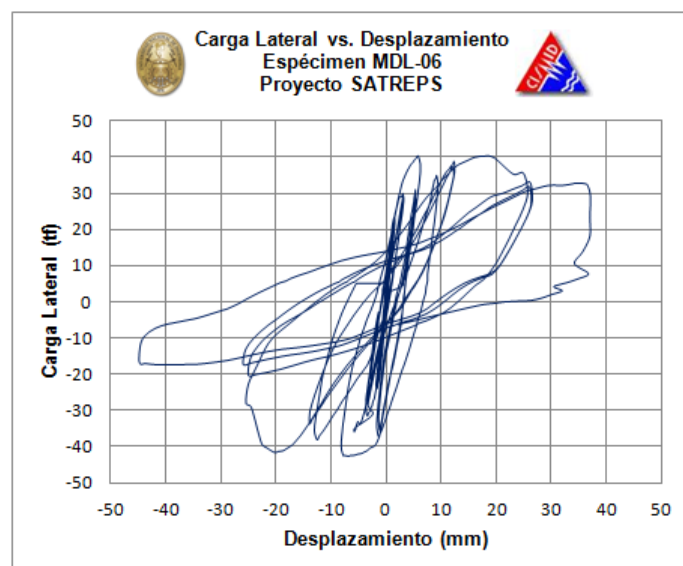
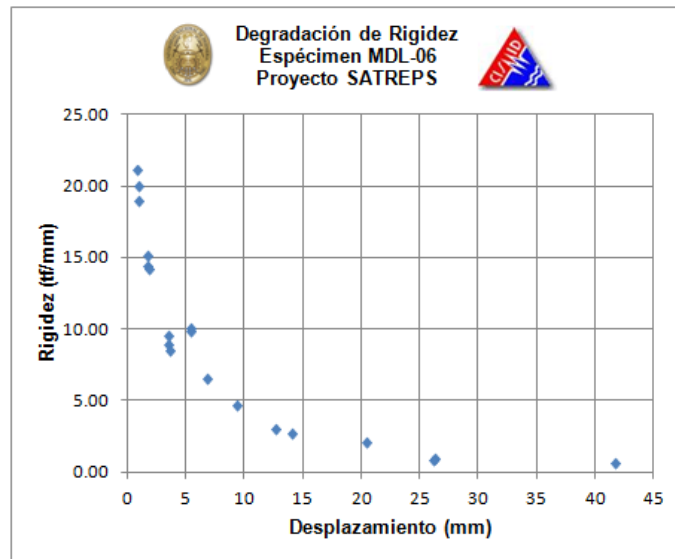
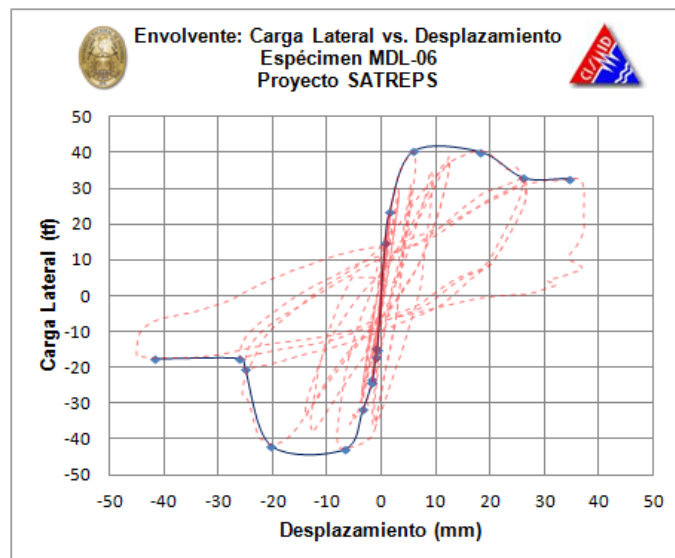


Figura A1.14 Lazos histeréticos MDL-06





**Figura A1.15** Degradación de la rigidez MDL-06



**Figura A1.16** Curva de capacidad MDL-06

## ESPÉCIMEN MDL – 07

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 2.65 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada QE257 ( $\phi$  7.0mm @ 0.15m). Además, se añadió 3 varillas de 1/2" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 19 toneladas para representar la acción de cinco pisos. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

### CARACTERÍSTICAS

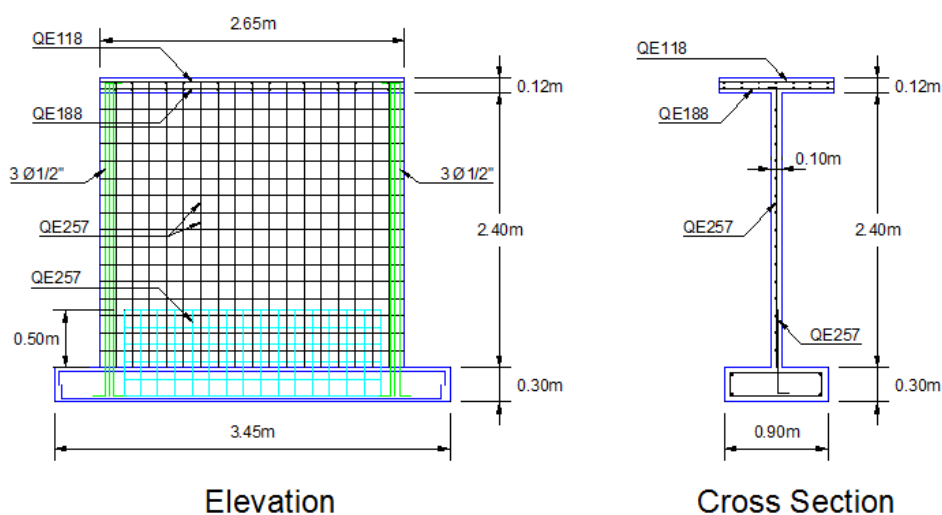
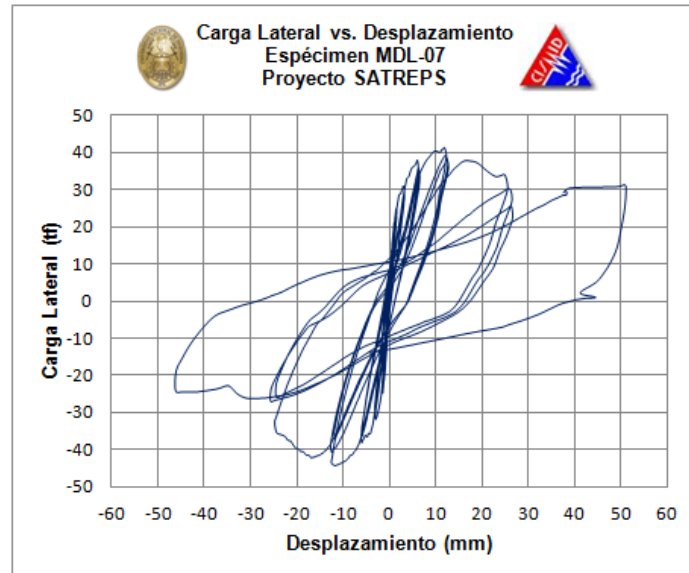
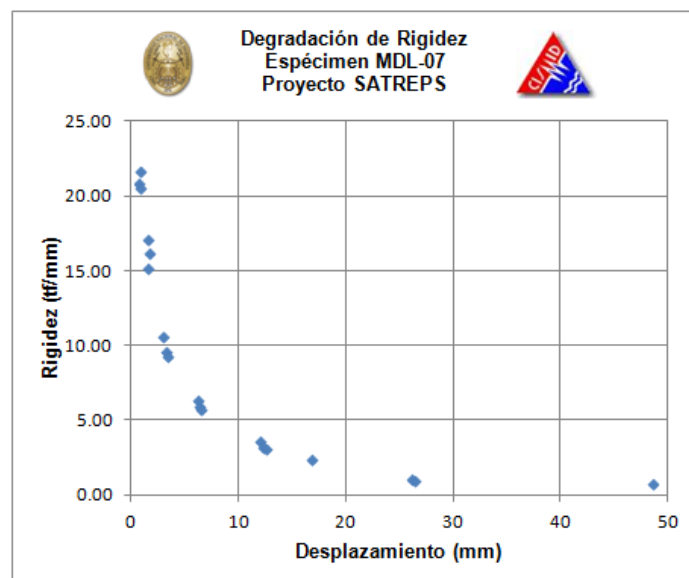
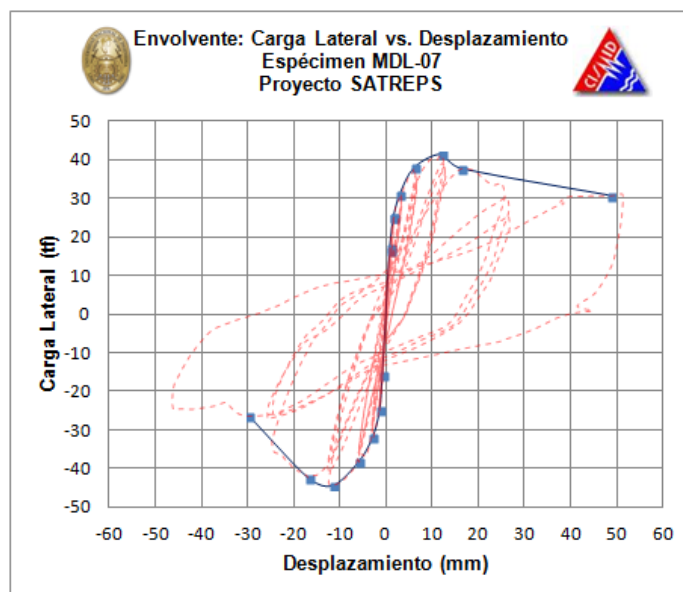


Figura A1.17 Dimensiones del muro MDL-07

**RESULTADOS****Figura A1.18** Lazos histeréticos MDL-07**Figura A1.19** Degradación de la rigidez MDL-07



**Figura A1.20** Curva de capacidad MDL-07

## ESPÉCIMEN MDL – 08

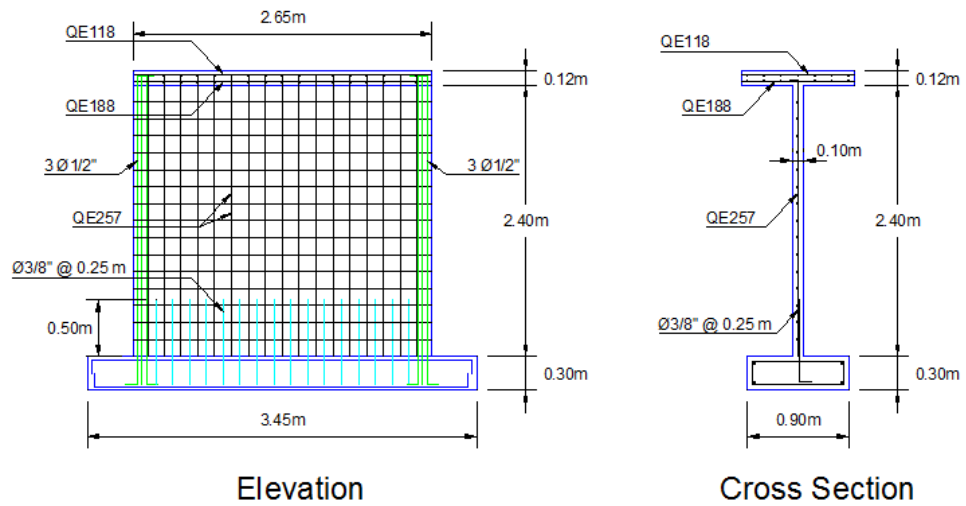
### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 2.65 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada QE257 ( $\phi$  7.0mm @ 0.15m). Además, se añadió 3 varillas de 1/2" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

