

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**Obtención del coeficiente ro utilizando malla dúctil en el SMDL para
mejorar el desempeño estructural de edificaciones**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Flor Esperanza Rimarachin Vega

ASESOR

Jose Alberto Acero Martinez

<https://orcid.org/0000-0003-4154-9510>

Chiclayo, 2023

**Obtención del coeficiente ρ utilizando malla dúctil en el SMDL para
mejorar el desempeño estructural de edificaciones**

PRESENTADA POR

Flor Esperanza Rimarachin Vega

A la Facultad de Ingeniería de
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Segundo Guillermo Carranza Cieza
PRESIDENTE

Jorge Enrique Alvarez Ruffran
SECRETARIO

Jose Alberto Acero Martinez
VOCAL

Dedicatoria

Dedico mi tesis a Dios por guiar mis pasos, darme salud y conocimiento para llegar a este momento tan importante para mi formación profesional.

A mis padres Elmer Rimarachín y Alejandrina Vega por su esfuerzo y sacrificio día a día para poder superarme y ser una profesional, enseñarme a no rendirme y trabajar duro para conseguir mis objetivos.

También se lo dedico a mi hija Samanta Guadalupe, quien es mi más grande motivo para nunca darme por vencida, crecer como persona y como profesional.

A mis hermanos Evelyn Mariela y Elmer Jesús por estar siempre para mí, por apoyarme física y emocionalmente. A mis abuelos y demás familia que creyeron en mí.

Y a todas las personas presentes y pasadas, que de una u otra manera me apoyaron para realizar este trabajo de investigación, ya sea con su conocimiento, con sus consejos o brindándome aliento para no rendirme.

Agradecimientos

Agradezco a Dios y a mis padres, por darme la oportunidad, confiar en mí y darme el apoyo económico para concluir mis estudios profesionales; a mis hermanos Evelyn Mariela y Elmer Jesús por motivarme a no rendirme.

A mi alma mater, a mis docentes por inculcarme sus conocimientos en base a su experiencia durante los años de estudio y en especial al Ing. José Acero Martínez, quien hizo parte fundamental de esta investigación y me motivó en cada asesoría a esforzarme más y más para sacar adelante el proyecto.

También quiero agradecer al Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), por promover la investigación, financiar proyectos para hacer más accesible a los jóvenes investigadores y contribuir con el desarrollo de nuestra normativa peruana.

Obtención del Coeficiente Ro utilizando Malla Dúctil en el SMDL para mejorar el desempeño estructural de edificaciones

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%
INDICE DE SIMILITUD

15%
FUENTES DE INTERNET

5%
PUBLICACIONES

17%
TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	11%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.scipedia.com Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Perú Trabajo del estudiante	1%
8	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	13
Abstract	14
Introducción	15
Objetivo General:	17
Objetivos Específicos:	17
Revisión de literatura	17
Antecedentes	17
Bases teóricas	20
Materiales y métodos	27
Tipo y nivel de Investigación	27
Diseño de investigación	27
Población, muestra y muestreo	27
Población	27
Muestra	28
Muestreo	28
Hipótesis y Operacionalización de variables	28
Hipótesis	28
Operacionalización de variables	28
Técnica e instrumentos de recolección de datos	29
Procedimientos	29
Plan de procesamiento y análisis de datos	30
ETAPA I: Recopilación de información	30
ETAPA II: Descripción de los 09 ensayos realizados al SMDL	31
ETAPA III: Análisis del comportamiento integral del sistema MDL bajo las distintas condiciones de carga ensayadas.	31

ETAPA IV: Determinar el coeficiente de reducción sísmica de los 09 muros ensayados en el sistema de MDL mediante dos métodos reconocidos en el estado del arte.	31
ETAPA V: Evaluar el comportamiento sísmico de una edificación arquetípica comparando el uso de $R_o = 4$ y el R_o obtenido.....	33
Resultados y discusión	36
ENSAYOS REALIZADOS AL SISTEMA MDL.....	36
MATERIALES UTILIZADOS Y SU CARACTERIZACIÓN SIGUIENDO LAS NORMAS DEL ENSAYO ASTM.....	36
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOS ESPECÍMENES.....	44
<i>DESCRIPCIÓN DE LOS ESPECÍMENES</i>	49
TÉCNICA DE ENSAYO	51
CONDICIONES DE ENSAYO	51
FASES DEL ENSAYO Y SISTEMA DE CARGA	52
INSTRUMENTACIÓN	52
MONTAJE.....	54
<i>CONDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN CADA ENSAYO</i>	55
COMPORTAMIENTO INTEGRAL DE LOS 09 MUROS DEL SISTEMA MDL BAJO LAS DISTINTAS CONDICIONES DE CARGA ENSAYADAS	56
ENSAYOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA CON CARGA LATERAL Y SIN CARGA AXIAL, LLEVADO AL LÍMITE DE REPARABILIDAD	56
Espécimen MDL 01.....	56
Espécimen MDL 02.....	64
Espécimen MDL 03.....	73
ENSAYOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA CON CARGA LATERAL Y SIN CARGA AXIAL.....	80
Espécimen MDL 04.....	80
Espécimen MDL 05.....	91
Espécimen MDL 06.....	104

ENSAYOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA CON CARGA LATERAL Y CON CARGA AXIAL DE 30 TN	117
Espécimen MDL 07.....	117
Espécimen MDL 08.....	129
Espécimen MDL 09.....	140
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN SÍSMICA	151
a) Aplicando el criterio de igualación de energías	151
b) Aplicando el FEMA P695 o también llamado ATC 63	153
COMPARACIÓN A NIVEL DE OPTIMIZACIÓN SÍSMICA DEL NUEVO R_0 CON EL REGULADO Y UTILIZADO POR LA NORMA SISMORRESISTENTE E-030.	156
Conclusiones	160
Recomendaciones	161
Referencias.....	162

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Modificación de respuesta debido a la ductilidad	26
Ilustración 2: Dimensiones del muro a ensayar	29
Ilustración 3: Mapa de zonificación sísmica del Perú.....	34
Ilustración 4: Acero corrugado utilizado en la construcción de los especímenes	36
Ilustración 5: Especímenes previo al ensayo (acero 3/8”)	37
Ilustración 6: Colocación del espécimen de 3/8” en la Máquina Universal marca MTS equipada con mordazas de tracción.....	37
Ilustración 7: Especímenes ensayados de 3/8”	38
Ilustración 8: Diagrama esfuerzo deformación global de las muestras de 3/8”	38
Ilustración 9: Especímenes ensayados (acero 1/2”)	39
Ilustración 10: Diagrama esfuerzo deformación global de la muestra de 1/2”	39
Ilustración 11: Medición de temperatura por cada tanda de mezcla correspondiente a las vigas de cimentación.....	40
Ilustración 12: Ensayo de medición del slump utilizando el cono de Abrams.	41
Ilustración 13: Olla para medir el contenido de aire en concreto.....	41
Ilustración 14: Elaboración de probetas.	41
Ilustración 15: Probetas típicas de concreto endurecido.	43
Ilustración 16: Probeta ensayada a compresión axial.....	43
Ilustración 17: Tipos de falla en probetas de concreto endurecido	44
Ilustración 18: Habilitación del acero de refuerzo de vigas de cimentación.....	44
Ilustración 19: Detalle del acero de refuerzo de vigas de cimentación	45
Ilustración 20: Encofrado de las vigas de cimentación	45
Ilustración 21: Encofrado de vigas de cimentación y armado de acero vertical del muro de ductilidad limitada.....	45
Ilustración 22: Vaciado de concreto de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en las vigas de cimentación.	46
Ilustración 23: Compactación del concreto	46
Ilustración 24: Vigas de cimentación al finalizar el vaciado	46

Ilustración 25: Curado de las vigas de cimentación.....	47
Ilustración 26: Colocación del acero vertical y horizontal en los muros de ductilidad limitada	47
Ilustración 27: Encofrado de los nueve muros	48
Ilustración 28:Encofrado de viga solera.....	48
Ilustración 29: Camión mixer y bomba para el vaciado.....	48
Ilustración 30: Vaciado de los muros y vigas soleras de los nueve muros	49
Ilustración 31: Curado de los nueve muros.....	49
Ilustración 32: Detalle del muro.....	50
Ilustración 33: Instrumentación de muros ensayados bajo carga lateral y con carga axial.....	53
Ilustración 34: Colocación del muro en posición de ensayo	54
Ilustración 35: Colocación del muro en posición de ensayo y colocación del actuador hidráulico para aplicación de la fuerza vertical.....	55
Ilustración 36: Elevación de estructura arquetípica de 05 niveles	156
Ilustración 37: Vista en planta de la estructura arquetípica	156

Lista de tablas

Tabla 1: Operacionalización de variables	28
Tabla 2: Técnica e instrumentos de recolección de datos	29
Tabla 3: Factor de uso	35
Tabla 4: Factores de Suelo "S"	35
Tabla 5: Períodos "TP" y "TL"	35
Tabla 6: Características técnicas del acero corrugado - Aceros Arequipa.....	37
Tabla 7: Esfuerzo de fluencia y último obtenidos para muestras de 3/8''	38
Tabla 8: Esfuerzo de fluencia y último obtenidos para muestras de 1/2''	40
Tabla 9: Lista de probetas de viga de cimentación	42
Tabla 10: Nomenclatura de los especímenes ensayados	50
Tabla 11: Fases de ensayo.....	52
Tabla 12: Nomenclatura de dispositivos	53
Tabla 13: Instrumentación.....	54
Tabla 14: Registro de temperatura y humedad.....	55
Tabla 15: Eh para cada espécimen	151
Tabla 16: Rigidez inicial para cada espécimen	152
Tabla 17: Factor R por igualación de energía	152
Tabla 18: Promedio de Ro por método de igualación de energías.....	152
Tabla 19: Determinación del factor de ductilidad	153
Tabla 20: Determinación del factor de sobre resistencia	153
Tabla 21: Determinación del factor de redundancia	154
Tabla 22: Determinación de Ro mediante FEMA P695	154
Tabla 23: Promedio de Ro por método del FEMA P695	155
Tabla 24: Comparativa de Ro obtenidos	155
Tabla 25: Parámetros Sísmicos utilizados.....	157
Tabla 26: Coeficiente según normal E. 030 R = 4	157

Tabla 27: Derivas en la dirección X-X R = 4.....	158
Tabla 28: Derivas en la dirección Y-Y R = 4.....	158
Tabla 29: Coeficiente según normal E. 030 R = 4.5	158
Tabla 30: Derivas en la dirección X-X R = 4.5.....	159
Tabla 31: Derivas en la dirección Y-Y R = 4.5.....	159

Resumen

Se presenta el cálculo del coeficiente de reducción para las fuerzas sísmicas siguiendo los lineamientos del FEMA P695 y el método de igualación de energías, a partir de la calibración de nueve muros de ductilidad limitada (MDL) reforzados con malla de acero dúctil ASTM A615 grado 60. Estos muros fueron subdivididos en función de las solicitaciones a los que fueron sometidos, tres de ellos fueron llevados al límite de reparabilidad, tres de ellos consideraron como solicitación una carga lateral cíclica y los otros tres consideraron la misma carga más una carga vertical de 30tnf.

La calibración se realizó en el software Etabs, debido a que este es un software de elementos finitos que permite realizar análisis de cargas cíclicas de una manera más acertada y con un procedimiento intuitivo. Los modelos constitutivos considerados en ese trabajo fueron Carreira – Chu para el concreto y para el acero se utilizó el modelo trilineal, el cual, nos muestra la capacidad que posee el acero de admitir deformaciones una vez alcanzado el esfuerzo máximo, considerando los valores principales de cada curva esfuerzo-deformación.

Mediante el método de igualación de energías se obtuvo valor promedio de 3.99 y mediante el FEMA P695 se obtuvo un valor promedio de 4.21. Su comportamiento a nivel de optimización sísmica con respecto a la normativa peruana es similar a los obtenidos en esta investigación.

Palabras clave: Coeficiente de reducción sísmica, carga vertical, modelos constitutivos, carga lateral cíclica, MDL.

Abstract

The calculation of the seismic force reduction coefficient following the FEMA P695 guidelines and the energy equalization method is presented, based on the calibration of nine limited ductility walls (LTM) reinforced with ASTM A615 grade 60 ductile steel mesh. These walls were subdivided according to the stresses to which they were subjected, three of them were taken to the limit of reparability, three of them considered as stress a cyclic lateral load and the other three considered the same load plus a vertical load of 30tnf.

The calibration was performed in the Etabs software, since this is a finite element software that allows performing cyclic load analysis in a more accurate way and with an intuitive procedure. The constitutive models considered in this work were Carreira - Chu for concrete and for steel the trilinear model was used, which shows the capacity of the steel to admit deformations once the maximum stress is reached, considering the main values of each stress-strain curve.

By means of the energy equalization method, an average value of 3.99 was obtained and by means of FEMA P695 an average value of 4.21 was obtained. Its behavior at the level of seismic optimization with respect to Peruvian standards is similar to those obtained in this research.

Keywords: Seismic reduction coefficient, vertical load, constitutive models, cyclic lateral load, CDM.

Introducción

La presente investigación nace del interés de aportar una alternativa en el diseño sísmico de la normativa peruana para edificaciones que empleen muros de ductilidad limitada como sistema estructural sismorresistente. Los datos experimentales empleados en esta investigación fueron tomados de los ensayos realizados por SENCICO (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción) en conjunto con la PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú) a nueve muros de ductilidad limitada reforzados con malla de acero dúctil. Hace algunos años se han venido utilizando barras de acero corrugado o mallas electrosoldadas en la construcción de los muros, las barras de acero dúctil es un tipo de acero que ha sido tratado para tener una mayor capacidad de deformación plástica antes de fallar o romperse. Esto se logra mediante la adición de elementos de choque como el níquel y el cromo, que mejoran la ductilidad del material.

Actualmente, se cuentan con distintas metodologías para determinar el cálculo del coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R), que han ido cambiando a lo largo del tiempo. Para fines de este estudio, se ha considerado conveniente emplear los lineamientos y metodología establecida por la normativa internacional del FEMA P695, los cuales nos ayudan a cuantificar el factor de modificación de respuesta R . Para cumplir con los fines del estudio se consideraron dos tipologías de muros: con carga axial (MDL-CCA) y sin carga axial (MDL-SCA); con la finalidad de identificar si existe una influencia en el cálculo del factor final del coeficiente de reducción sísmica, producto de la presencia de una carga axial.

Debido a la gran cantidad de demanda de viviendas en el Perú y la baja economía que algunos sectores presentan, es que el acceso a obtener una vivienda eficiente y segura es complicado; ya que es costoso construir con sistemas estructurales que sean lo suficientemente rígidas para resistir un sismo. A causa de la baja ductilidad, la reducida información experimental, la poca experiencia obtenida del comportamiento estructural ante terremotos de gran escala en nuestro país y las deficiencias en la calidad de construcción, conllevan a que estas edificaciones sean vulnerables a eventos sísmicos. Es por este motivo que la realidad problemática de nuestro país se ve en la necesidad de realizar diversas investigaciones basadas en ensayos experimentales para determinar nuestros propios parámetros de diseño antisísmico.

Justificación de la investigación

Justificación Técnica

El objetivo de esta investigación es profundizar en la comprensión del sistema de construcción mencionado, con el fin de expandir el conocimiento existente; servirá como base para fortalecer los siguientes trabajos de investigación que se lleven a cabo; beneficiará a los ingenieros estructurales y estudiosos del tema, ya que tendrán un antecedente del cual guiarse para lograr un óptimo diseño estructural en las edificaciones de este tipo. Debido a que nuestra norma sismorresistente E 030 limita su estudio a solo 8 niveles y fue elaborada en base a normas de otros países no aplica al 100% para nuestro país. Por ende, esta investigación pretende determinar un coeficiente de reducción sísmica con la adición de la malla dúctil al sistema MDL con el objetivo de mejorar la capacidad estructural de las edificaciones vulnerables a nivel nacional.

Justificación Socioeconómica

Este sistema al disipar mejor la energía y permitir menor desplazamiento lateral ayuda a que las personas dentro de las edificaciones tengan mayor tiempo de evacuación y por ende permite salvar mayor cantidad de vidas durante un movimiento telúrico. Esta investigación es de suma importancia, debido a que al conocer la vulnerabilidad sísmica de este sistema constructivo se puede mitigar los riesgos ante un sismo, sobre todo al ser en edificios que albergan a muchas personas y no puede fallar de manera severa.

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) nos reportó que en los últimos 20 años a causa de los desastres naturales se han perdido alrededor de 1,35 millones de personas a nivel internacional y el Fondo de Reconstrucción Integral de las zonas afectadas por los Sismos (FORSUR), registró que en Perú el terremoto de Pisco deja gastos de reconstrucción que ascenderán a 461 millones de dólares y que se tuvo una baja demanda laboral en las cuales se vieron afectados 14.8 mil trabajadores a dos meses después del sismo.

El coeficiente de reducción sísmica adicionándole malla dúctil prevendrá acontecimientos similares a corto y a largo plazo en la utilización del sistema en estudio para la alta demanda poblacional y zona geográficamente expuesta potencialmente a peligro sísmico como el caso en particular antes mencionado.

Objetivo General:

- Obtener el factor de reducción sísmica utilizando malla dúctil en el sistema MDL para mejorar su desempeño estructural.

Objetivos Específicos:

- Describir los ensayos realizados al sistema MDL.
- Analizar y explicar el comportamiento integral del sistema MDL bajo las distintas condiciones de carga ensayadas.
- Determinar el coeficiente de reducción sísmica de los 09 muros ensayados en el sistema de MDL mediante dos métodos reconocidos en el estado del arte.
- Comparar a nivel de optimización sísmica el nuevo r_o con el regulado y utilizado por la norma Sismorresistente E-030.

Revisión de literatura

Antecedentes

Se han realizado diversas investigaciones acerca del coeficiente de reducción sísmica y el sistema MDL, tanto a nivel internacional como nacional tal cual se muestrana continuación:

Mojerón, Llanes y Frómeta [1], nos da a conocer tres procedimientos planteados de manera teórica y experimental por diferentes autores acerca de cómo encontrar un nuevo coeficiente de reducción sísmica con el objetivo de recopilar todos los aspectos favorables para su factible utilización en el código sismorresistente de Cuba.

La investigación realizada por Bertero, Anderson, Krawinkler y Miranda (1991), Miranda (1997) y Whittaker, Hart y Rojahn (1999) concluye que el coeficiente R se determina mediante la multiplicación de cuatro factores: $R = R\mu R_{\Omega} R_{VG} R_R$. Estos factores se definen de la siguiente manera: $R\mu$ representa un factor que se obtiene al estudiar el grado de libertad conocido como factor de reducción de resistencia por ductilidad, R_{Ω} es el factor de resistencia adicional, R_{VG} es el factor de reducción que considera las diferentes libertades del sistema, y R_R es el factor que indica la eficacia de los elementos no estructurales para transmitir cargas en el rango no lineal, también conocido como factor de redundancia.

Uang (1991), Whittaker et al. (1999) y Elnashal y Mwafy (2002) reemplazan el factor de reducción R_{VG} por el factor de amortiguamiento R_{\square} obteniendo la siguiente ecuación: $R = R_{\mu}R_{\Omega}R_{\square}R_R$. Y como tercera investigación según el ATC (1995) para encontrar el coeficiente R , estima la multiplicación de los siguientes tres factores: $R = R_{\mu}R_{\Omega}R_R$. De estas tres investigaciones concluyen que los factores R son teóricos y estiman que para sistemas estructurales con periodos largos reducen las fuerzas sísmicas y para los sistemas con periodos cortos su resistencia es menor.

Arroyo y Terán [2], en base a la investigación sobre la respuesta de sistemas de un solo grado de libertad a los registros de acelerogramas durante eventos sísmicos en México, se proponen ecuaciones para estimar el coeficiente de reducción sísmica. El propósito de estas ecuaciones es reducir el espectro de diseño elástico de resistencia, con el fin de determinar las fuerzas sísmicas de diseño para sistemas con diferentes capacidades de deformación plástica y disipación de energía viscosa. Según la norma NTS-95, se propone una ecuación basada en los periodos fundamentales y la fuerza sísmica de diseño. A través de dos etapas, se analiza la influencia que esta ecuación tiene en la respuesta del sistema.

$$Q(T_0, Q_0) = FS(Q = 1, \xi = 0.05, T_0) / FS(Q_0, \xi = 0.05, T_0)$$

Durante la primera fase del proyecto, se utilizaron acelerogramas sintéticos para investigar el impacto de la fase intensa y el contenido de frecuencias de la excitación sísmica en el factor de reducción. En la segunda fase, se consideraron los acelerogramas de veintiún eventos sísmicos para proponer expresiones que estimaran el factor de reducción de las fuerzas sísmicas. Como resultado, se llegó a la conclusión de que el valor de R está influenciado por el contenido de frecuencias de la excitación sísmica, el periodo de la estructura, su máxima demanda de ductilidad y su coeficiente equivalente de amortiguamiento.

A. Marín [3], llevó a cabo una investigación donde señala que no se toma en consideración características importantes dentro de un análisis y diseño convencional para elegir un coeficiente R . Además, se identifica que el R_0 está en relación con el tipo de sistema estructural. En este sentido, las estructuras en ambas direcciones (“x” e “y”) presentan distinta densidad de muros; por ende, se tendrá un coeficiente de reducción sísmica en función del sentido del eje en el que se está analizando. Con el fin de analizar el desempeño de la estructura se realizó mediante el programa VISIÓN 2000 con el método NM2. Concluyendo

que para cada elemento estructural se dan solicitaciones de carga que dependen de su configuración geométrica, por lo tanto, va a variar su resistencia de respuesta sísmica en el rango inelástico.

R. Aguiar [4], realizó un proyecto de investigación con el fin de determinar un coeficiente R y así ayudar para una futura Normativa Sísmica de Ecuador, colaborar con los futuros investigadores quienes se están guiando de normativas que presentan valores de R del cual no se conoce mucho por falta de investigaciones al respecto; lo cual es de vital importancia para no subestimar la acción sísmica al elegir un factor R inadecuado. Para ello mencionan tres normativas: la CEC-2000, la norma Colombiana NSR-98 y el ACI 318S-05; señalando que en Ecuador los ingenieros estructuralistas toman como referencia dos normas para realizar su diseño.

Gálvez, Adolfo [5], manifiesta que Coeficiente de reducción sísmica se determinó tomando como referencia: la respuesta del desempeño estructural frente a terremotos pasados, en base a procedimientos técnicos y criterios dados por investigadores del tema. Por lo mencionado anteriormente, en su investigación basada en el ATC - 63 y Klingner (2007) propone un valor para el factor de Modificación de respuesta sísmica que será aplicado a estructuras con características similares al sistema de muros de ductilidad limitada y además que sea considerada por el comité encargado de la Norma E.030; todos los ensayos cuasi estáticos que se aplicaron a los muros del SMDL fueron financiados por la empresa PRODACSA. Este trabajo ha utilizado procedimientos racionales con la finalidad de ser replicados para otros sistemas estructurales utilizando otros materiales; para ello se realizó 7 ensayos de laboratorio de donde se determinó resultados analíticos de los cuales se ha llegado a proponer un valor de 4.0 para el Coeficiente de reducción sísmica y recomienda que a futuro se cree una base de datos de los ensayos cíclicos para cargas laterales para que queden a disposición de futuras investigaciones.

Lerrena, Donaldo [6], en esta tesis se realizó una comparación de una estructura de 5 niveles en el sistema estructural MDL y del sistema aporticado, se aplicó análisis estático y dinámico espectral teniendo en cuenta las disposiciones de la norma sismorresistente E. 030 con el objetivo de verificar cuál de los dos sistemas estructurales mencionados presentan una mejor respuesta estructural. Obteniendo como resultado que el sistema MDL es un 50% más rígido

que el permisible por la norma. Concluye, que el sistema MDL aporta mayor resistencia que le sistema porticado utilizando un coeficiente R igual a 4, tal cual lo recomienda la Norma.

Con todos los antecedentes mencionados, nos da a conocer que sí existen valores para el coeficiente de reducción sísmica que tiene mejor comportamiento estructural para 8 niveles que los valores propuestos por la Norma Sismorresistente Peruana E 030.

Bases teóricas

Muros de Ductilidad Limitada

Según la Norma Técnica Peruana E. 030, caracteriza a este sistema por utilizar muros de espesores reducidos de concreto armado como elementos principales de resistencia sísmica y carga gravitatoria. Estos muros no cuentan con extremos confinados y solo tienen una capa de refuerzo vertical [7].

Mallas electrosoldadas

Son barras lisas o corrugadas que se entrecruzan en ángulos rectos y se sueldan en cada punto de intersección. Se emplean en diversas estructuras planas debido a su fácil y rápida instalación en obras de construcción. [8].

Mallas dúctiles

El acero dúctil ha sido tratado con el fin de obtener una mayor capacidad de deformación plástica antes de fallar o romperse. Esto se logra mediante la adición de elementos de choque como el níquel y el cromo, que mejoran la ductilidad del material.

Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas R

Según el American Society of Civil Engineers, nos dice que, es un parámetro muy importante que nos sirve para el diseño antisísmico; el cual representa la capacidad de la estructura para disipar energía [9].

Curvas de Capacidad

Es la representación gráfica obtenida a través de la resistencia a la carga lateral de una estructura y su desplazamiento horizontal, se determina generalmente mediante un análisis pushover en sus dos direcciones de evaluación.

Lasos Histeréticos

Las curvas de histéresis varían de acuerdo con la sección del elemento estructural, su material, entre otros aspectos importantes. Es importante mencionar que la relación fuerza – deformación de una unidad de análisis estructural estudiado en ensayos de laboratorio.

Análisis pushover

El análisis pushover, también conocido como análisis de desplazamiento lateral estático, está basado en la aplicación gradual de cargas laterales en la estructura, incrementando progresivamente su magnitud hasta que se alcanza el colapso o un estado límite predefinido. Permite obtener información detallada sobre la capacidad y la respuesta de la estructura a diferentes niveles de carga lateral, lo que ayuda a los ingenieros a comprender su comportamiento ante eventos sísmicos.

Durante el análisis pushover, se aplican cargas laterales en puntos estratégicos de la estructura, generalmente en niveles diferentes, y se registra la respuesta estructural en términos de desplazamientos laterales y la capacidad de carga en cada nivel. La curva pushover es una herramienta importante para evaluar la capacidad sísmica de la estructura y puede utilizarse para compararla con los criterios de diseño establecidos en los códigos de construcción y además permite identificar los elementos estructurales que son más vulnerables a daños y deformaciones inelásticas durante un terremoto.

Análisis modal espectral

Es una técnica que sirve para evaluar la respuesta de una estructura ante las fuerzas sísmicas. Se basa en descomponer el movimiento sísmico en diferentes modos de vibración y analizar la respuesta de la estructura en cada uno de estos modos.

Resistencia estructural

Se refiere a la capacidad de la estructura para soportar y resistir las cargas y fuerzas a las que está expuesta durante su vida útil. Se evalúa en función de la capacidad de la estructura para mantener su estabilidad y cumplir con los requisitos de seguridad establecidos en los códigos y normas de construcción. Estos requisitos pueden incluir límites de deformación, capacidad de carga, resistencia al fuego, entre otros.

Ductilidad

Un material dúctil es aquel que puede estirarse, doblarse o comprimirse considerablemente sin fracturarse. La ductilidad también se tiene en cuenta en la selección de materiales para estructuras y componentes que deben soportar cargas o fuerzas variables sin sufrir fallas catastróficas.

Rigidez Lateral

La rigidez lateral de una estructura se refiere a su capacidad para resistir deformaciones laterales o desplazamientos horizontales. Es una medida de la resistencia de la estructura a movimientos laterales, como los generados por fuerzas sísmicas o vientos fuertes.

Desempeño sísmico

Se refiere al comportamiento de una estructura para resistir y mantener su funcionalidad durante un terremoto. Es una medida de la respuesta de la estructura ante las fuerzas sísmicas y evalúa el nivel de daño o deterioro que puede experimentar durante un evento sísmico. El desempeño sísmico se evalúa en función de varios aspectos, como la capacidad de carga de la estructura, la resistencia a la deformación, la capacidad de disipación de energía y la capacidad de soportar desplazamientos laterales sin colapso [10].

Calibración de un muro

En los elementos tipo frame, como vigas o columnas, se pueden utilizar modelos de plasticidad de tipo fibra que representan el comportamiento no lineal de los materiales y simular la formación de rotaciones plásticas y la distribución de esfuerzos en la sección transversal.

Los modelos de plasticidad de tipo fibra dividen la sección transversal del elemento en múltiples fibras o puntos discretos y consideran el comportamiento independiente de cada fibra. Cada fibra se caracteriza por sus propiedades materiales, como resistencia, rigidez y capacidad de deformación. Además, estos modelos pueden incorporar efectos de confinamiento, fluencia y endurecimiento del material para representar de manera más precisa el comportamiento real del material bajo cargas cíclicas o eventos sísmicos.

Pier Label

Usar piers labels en el diseño y dimensionamiento otorga mayor precisión al muro, ya que pueden aplicar cargas adecuadas y considerar las propiedades específicas de cada sección, como espesores, refuerzos, geometría y características del suelo. Esto ayuda a garantizar la seguridad y eficiencia del diseño del muro. Un elemento tipo Pier Label sirve para distribuir los momentos y cortantes de manera uniforme en una placa.

Modelo constitutivo de Carreira y Chu

El modelo constitutivo del concreto está basado en los lineamientos de Domingo J. Carreira y Kuang-Han Chu [11]. Este modelo representa la relación de esfuerzo – deformación del concreto simple en compresión tomando en cuenta (Carreira y Chu, 1985):

- El punto de máxima tensión f_c , determinada según la norma ASTM C39 “Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes.
- La resistencia del concreto f'_c .
- La deformación correspondiente al máximo esfuerzo del concreto ϵ'_c .
- El módulo de elasticidad E .
- Parámetro del material que depende del diagrama esfuerzo – deformación β .

$$f_c = \frac{\beta(\epsilon_f/\epsilon_0)*f'_c}{\beta-1+(\frac{\epsilon_f}{\epsilon_0})} \quad (1)$$

$$\epsilon'_c = (4,88f'_c + 168) \times 10^{-5} \quad (2)$$

$$\beta = \left[\frac{f'_c}{4,7} \right]^3 + 1,55 \quad (3)$$

Nota: Las ecuaciones 1, 2 y 3 estan en unidades KSI.

Modelo trilineal

El modelo trilineal del acero es una representación simplificada del comportamiento del acero de refuerzo estructural bajo carga, el cual se utiliza generalmente en el análisis estructural para simular la respuesta de los elementos de acero ante fuerzas estáticas o sísmicas. Este modelo considera tres etapas distintas en el comportamiento del acero: elástica, plástica y endurecimiento (Hinostroza, 2021).

Rótulas plásticas

Las rótulas plásticas son dispositivos ubicados en áreas específicas de los elementos estructurales que tienen la capacidad de absorber y disipar la energía, lo que resulta en una redistribución de las fuerzas y un mejor comportamiento general de la estructura. Se generan cuando el momento aplicado a una sección supera su momento plástico. La longitud plástica (L_p) define la región específica donde las rotaciones aumentan más rápidamente. Esta longitud se calcula mediante la ecuación 04. $L_p = \frac{M_u - M_y}{V}$ (04)

Donde:

Mu: Momento resistente a flexión.

My: Momento de fluencia.

V: Fuerza cortante

Aspectos normativos

- En el año 2003, en Perú fue incluido al sistema de muros de ductilidad limitada como un nuevo sistema estructural de concreto armado en la Norma E.030 de Diseño antisísmico [7]. Sin embargo, aunque su límite de uso de construcción permitido es un máximo de 08 pisos.
- En el capítulo 03 de la Norma Peruana de Concreto Armado E-060 [15] se detalla el proceso constructivo y diseño estructural.
- La norma empleada para las mallas electrosoldadas de alambre corrugado es la norma ASTM A497M, y en el capítulo 3 de la norma E-060 [15] de concreto armado, ahí se detalla los espaciamientos mínimos de soldadura, los cuales no deben exceder los 400 m.
- La norma nos indica que el coeficiente básico de reducción debe ser $R_o = 4$ y la deriva máxima de entrepiso es 0.005, la resistencia de diseño para la construcción de edificios con MDL deberá ser como mínimo 175 kg/cm². [7]
- El refuerzo de estos muros deberá estar construida y anclada correctamente a la cimentación, mediante anclajes rectos o con gancho estándar de 90° y con 55 las longitudes de traslape adecuados [7].

Determinación del coeficiente R mediante la Igualación de energías

Según lo indicado en este punto, se debe igualar la capacidad de absorción de energía inelástica (E_h) a la energía que va absorber el sistema si se comportase elásticamente (E_e). A través de este proceso, podemos obtener una estimación de la carga máxima elástica V_e basada en E_h y la rigidez inicial experimental K_0 . Esta estimación, al ser dividida por la resistencia del espécimen (V_r), nos proporciona el coeficiente de reducción sísmica. [18]. La fórmula para determinar el coeficiente R es la siguiente:

$$R = \frac{V_e}{V_r} = \frac{\sqrt{2K_0 * E_h}}{V_r} \quad (05)$$

R: Factor de reducción de las fuerzas sísmicas

V_e : Máxima carga elástica

V_r : Resistencia del espécimen

K_0 : Rigidez inicial experimental

E_h : Capacidad de absorción de carga inelástica

La rigidez inicial experimental se encuentra mediante la siguiente fórmula:

$$k_0 = \frac{V(kN)}{D_1(mm)} \quad (06)$$

La máxima carga elástica se encuentra a partir de la rigidez inicial experimental y la capacidad de absorción de energía.

$$V_e = \sqrt{2k_0 * E_h} \quad (07)$$

Determinación del coeficiente R mediante el FEMA P695 o ATC 63

Para encontrar el factor de reducción de las fuerzas sísmicas el ATC 63, propone que el coeficiente R se encuentra mediante la multiplicación de 03 factores mostrados en la fórmula:

$$R = R_\mu R_S R_R \quad (08)$$

Dónde:

R_μ es el factor de ductilidad

R_S es el factor de resistencia

R_R es el factor de redundancia

Determinación del factor de ductilidad R_μ

El factor de ductilidad se encuentra mediante la relación de la máxima fuerza lateral elástica con la máxima fuerza lateral inelástica, determinado por la siguiente fórmula:

$$R_\mu = \frac{P_{ue}}{P_y} = \frac{\text{Máxima fuerza lateral elástica}}{\text{Máxima fuerza lateral inelástica}} \quad (09)$$

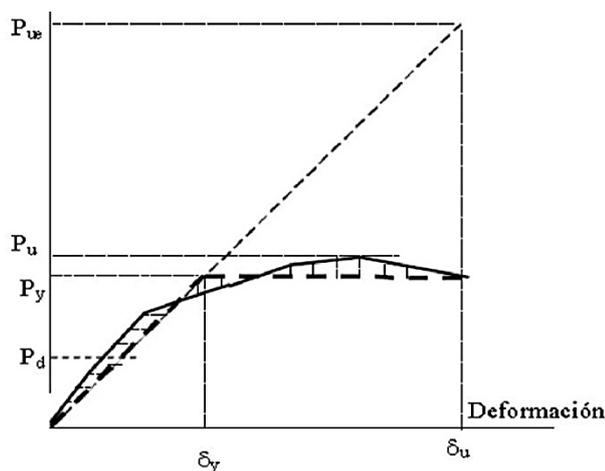


Ilustración 1: Modificación de respuesta debido a la ductilidad

Nota Sequera J. & Vita J. (2016)

A partir de la calibración de las curvas de capacidad obtenidas en los ensayos, se determina igualando áreas, se trazaron 2 rectas: una desde el punto cero y la otra desde el punto tomado como colapso. Para comprobar el correcto trazado se comparará el área bajo la curva de ambas líneas.

El desplazamiento total se toma como el desplazamiento máximo para cada uno de los ensayos, la fluencia efectiva se encuentra mediante la igualación de energías y el máximo desplazamiento inelástico es la diferencia de ambas. Ya encontrando lo mencionado anteriormente podemos determinar el coeficiente de ductilidad.

Determinación del factor de sobre resistencia

Este factor se encuentra mediante la relación de la cortante basal última y la cortante basal de diseño.

$$R_S = \frac{V_u^*}{V_0} = \frac{\text{cortante basal último}}{\text{cortante basal de diseño}} \quad (10)$$

$$V_c = A_c * \alpha * \sqrt{f'_c} \quad (11)$$

$$V_o = V_c + V_s \quad (12)$$

$$V_s = \left(\frac{A_v h * f_y * d}{s} \right) \quad (13)$$

Dónde:

- V_c : cortante del concreto
- V_s : cortante del acero
- A_c : área de concreto
- α : factor
- f'_c : resistencia del concreto
- ρ_h : cuantía de acero
- f_y : esfuerzo de fluencia del acero

Determinación del factor de redundancia

La redundancia se refiere a la habilidad de una estructura para transferir la carga de los elementos más solicitados a los elementos menos solicitados. Por tal motivo, este factor se define como la relación entre la capacidad a cortante basal de la estructura v_u con respecto al cortante basa en el preciso instante en el que se produce la primera rótula plástica v_1 .

$$R_R = \frac{v_u}{v_1} = \frac{\text{cortante basal último}}{\text{cortante basal con primera rótula plástica}} \quad (14)$$

Materiales y métodos

Tipo y nivel de Investigación

Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es cuasi – experimental, ya que existe una manipulación de las variables independientes, también se realizarán el comparativo entre el producto (nuevo coeficiente R_o) y lo propuesto por la Norma E-030.

Población, muestra y muestreo

Población

Esta investigación no cuenta con población específica.

Muestra

Los 09 muros ensayados con el sistema de muros de ductilidad limitada y la estructura arquetípica.

Muestreo

El muestreo es de tipo no probabilístico, ya que se aplicó el criterio del investigador para la selección de las unidades y/o casos para los fines de este proyecto de investigación.

Hipótesis y Operacionalización de variables

Hipótesis

¿Con la obtención de un nuevo coeficiente R_0 se logrará mejorar la respuesta sísmica en viviendas con el sistema MDL con malla dúctil?

Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE	SMDL	MUROS DE CONCRETO	09 ENSAYOS DE DISTINTAS SOLICITACIONES DE CARGA
DEPENDIENTE	FACTOR DE REDUCCIÓN	RESPUESTA SÍSMICA	ANÁLISIS MODALES
	MALLA DÚCTIL	ACERO DÚCTIL	ENSAYOS A CARGA AXIAL
	DESEMPEÑO ESTRUCTURAL	CAPACIDAD ESTRUCTURAL	ANÁLISIS NO LINEAL

Técnica e instrumentos de recolección de datos

Tabla 2: Técnica e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICA	INSTRUMENTO	ELEMENTO DE POBLACIÓN
OBSERVACIÓN DIRECTA	Guía de fotos	09 ensayos de laboratorio
ANÁLISIS DOCUMENTAL	Análisis de base de datos de ensayos de laboratorio	Tesis, Normas, Artículos científicos, Revistas, etc.

Procedimientos

Para la elaboración de este proyecto a investigar, se recopilará información técnica relacionada a los métodos de determinación de Factor R. Se llevarán a cabo ensayos para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales, como la resistencia a la compresión del concreto y la resistencia a la tracción de las barras de acero. Los resultados obtenidos deben cumplir con las especificaciones establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Se realizará un análisis experimental de 9 muros. Primero, se construirán a escala natural (2.00 x 0.10 x 2.40 m) según se muestra en la Ilustración 02. En 28 días pasado la construcción, se hará el traslado al laboratorio de los muros mediante un puente grúa. Se instalarán sensores (LVDT) en los muros para registrar los desplazamientos. Los ensayos se llevarán a cabo aplicando cargas laterales cíclicas según las pautas establecidas en el FEMA 461. Esta técnica implica cargar los muros con ciclos de carga lateral y controlar los desplazamientos durante el ensayo.

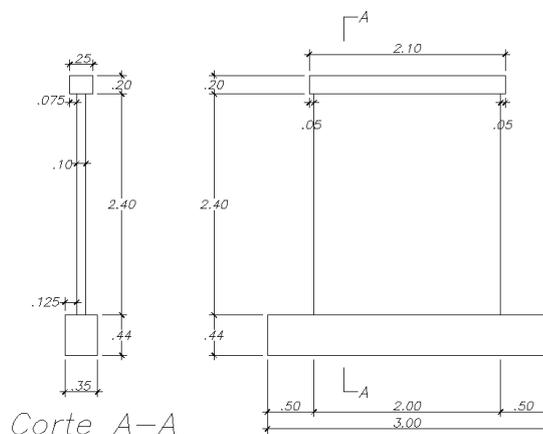


Ilustración 2: Dimensiones del muro a ensayar

Se procederá a describir los ensayos realizados al SMDL y explicar cuál será su comportamiento integral al aplicar las distintas condiciones de carga para las diferentes fases de ensayo.

A partir de las curvas de capacidad procesadas y calibradas que se obtengan de los ensayos, se va a determinar el coeficiente de reducción sísmica, empleando dos métodos y siguiendo los lineamientos correspondientes para su determinación.

Finalmente, se va a realizar una comparativa del nivel de optimización sísmica del nuevo coeficiente de reducción sísmica encontrado con el que actualmente presenta la normativa sismorresistente para este sistema en Perú.

Plan de procesamiento y análisis de datos

Para el desarrollo del plan de procesamiento y análisis de datos se va a realizar de manera secuencial detallada mediante 04 fases.

ETAPA I: Recopilación de información

a) Recolección del material bibliográfico y antecedentes

Se realizó una búsqueda en diversas fuentes confiables como Redalyc, Scielo, repositorios de tesis tanto internacionales como nacionales. Así mismo, indagar de antecedentes relacionados a la presente investigación.

b) Revisión de las diversas normativas relacionadas

Se va a recaudar guías de procedimientos experimentales para poder determinar el factor de reducción sísmica en base a las siguientes normativas:

- Norma de diseño sismorresistente E 030.
- FEMA P695: Methodology for Quantification of Building Seismic Performance Factors.
- FEMA 461: FEMA 461, Protocolos de prueba provisionales para determinar las características de rendimiento sísmico de los componentes estructurales y no estructurales.
- ATC-19 Structural response modification factors.
- ATC 63 Methodology for Evaluating Seismic Collapse Safety of Archetype Buildings
- ASCE 41-13 NSP: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings.

ETAPA II: Descripción de los 09 ensayos realizados al SMDL

Los ensayos de los 9 muros a escala natural con medidas de 2.00x0.10x2.40 m, se realizaron bajos los lineamientos del FEMA 461 aplicándoles cargas laterales cíclicas. Los seis muros siguientes fueron ensayados a carga lateral hasta la rotura, tres sin carga axial y tres con carga axial; tal como se muestra en la Tabla 10.

ETAPA III: Análisis del comportamiento integral del sistema MDL bajo las distintas condiciones de carga ensayadas.

El análisis del comportamiento integral se hará basado en los 09 ensayos realizados a los muros, se explicará a partir de los resultados obtenidos durante las fases de ensayo.

ETAPA IV: Determinar el coeficiente de reducción sísmica de los 09 muros ensayados en el sistema de MDL mediante dos métodos reconocidos en el estado del arte.

a) Aplicando el criterio de igualación de energías

Se determinó el coeficiente siguiente este criterio, el cual también fue aplicado para desarrollar las bases para determinar el coeficiente de la norma sismorresistente E 030.

Para encontrar la energía se tomó como base la ecuación general y a partir de allí se obtuvo una nueva ecuación en función a la fuerza y desplazamiento como se muestra a continuación.

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (15)$$

Ec: energía

m: masa

v: velocidad

$$v = \frac{d}{t}$$

d: desplazamiento

t: tiempo

reemplazamos velocidad en la ecuación general

$$E_c = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} * \left(\frac{d}{t}\right)^2 = \frac{md^2}{2t^2}$$

$$E_c = \frac{md^2}{2t^2}$$

$$F = m * a$$

a: aceleración

$$a = \frac{d}{t^2} = \frac{d}{t} * \frac{1}{t} = \frac{v}{t}$$

$$a = \frac{v}{t}$$

Reemplazamos en la ecuación de la fuerza

$$F = m * \frac{v}{t}$$

$$F * t = m * v$$

Entonces reemplazamos en la ecuación de energía

$$E_c = \frac{mv^2}{2} = mv * \frac{v}{2} = F * t * \frac{v}{2}$$

$$E_c = F * t * \frac{v}{2}$$

Reemplazamos la velocidad

$$E_c = F * t * \frac{v}{2} = F * t * \frac{d}{t} * \frac{1}{2} = F * \frac{d}{2}$$

Ecuación utilizada:

$$E_c = F * \frac{d}{2}$$

(16)

Para determinar la energía que soportaría el sistema si se comporta elásticamente, es decir, antes que supere la deriva elástica y llegue a la falla; se eligió de manera conservadora para los puntos de transición para los 03 primeros muros ensayados la fase 10.

Para la rigidez inicial, se tomó como base la instrumentación detallada en la tabla N°13, donde se tomó el D1 Y D3, se eligió el más crítico para poder hacer el registro de estos desplazamientos que se dan de manera horizontal en el eje del muro respecto a la losa de ensayo y con ello también el valor de cortante máximo que le corresponde.

A partir de valores obtenidos de la rigidez y la energía, se puede calcular la máxima carga elástica y la máxima carga inelástica y por el coeficiente de reducción sísmica, tal cual se muestra en los resultados.

b) Aplicando FEMA P695 o también llamado ATC 63

Se encuentra el coeficiente de ductilidad mediante las fórmulas mencionadas anteriormente. Para lo cual primero se procesó las curvas de capacidad obtenidas y se calibró los muros mediante el software Etabs.

c) Validación del muro

Se realizará la validación del muro en el software Etabs.

- ✚ Se define los materiales a emplear, tanto el acero como el concreto añadiéndole su no linealidad.
- ✚ Se inserta el modelo constitutivo de Carreiro y Chu para el concreto.
- ✚ Se modela el muro con las dimensiones reales y le aplica las cuantías de acero correspondientes.
- ✚ Se añade diafragma rígido al muro, también una carga tipo piers y la plasticidad con el objetivo de mejorar su comportamiento sísmico.
- ✚ Para tener un comportamiento más real se discretizó el muro y con ello se encontró las curvas de capacidad ya validadas.

Al calibrar el modelo matemático utilizando los datos experimentales, se puede ajustar y afinar los parámetros del modelo para que se ajusten de manera más precisa al comportamiento real del muro estructural. Es decir, comparar los valores que se obtienen del software con los datos obtenidos en pruebas experimentales y así realizar los ajustes necesarios para lograr una correspondencia óptima.

ETAPA V: Evaluar el comportamiento sísmico de una edificación arquétipica comparando el uso de $R_o = 4$ y el R_o obtenido.

A partir del modelado estructural de un edificio de 05 niveles en el software ETABS v.20.3.0, se calcularán las derivas de entre piso considerando un $R_o = 4$ como lo indica la norma técnica sismorresistente E. 030 y el valor obtenido en la etapa IV con el fin de evaluar si existe una mejora en el comportamiento sísmico.

Parámetros Sísmicos según la Norma E.030

- **Zonificación Sísmica (Z)**



Ilustración 3: Mapa de zonificación sísmica del Perú

- **Factor de uso (U)**

Según el requerimiento de uso se va a determinar un factor para cada tipo de edificaciones, así como los que se muestran en la tabla 03.

Tabla 3: Factor de uso

Categoría		Descripción		Factor U
A	Edificaciones Esenciales	A1	Establecimientos del Sector Público de 2do y 3er Nivel	1.50
		A2	Puertos y Aeropuertos	
			Estaciones Ferroviarias	
			Sistemas Masivos de Transporte	
			Locales Municipales	
			Centrales de Comunicaciones	
			Estaciones de Bomberos	
			Cuarteles de Fuerzas Armadas	
Cuarteles de Policías				
B	Edificaciones Importantes		Cines y Teatros	1.30
			Estadios y Coliseos	
			Centros Comerciales	
			Terminales de Buses	
			Establecimientos Penitenciarios	
			Museos y Bibliotecas	
			Depósitos de Granos	
	Almacenes Importantes			
C	Edificaciones Comunes		Viviendas	1.00
			Oficinas	
			Hoteles	
			Restaurantes	
			Depósitos	
			Instalaciones Industriales	
D	Edificaciones Temporales		Construcciones Provisionales	-
			Depósitos Provisionales	
			Casetas	

- Factor de suelo (S)

Tabla 4: Factores de Suelo "S"

	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Tabla 5: Períodos "TP" y "TL"

	Perfil del Suelo			
	S0	S1	S2	S3
TP (s)	0.30	0.40	0.60	1.00
TL (s)	3.00	2.50	2.00	1.60

- **Factor de Amplificación Sísmica (C)**

Se determina a partir del periodo fundamental de la estructura.

$$T < T_p \rightarrow C = 2.50$$

Resultados y discusión

ENSAYOS REALIZADOS AL SISTEMA MDL

Se ha dividido los ensayos en 03 bloques, como se especificó en la tabla 10.

MATERIALES UTILIZADOS Y SU CARACTERIZACIÓN SIGUIENDO LAS NORMAS DEL ENSAYO ASTM

Para el desarrollo de la fase de prueba se adquirieron materiales que cumplieron con los requisitos especificados en la normativa nacional de edificación.

ACERO DE REFUERZO

Podemos observar el acero utilizado en la construcción de los muros en la ilustración 03. La longitud del acero adquirido es de 9m con diámetro de 3/8", 1/2" y 3/4" según lo solicitado.



Ilustración 4: Acero corrugado utilizado en la construcción de los especímenes

Tabla 6: Características técnicas del acero corrugado - Aceros Arequipa

DENOMINACIÓN	Fierro corrugado ASTM A615-Grado 60
DESCRIPCIÓN	Barras de acero rectas de sección circular, con resaltes Hibond de alta adherencia en el concreto
NORMAS TÉCNICAS	Composición química, propiedades mecánicas y tolerancias dimensionales:
	ASTM A615 Grado 60
	Norma Técnica Peruana NTP 341.031 Grado 60
	Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú
PROPIEDADES MECÁNICAS	Límite de Fluencia (f_y) = 4280 kg/cm ² mínimo
	Resistencia a la Tracción (f_u) = 6320 kg/cm ² mínimo
	Relación $f_u/f_y \geq 1.25$

Los ensayos de tracción de las varillas de acero corrugado de 3/8'' y 1/2'' se realizaron según la normativa ASTM A370, se aplicó la carga axial a cada espécimen mediante la Máquina Universal de Ensayos; es importante notar que al romperse la barras hay una temperatura alta en la cercanía de la fractura.



Ilustración 5: Especímenes previo al ensayo (acero 3/8'')



Ilustración 6: Colocación del espécimen de 3/8'' en la Máquina Universal marca MTS equipada con mordazas de tracción.



Ilustración 7: Especímenes ensayados de 3/8''

A continuación, se muestra el gráfico global de esfuerzo-deformación para el espécimen de 3/8'' (Ilustración 7), el gráfico corresponde al espécimen 1. Se observa la poca plataforma de fluencia y el proceso de endurecimiento del acero.

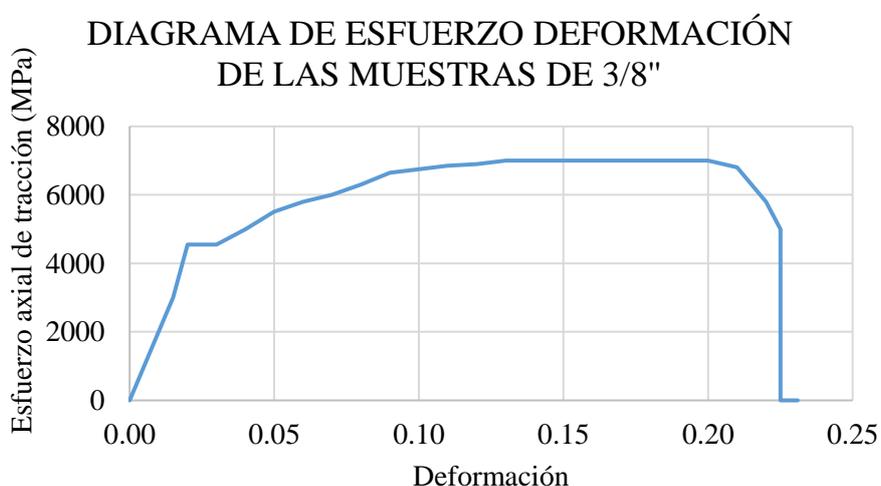


Ilustración 8: Diagrama esfuerzo deformación global de las muestras de 3/8''

A continuación, se tiene en la tabla No 07 que resume los esfuerzos de fluencia (f_y) y esfuerzos últimos (f_u) de los seis especímenes de 3/8'' ensayados.

Tabla 7: Esfuerzo de fluencia y último obtenidos para muestras de 3/8''

Muestra	f_y	f_u	f_u/f_y
Espécimen 1	4635	7035	1.52
Espécimen 2	4460	7063	1.58
Espécimen 3	4520	7062	1.56
Espécimen 4	4590	7040	1.53
Espécimen 5	4490	7060	1.57
Espécimen 6	4600	7097	1.54

Podemos observar en la ilustración 8 los especímenes ya ensayados en la máquina universal. Es importante agregar que al romperse los especímenes existió una temperatura alta en la cercanía de la fractura.



Ilustración 9: Especímenes ensayados (acero 1/2")

A continuación, se muestra el gráfico global de esfuerzo-deformación para el espécimen de 1/2", este gráfico corresponde al espécimen 6. Se observa la poca plataforma de fluencia y el proceso de endurecimiento del acero.