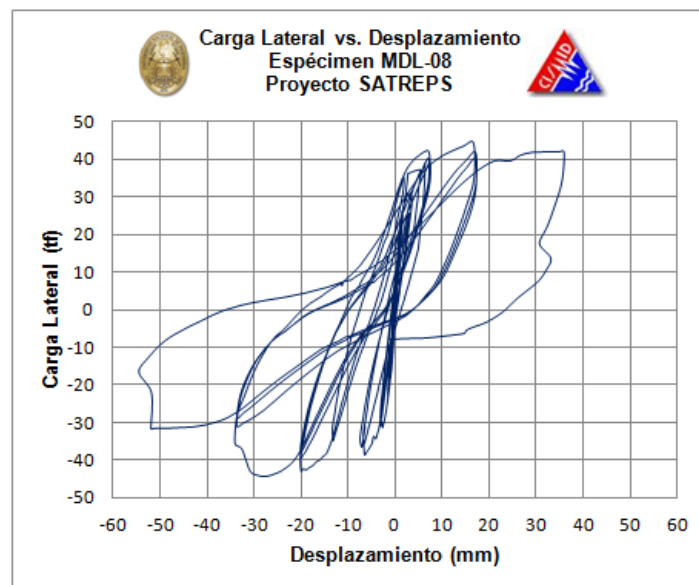
**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 19 toneladas para representar la acción de cinco pisos. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

## CARACTERÍSTICAS

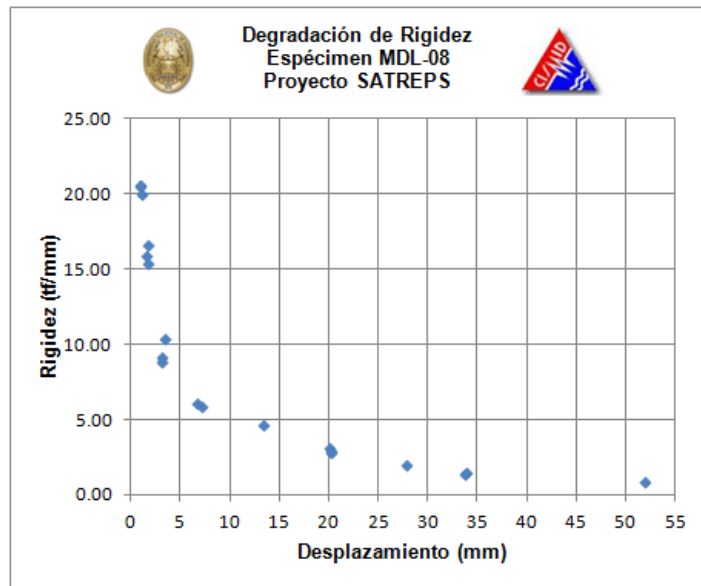


**Figura A1.21** Dimensiones del muro MDL-08

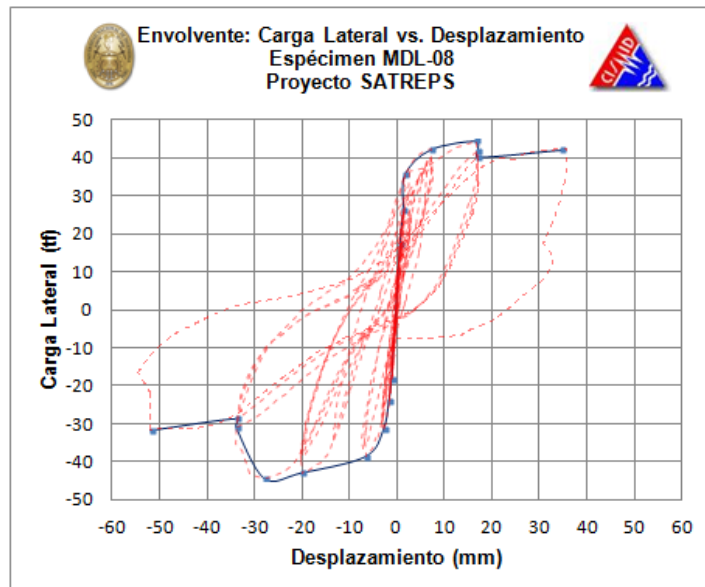
## RESULTADOS



**Figura A1.22** Lazos histeréticos MDL-08



**Figura A1.23** Degradación de la rigidez MDL-08



**Figura A1.24** Curva de capacidad MDL-08

## ESPÉCIMEN MDL – 09

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 2.65 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó una malla formada por varillas de acero corrugado de 3/8" de diámetro espaciadas cada 25 cm (en ambos sentidos). Además, se añadió 3 varillas de 1/2" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia del refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 19 toneladas para representar la acción de cinco pisos superiores. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

### CARACTERÍSTICAS

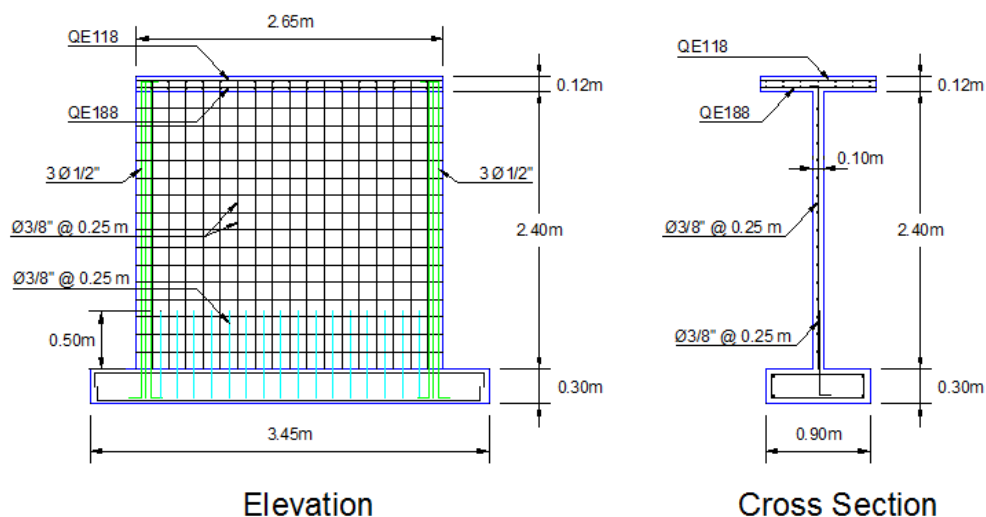


Figura A1.25 Dimensiones del muro MDL-09

## RESULTADOS

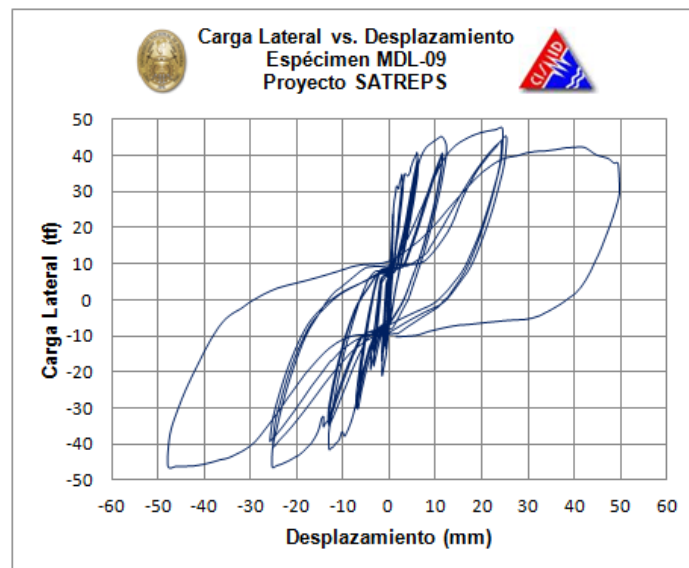


Figura A1.26 Lazos histeréticos MDL-09

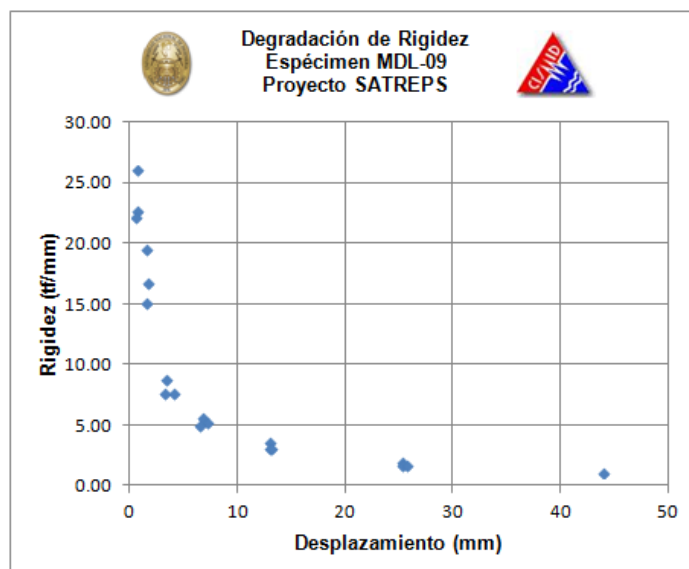
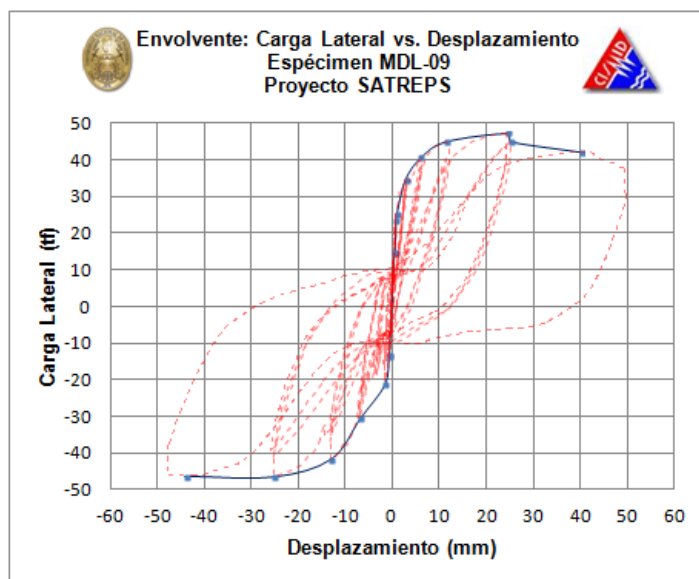