DIAGRAMA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS DE 1/2"

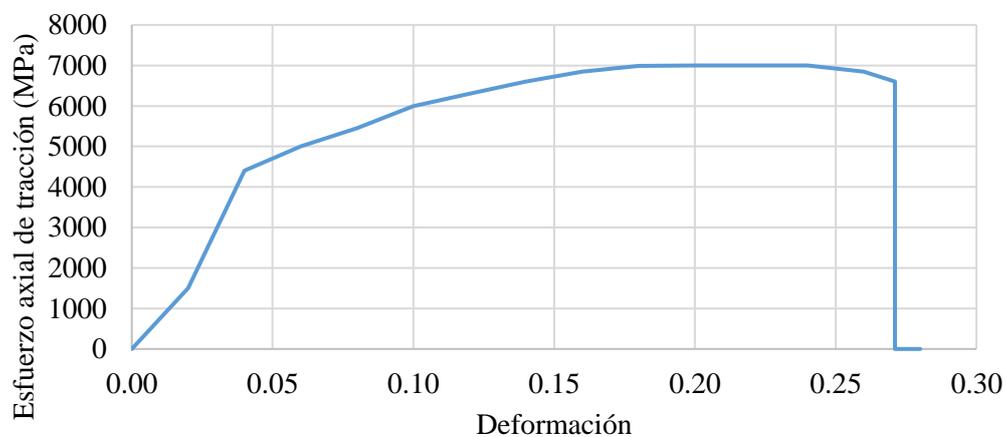


Ilustración 10: Diagrama esfuerzo deformación global de la muestra de 1/2"

En la tabla No 08 se resume los esfuerzos de fluencia (f_y) y los esfuerzos últimos (f_u) de los seis especímenes de 1/2" ensayados. En general, el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último superan el indicado en la tabla N°06.

Tabla 8: Esfuerzo de fluencia y último obtenidos para muestras de 1/2''

Muestra	f_y	f_u	f_u/f_y
Espécimen 1	4415	7001	1.59
Espécimen 2	4535	7258	1.60
Espécimen 3	4440	7006	1.58
Espécimen 4	4425	6997	1.58
Espécimen 5	4530	7280	1.61
Espécimen 6	4420	6992	1.58

CONCRETO

El concreto es un compuesto formado por la combinación de material granular grueso (agregado) y un material endurecido (cemento), que se utiliza para unir y llenar los espacios entre las partículas del agregado. Los muros se realizaron según normativas:

- “Toma de muestras del concreto fresco”. Normas NTP 339.036 y ASTM C 172.
- “Temperatura del concreto fresco”. Norma NTP 339.184 y ASTM C1064.
- “Asentamiento del concreto fresco”. Norma NTP 339.035 y ASTM C143.
- “Contenido de aire del concreto fresco”. Norma NTP 339.083 y ASTM C231.
- “Elaboración y curado de probetas en el laboratorio”. Norma NTP 339.183 y ASTM C192.

A continuación, se detalla los pasos seguidos para el control de calidad del concreto por elemento estructural de los nueve especímenes.



Ilustración 11: Medición de temperatura por cada tanda de mezcla correspondiente a las vigas de cimentación.



Ilustración 12: Ensayo de medición del slump utilizando el cono de Abrams.



Ilustración 13: Olla para medir el contenido de aire en concreto

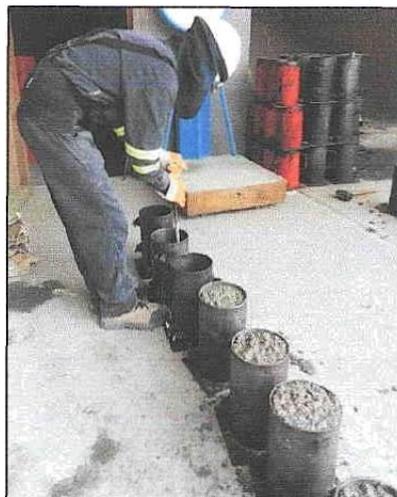


Ilustración 14: Elaboración de probetas.

- Se realizaron seis testigos de concreto para cada vaciado de concreto en vigas de cimentación y cada una recibió una denominación según tabla N°09.

Tabla 9: Lista de probetas de viga de cimentación

DENOMINACIÓN DE LAS MUESTRAS	ELEMENTO ESTRUCTURAL
M-VC-N°01	VIGA DE CIMENTACIÓN
M-VC-N°02	VC-01
M-VC-N°03	VC-02
M-VC-N°04	VC-03
M-VC-N°05	
M-VC-N°06	
M-VC-N°07	VIGA DE CIMENTACIÓN
M-VC-N°08	VC-04
M-VC-N°09	VC-05
M-VC-N°10	VC-06
M-VC-N°11	
M-VC-N°12	
M-VC-N°13	VIGA DE CIMENTACIÓN
M-VC-N°14	VC-07
M-VC-N°15	VC-08
M-VC-N°16	VC-09
M-VC-N°17	
M-VC-N°18	

En la Ilustración 14 se pueden observar las seis probetas obtenidas del primer vaciado de las vigas cimentación y también se visualizan las dos primeras probetas que serán ensayadas.



Ilustración 15: Probetas típicas de concreto endurecido.

En el caso de las vigas de cimentación, las dos primeras probetas de cada vaciado fueron ensayadas a compresión luego de 7 días. En la Ilustración 15 se puede observar el ensayo de una de estas probetas.

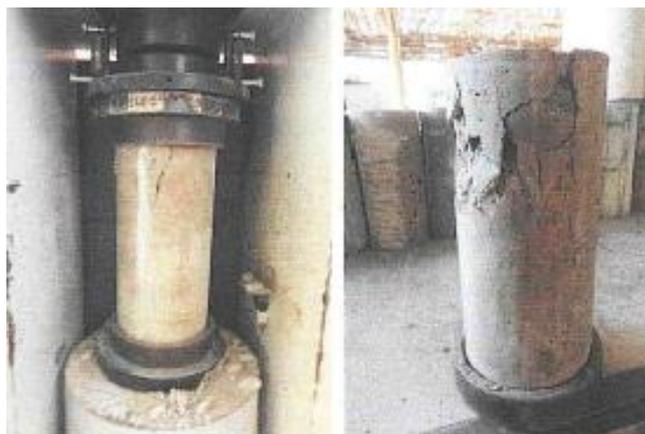


Ilustración 16: Probeta ensayada a compresión axial

El concreto alcanza el 70% de su resistencia a los siete días del vaciado y de acuerdo con los ensayos.

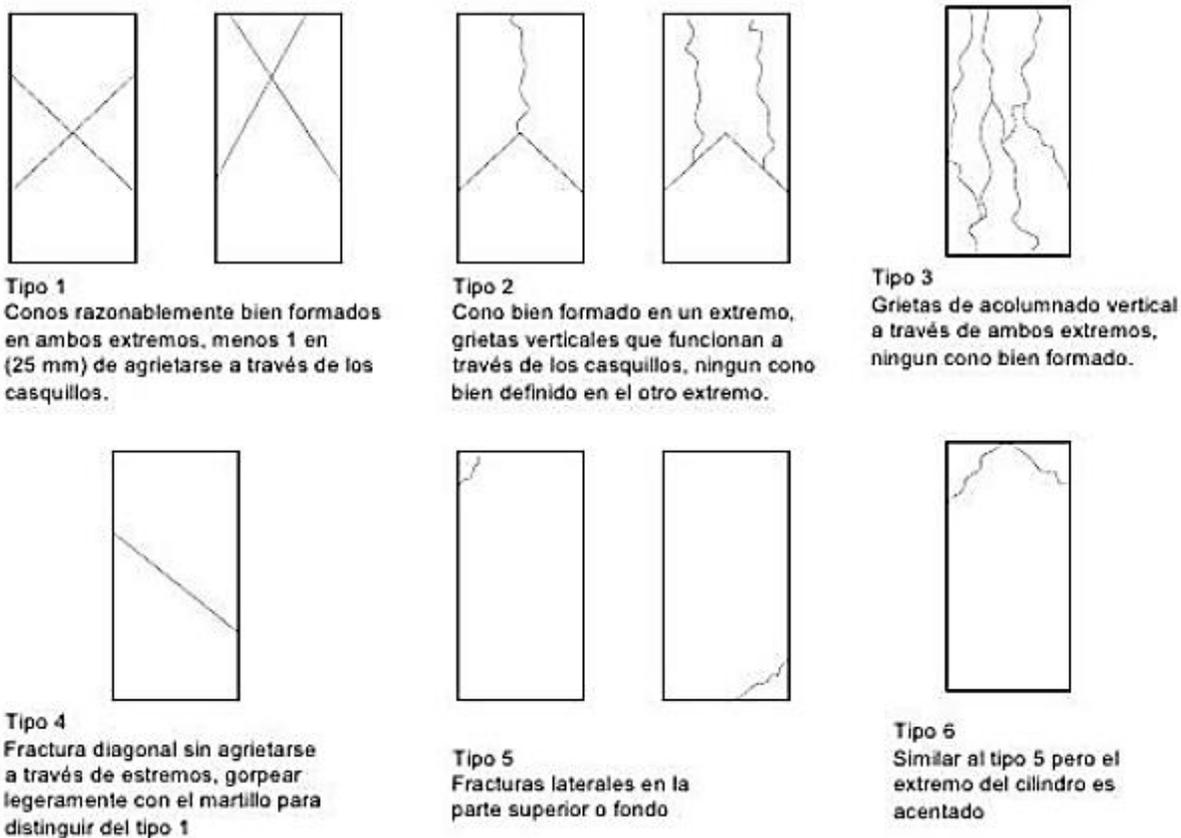


Ilustración 17: Tipos de falla en probetas de concreto endurecido

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOS ESPECÍMENES

Se siguió el mismo proceso constructivo para los elementos estructurales de los nueve especímenes. A continuación, se detalla el procedimiento.

- **CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN**

Se inició con las Sabores de corte de varillas de acero para poder habilitarlas como se observa en la Ilustración 17. Para este procedimiento se respetó el detalle estructural que se visualiza en la Ilustración 18.



Ilustración 18: Habilitación del acero de refuerzo de vigas de cimentación

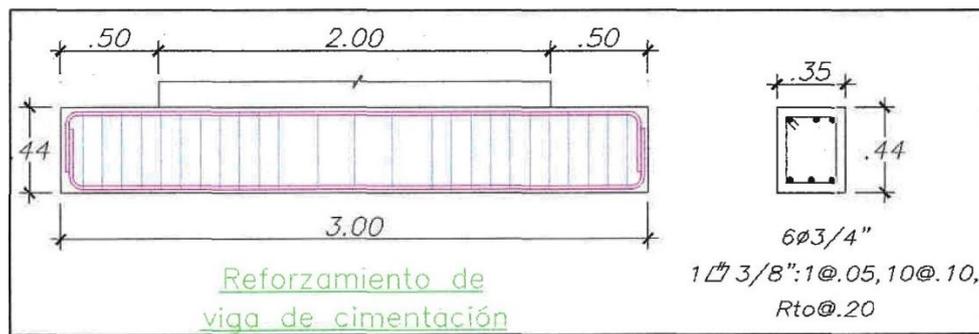


Ilustración 19: Detalle del acero de refuerzo de vigas de cimentación

Luego de habilitar y colocar el acero se iniciaron las labores de encofrado para el cual se utilizó madera como en la Ilustración 19.



Ilustración 20: Encofrado de las vigas de cimentación

Al concluir con el encofrado de las vigas de cimentación se procedió a la colocación del acero vertical del muro de ductilidad limitada tal como se observa en la Ilustración 20.



Ilustración 21: Encofrado de vigas de cimentación y armado de acero vertical del muro de ductilidad limitada.

Se verificó el correcto armado de las vigas de cimentación y su encofrado, así como la colocación del acero vertical de los muros de ductilidad limitada (cumpliendo con el recubrimiento indicado en los planos) para proceder con el vaciado de concreto de resistencia $f'c=210$ kg/cm² como se observa en la Ilustración.



Ilustración 22: Vaciado de concreto de resistencia $f'c = 210$ kg/cm² en las vigas de cimentación.

Para una adecuada compactación se utilizó una vibradora al momento del vaciado, tal como se observa en la ilustración 22. En la ilustración 23 se observan las vigas al finalizar el vaciado.



Ilustración 23: Compactación del concreto



Ilustración 24: Vigas de cimentación al finalizar el vaciado

Al día siguiente del vaciado se procedió con el desencofrado y curado de las

vigas de cimentación como se observa en la Ilustración 24. El curado se llevó a cabo durante siete días.

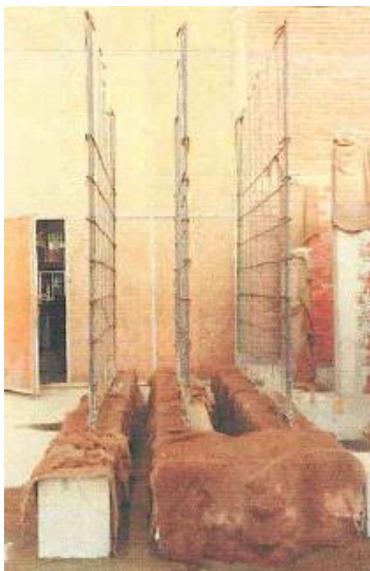


Ilustración 25: Curado de las vigas de cimentación

- **CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA Y VIGA SOLERA**

Luego de habilitar el acero para los muros de ductilidad limitada se procedió a la colocación de estos, tal como se observa en la ilustración 25.

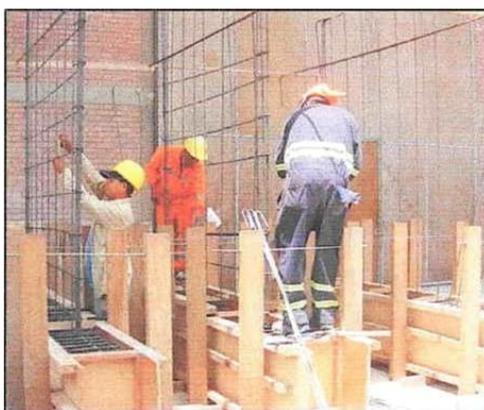


Ilustración 26: Colocación del acero vertical y horizontal en los muros de ductilidad limitada

Luego de concluir con la colocación del acero de los nueve muros, se procedió al encofrado de estos utilizando encofrado metálico como se observa en la ilustración 26 y se colocaron los aceros habilitados para las vigas soleras como se observa en la ilustración 27.



Ilustración 27: Encofrado de los nueve muros



Ilustración 28: Encofrado de viga solera

Al concluir con el encofrado de los muros y las vigas soleras se procedió al vaciado del concreto de resistencia $f_c=175 \text{ kg/cm}^2$. En la ilustración 28 podemos ver al camión mixer y la bomba empleados para el vaciado. En la ilustración 29 se observa el vaciado de los muros y vigas soleras en conjunto. Finalmente se procedió al desencofrado y curado de los nueve muros (ilustración 30).

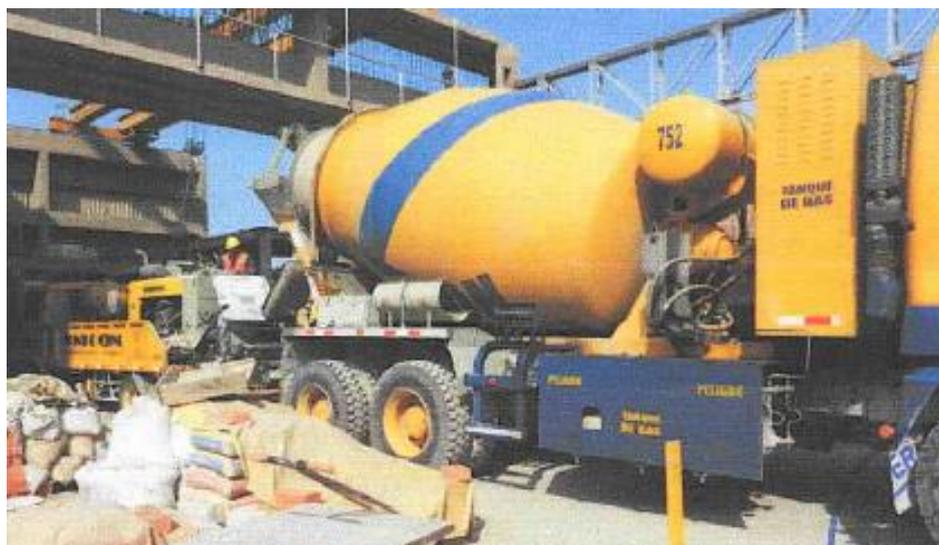


Ilustración 29: Camión mixer y bomba para el vaciado.



Ilustración 30: Vaciado de los muros y vigas soleras de los nueve muros



Ilustración 31: Curado de los nueve muros.

DESCRIPCIÓN DE LOS ESPECÍMENES

En este trailus se realizó el estudio de 09 MDL sometidos a cargas laterales cíclicas, con $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, anclados a las vigas de cimentación de 0.35m de ancho y 0.44m de alto y en l aparte superior del muro se colocó una viga solera de 0.25m de ancho y 0.20m de alto.

Tabla 10: Nomenclatura de los especímenes ensayados

CÓDIGO	NOMENCLATURA DE ESPECÍMENES ENSAYADOS	DESCRIPCIÓN
MDL-SCA-LR	MDL 01	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y sin carga axial, llevando al límite de reparabilidad.
	MDL 02	
	MDL 03	
MDL-SCA	MDL 04	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y sin carga axial.
	MDL 05	
	MDL 06	
MDL-CCA	MDL 07	Muro de ductilidad limitada con carga lateral y carga axial de 30 Tn.
	MDL 08	
	MDL 09	

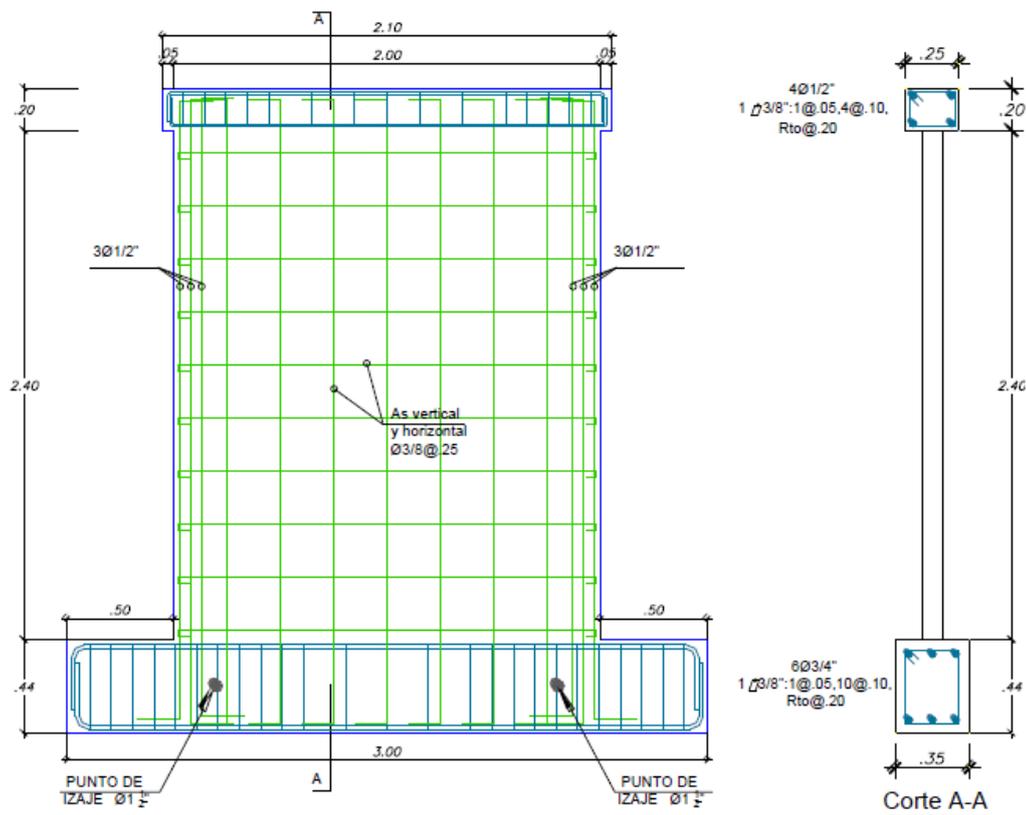


Ilustración 32: Detalle del muro

TÉCNICA DE ENSAYO

Se llevaron a cabo pruebas en los 09 muros utilizando un método de carga lateral cíclica con control de desplazamiento. En esta prueba, los muros fueron sometidos a un desplazamiento conocido en ambas direcciones, que se incrementó gradualmente mediante una fuerza aplicada a la altura del eje de la viga solera. El ensayo se dividió en fases, donde se aplicaron diferentes condiciones de carga. Cada fase constaba de dos ciclos con el mismo desplazamiento máximo, que aumentaba a medida que avanzaban las fases, hasta alcanzar un límite preestablecido de rotura.

Para cada uno de los muros se fueron registrando los desplazamientos laterales, las deformaciones diagonales y verticales con el fin de conocer a detalle su comportamiento a carga lateral.

CONDICIONES DE ENSAYO

- Los especímenes fueron colocados en posición para el ensayo mediante el uso de un puente grúa, el cual levantó el espécimen desde los puntos de elevación ubicados en la viga de cimentación.
- Con el objetivo de garantizar una superficie de contacto uniforme con el suelo, se colocó un material de capping en la parte inferior de la viga de cimentación.
- Durante la realización del ensayo, se tomaron mediciones de fuerza, deformación y desplazamiento. Se emplearon transductores de deformación y sensores como celdas de carga para capturar las demandas generadas por el movimiento.
- Los sensores de deformación se distribuyeron en varios puntos del muro, incluyendo mediciones de deformación en diagonales, verticales y horizontales, con el fin de obtener información sobre los desplazamientos en diferentes orientaciones.

FASES DEL ENSAYO Y SISTEMA DE CARGA

Las fases propuestas para cada ensayo dependieron del tipo de muro, llegando a 10 fases para los muros MDL-SCR-LR, 13 fases para los muros MDL-SCA y MDL-CCA. Cada fase para cada muro corresponde a un mismo desplazamiento con la finalidad de poder comparar el comportamiento de los 12 ensayos siguiendo la normativa FEMA 461.

Tabla 11: Fases de ensayo

FASE	MDL-SCA		MDL-CCA	
	Deriva (%)	Desp. (mm)	Deriva (%)	Desp. (mm)
1	0.20	0.50	0.20	0.50
2	0.35	0.80	0.35	0.80
3	0.42	1.00	0.42	1.00
4	0.63	1.50	0.63	1.50
5	0.83	2.00	0.83	2.00
6	1.25	3.00	1.25	3.00
7	1.88	4.50	1.88	4.50
8	2.50	6.00	2.50	6.00
9	3.54	8.50	3.54	8.50
10	5.00	12.00	5.00	12.00
11	6.88	16.50	6.88	16.50
12	9.80	23.50	9.80	23.50
13	12.71	30.50	12.71	30.50

INSTRUMENTACIÓN

Se colocaron 11 LVDT para los muros que se ensayaron sin carga axial y 12 LVDT para los muros que se colocaron con carga axial. La diferencia es un LVDT colocado con la finalidad de medir deformaciones axiales en los muros MDL-CCA.

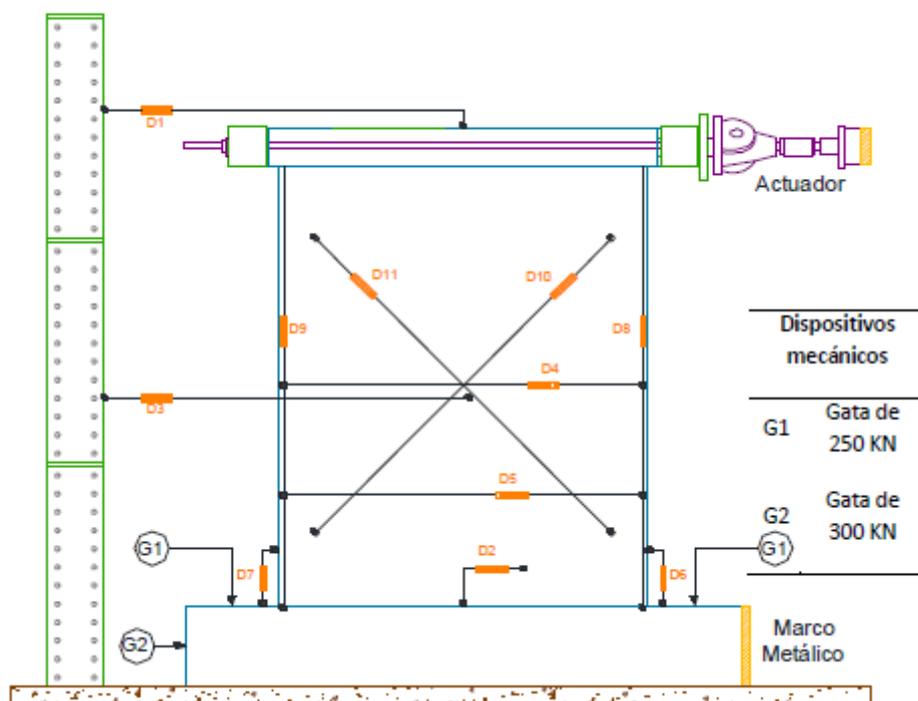


Ilustración 33: Instrumentación de muros ensayados bajo carga lateral y con carga axial

Tabla 12: Nomenclatura de dispositivos

Dispositivo	Desplazamiento	Etiqueta	Dispositivo	Desplazamiento	
D1	WA100-053710413	100 mm	D1	WA200- 090810064	200 mm
D2	WA20-053710388	20 mm	D2	WA20-053710388	20 mm
D3	W50#3	50 mm	D3	W50#5	50 mm
D4	WA20-053710396	20 mm	D4	WA20-053710396	20 mm
D5	WA20-053710407	20 mm	D5	WA20-053710407	20 mm
D6	W10#1	10 mm	D6	W10#1	10 mm
D7	W10#2	10 mm	D7	W10#2	10 mm
D8	W20#1	20 mm	D8	WA20-053710408	20 mm
D9	W20#2	20 mm	D9	W20#2	20 mm
D10	W50#8	50 mm	D10	W50#8	50 mm
D11	W50#1	50 mm	D11	W50#1	50 mm
-	-	-	D12	WA50#054010070	50 mm

Tabla 13: Instrumentación

Registro de desplazamiento	
D1, D3	Tienen la finalidad de registrar los desplazamientos horizontales en el eje del muro respecto a la losa de ensayo
D2	Mide el deslizamiento del muro respecto a la viga
D4, D5	Permiten estimar el ancho total de grietas producidas en sus respectivas alturas
D6, D7	Mide la deformación axial del muro en ambos extremos en una altura de 30cm (talón) con la finalidad de estimar el efecto por flexión en la zona de rótula plástica.
D8, D9	Mide la deformación axial total del muro en ambos extremos.
D10, D11	Permiten obtener la deformación por corte en los muros y calcular en el rango elástico el módulo de corte (G)
D12	Registra la deformación axial en el centro del muro, lo que permite obtener el módulo de elasticidad (E) en el espécimen cuando se aplique paulatinamente la carga vertical.



Ilustración 34: Colocación del muro en posición de ensayo

MONTAJE

Se instalaron tres gatas hidráulicas en las vigas de cimentación con el propósito de prevenir el desplazamiento y volcamiento del muro. Estas gatas generan dos fuerzas verticales y una fuerza horizontal, con una capacidad máxima de 300 kN cada una. La carga horizontal se aplica al muro a través de un actuador hidráulico ubicado a la altura

del eje de la viga solera, transmitiendo directamente la carga a la cara de la viga. El actuador hidráulico tiene una capacidad máxima de 500 kN, permitiendo la aplicación de la fuerza horizontal.

Para aplicar fuerzas verticales en ambos sentidos, el actuador se conecta mediante un tirante a un cabezal metálico que presiona la otra cara de la viga. La carga vertical en los muros se realiza mediante un actuador hidráulico con una capacidad máxima de fuerza de 500 kN, como se muestra en la Ilustración 34.