Figura A1.27 Degradación de la rigidez MDL-09





**Figura A1.28** Curva de capacidad MDL-09

## ESPÉCIMEN MDL – 10

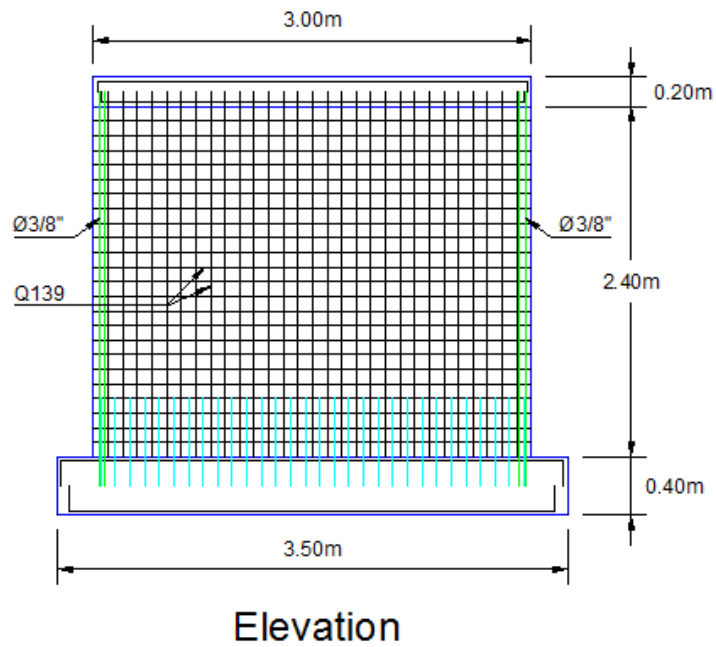
### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q139 ( $\phi$  4.2mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

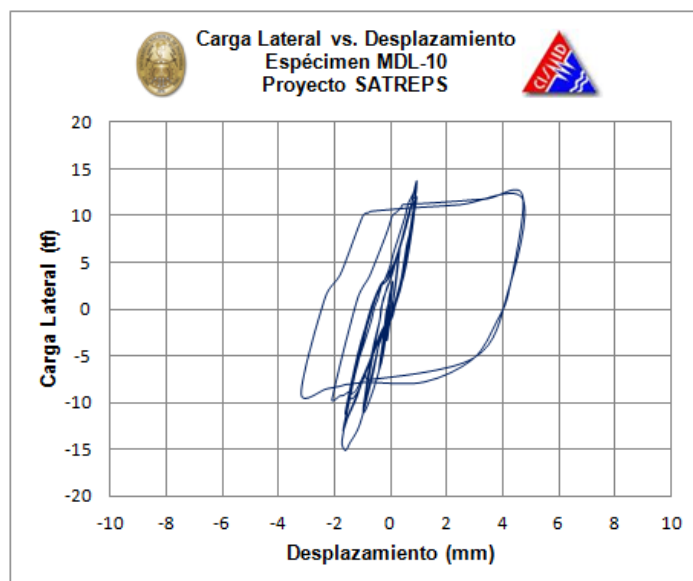
**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

## CARACTERÍSTICAS

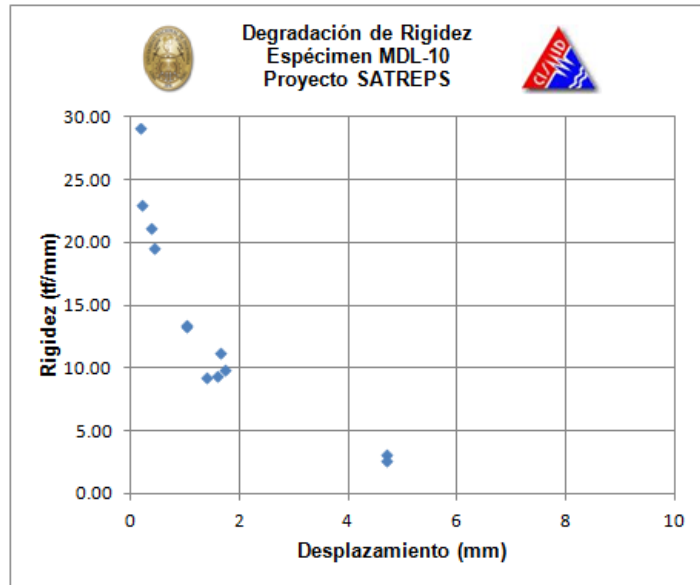


**Figura A1.29** Dimensiones del muro MDL-10

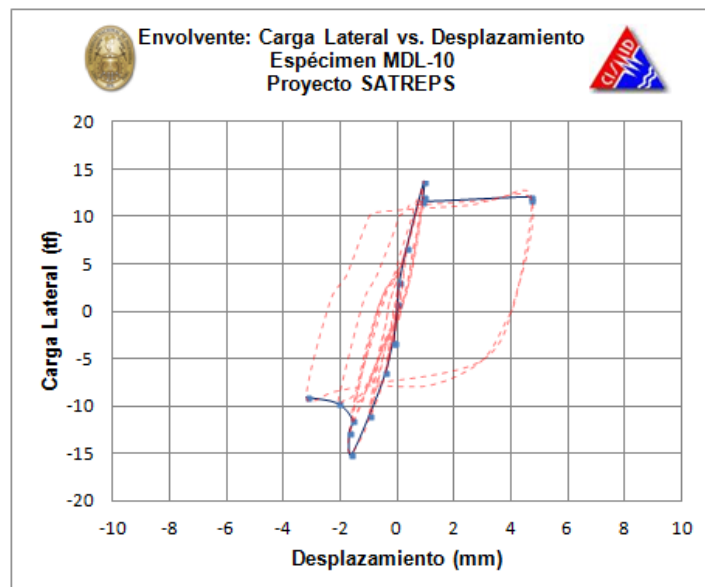
## RESULTADOS



**Figura A1.30** Lazos histeréticos MDL-10



**Figura A1.31** Degradación de la rigidez MDL-10



**Figura A1.32** Curva de capacidad MDL-10

## ESPÉCIMEN MDL – 11

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q91 ( $\phi$  3.4mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

### CARACTERÍSTICAS

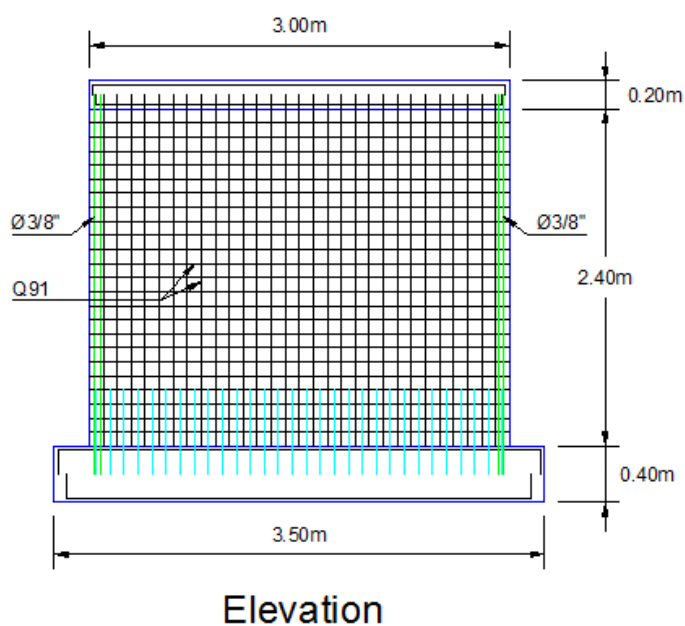
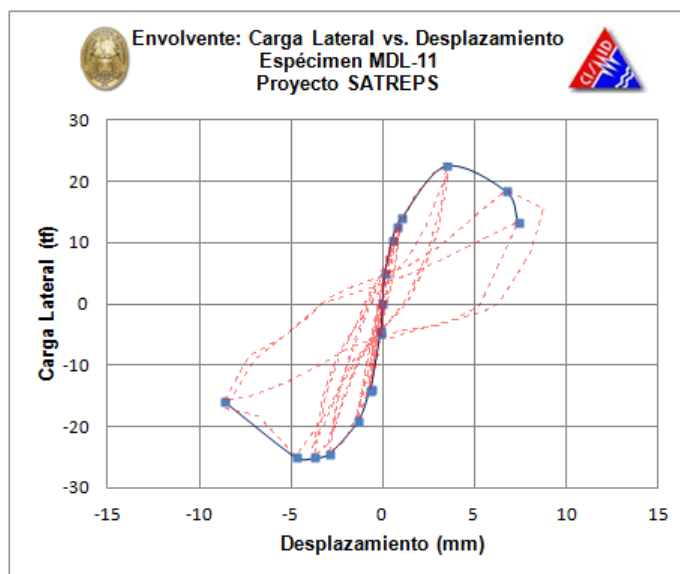


Figura A1.33 Dimensiones del muro MDL-11





**Figura A1.36** Curva de capacidad MDL-11

## ESPÉCIMEN MDL – 12

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi$  2.8mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

## CARACTERÍSTICAS

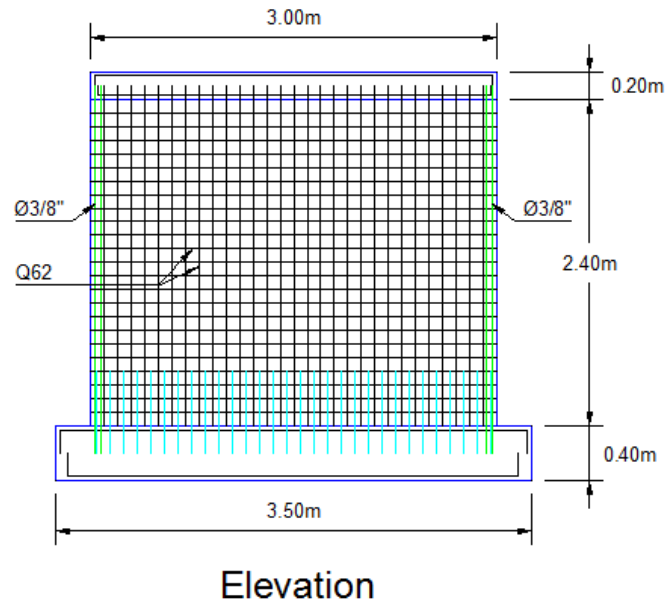


Figura A1.37 Dimensiones del muro MDL-12

## RESULTADOS

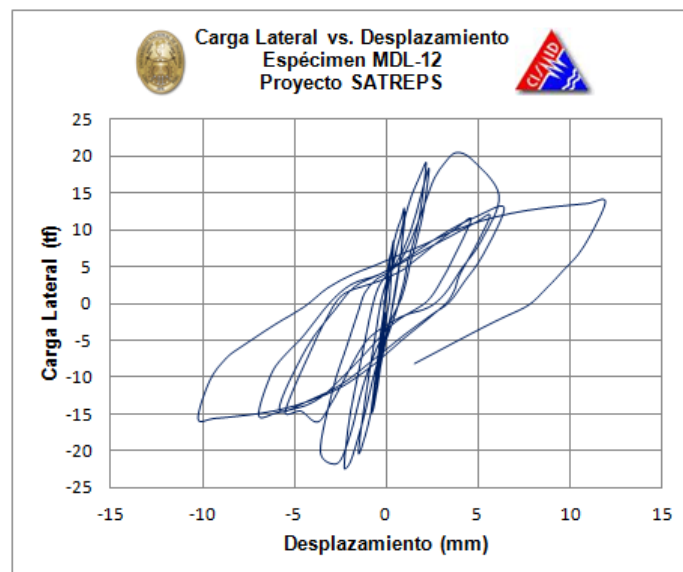


Figura A1.38 Lazos histeréticos MDL-12

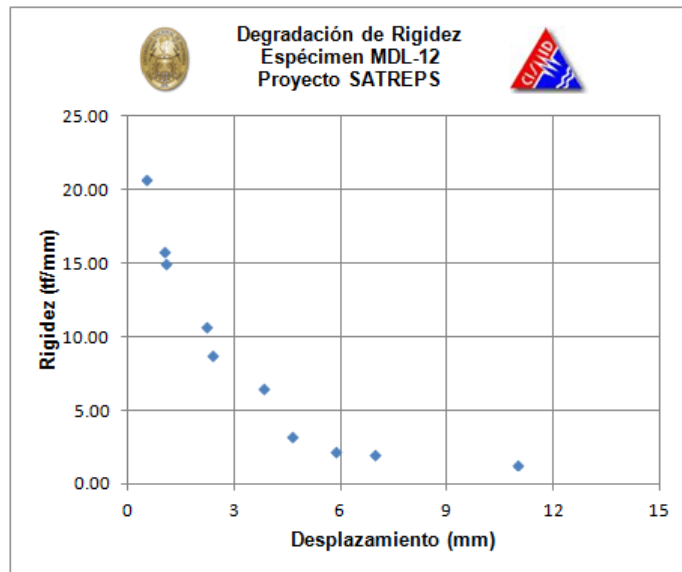


Figura A1.39 Degradación de la rigidez MDL-12

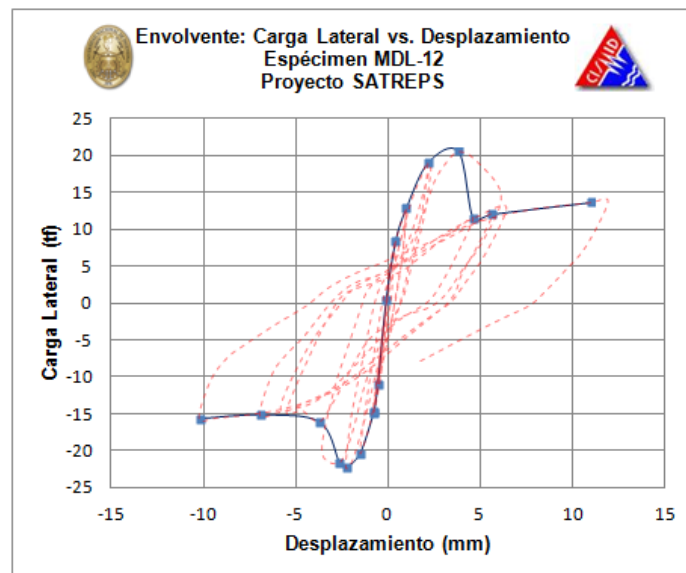


Figura A1.40 Curva de capacidad MDL-12



## ESPÉCIMEN MDL – 14

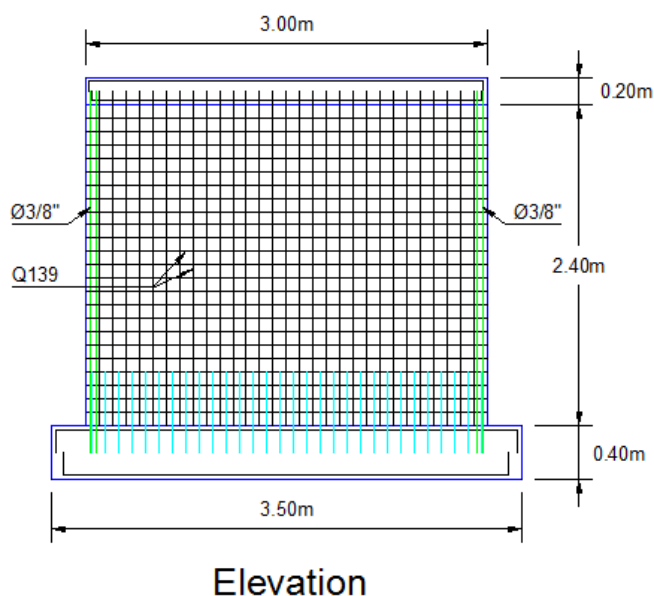
### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q139 ( $\phi$  4.2mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

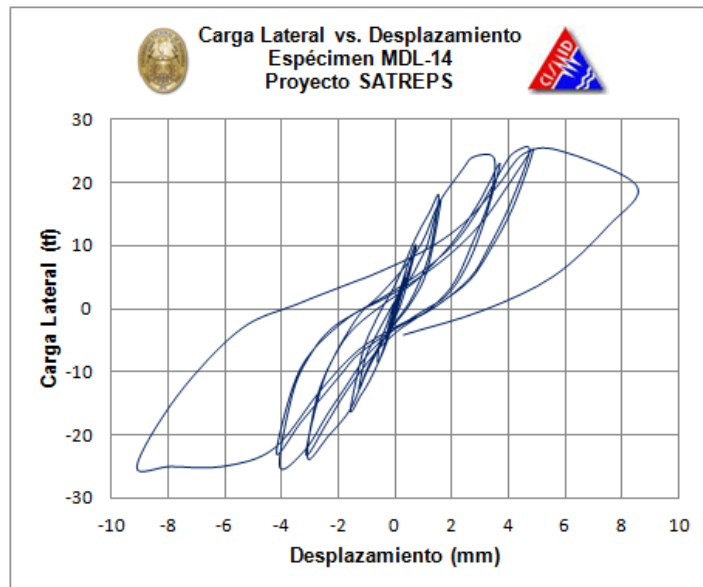
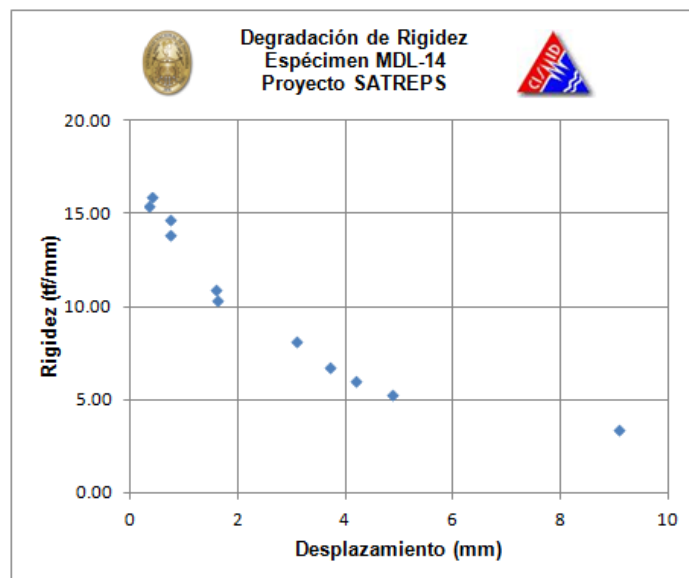
**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

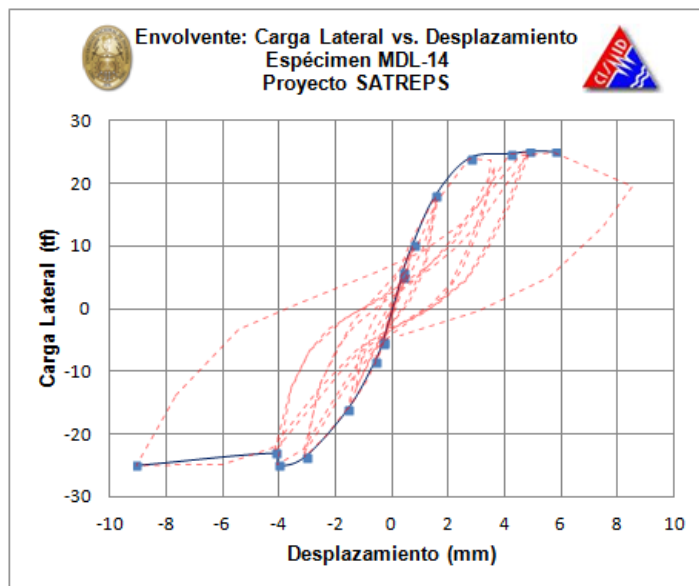
**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

### CARACTERÍSTICAS



**Figura A1.41** Dimensiones del muro MDL-14

**RESULTADOS****Figura A1.42** Lazos histeréticos MDL-14**Figura A1.43** Degradación de la rigidez MDL-14



**Figura A1.44** Curva de capacidad MDL-14

## ESPÉCIMEN MDL – 15

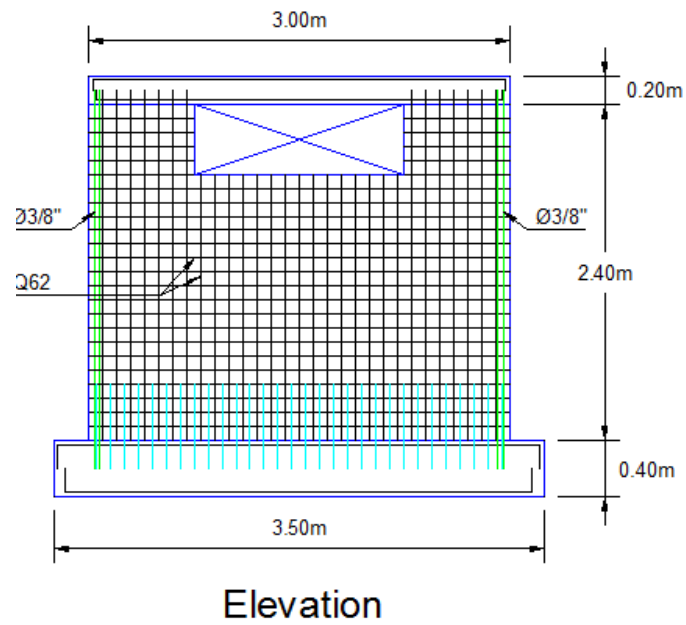
### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi$  2.8mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

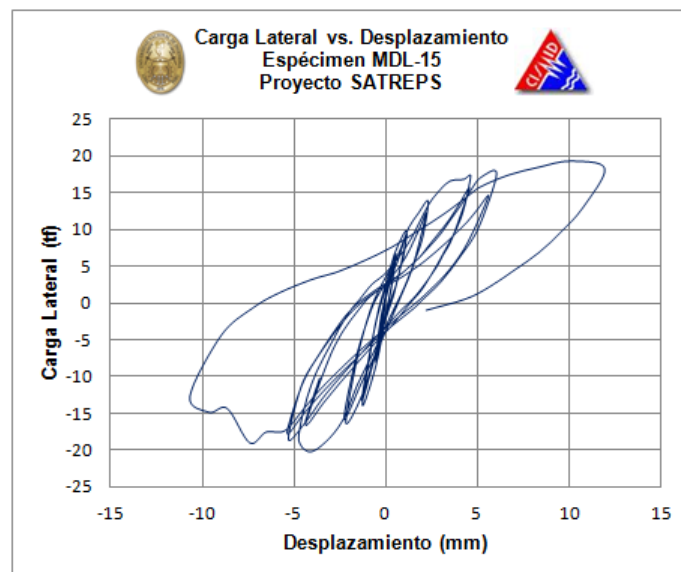
**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