Ilustración 35: Colocación del muro en posición de ensayo y colocación del actuador hidráulico para aplicación de la fuerza vertical.

CONDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN CADA ENSAYO

Tabla 14: Registro de temperatura y humedad

CÓDIGO	MUROS	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
MDL-SCA-LR	MDL 01	22	79
	MDL 02	22	77
	MDL 03	21	84
MDL-SCA	MDL 04	22	81
	MDL 05	22	83
	MDL 06	22	80
MDL-CCA	MDL 07	20	79
	MDL 08	19	87
	MDL 09	19	98

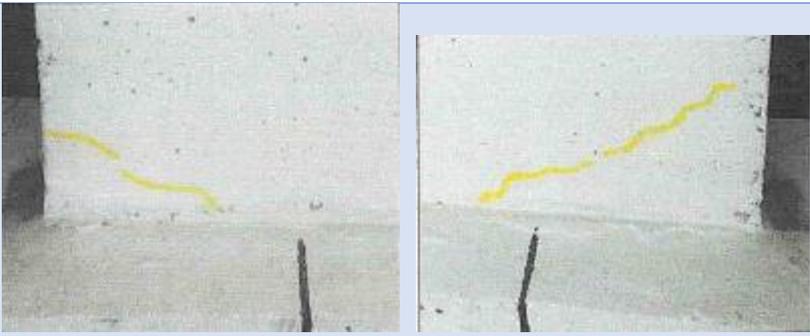
COMPORTAMIENTO INTEGRAL DE LOS 09 MUROS DEL SISTEMA MDL BAJO LAS DISTINTAS CONDICIONES DE CARGA ENSAYADAS

Se ha dividido los ensayos en 03 bloques, como se especificó en la tabla 07 y los resultados se muestran a continuación mediante las diversas fases:

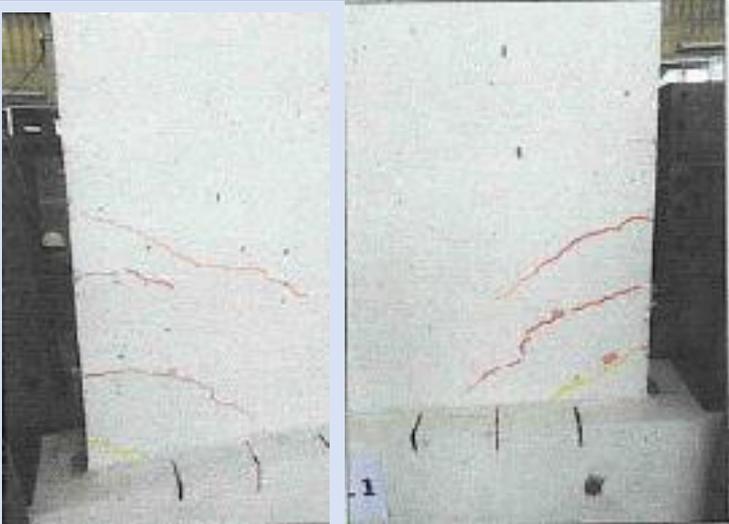
ENSAYOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA CON CARGA LATERAL Y SIN CARGA AXIAL, LLEVADO AL LÍMITE DE REPARABILIDAD

Espécimen MDL 01

FASE I	
Desplazamiento	0.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	5.26 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	

FASE II	
Desplazamiento	0.80 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	7.18 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	
FASE III	
Desplazamiento	1.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	7.88 ton
Observación	Se observaron grietas de tracción por flexión en los extremos inferiores del espécimen, las cuales se extendieron hasta la base del muro. El ancho de estas grietas fue inferior a 0.05 mm.
	

FASE IV	
Desplazamiento	1.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	8.97 ton
Observación	<p>La grieta ubicada en el extremo inferior derecho del muro, que se formó durante la fase III, alcanzó un grosor de 0.05 mm. Además, en los extremos del tercio inferior del muro se generaron grietas de tracción por flexión a alturas distintas. Estas grietas se propagaron hasta la base del muro, convirtiéndose en grietas de tracción diagonal. Todas estas grietas tuvieron un grosor de 0.05 mm.</p>
	

FASE V	
Desplazamiento	2.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	10.31 ton
Observación	<p>La grieta situada en el extremo inferior derecho del muro, formada durante la fase III, aumentó su grosor a 0.10 mm. Además, se extendieron las grietas formadas en la fase IV y se desarrollaron nuevas grietas de tracción por flexión. Sin embargo, el grosor de estas últimas grietas no superó los 0.05 mm.</p>
	

FASE VI	
Desplazamiento	3.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	11.81 ton
Observación	<p>Las grietas existentes se extendieron y su grosor alcanzó un valor máximo de 0.20 mm. Además, se generaron nuevas grietas de tracción por flexión</p>

con un grosor máximo de 0.05 mm. Además de eso, se formaron más grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.20 mm.



FASE VII

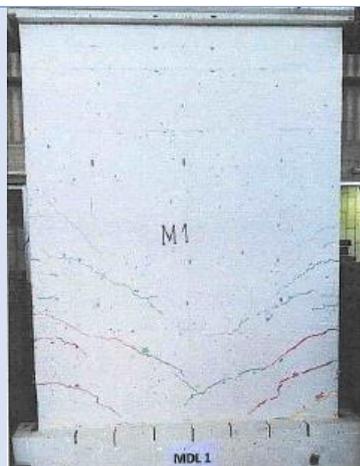
Desplazamiento 4.50 mm

Carga axial 0 ton

Carga lateral máxima 14.55 ton

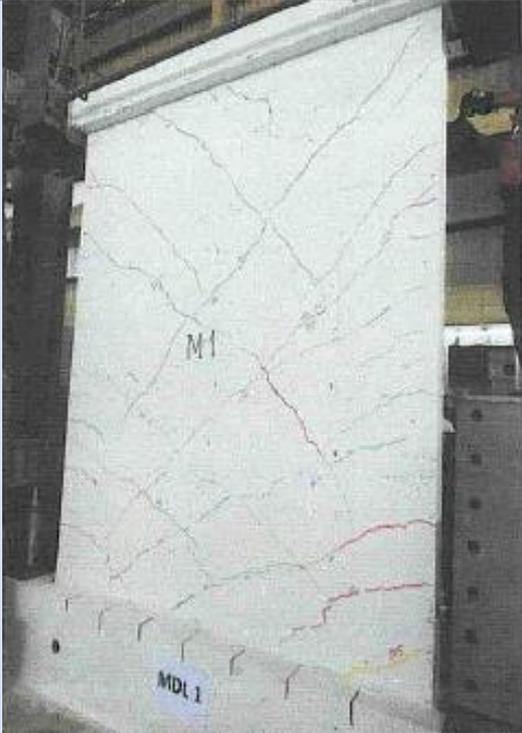
Observación

Las grietas existentes se extendieron y su grosor alcanzó un valor máximo de 0.30 mm. Además, se formaron nuevas grietas de tracción por flexión y grietas de tracción diagonal con grosores inferiores a 0.05 mm.



FASE VIII	
Desplazamiento	6.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	16.53 ton
Observación	<p>Un gran número de grietas existentes se extendieron y aumentaron su grosor hasta llegar a un valor máximo de 0.40 mm. Además, en los extremos del tercio superior del muro, se presentaron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.30 mm.</p>
	

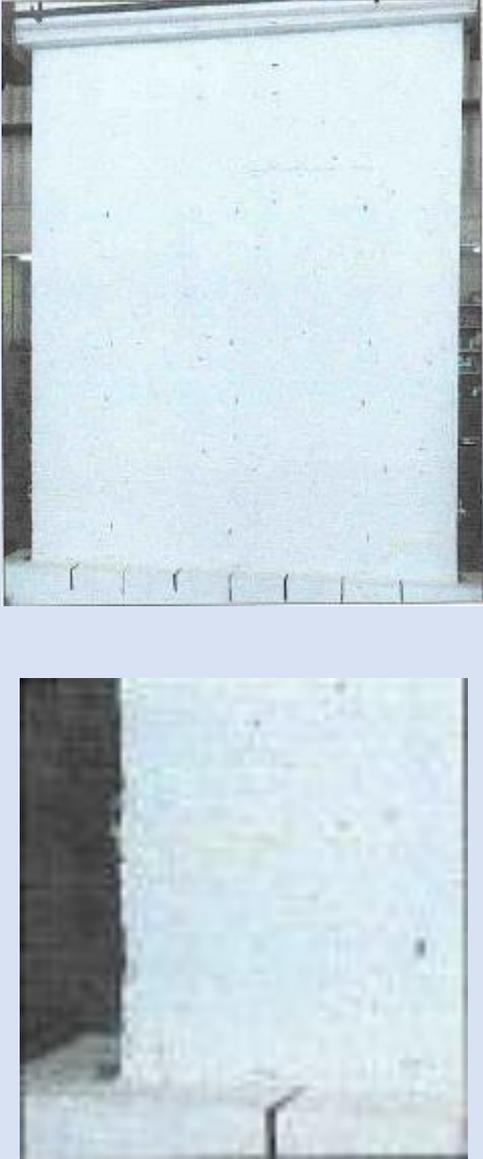
FASE IX	
Desplazamiento	8.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	19.38 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron, mientras que otras grietas solo aumentaron su grosor hasta un máximo de 0.40 mm. Además, se formaron nuevas grietas de tracción diagonal con grosores inferiores a 0.50 mm.
 A photograph of a rectangular concrete specimen, labeled 'M1' in the center. The specimen is covered with a grid of small, light-colored dots. It exhibits several prominent diagonal cracks, some of which are highlighted with red and green lines. The cracks are oriented diagonally across the face of the specimen. At the bottom of the specimen, there is a label 'MDL 1' and a small circular mark.	

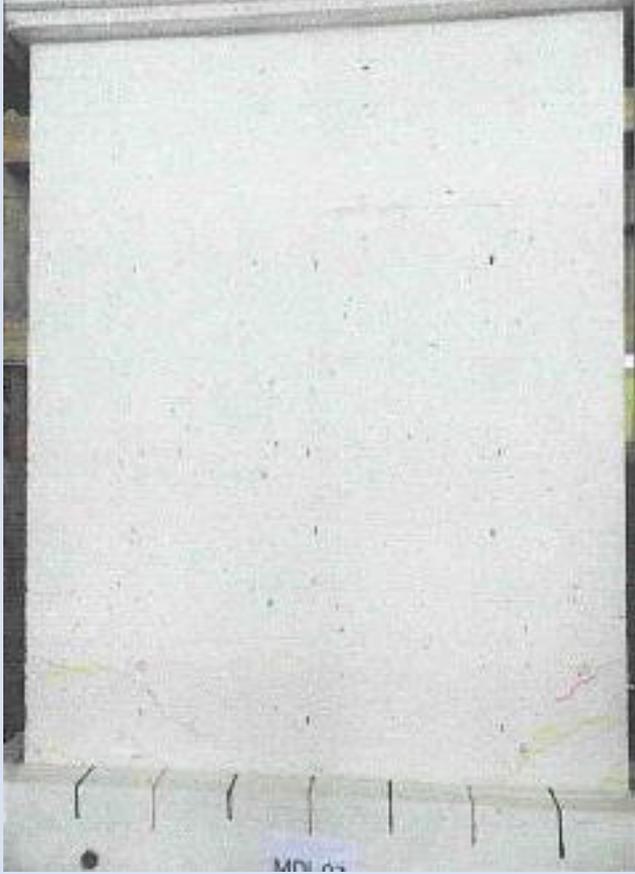
FASE X	
Desplazamiento	12.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	22.15 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron y alcanzaron un grosor máximo de 0.80 mm. Asimismo, las grietas diagonales llegaron a un grosor máximo de 0.50 mm.
	

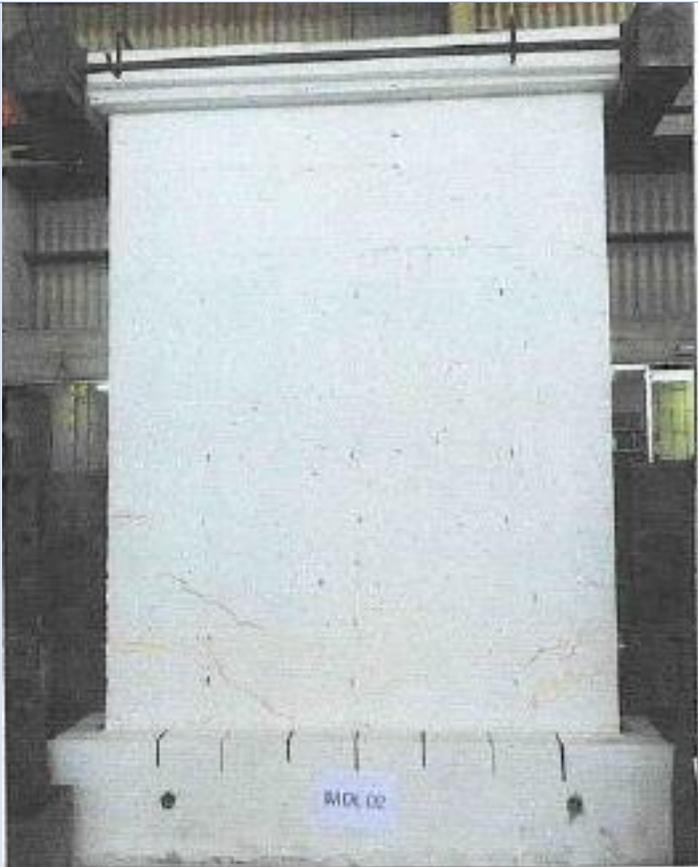
Espécimen MDL 02

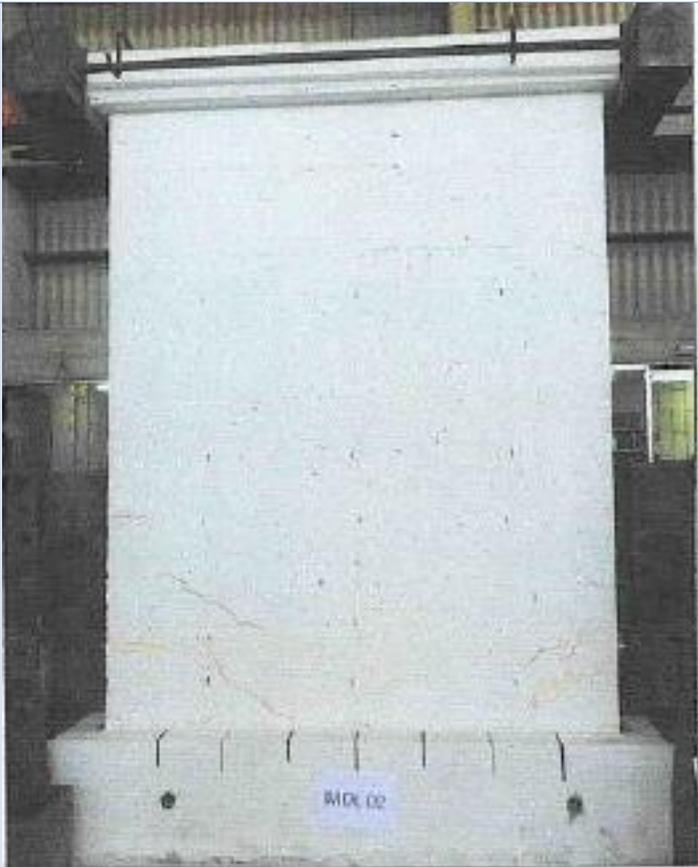
FASE I	
Desplazamiento	0.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	5.14 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	

FASE II	
Desplazamiento	0.80 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	6.76 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.

FASE III	
Desplazamiento	1.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	6.82 ton
Observación	<p>El espécimen mostró grietas de tracción por flexión en los extremos inferiores, las cuales se extendieron hacia la base del muro. El grosor máximo de estas grietas fue de 0.05 mm.</p>
	

FASE IV	
Desplazamiento	1.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	8.68 ton
Observación	<p>La grieta en el extremo inferior derecho del muro, formada durante la fase III, aumentó su grosor a 0.10 mm. Además, se generaron grietas de tracción por flexión en los extremos inferiores del muro a diferentes alturas. Estas grietas se extendieron hacia la base del muro y se convirtieron en grietas de tracción diagonal. El grosor máximo de todas las grietas fue de 0.10 mm.</p>
	

FASE V	
Desplazamiento	2.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	10.30 ton
Observación	<p>La grieta en el extremo inferior derecho del muro, formada durante la fase III, aumentó su grosor a 0.15 mm. Además, se extendieron las grietas formadas en la fase IV y surgieron nuevas grietas de tracción por flexión, las cuales no superaron un grosor de 0.05 mm.</p>
 A photograph of a concrete wall specimen in a laboratory setting. The wall is light-colored and shows several cracks, particularly near the bottom. The specimen is supported by a base with several vertical rods. A small blue label with the text 'WDL 02' is visible on the base.	

FASE VI	
Desplazamiento	3.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	11.61 ton
Observación	<p>Las grietas existentes se extendieron y aumentaron su grosor hasta alcanzar los 0.15 mm. Además, se desarrollaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.10 mm. Asimismo, surgieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.10 mm.</p>
	

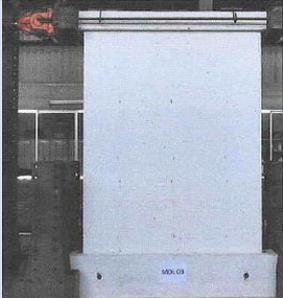
FASE VII	
Desplazamiento	4.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	13.92 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron y su grosor aumentó hasta alcanzar los 0.20 mm. Además, se generaron nuevas grietas de tracción por flexión y grietas de tracción diagonal con grosores inferiores a 0.10 mm.
	

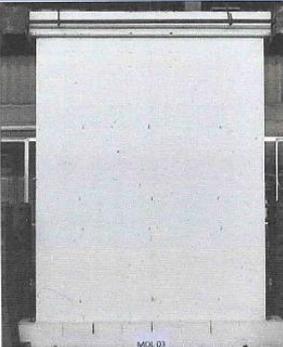
FASE VIII	
Desplazamiento	6.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	16.13 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.15 mm.
 A photograph of a rectangular concrete specimen, likely a beam or slab, showing a dense network of cracks. The cracks are primarily oriented horizontally and diagonally, with some vertical cracks near the bottom edge. The cracks vary in width and length, and some are highlighted with blue and green markers. The specimen is supported by a metal frame, and the background is a light-colored wall.	

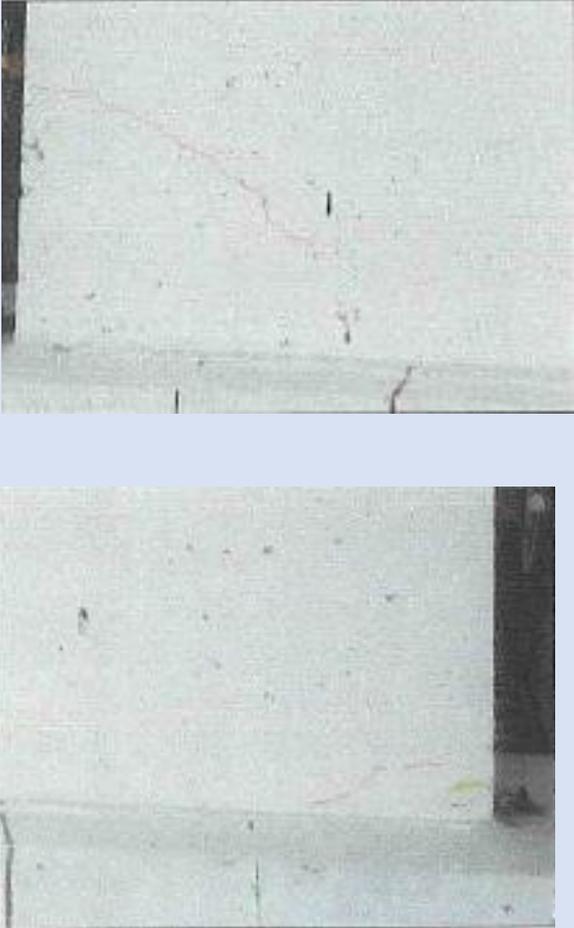
FASE IX	
Desplazamiento	8.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	19.19 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron, mientras que otras grietas aumentaron su grosor hasta un valor máximo de 0.35 mm. Además, aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.35 mm.
	

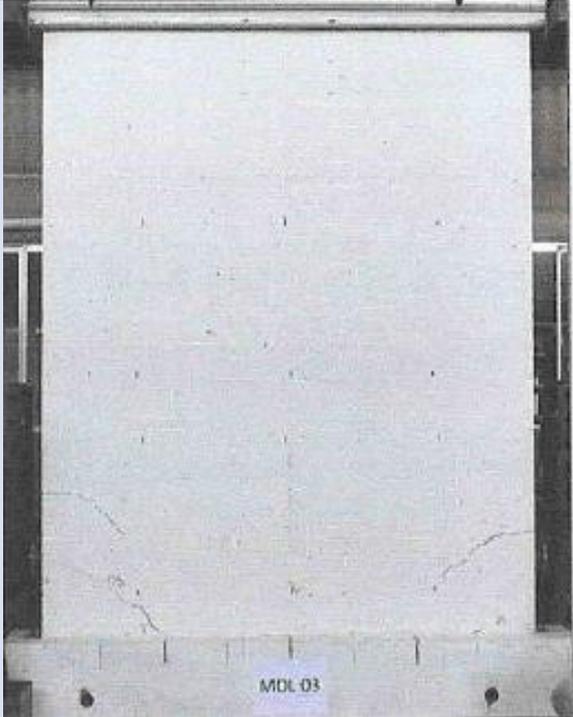
FASE X	
Desplazamiento	12.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	21.85 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron, mientras que otras grietas solo aumentaron su grosor hasta un valor máximo de 0.80 mm. Además, se formaron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.80 mm.
	

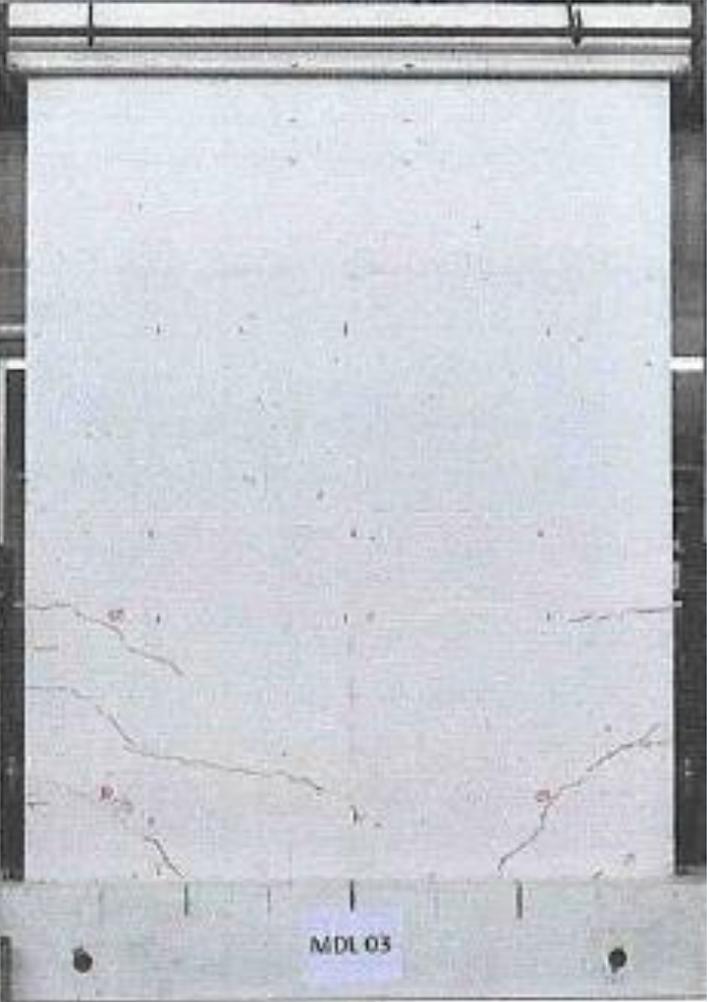
Espécimen MDL 03

FASE I	
Desplazamiento	0.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	6.45 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	

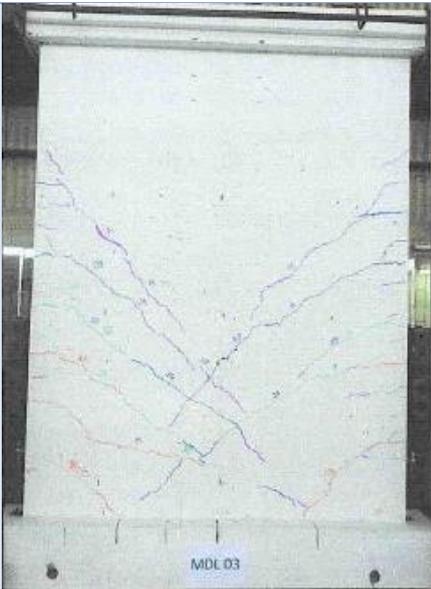
FASE II	
Desplazamiento	0.80 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	7.52 ton
Observación	<p>El espécimen presentó grietas de tracción por flexión en ambos extremos inferiores y se prolongaron hacia la base del muro.</p> <p>El grosor de las grietas fue menor a 0.05 mm.</p>
	

FASE III	
Desplazamiento	1.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	8.47 ton
Observación	<p>El espécimen mostró una grieta de tracción por flexión en el extremo derecho inferior. El grosor de esta grieta fue menor a 0.05 mm. No se observaron más grietas en el extremo inferior izquierdo del muro.</p>
	

FASE IV	
Desplazamiento	1.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	10.26 ton
Observación	<p>Las grietas formadas en los extremos inferiores del muro durante la fase III aumentaron su grosor a 0.05 mm. Se observaron grietas de tracción por flexión en diferentes alturas de los extremos inferiores del muro. Estas grietas se extendieron hacia la base del muro, transformándose en grietas de tracción diagonal. El grosor máximo de todas las grietas fue de 0.05 mm..</p>
	

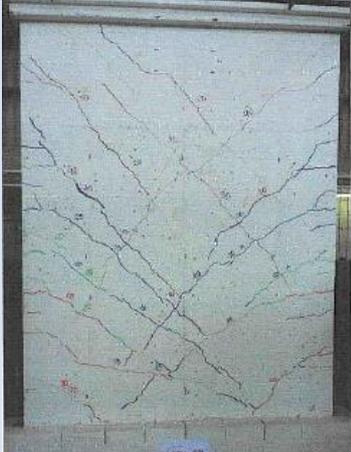
FASE V	
Desplazamiento	2.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	11.07 ton
Observación	Las grietas formadas en la fase IV se extendieron, y además, surgieron nuevas grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.05 mm.
	

FASE VI	
Desplazamiento	3.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	12.79 ton
Observación	<p>Las grietas existentes se extendieron y aumentaron su grosor hasta llegar a los 0.20 mm. Además, se generaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.10 mm. También aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.15 mm.</p>
	

FASE VII	
Desplazamiento	4.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	15.71 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor hasta 0.25 mm. Aparecieron grietas de tracción por flexión y grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.25 mm.
	

FASE VIII	
Desplazamiento	6.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	18.23 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron y aumentaron su grosor hasta alcanzar un valor máximo de 0.40 mm. Además, se formaron nuevas grietas de tracción por flexión y grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.35 mm.