## CARACTERÍSTICAS



**Figura A1.45** Dimensiones del muro MDL-15

## RESULTADOS



**Figura A1.46** Lazos histeréticos MDL-15

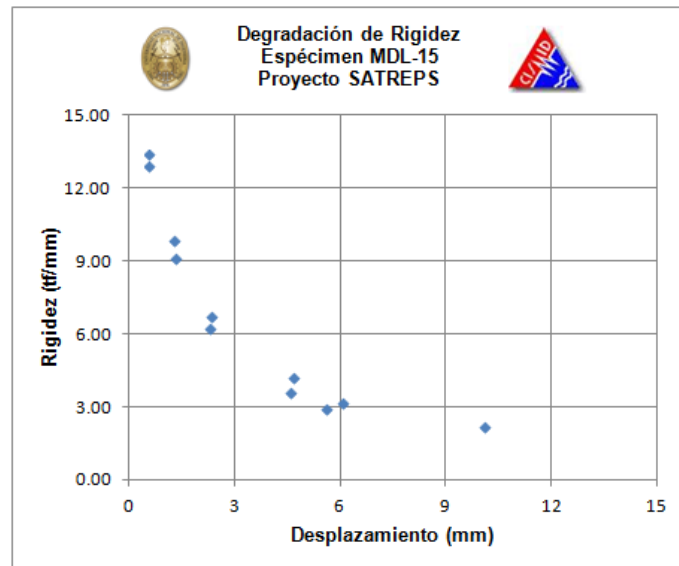


Figura A1.47 Degradación de la rigidez MDL-15

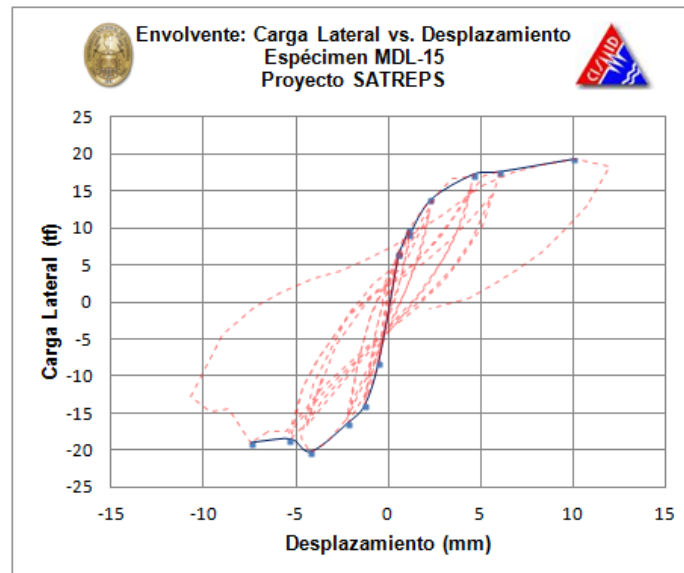


Figura A1.48 Curva de capacidad MDL-15

## ESPÉCIMEN MDL – 17

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi$  2.8mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

### CARACTERÍSTICAS

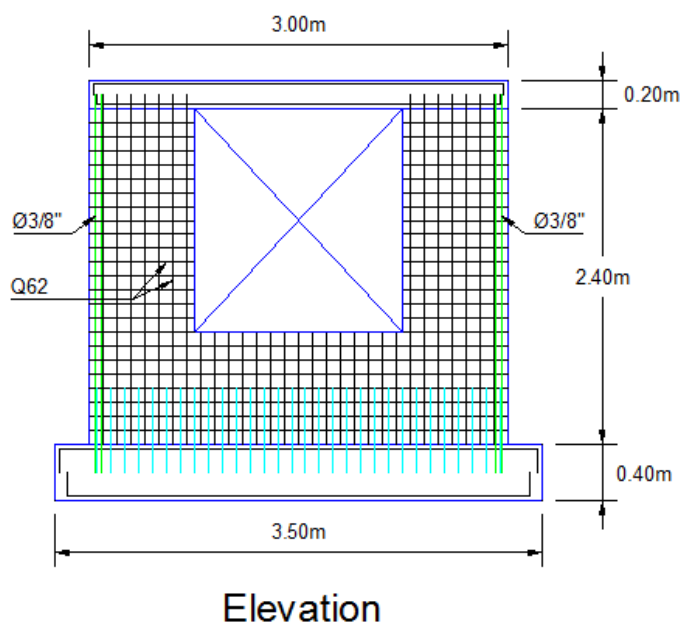
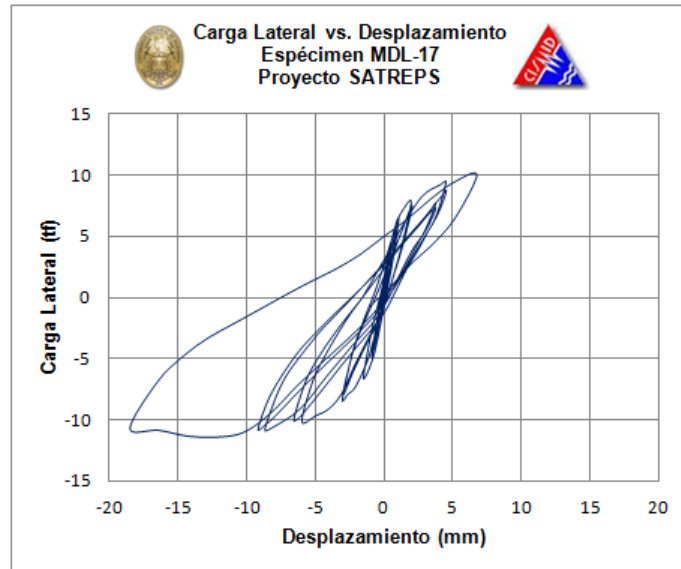
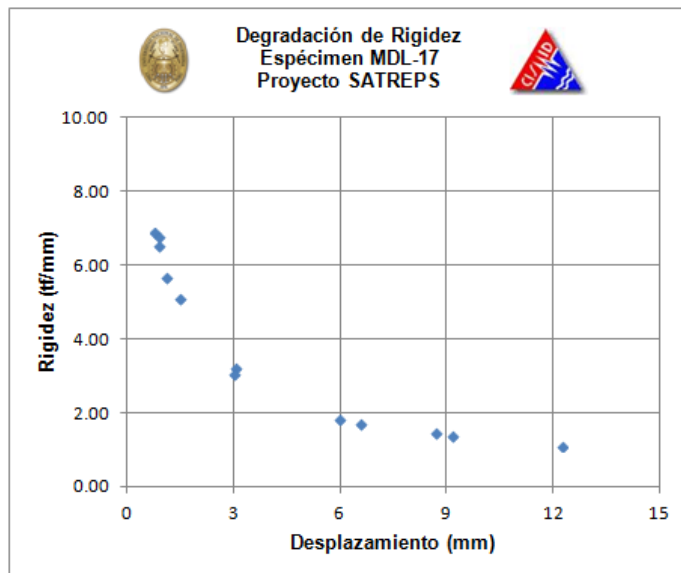


Figura A1.49 Dimensiones del muro MDL-17

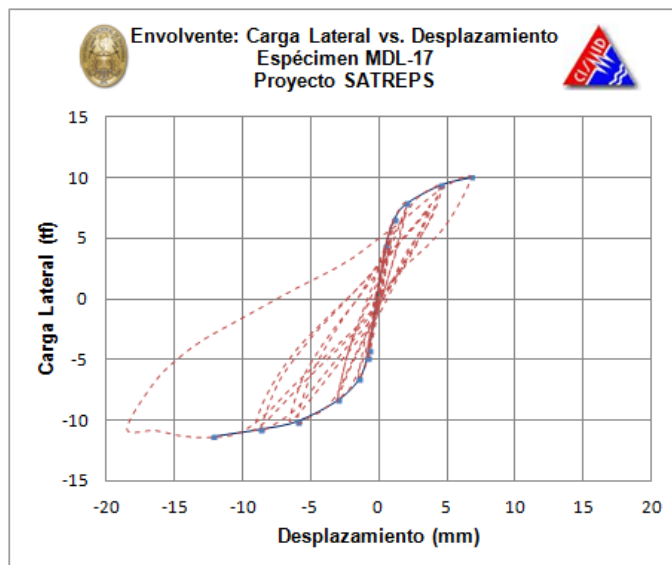
## RESULTADOS



**Figura A1.50** Lazos histeréticos MDL-17



**Figura A1.51** Degradación de la rigidez MDL-17



**Figura A1.52** Curva de capacidad MDL-17

## ESPÉCIMEN MDL – 18

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi$  2.8mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es 175 kg/cm<sup>2</sup>. El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de 4200 kg/cm<sup>2</sup>.

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.