FASE IX	
Desplazamiento	8.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	20.53 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron, mientras que otras grietas aumentaron su grosor hasta alcanzar un valor máximo de 0.50 mm. Además, se formaron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.50 mm.

FASE X	
Desplazamiento	12.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	23.18 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron, mientras que otras grietas solo aumentaron su grosor hasta alcanzar un valor máximo de 0.80 mm. Además, se formaron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.50 mm.
	

ENSAYOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA CON CARGA LATERAL Y SIN CARGA AXIAL

Espécimen MDL 04

FASE I	
Desplazamiento	0.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	5.49 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	

FASE II	
Desplazamiento	0.80 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	7.18 ton
Observación	En los extremos inferiores del muro se desarrollaron grietas de tracción por flexión con un grosor inferior a 0.05 mm.
	

FASE III	
Desplazamiento	1.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	8.27 ton
Observación	Las grietas de la fase 2 se extendieron y en los extremos inferiores del muro se generaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm.
	

FASE IV	
Desplazamiento	1.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	9.80 ton
Observación	En los extremos inferiores del muro se desarrollaron grietas de tracción por flexión a diferentes alturas. Estas grietas se extendieron hacia la base del muro, transformándose en grietas de tracción diagonal. El grosor máximo de todas las grietas fue de 0.10 mm.
	

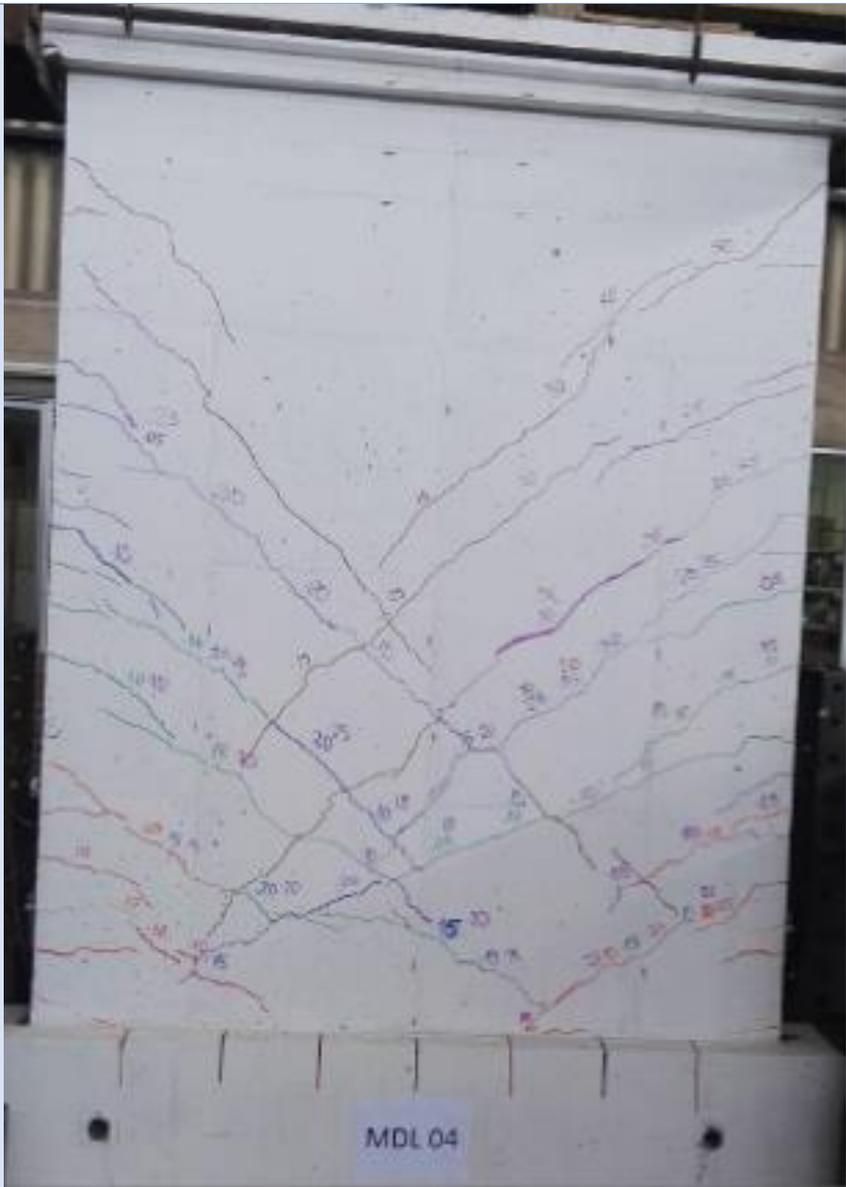
FASE V	
Desplazamiento	2.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	11.34 ton
Observación	<p>Las grietas formadas en la fase 4 se extendieron, mientras que otras grietas aumentaron su grosor hasta un valor máximo de 0.10 mm. Además, surgieron nuevas grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.05 mm.</p>
	

FASE VI	
Desplazamiento	3.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	13.09 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron y aumentaron su grosor hasta un valor máximo de 0.15 mm. Además, se generaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.10 mm. También se observaron grietas de tracción diagonal que alcanzaron un grosor máximo de 0.15 mm.
	

FASE VII	
Desplazamiento	4.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	16.00 ton
Observación	<p>Las grietas existentes se extendieron y su grosor aumentó hasta alcanzar un valor máximo de 0.30 mm. Otras grietas existentes aumentaron su grosor hasta 0.15 mm. Además, se formaron grietas de tracción diagonal pura con un grosor máximo de 0.25 mm.</p>
	

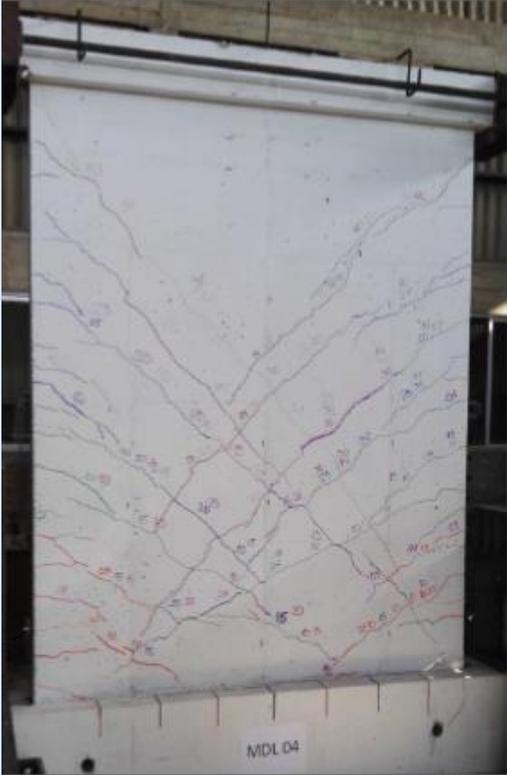
FASE VIII	
Desplazamiento	6.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	18.51 ton
Observación	<p>Las grietas existentes se extendieron y algunas de ellas solo aumentaron su grosor hasta un máximo de 0.30 mm. También se observaron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.25 mm.</p>
	

FASE IX	
Desplazamiento	8.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	21.40 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron y algunas de ellas solo aumentaron su grosor hasta un máximo de 0.50 mm. Además, se observaron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.50 mm.

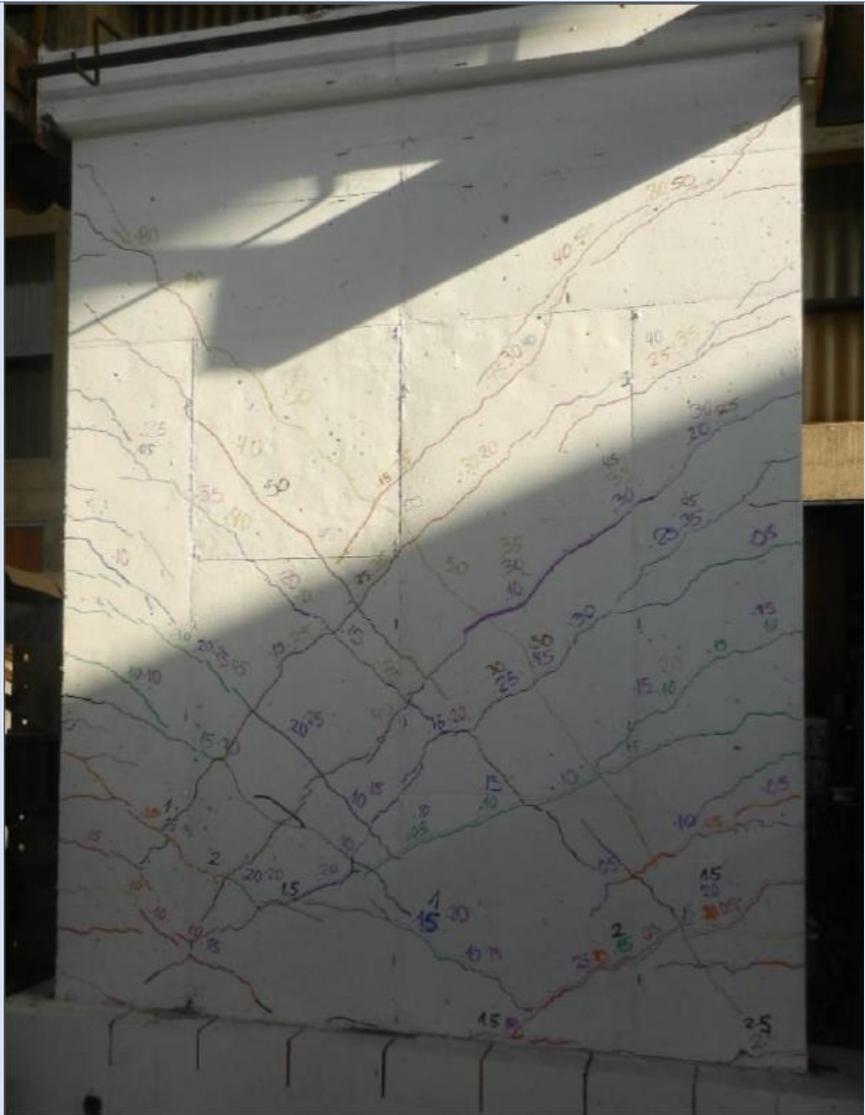


The image shows a whiteboard with a detailed crack pattern map. The map consists of numerous lines representing cracks, drawn in various colors including red, blue, green, and purple. The cracks are distributed across the board, with some being diagonal and others more horizontal or vertical. Some cracks are labeled with numbers, and some have arrows indicating their orientation or direction. At the bottom center of the whiteboard, there is a small label that reads 'MDL 04'.

FASE X	
Desplazamiento	12.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	23.92 ton
Observación	<p>Las grietas existentes se extendieron, mientras que otras grietas solo alcanzaron un grosor de hasta 0.80 mm. Además, se formaron nuevas grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.50 mm.</p>
	

FASE XI	
Desplazamiento	16.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	23.35 ton
Observación	Las grietas existentes se extendieron, mientras que otras grietas solo alcanzaron un grosor de hasta 0.80 mm. Además, se observó un deslizamiento del muro con respecto a la viga de cimentación en la base.
	
	

FASE XII	
Desplazamiento	23.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	26.44 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor. En los extremos inferiores el grosor de grietas existentes aumento hasta 2 mm.



FASE XIII	
Desplazamiento	30.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	26.35 ton
Observación	En los extremos interiores del muro se observó aplastamiento



Espécimen MDL 05

FASE I	
Desplazamiento	0.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	4.80 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.



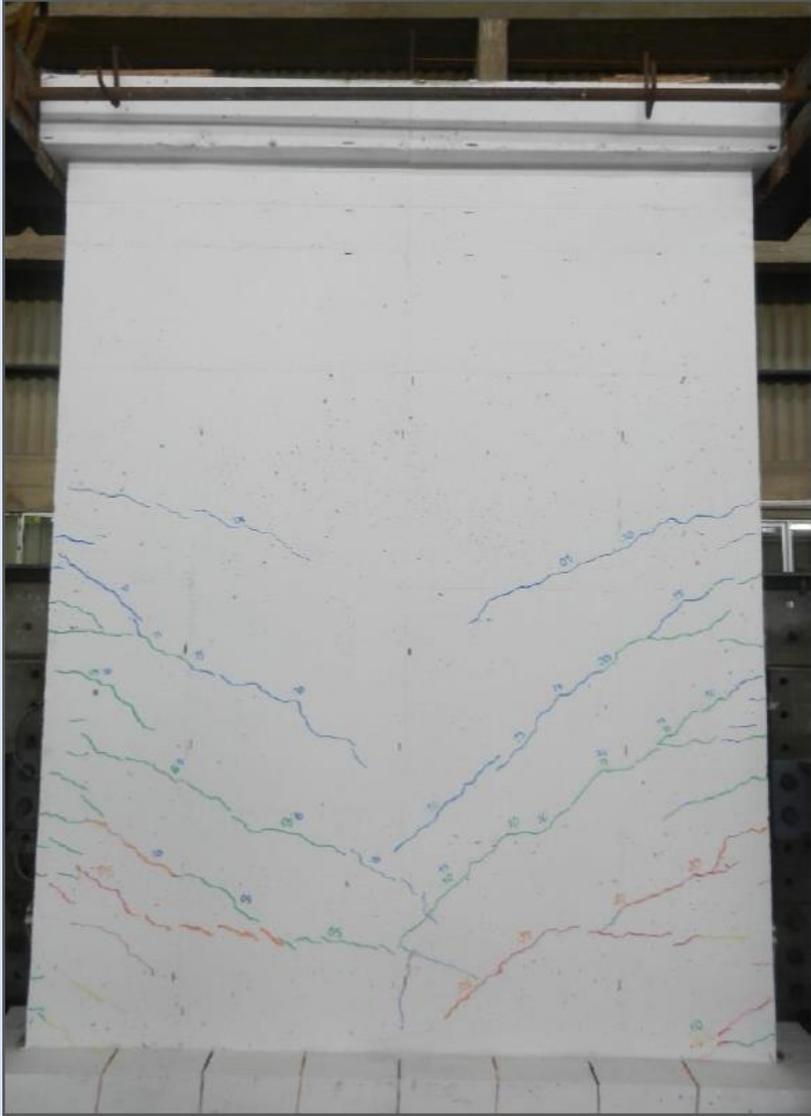
FASE II	
Desplazamiento	0.80 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	6.26 ton
Observación	En los extremos inferiores del muro se generaron grietas de tracción por flexión con un grosor inferior a 0.05 mm.
	

FASE III	
Desplazamiento	1.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	7.05 ton
Observación	En los extremos inferiores del muro se formaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm.
	
	

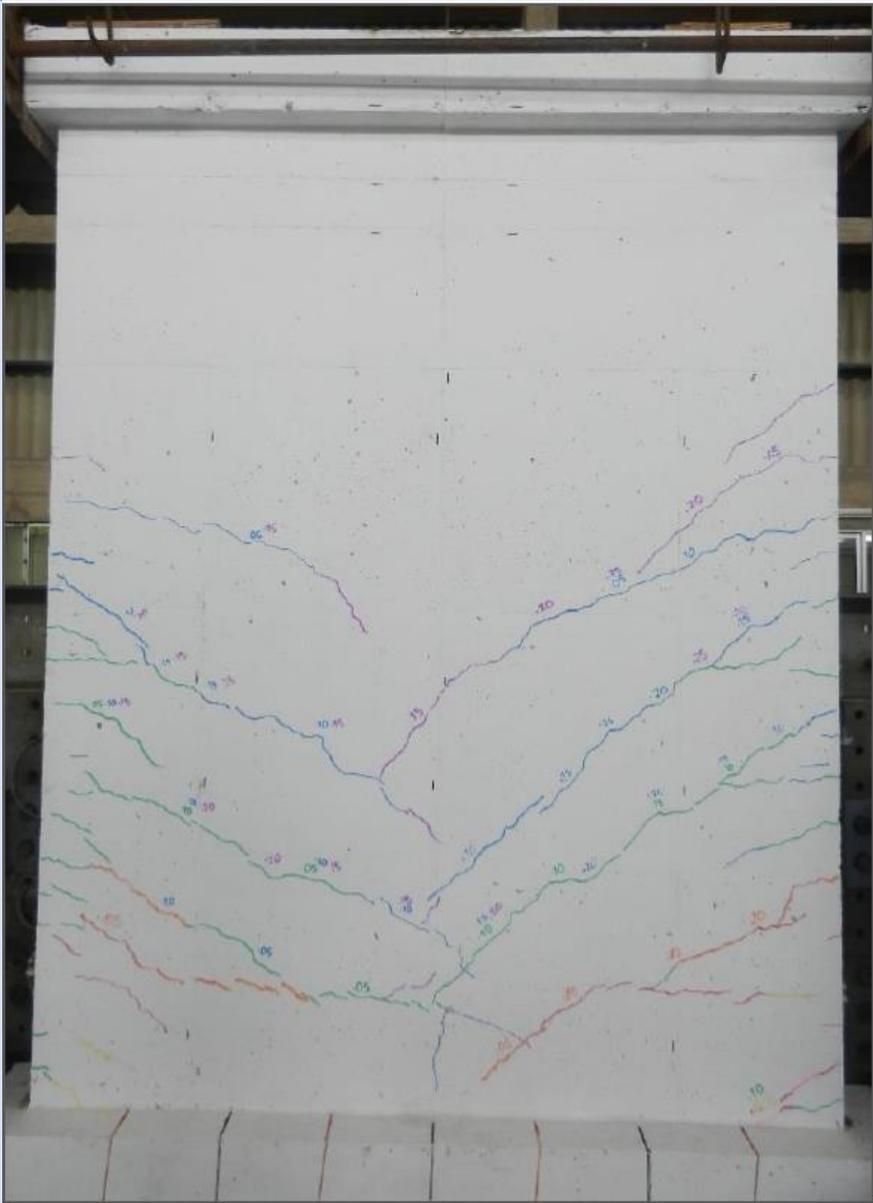
FASE VI	
Desplazamiento	1.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	8.67 ton
Observación	En los extremos inferiores del muro, se originaron grietas de tracción por flexión a diferentes alturas. Estas grietas se propagaron hacia la base del muro, transformándose en grietas de tracción diagonal.
	

FASE V	
Desplazamiento	2.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	9.53 ton
Observación	<p>Las grietas formadas en la fase 4 se extendieron y otras grietas aumentaron su grosor hasta un máximo de 0.10 mm. Además, se observaron grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.05 mm.</p>
	

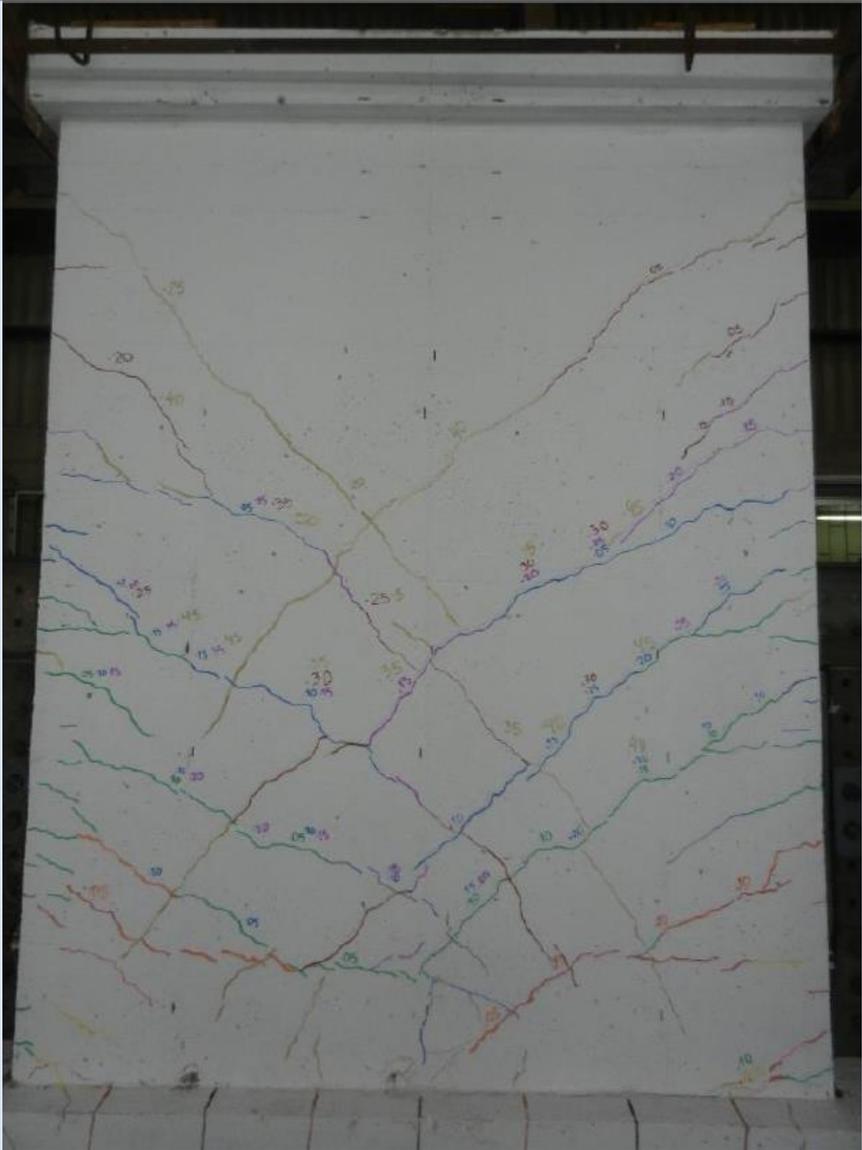
FASE VI	
Desplazamiento	3.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	10.98 ton
Observación	<p>Las grietas existentes se extendieron y aumentaron su grosor hasta un máximo de 0.10 mm. Además, se generaron nuevas grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.15 mm. También aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.05 mm.</p>
	

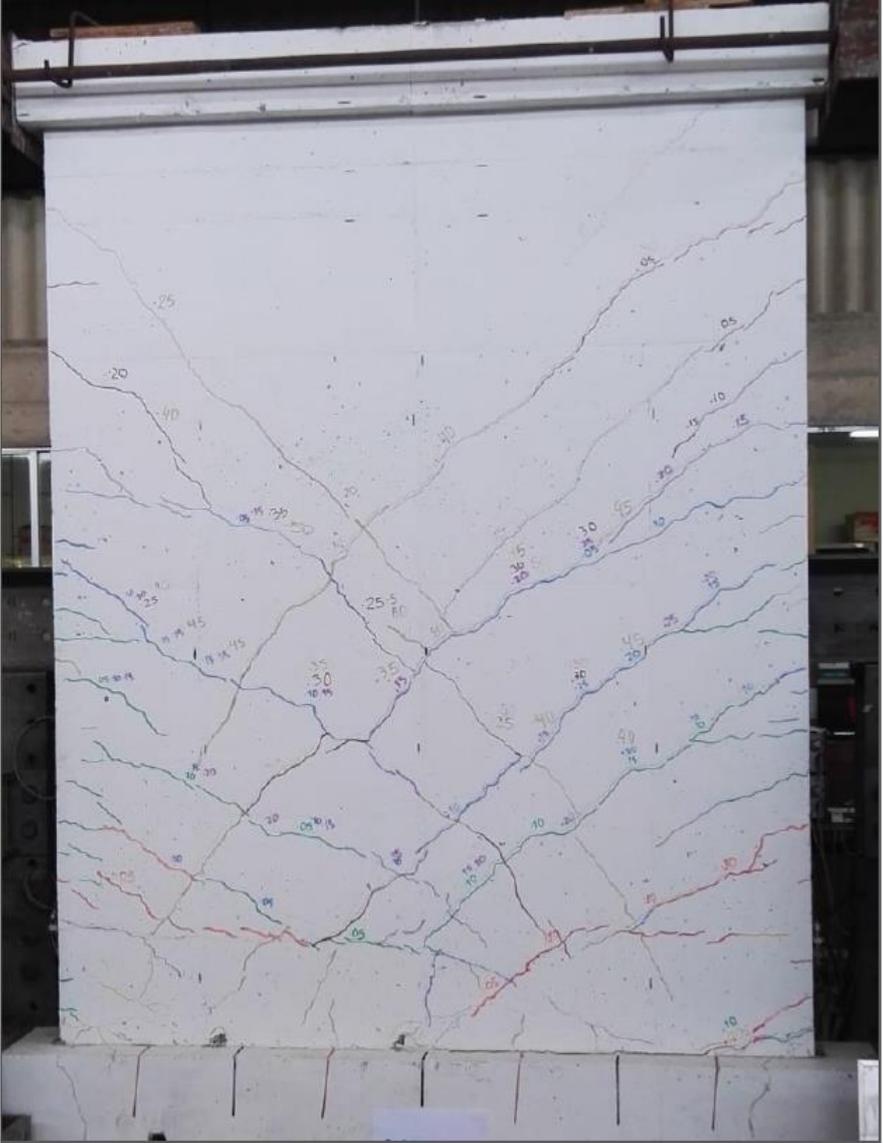
FASE VII	
Desplazamiento	4.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	13.16 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.25 mm. Otras grietas solo aumentaron su grosor, cuyo valor máximo fue de 0.30 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal pura llegando a un grosor de 0.10 mm.
	

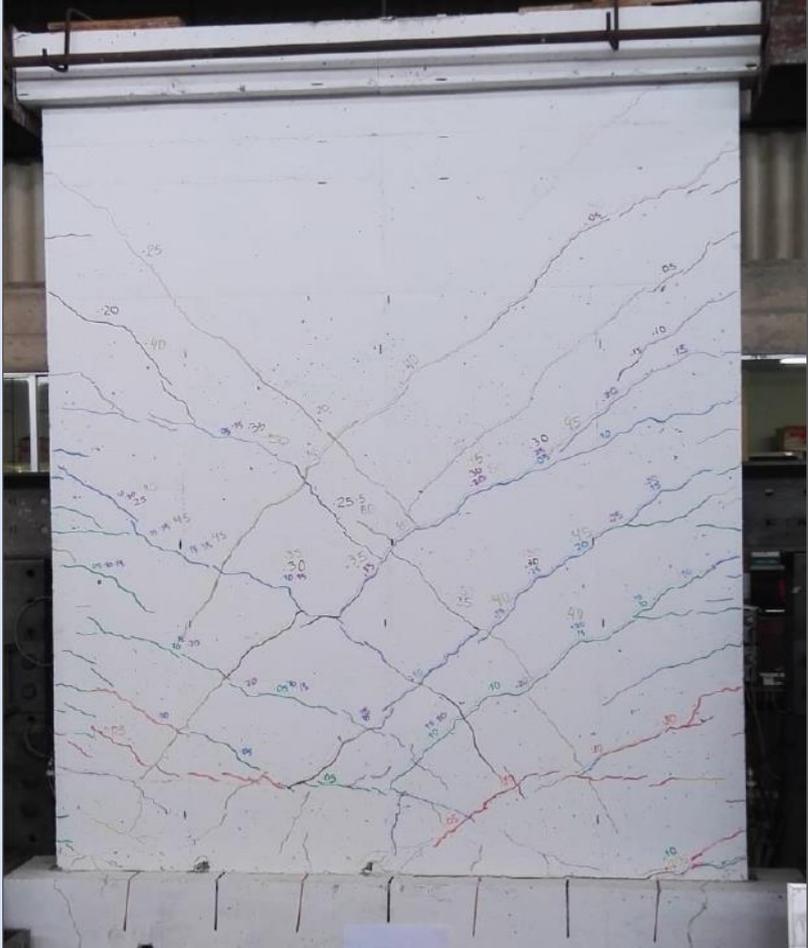
FASE VIII	
Desplazamiento	6.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	15.29 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras grietas solo aumentaron su grosor hasta 0.25 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.20 mm.



FASE IX	
Desplazamiento	8.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	18.43 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y otras grietas solo aumentaron su grosor hasta un valor máximo de 0.35 mm</p> <p>Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.20 mm.</p>
	

FASE X	
Desplazamiento	12.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	21.03 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras grietas solo aumentaron su grosor hasta 0.50 mm Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.25 mm.
	

FASE XI	
Desplazamiento	16.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	22.90 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras grietas solo aumentaron su grosor hasta 0.80 mm En la base se observó deslizamiento del muro con respecto a la viga de cimentación
	

FASE XII	
Desplazamiento	23.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	24.27 ton
Observación	<p>Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.40 mm. Grietas existentes se prolongaron y otras grietas solo aumentaron su grosor.</p> <p>En los extremos inferiores aumentaron el grosor de grietas existentes a más de 1 mm. Se observó aplastamiento de los talones.</p>
	

FASE XIII	
Desplazamiento	30.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	24.79 ton
Observación	Se observo aplastamiento severo de los talones y pandeo del acero vertical del extremo izquierdo inferior del muro.
	

Espécimen MDL 06

FASE I	
Desplazamiento	0.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	4.92 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	

FASE II	
Desplazamiento	0.80 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	6.30 ton
Observación	En los extremos inferiores del muro se formaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm.
	

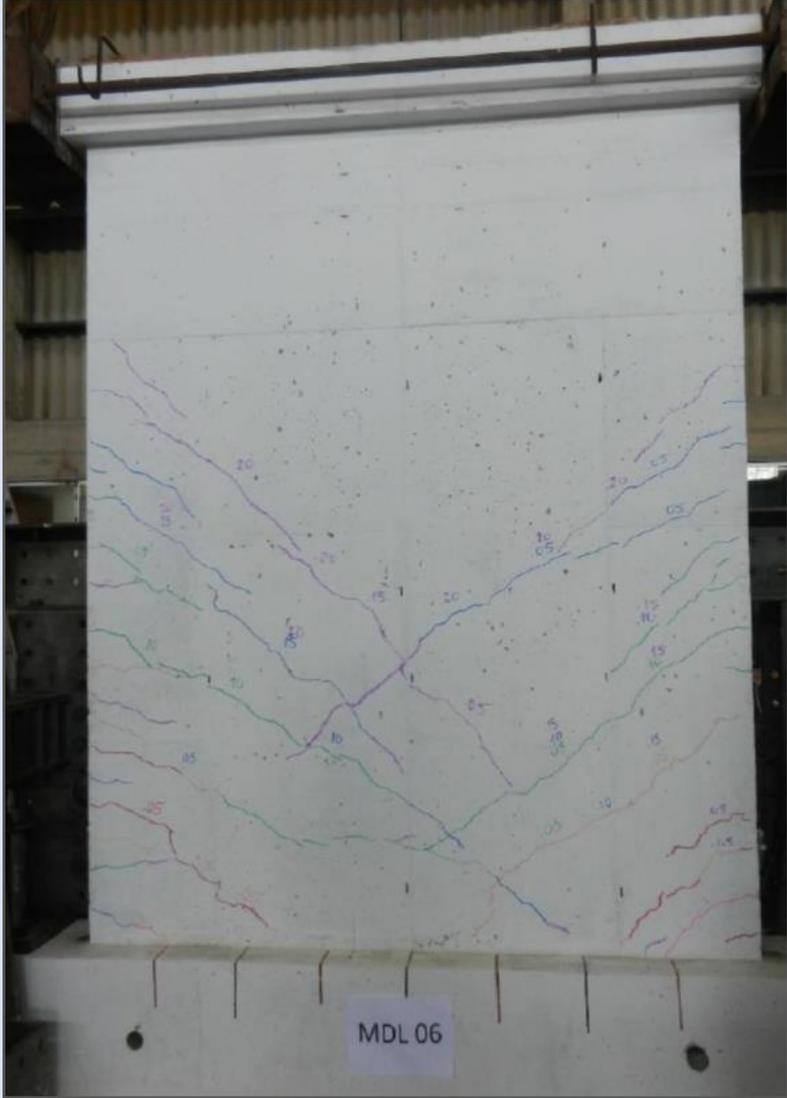
FASE III	
Desplazamiento	1.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	7.01 ton
Observación	En los extremos inferiores del muro se formaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm..
	

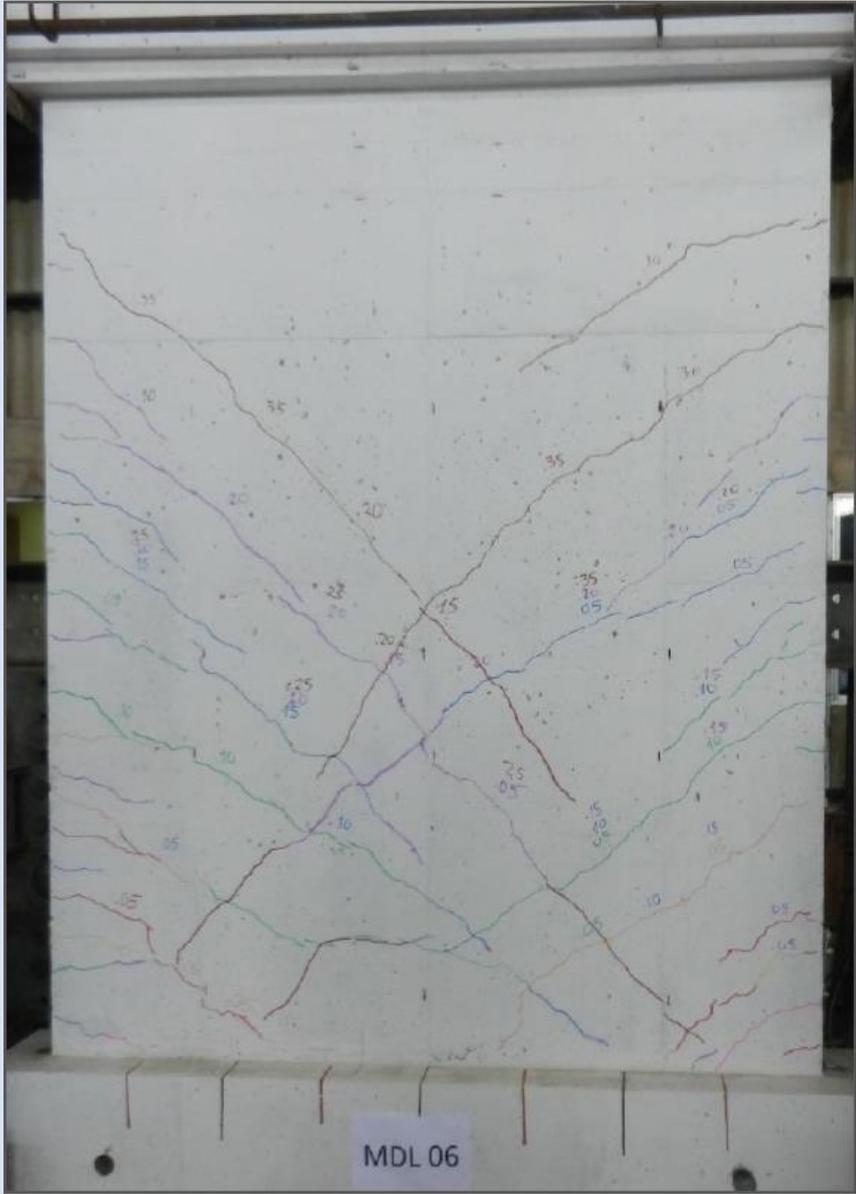
FASE IV	
Desplazamiento	1.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	8.77 ton
Observación	<p>En los extremos inferiores del muro se formaron grietas de tracción por flexión a diferentes alturas.</p> <p>Estas grietas se prolongaron hacia la base del muro, convirtiéndose en grietas de tracción diagonal.</p> <p>El grosor máximo de las grietas fue de 0.05 mm.</p>
	

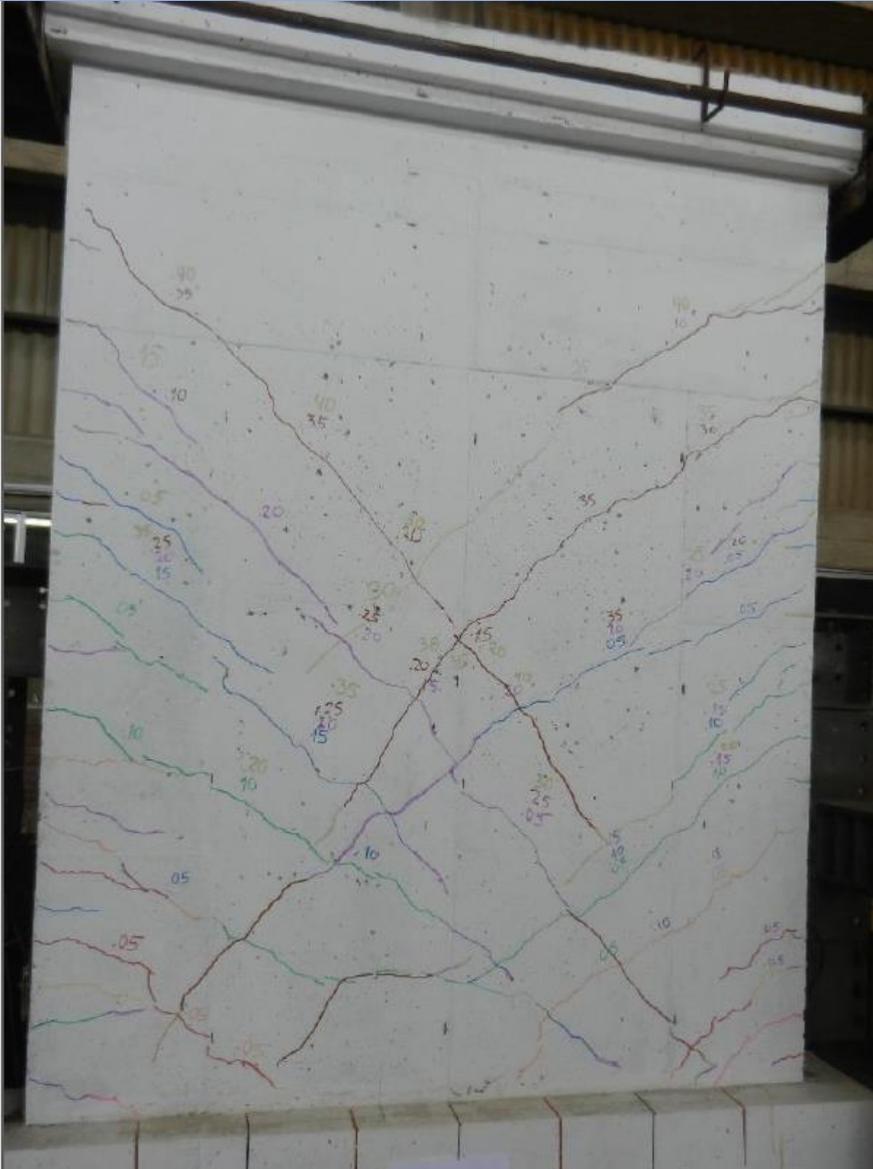
FASE V	
Desplazamiento	2.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	10.45 ton
Observación	<p>Se prolongaron grietas formadas en la fase 4 y otras grietas aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.05 mm.</p> <p>Aparecieron grietas de tracción por flexión con grosor máximo de 0.05 mm.</p>
	

FASE VI	
Desplazamiento	3.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	11.86 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.20 mm.</p> <p>Además se formaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.10 mm, que se convirtieron en grietas de tracción diagonal.</p>
	

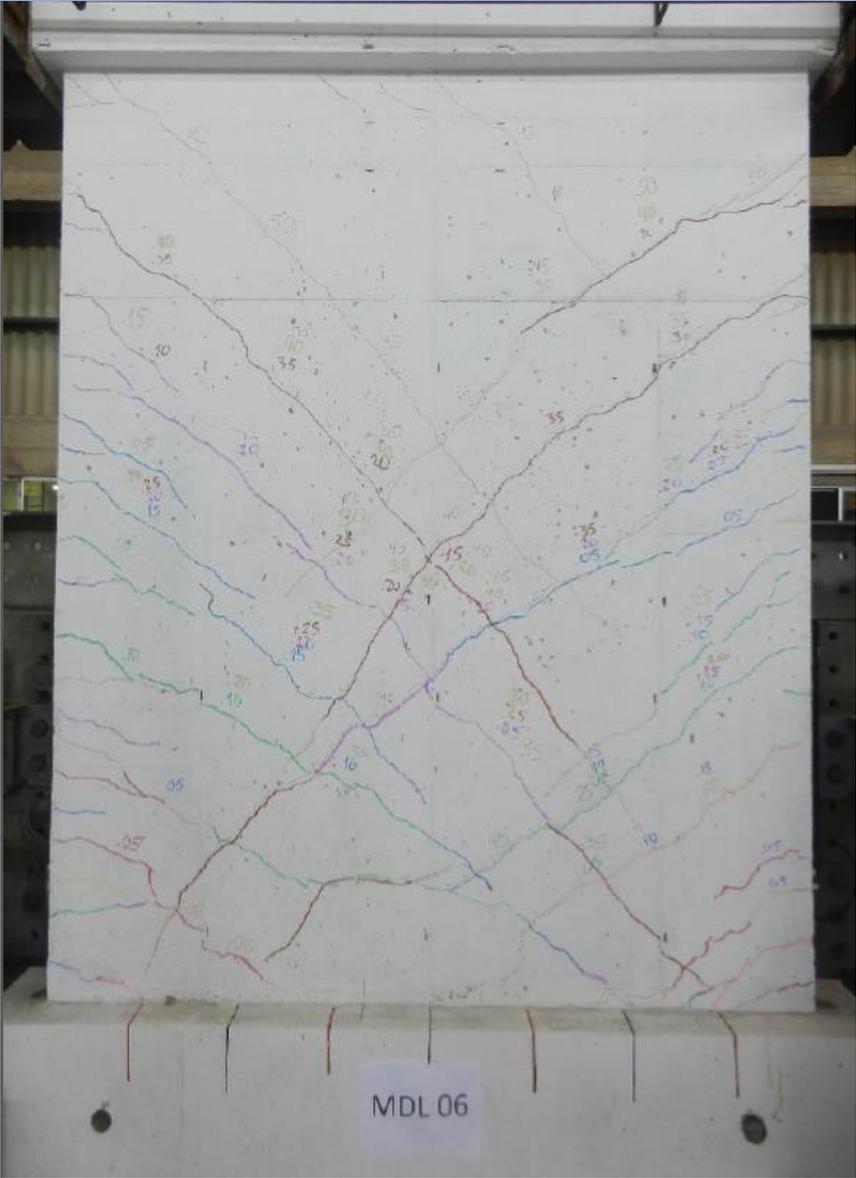
FASE VII	
Desplazamiento	4.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	14.82 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor hasta 0.15 mm.</p> <p>Además, se formaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.05 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.10 mm..</p>
	

FASE VIII	
Desplazamiento	6.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	17.20 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.20 mm. Otras grietas existentes solo aumentaron su grosor hasta 0.20 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal pura llegando a un grosor de 0.20 mm
	

FASE IX	
Desplazamiento	8.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	20.61 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor hasta 0.35 mm Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.35 mm.
	

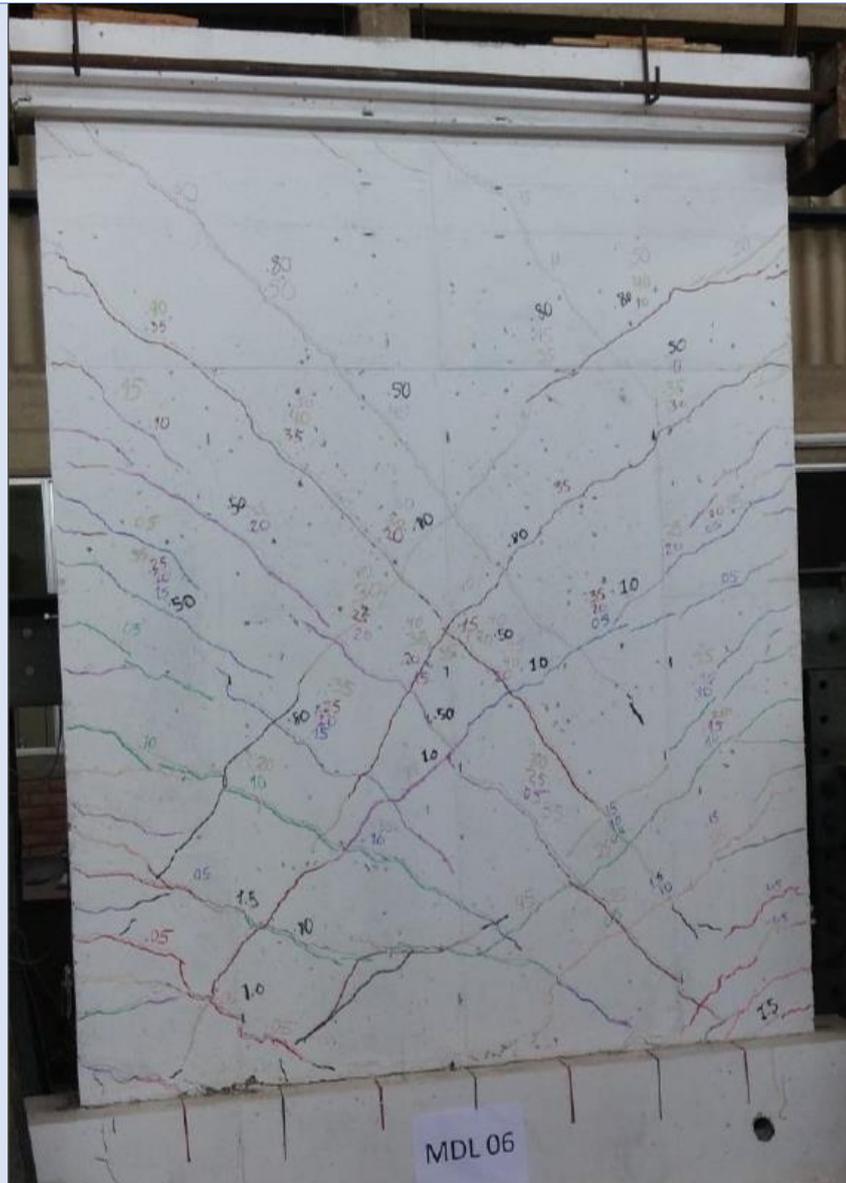
FASE X	
Desplazamiento	12.00 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	23.53 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor hasta 0.40 mm Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor menor a 0.05 mm..
	

FASE XI	
Desplazamiento	16.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	24.62 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras grietas solo aumentaron su grosor hasta 0.50 mm Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor menor a 0.50 mm.



FASE XII	
Desplazamiento	23.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	25.76 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor.</p> <p>En los extremos inferiores aumentaron el grosor de grietas existentes a un valor máximo de 1.5 mm.</p> <p>Se observo aplastamiento de los talones.</p>
	
	

FASE XIII	
Desplazamiento	30.50 mm
Carga axial	0 ton
Carga lateral máxima	26.16 ton
Observación	Se observo aplastamiento severo del talón izquierdo.



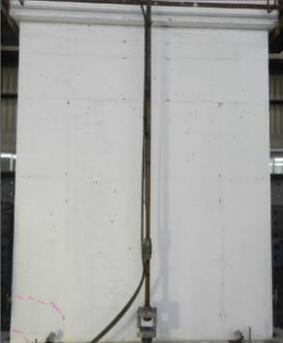
***ENSAYOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA CON CARGA LATERAL Y
CON CARGA AXIAL DE 30 TN***

Espécimen MDL 07

FASE I	
Desplazamiento	0.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	8.77 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.

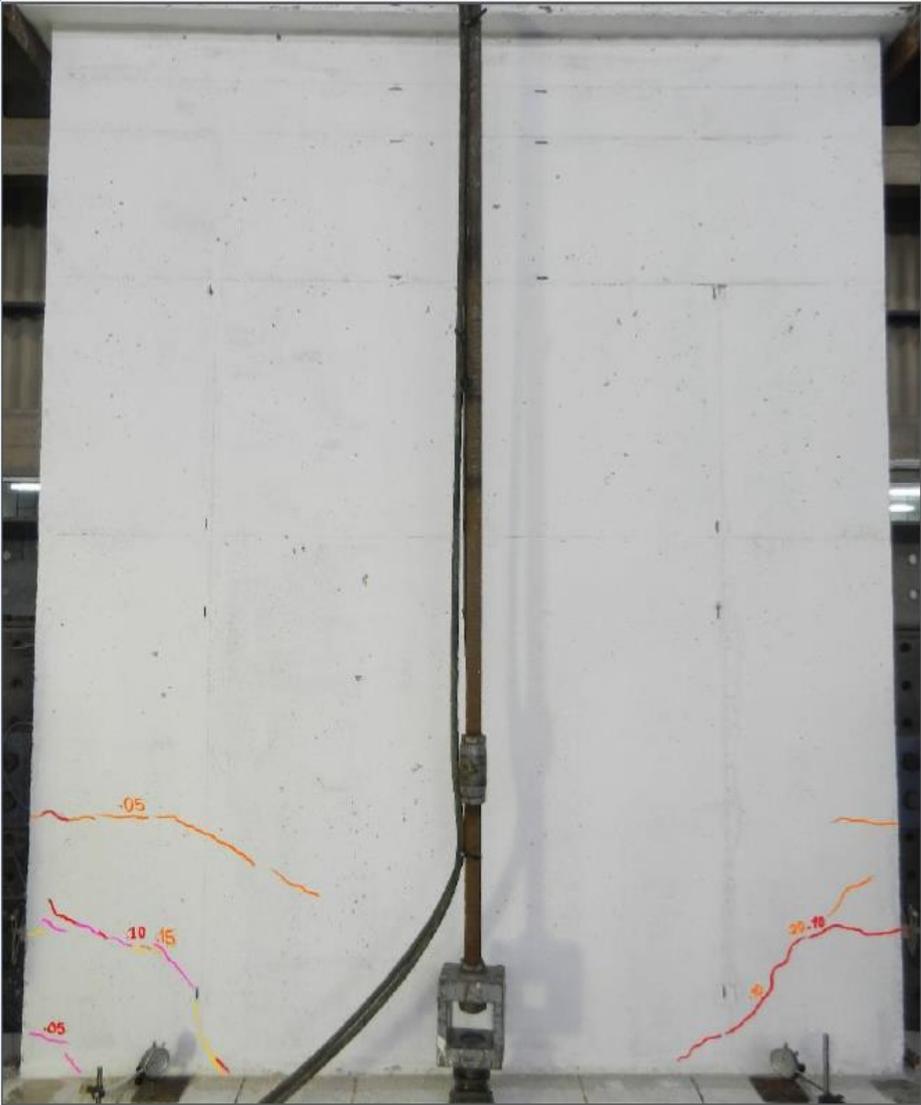


FASE II	
Desplazamiento	0.80 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	11.17 ton
Observación	El espécimen presentó grietas de tracción por flexión en en el extremo derecho inferior. El grosor de las grietas fue menor a 0.05 mm.
	

FASE III	
Desplazamiento	1.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	12.66 ton
Observación	Se prolongaron grietas de tracción por flexión en el extremo derecho inferior. El grosor de las grietas fue menor a 0.05 mm.
	