## CARACTERÍSTICAS

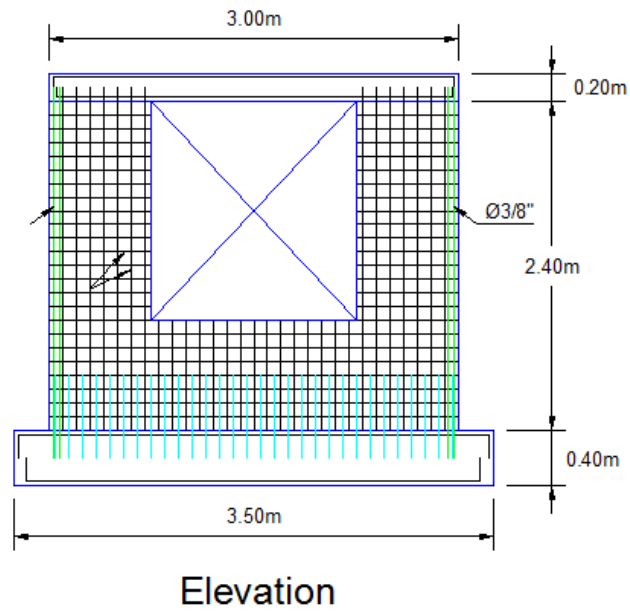


Figura A1.53 Dimensiones del muro MDL-18

## RESULTADOS

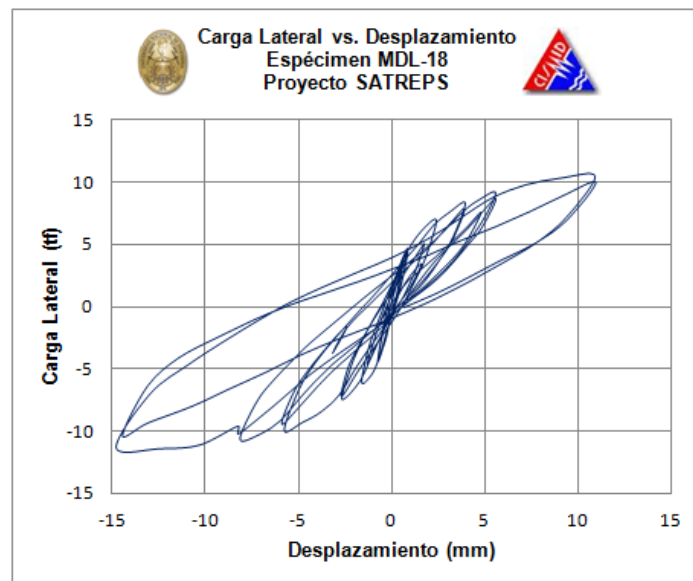


Figura A1.54 Lazos histeréticos MDL-18

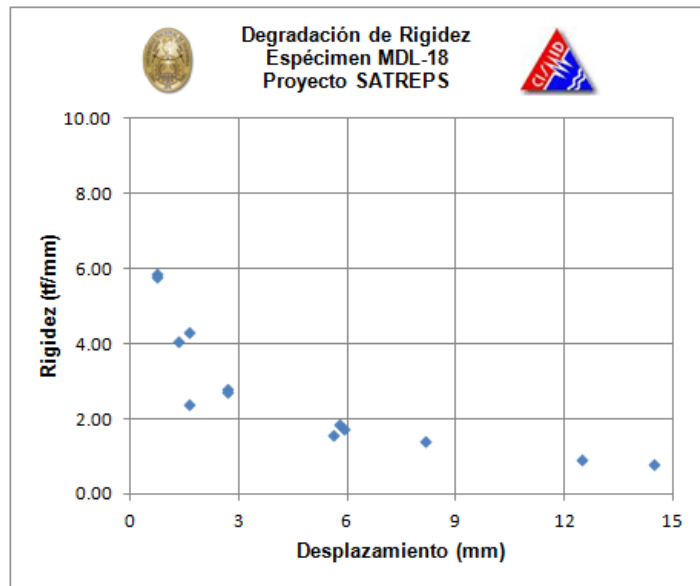


Figura A1.55 Degradación de la rigidez MDL-18

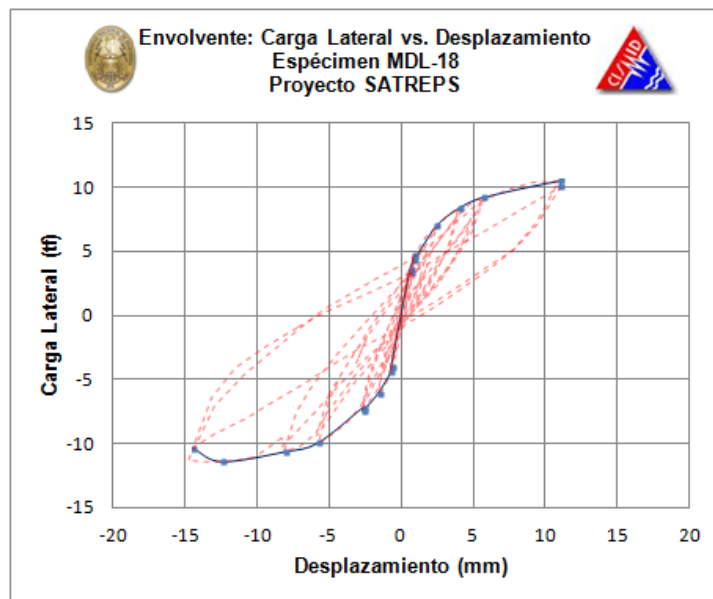


Figura A1.56 Curva de capacidad MDL-18

## ESPÉCIMEN MDL – 19

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi$  2.8mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

### CARACTERÍSTICAS

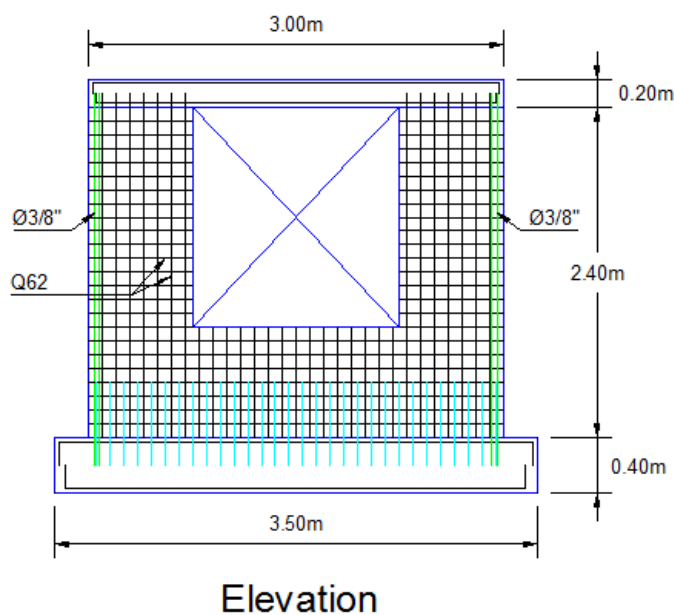
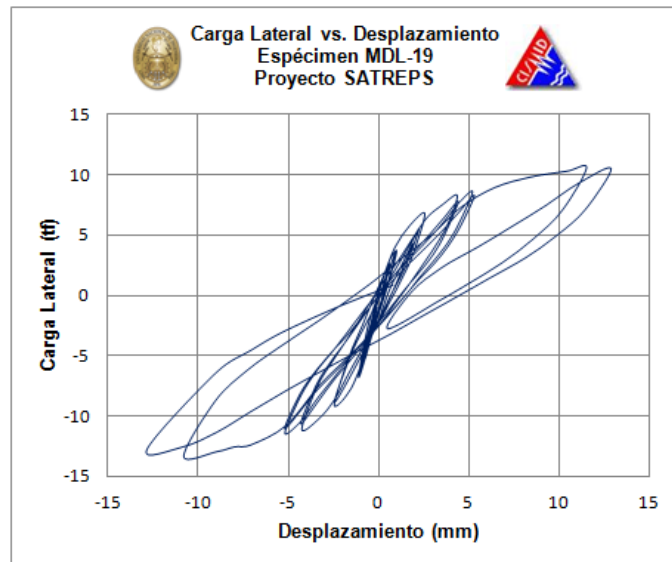
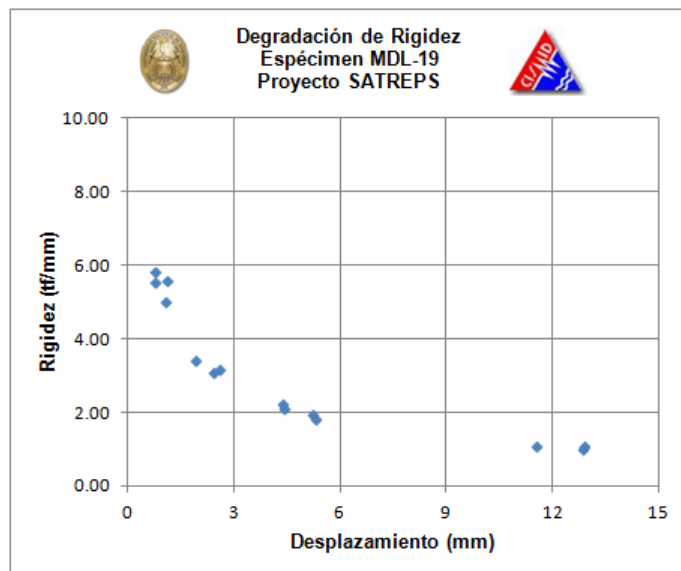
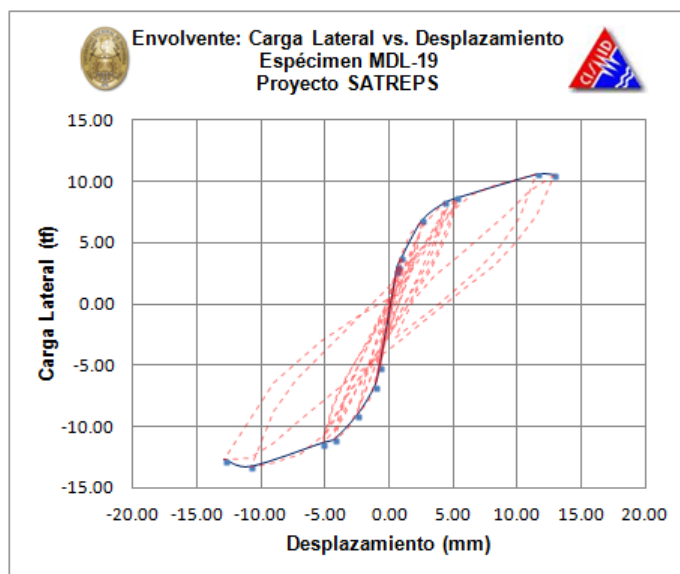


Figura A1.57 Dimensiones del muro MDL-19

**RESULTADOS****Figura A1.58** Lazos histéricos MDL-19**Figura A1.59** Degradación de la rigidez MDL-19



**Figura A1.60** Curva de capacidad MDL-19

## ESPÉCIMEN MDL – 20

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi$  2.8mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