FASE IV	
Desplazamiento	1.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	15.88 ton
Observación	<p>Las grietas formadas en las fases anteriores aumentaron su grosor, teniendo un valor máximo de 0.10mm. En los extremos inferiores del muro se formaron grietas de tracción por flexión a diferentes alturas. Estas grietas se prolongaron hacia la base del muro, convirtiéndose en grietas de tracción diagonal. El grosor máximo de las grietas.</p>
	

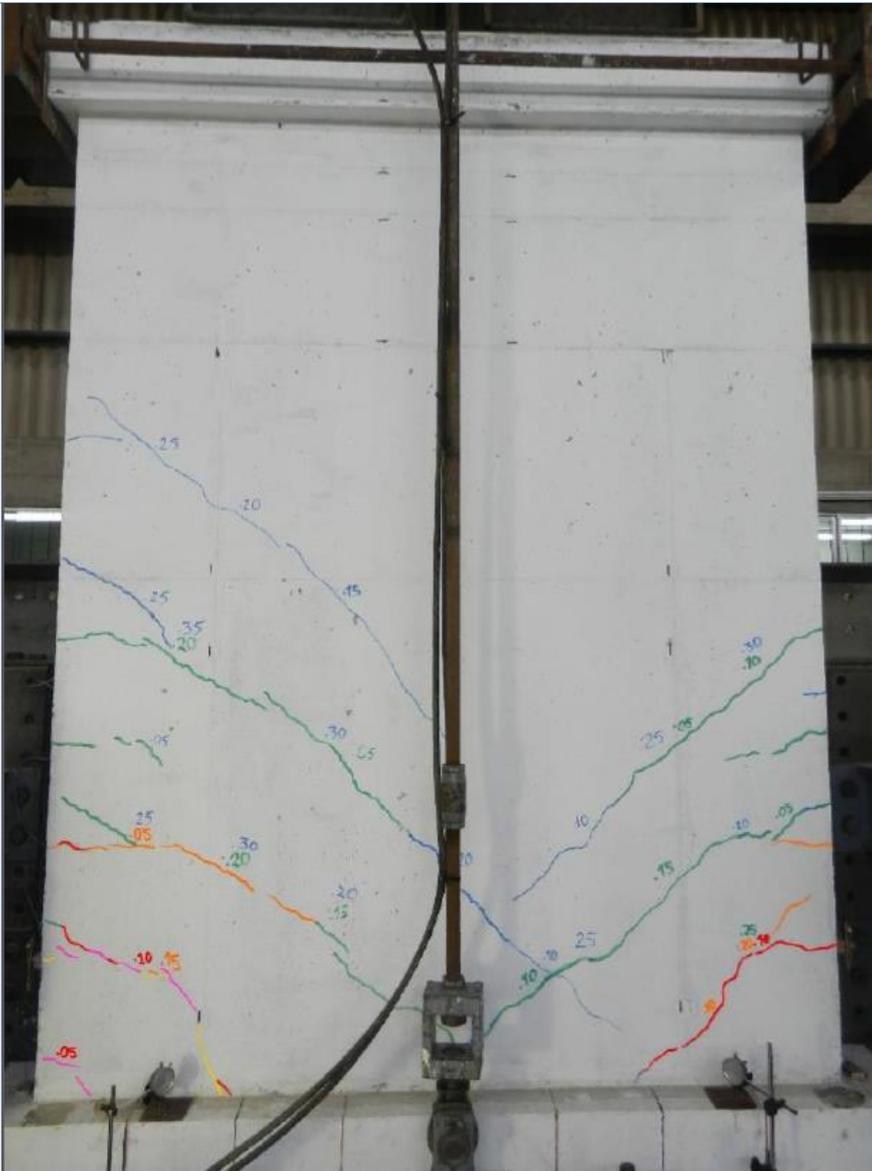
FASE V	
Desplazamiento	2.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	18.06 ton
Observación	Se prolongaron grietas formadas en la fase 4. Aparecieron grietas de tracción por flexión, con un grosor máximo de 0.05 mm



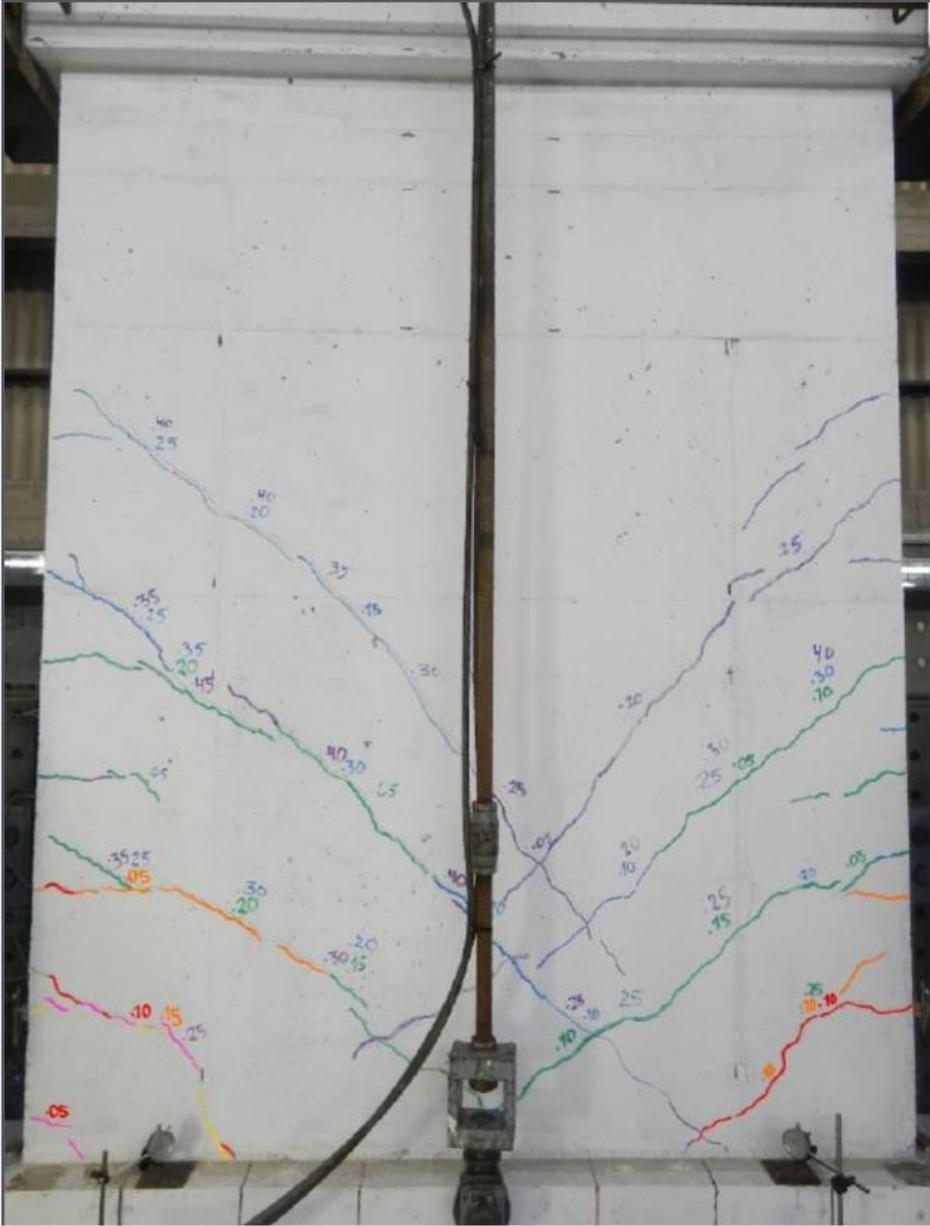
The photograph shows a vertical concrete column in a laboratory setting. A vertical steel rod is attached to the top of the column, and a horizontal steel rod is attached to the bottom. The column is supported by a base. Several cracks are visible on the surface of the column, marked with colored lines and numbers. The cracks are primarily horizontal and diagonal, indicating tension and flexion. The numbers .05, .10, .15, and .20 are written in orange and red ink, likely representing crack widths or displacement measurements. The column is supported by a base with a central vertical rod and two side rods.

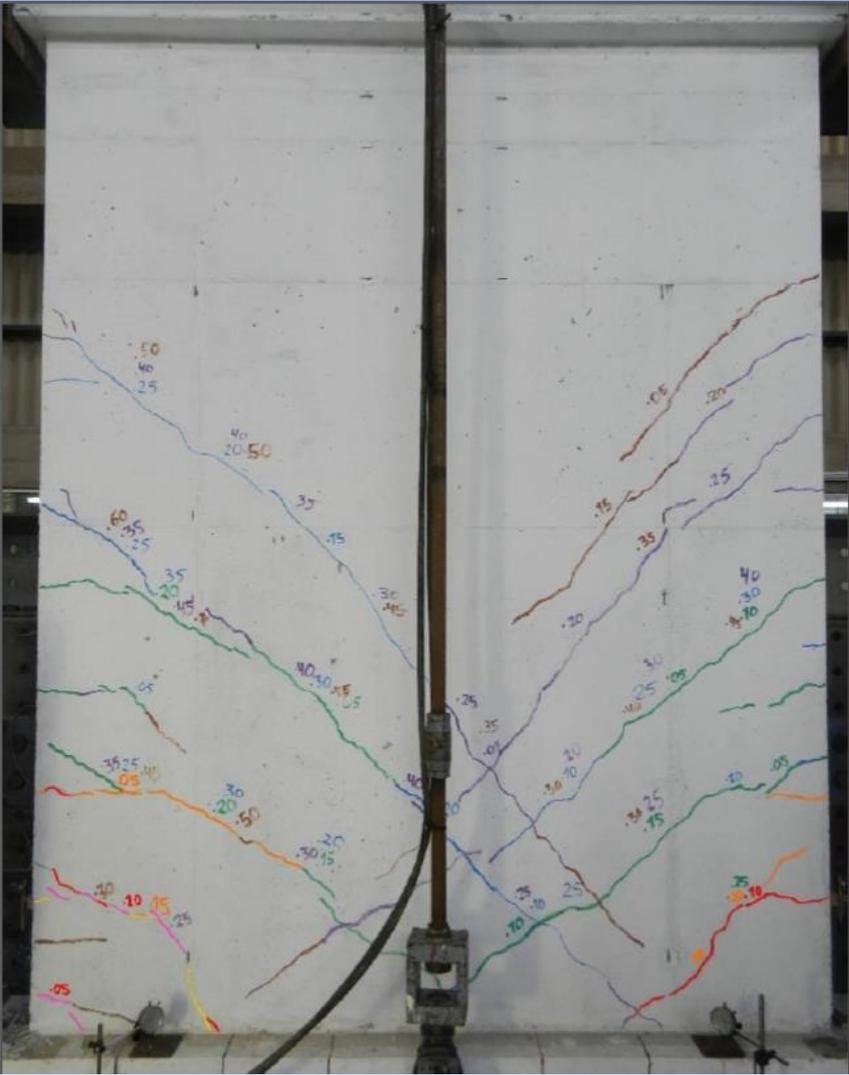
FASE VI	
Desplazamiento	3.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	20.81 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor hasta 0.25 mm.</p> <p>Además, se formaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.10 mm.</p> <p>Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.20 mm.</p>
	

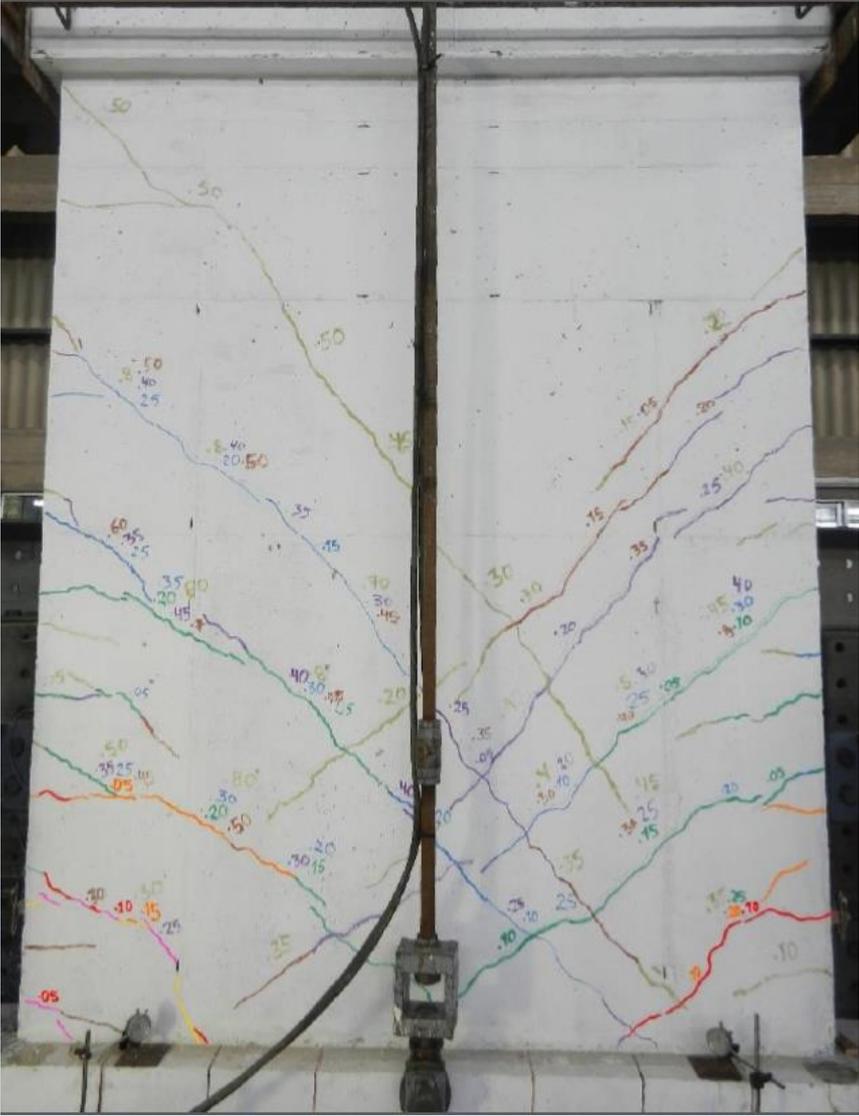
FASE VII	
Desplazamiento	4.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	24.60 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor hasta 0.30 mm. Aparecieron grietas de tracción por flexión y grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.25 mm.



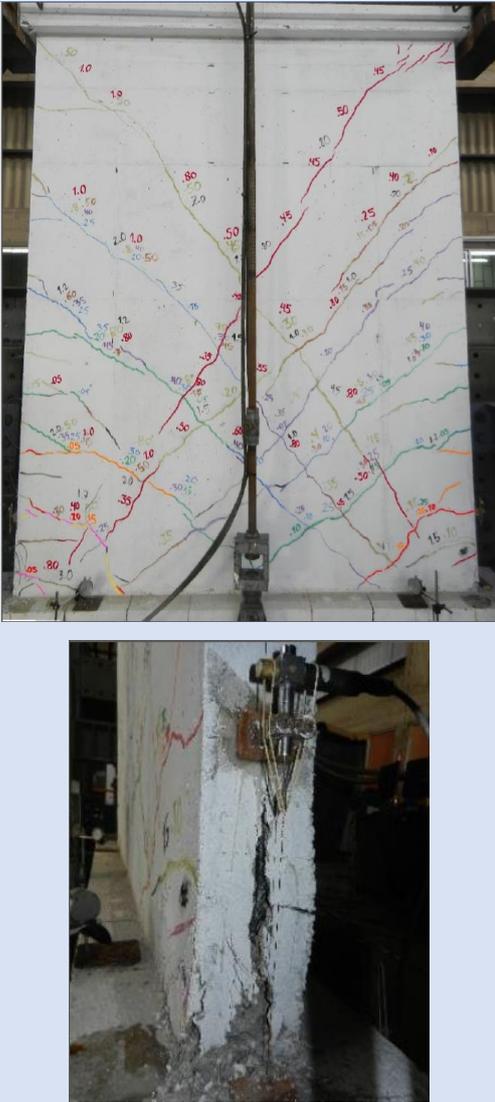
The photograph shows a vertical concrete column in a laboratory setting. A central vertical rod is attached to the column. The surface of the column is marked with various colored lines (blue, green, orange, red, pink) and numerical values (e.g., 25, 20, 15, 10, 5, 0.5, 0.25, 0.20, 0.15, 0.10, 0.05) representing strain gauge locations and crack patterns. The column is supported by a base with several sensors and cables.

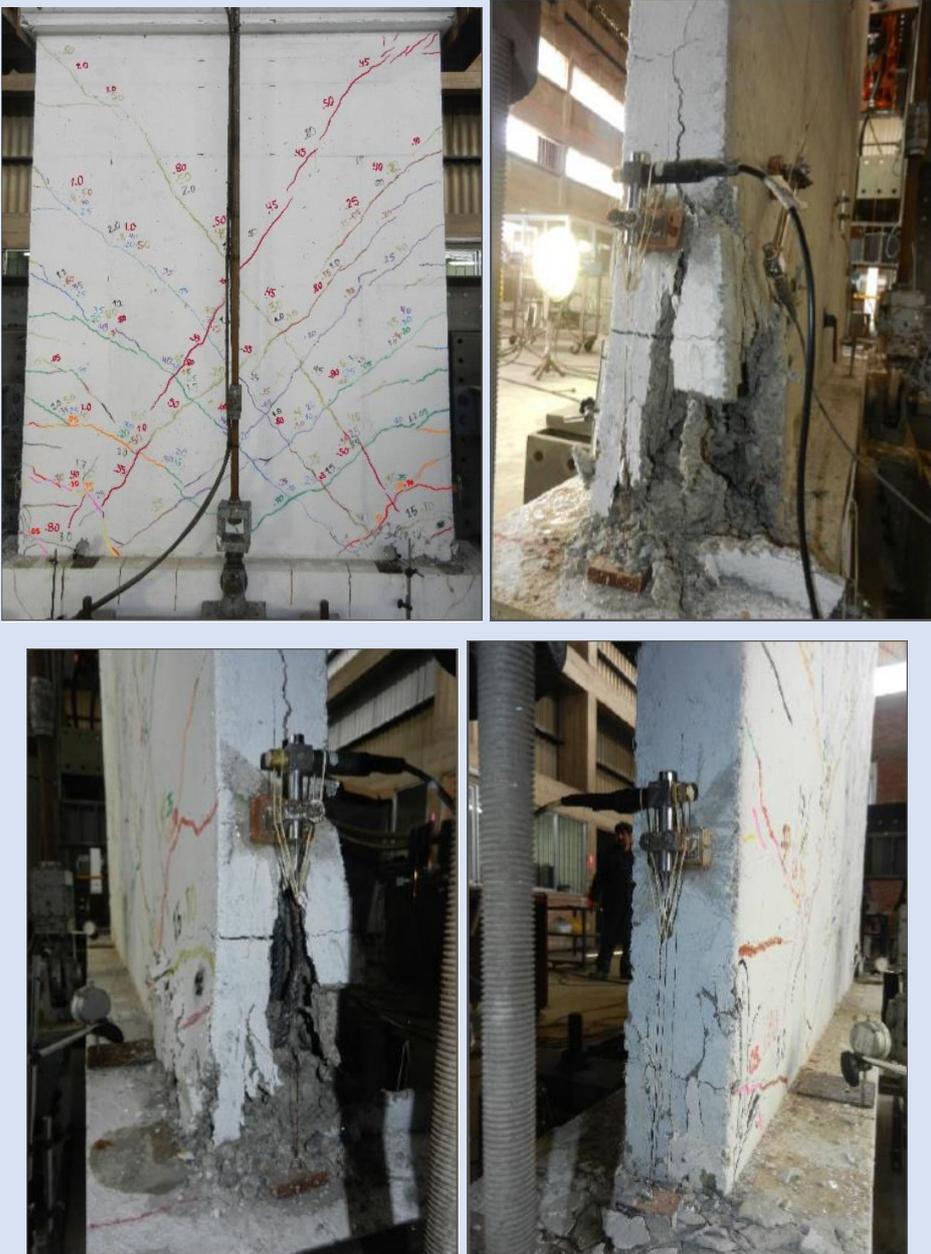
FASE VIII	
Desplazamiento	6.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	27.62 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.45 mm.</p> <p>Aparecieron grietas de tracción por flexión y grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.25 mm</p>
 A photograph of a vertical concrete specimen under test. A vertical steel rod is positioned through the center of the specimen. A crack pattern map is overlaid on the specimen, showing various cracks in different colors (blue, green, orange, red, purple) and directions. The map includes numerical labels such as 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 10.5, 11.5, 12.5, 13.5, 14.5, 15.5, 16.5, 17.5, 18.5, 19.5, 20.5, 21.5, 22.5, 23.5, 24.5, 25.5, 26.5, 27.5, 28.5, 29.5, 30.5, 31.5, 32.5, 33.5, 34.5, 35.5, 36.5, 37.5, 38.5, 39.5, 40.5, 41.5, 42.5, 43.5, 44.5, 45.5, 46.5, 47.5, 48.5, 49.5, 50.5, 51.5, 52.5, 53.5, 54.5, 55.5, 56.5, 57.5, 58.5, 59.5, 60.5, 61.5, 62.5, 63.5, 64.5, 65.5, 66.5, 67.5, 68.5, 69.5, 70.5, 71.5, 72.5, 73.5, 74.5, 75.5, 76.5, 77.5, 78.5, 79.5, 80.5, 81.5, 82.5, 83.5, 84.5, 85.5, 86.5, 87.5, 88.5, 89.5, 90.5, 91.5, 92.5, 93.5, 94.5, 95.5, 96.5, 97.5, 98.5, 99.5, 100.5. The cracks are primarily diagonal and horizontal, indicating tension and flexion.	

FASE IX	
Desplazamiento	8.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	32.16 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras grietas solo aumentaron su grosor, cuyo valor máximo fue de 0.60 mm Aparecieron grietas de tracción diagonal, el valor máximo de fue de 0.05 mm.
	

FASE X	
Desplazamiento	12.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	33.82 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor hasta 80 mm Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.50 mm.
	

FASE XI	
Desplazamiento	16.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	35.59 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor, cuyo valor máximo fue de 0.80 mm</p> <p>Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor menor a 0.50 mm.</p>
	

FASE XII	
Desplazamiento	23.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	37.90 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor. En los extremos inferiores aumentaron el grosor de grietas existentes a un valor máximo de 3.0 mm.</p> <p>Se observo aplastamiento del talón derecho del muro.</p>
	

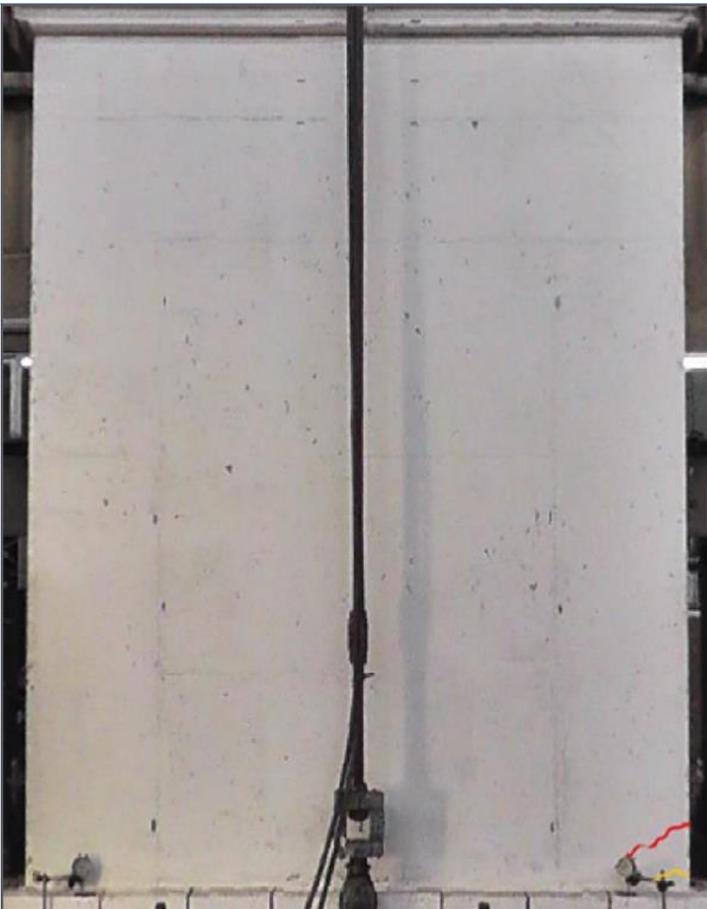
FASE XIII	
Desplazamiento	30.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	35.15 ton
Observación	Se observo aplastamiento severo del talón derecho y aplastamiento leve del talón izquierdo.
	

Espécimen MDL 08

FASE I	
Desplazamiento	0.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	8.12 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	

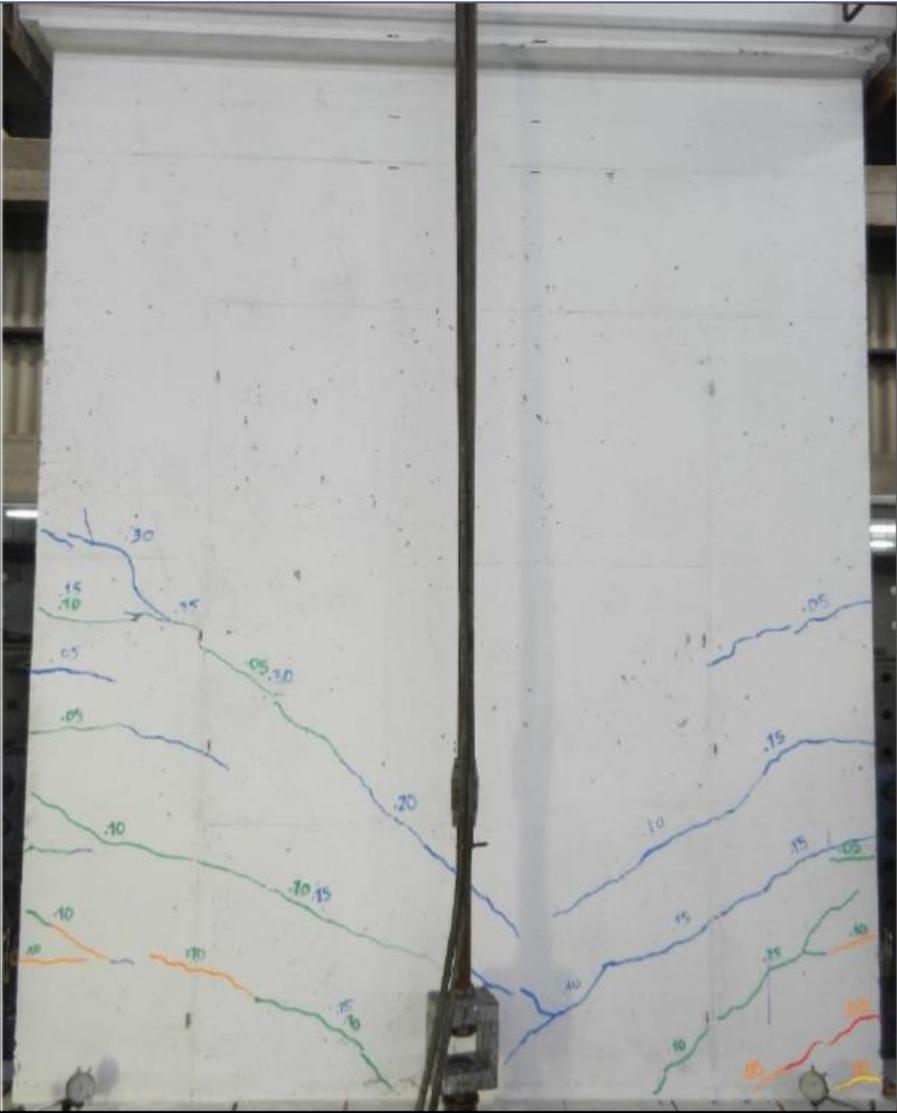
FASE II	
Desplazamiento	0.80 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	11.26 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	

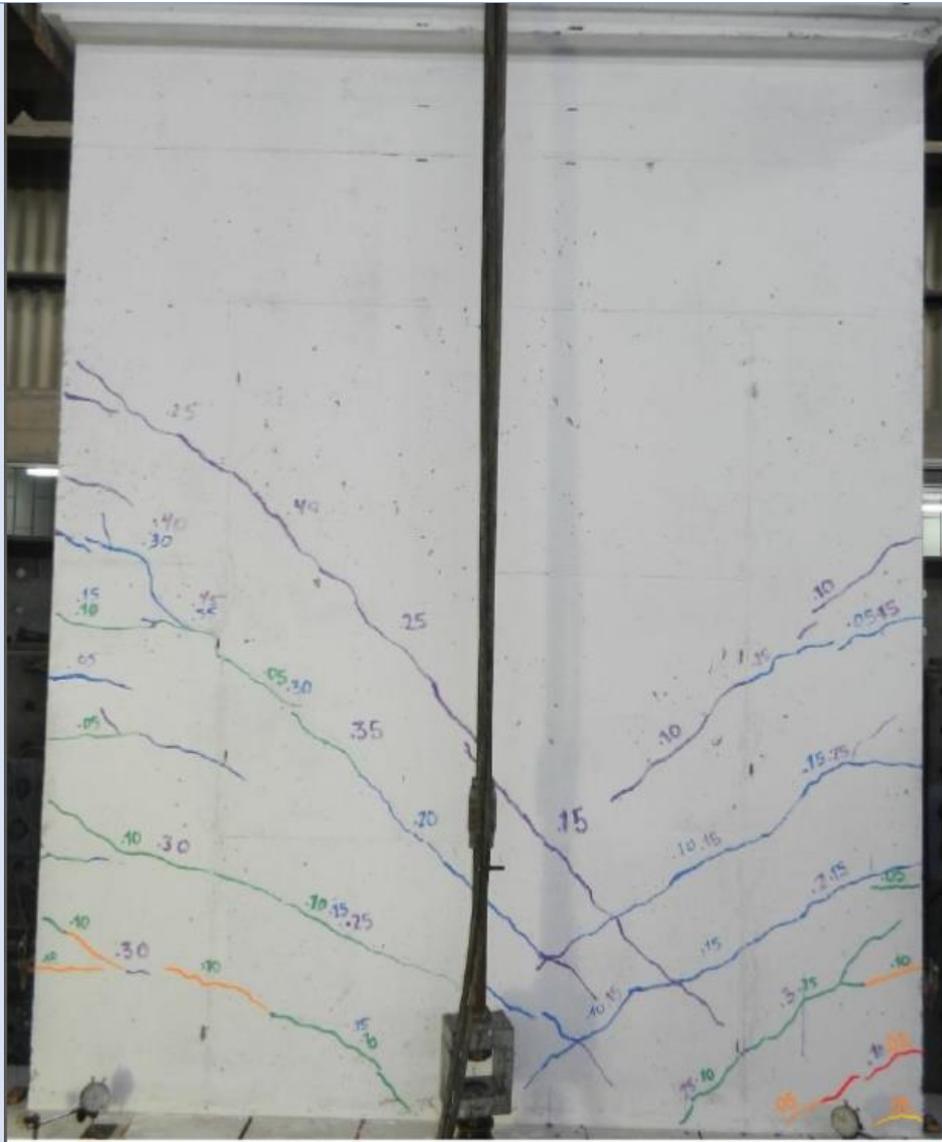
FASE III	
Desplazamiento	1.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	13.17 ton
Observación	Se presento una grieta de tracción por flexión en el extremo derecho inferior del muro. El grosor de la grieta fue menor a 0.05 mm.
	