## CARACTERÍSTICAS

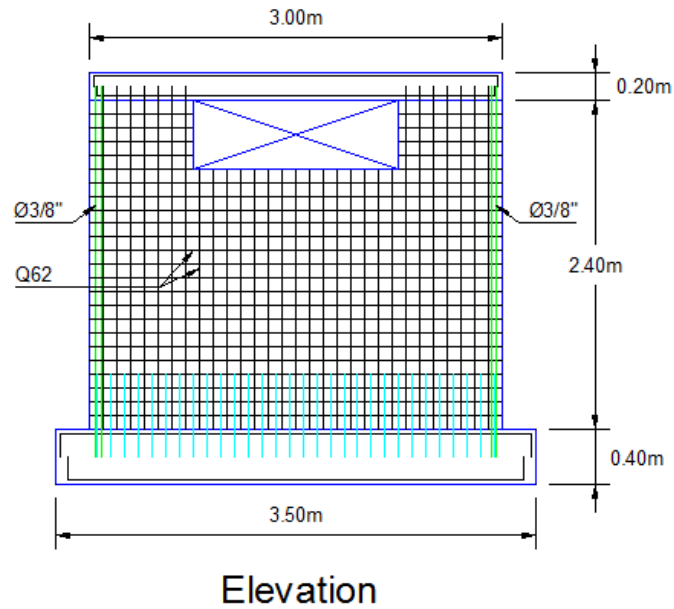


Figura A1.61 Dimensiones del muro MDL-20

## RESULTADOS

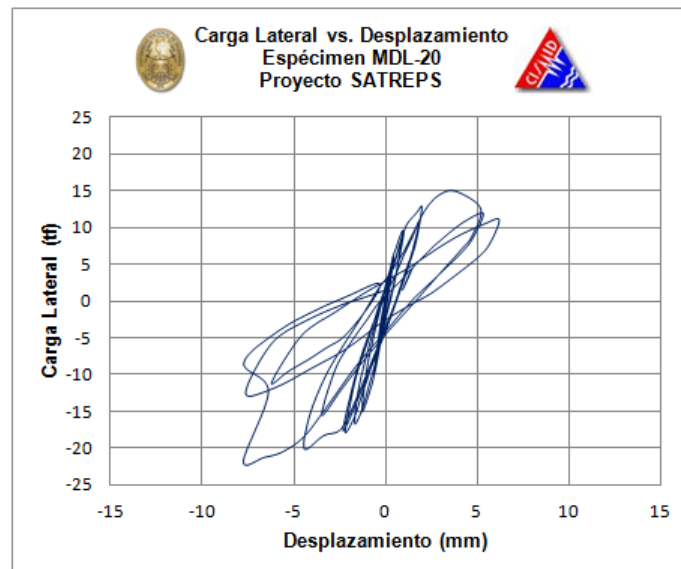
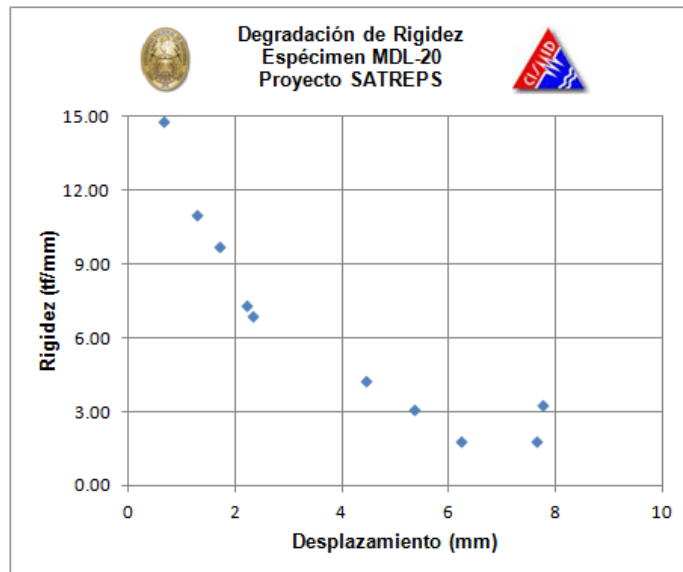
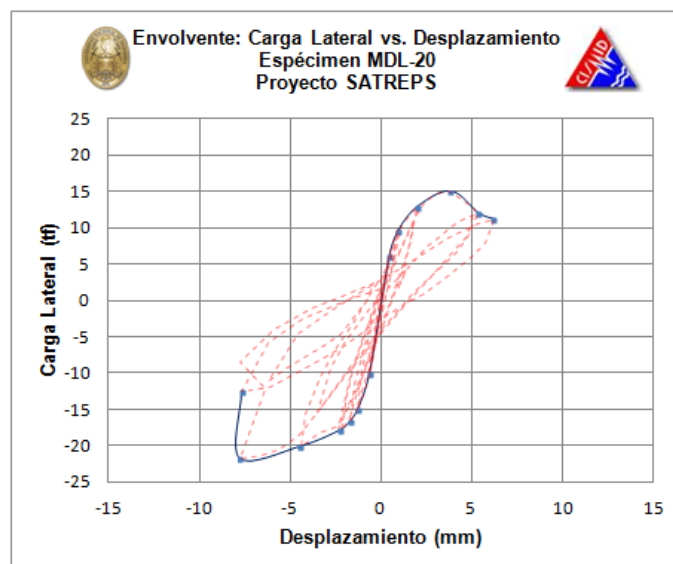


Figura A1.62 Lazos histeréticos MDL-20



**Figura A1.63** Degradación de la rigidez MDL-20



**Figura A1.64** Curva de capacidad MDL-20

## ESPÉCIMEN MDL – 21

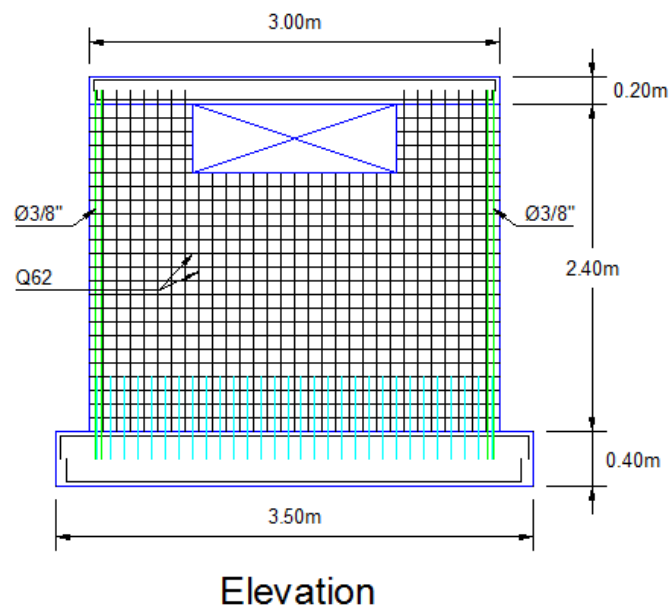
### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi$  2.8mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

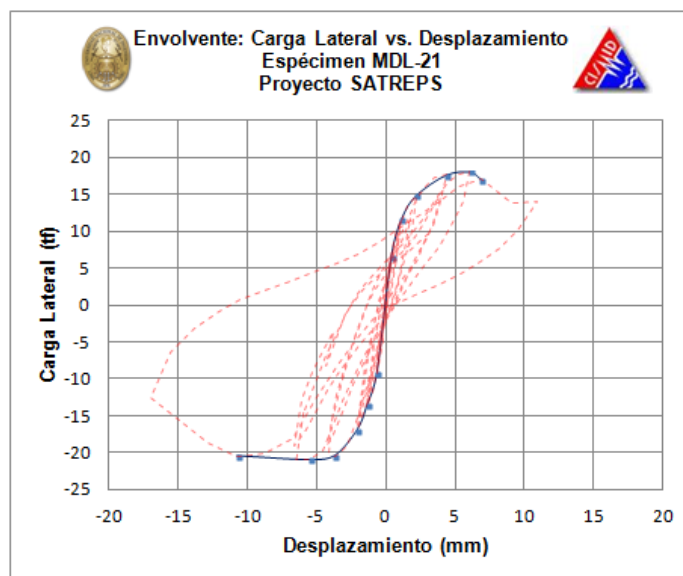
### CARACTERÍSTICAS



**Figura A1.65** Dimensiones del muro MDL-21







**Figura A1.68** Curva de capacidad MDL-21

## ESPÉCIMEN MDL – 22

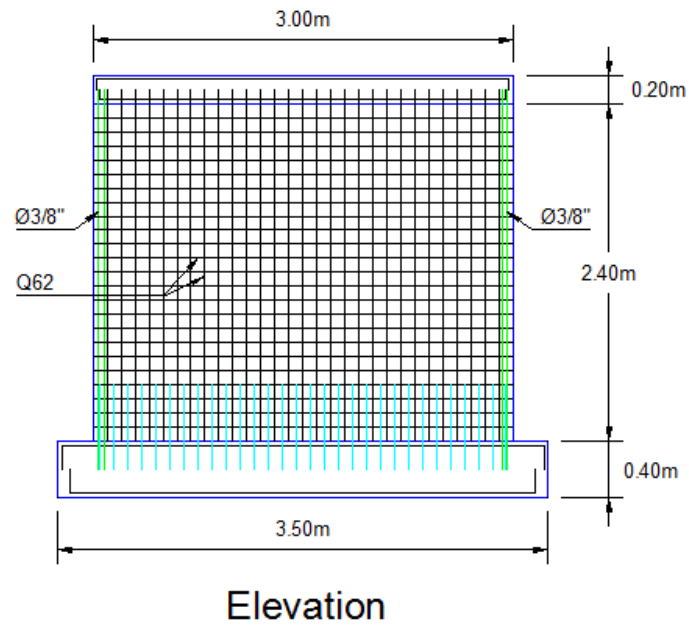
### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi 2.8\text{mm} @ 0.10\text{m}$ ). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

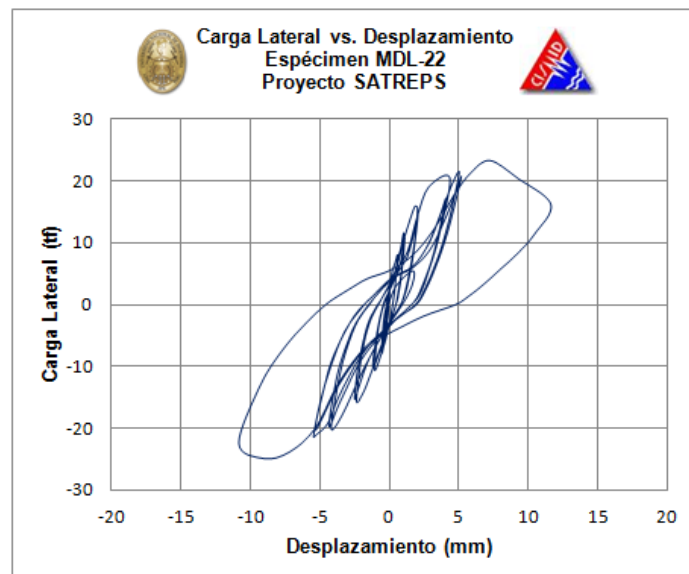
**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

## CARACTERÍSTICAS



**Figura A1.69** Dimensiones del muro MDL-22

## RESULTADOS



**Figura A1.70** Lazos histeréticos MDL-22

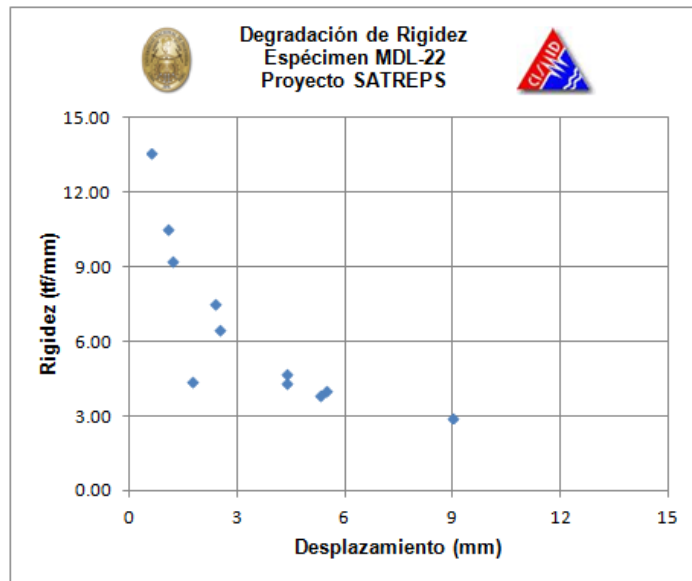


Figura A1.71 Degradación de la rigidez MDL-22

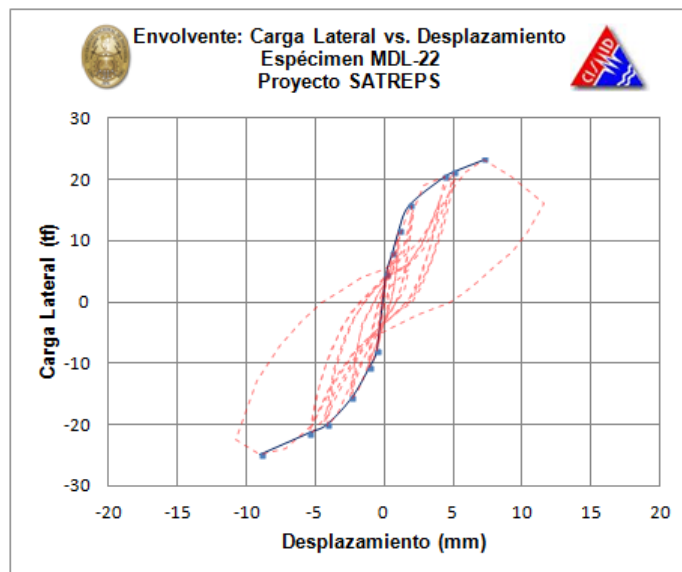


Figura A1.72 Curva de capacidad MDL-22

## ESPÉCIMEN MDL – 23

### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi$  2.8mm @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

### CARACTERÍSTICAS

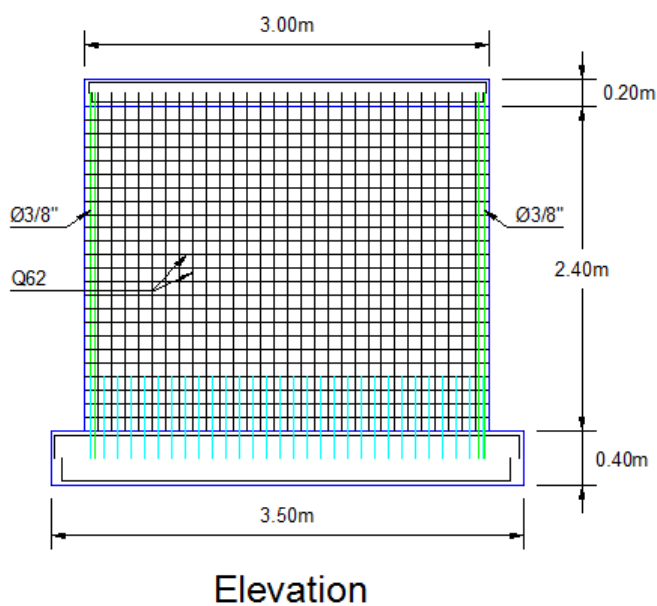
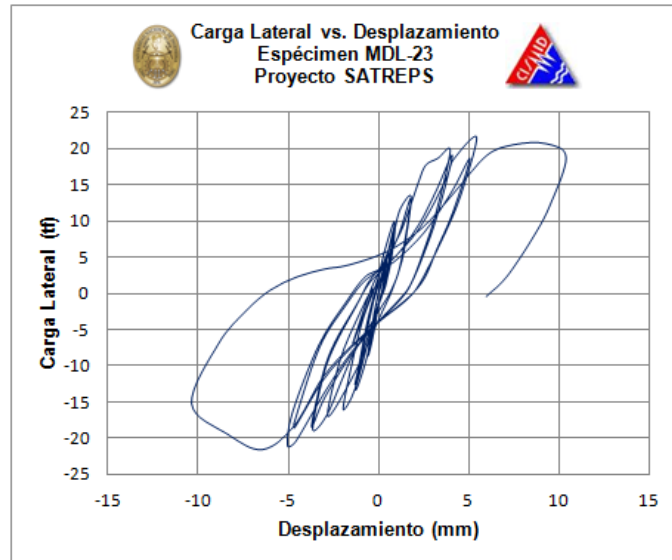
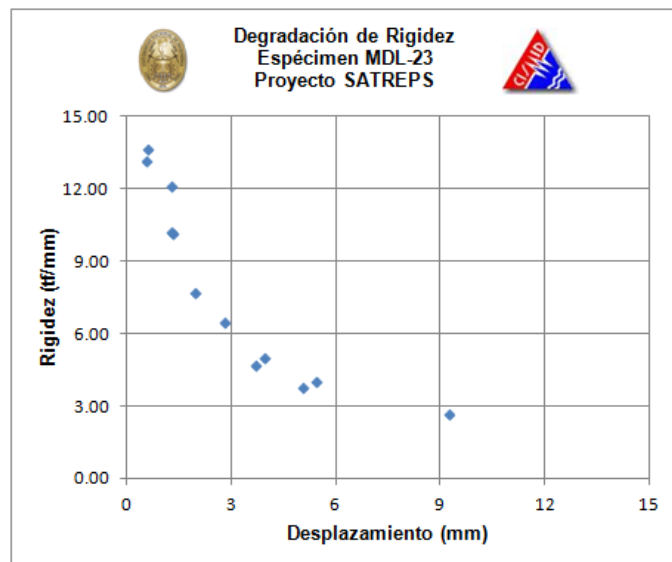


Figura A1.73 Dimensiones del muro MDL-23

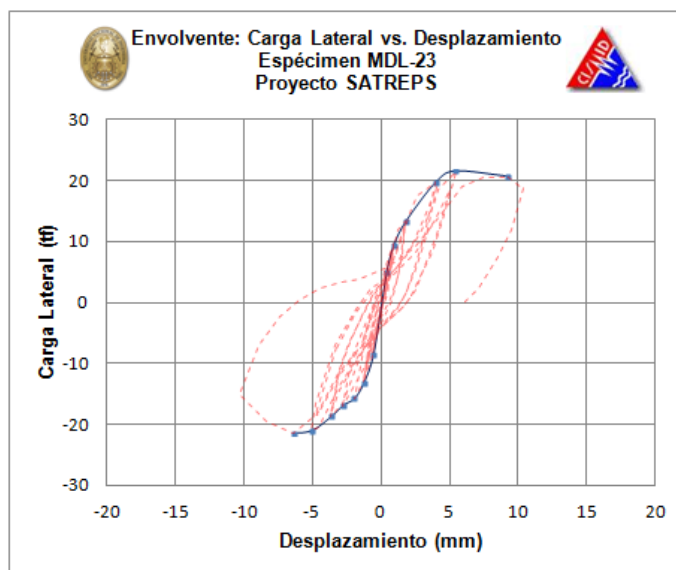
## RESULTADOS



**Figura A1.74** Lazos histeréticos MDL-23



**Figura A1.75** Degradación de la rigidez MDL-23



**Figura A1.76** Curva de capacidad MDL-23

## ESPÉCIMEN MDL – 24

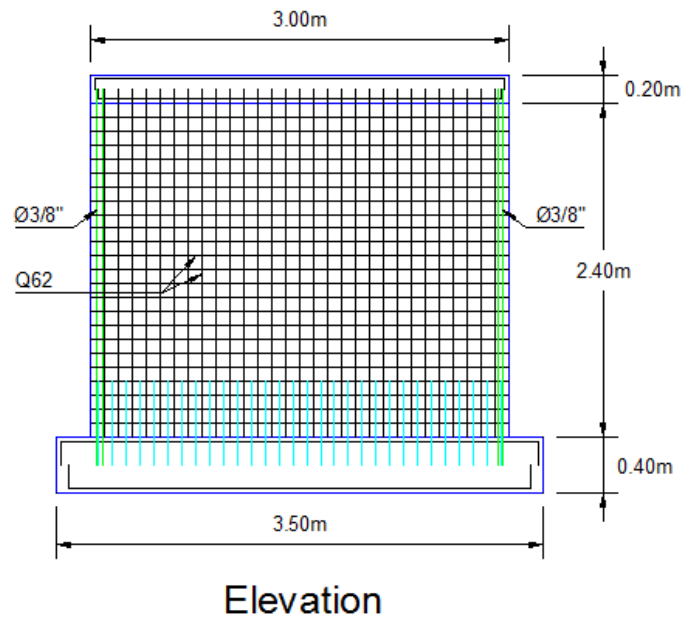
### DESCRIPCIÓN

**Geometría:** El muro tiene 3.00 m de largo, 2.40 m de altura y 0.10 m de espesor. Como refuerzo se usó la malla electro soldada Q62 ( $\phi 2.8\text{mm}$  @ 0.10m). Además, se añadió 2 varillas de 3/8" en cada extremo.

**Materiales:** La resistencia a compresión del concreto es  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo es de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

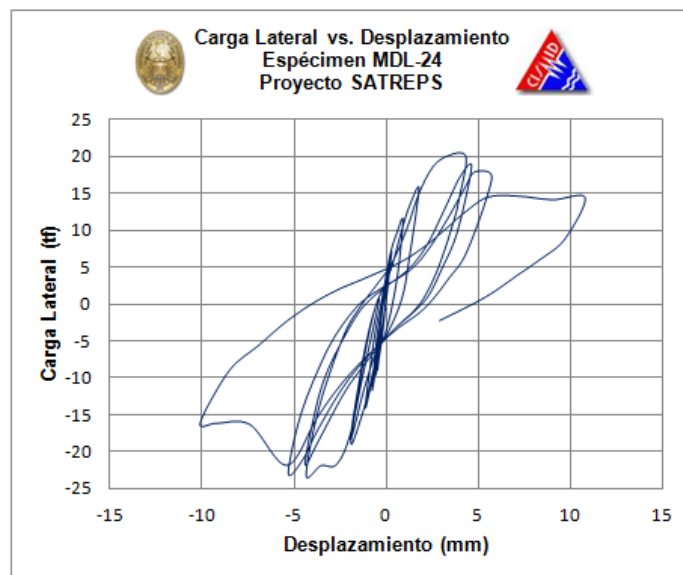
**Fuerzas Actuantes:** Se consideró una carga axial de 8.6 toneladas para representar la acción de un piso superior. La carga lateral se aplicó en forma cíclica.

## CARACTERÍSTICAS



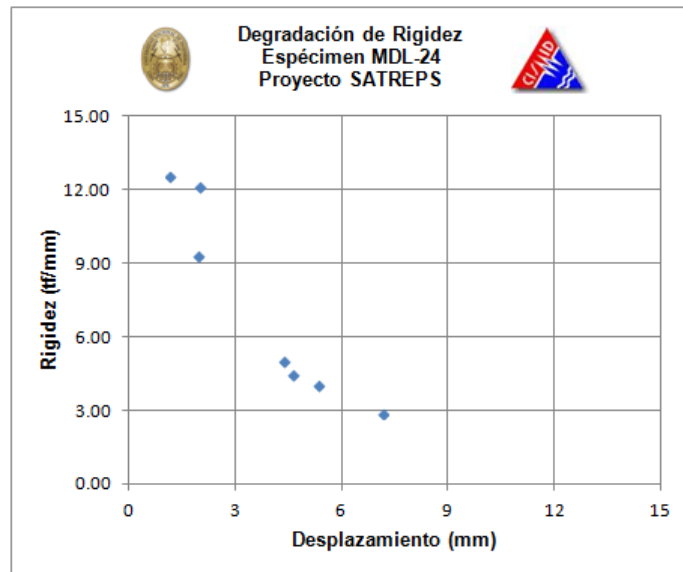
**Figura A1.77** Dimensiones del muro MDL-24

## RESULTADOS

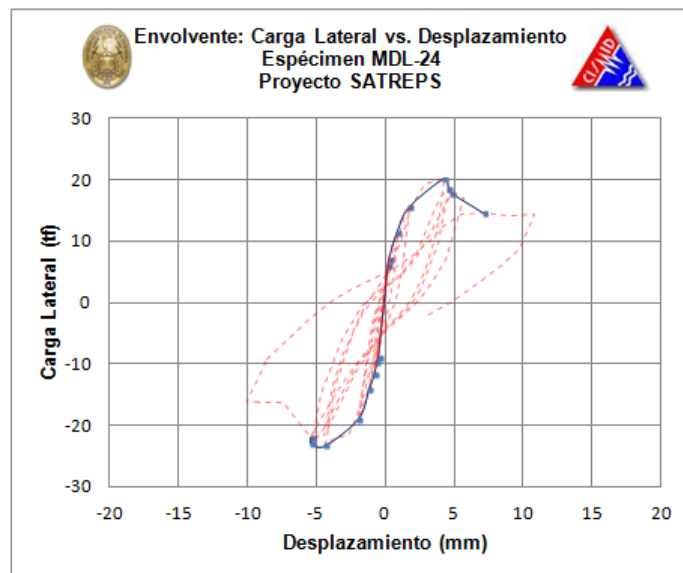


**Figura A1.78** Lazos histeréticos MDL-24





**Figura A1.79** Degradación de la rigidez MDL-24



**Figura A1.80** Curva de capacidad MDL-24