	

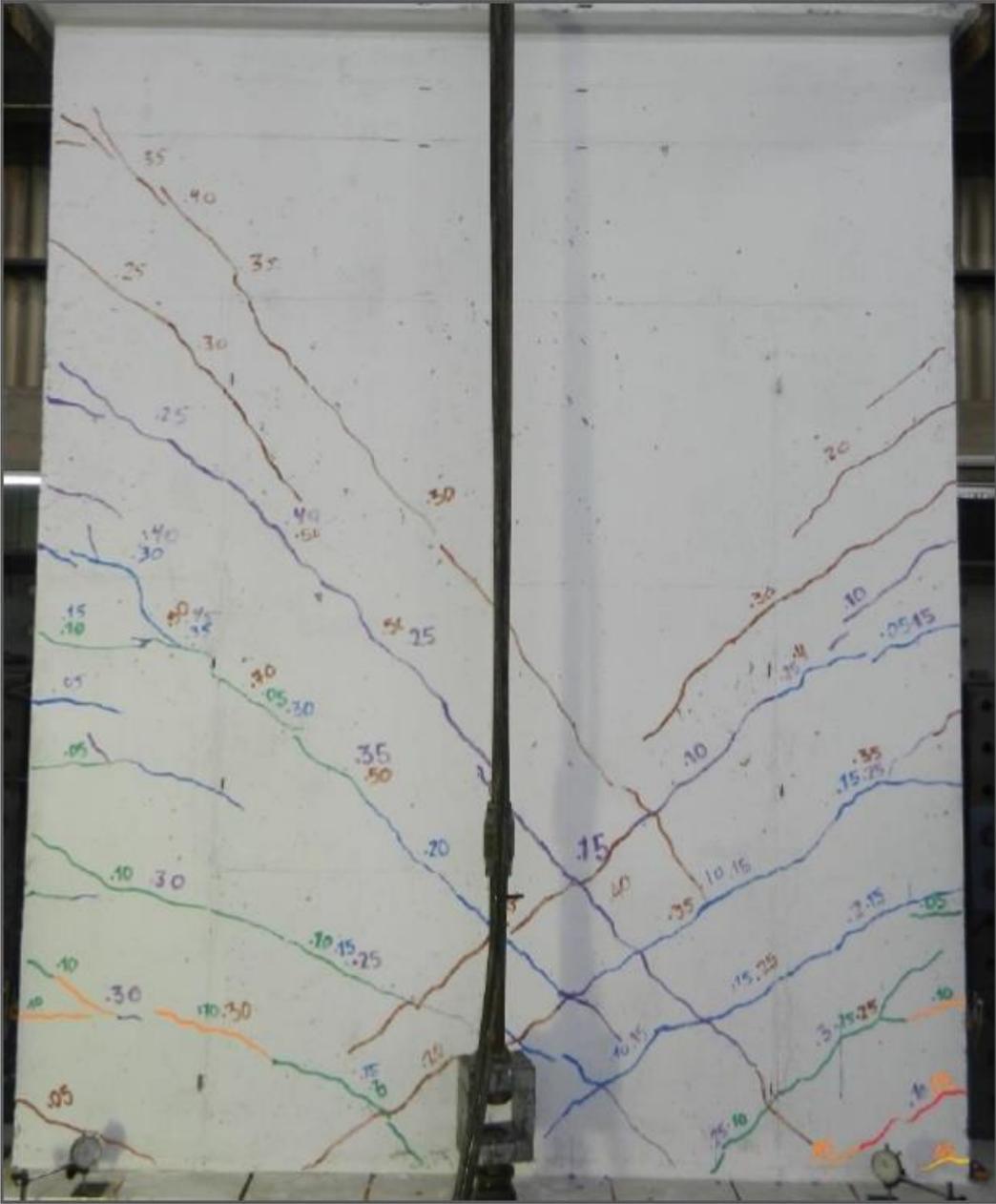
FASE IV	
Desplazamiento	1.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	16.36 ton
Observación	<p>En el extremo derecho inferior del muro se formó una grieta de tracción por flexión. Esta grieta se prolongó hacia la base del muro, convirtiéndose en grietas de tracción diagonal. El grosor de la grieta fue menor a 0.05 mm..</p>
	

FASE V	
Desplazamiento	2.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	18.33 ton
Observación	<p>Se prolongaron grietas formadas en la fase 4 y otras solo aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.05 mm.</p> <p>Aparecieron grietas de tracción por flexión con grosores menores a 0.05 mm.</p>
	

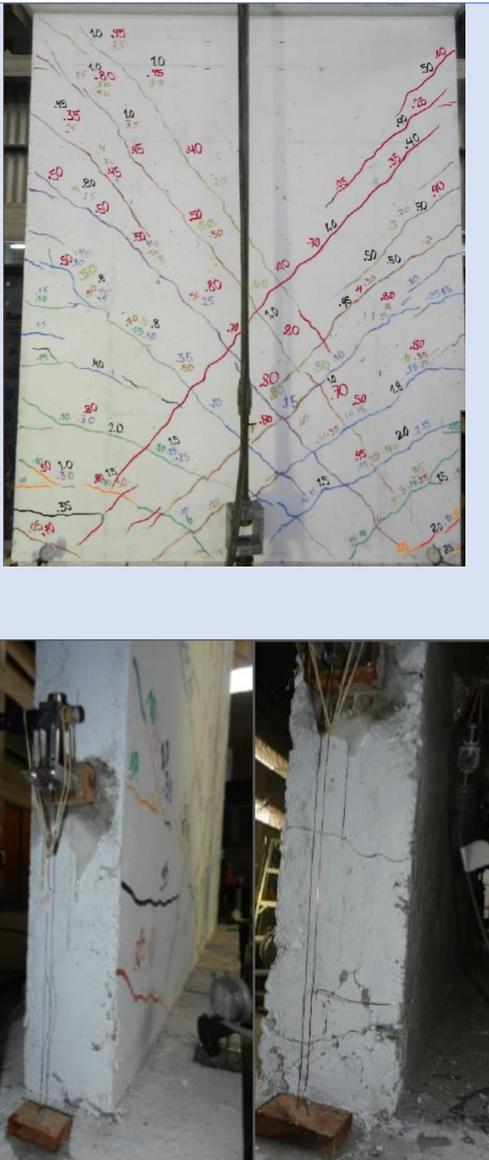
FASE VI	
Desplazamiento	3.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	21.56 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.15 mm. Además se formaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.10 mm, que se convirtieron en grietas de tracción diagonal.
	

FASE VII	
Desplazamiento	4.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	26.00 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.35 mm.</p> <p>Además se formaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.05 mm.</p> <p>Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.15 mm</p>
	

FASE VIII	
Desplazamiento	6.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	28.71 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.25 mm. Otras grietas existentes solo aumentaron su grosor hasta 0.45 mm.</p> <p>Aparecieron grietas de tracción diagonal pura llegando a un grosor de 0.40 mm.</p>
	

FASE IX	
Desplazamiento	8.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	33.03 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor hasta 0.70 mm</p> <p>Aparecieron grietas de tracción diagonal, el grosor máximo de éstas grietas fue 0.40 mm.</p>
	

FASE XI	
Desplazamiento	16.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	37.59 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor hasta 0.80 mm</p> <p>Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.70 mm.</p>
	

FASE XII	
Desplazamiento	23.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	39.32 ton
<p>Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor.</p> <p>Observación En los extremos inferiores aumentaron el grosor de grietas existentes a un valor máximo de 2.5 mm.</p> <p>Se observo aplastamiento leve en los talones.</p>	
	

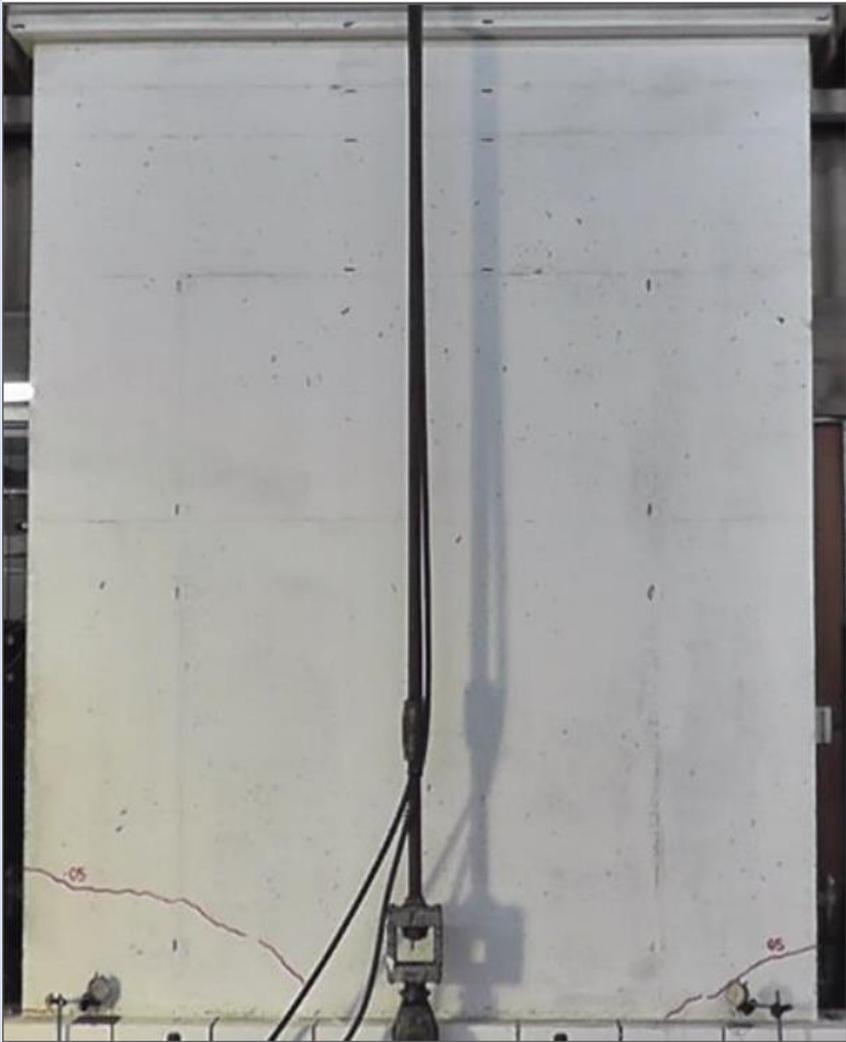
FASE XIII	
Desplazamiento	30.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	39.84 ton
Observación	Se observo aplastamiento leve del talón izquierdo y aplastamiento severo en el talón derecho.
	

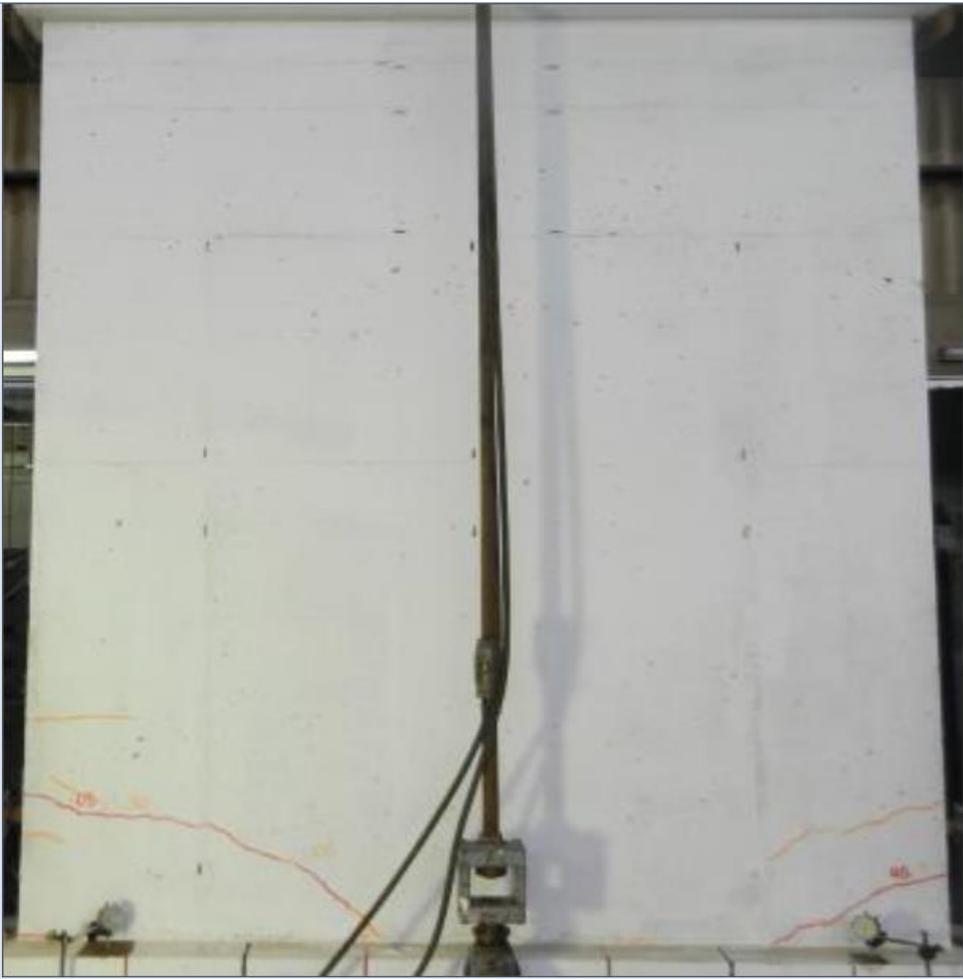
Espécimen MDL 09

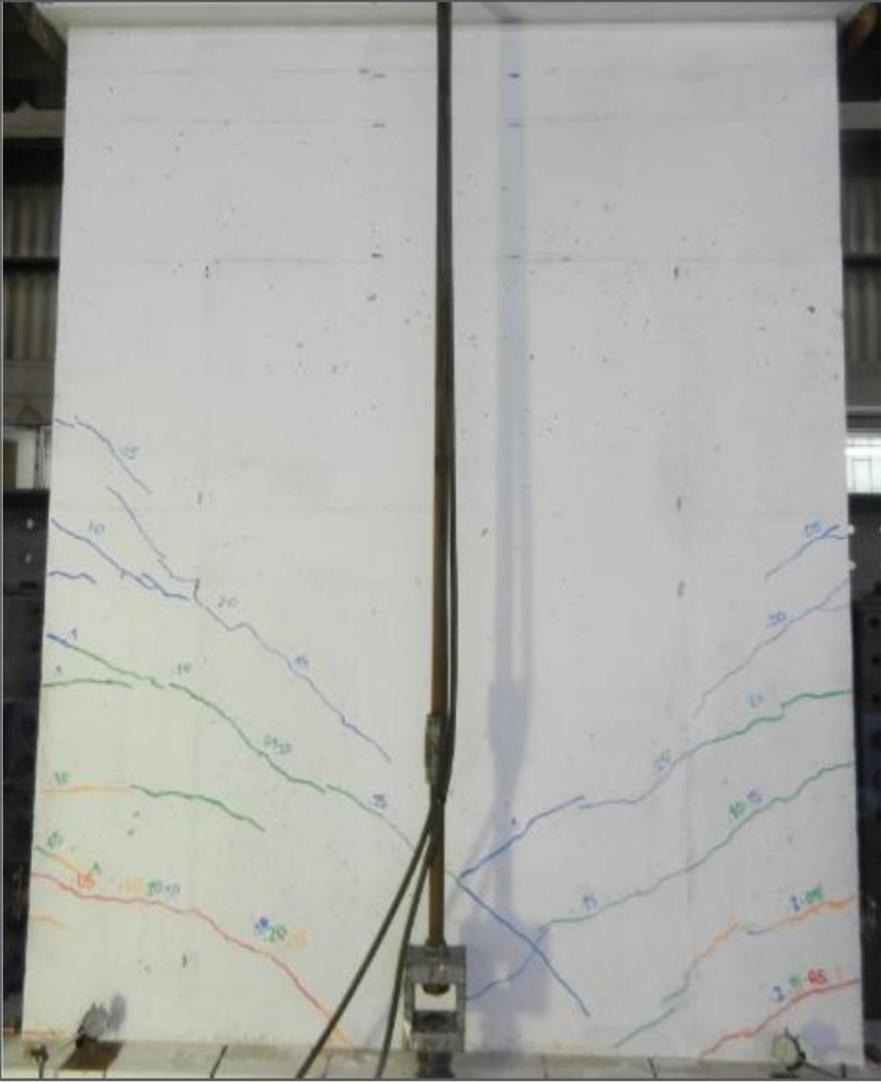
FASE I	
Desplazamiento	0.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	8.72 ton
Observación	Se observo aplastamiento leve del talón izquierdo y aplastamiento severo en el talón derecho.
	

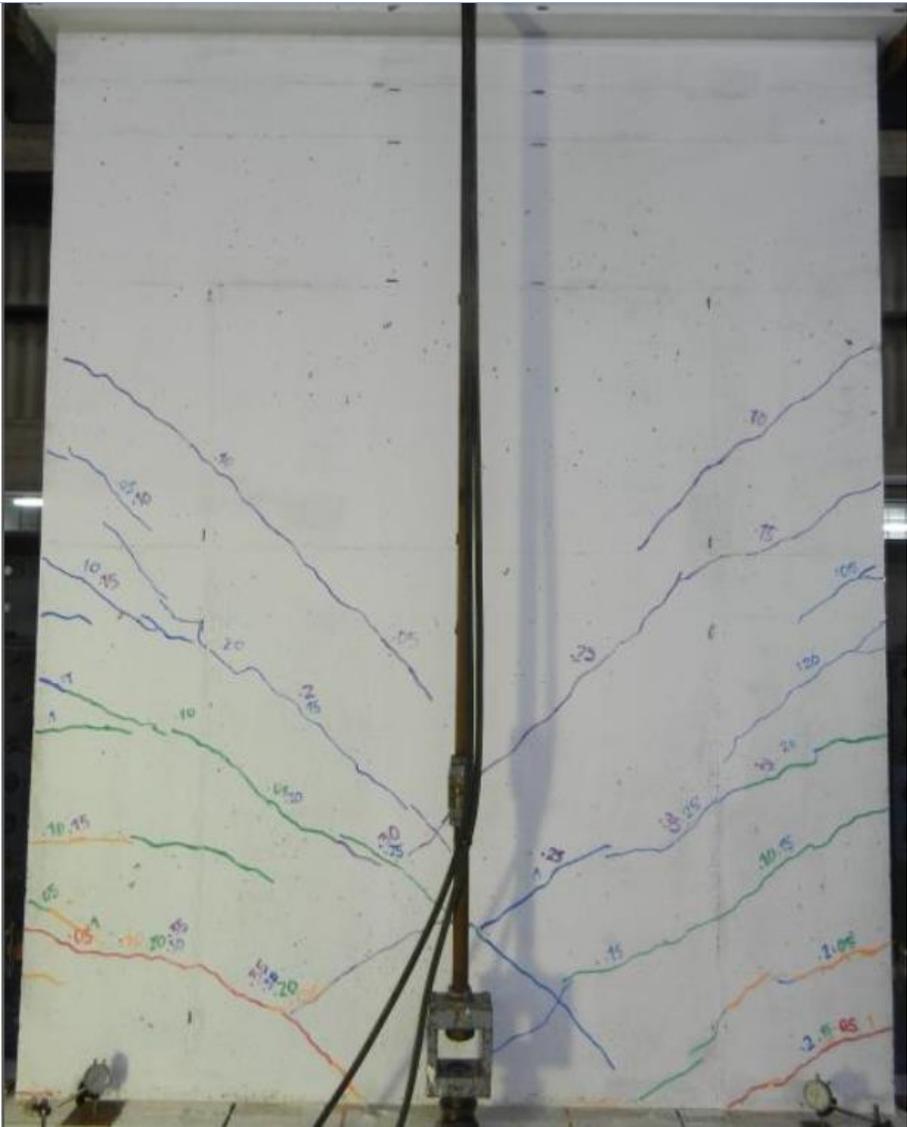
FASE II	
Desplazamiento	0.80 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	11.41 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	

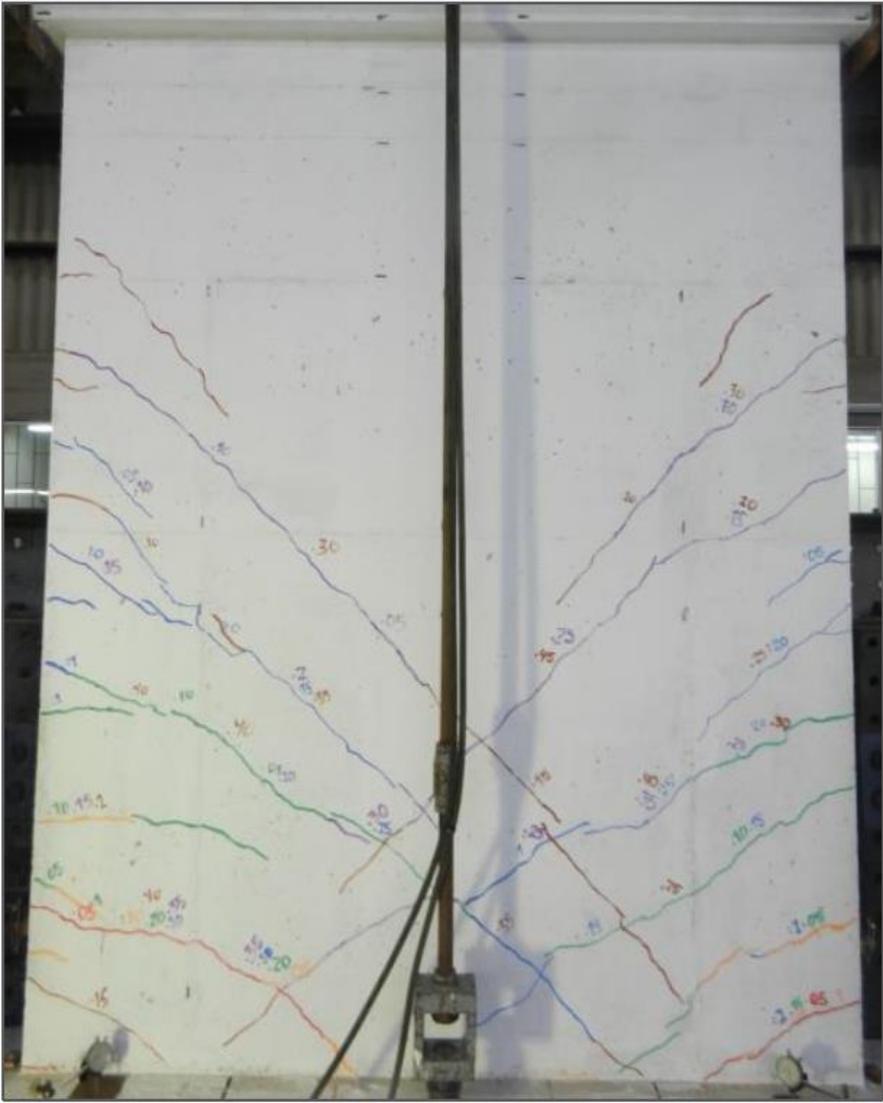
FASE III	
Desplazamiento	1.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	13.11 ton
Observación	El espécimen no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.
	

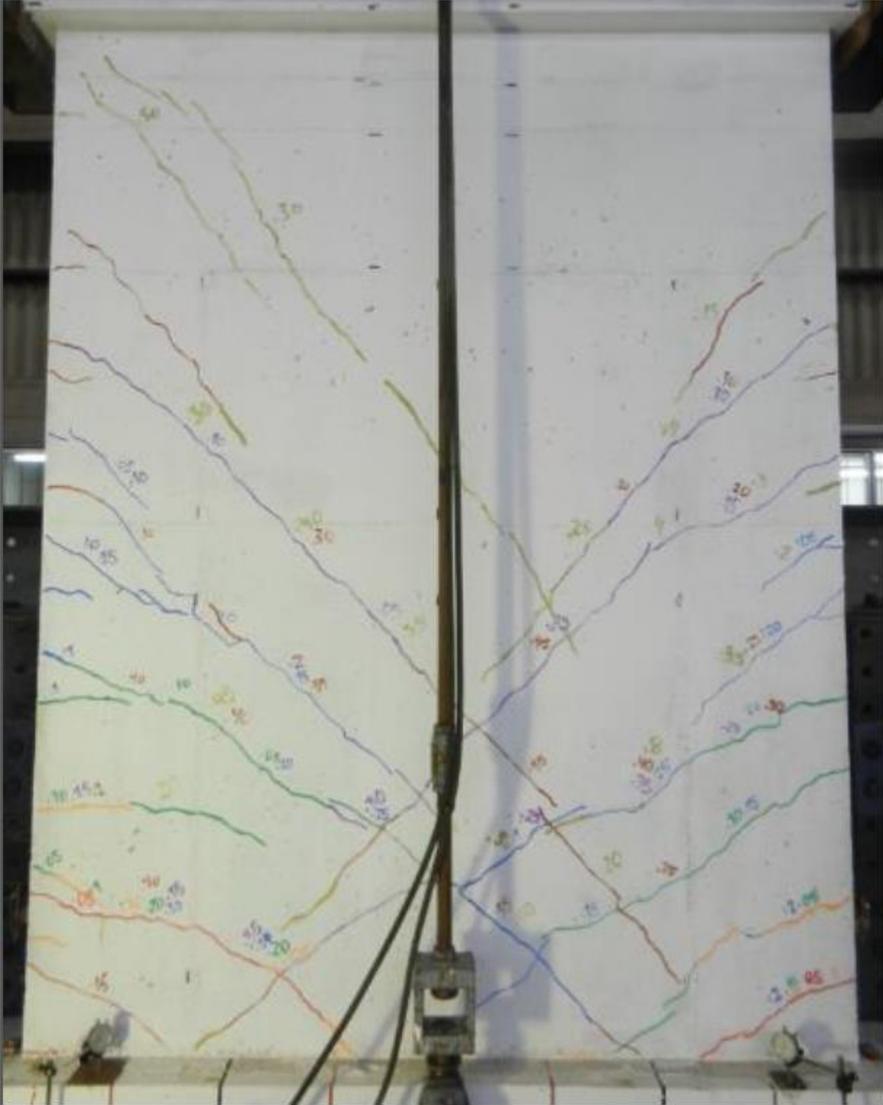
FASE IV	
Desplazamiento	1.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	15.44 ton
Observación	<p>En el primer ciclo en ambos talones se comenzaron a formar grietas de tracción por flexión del muro a diferentes alturas.</p> <p>Estas grietas se prolongaron convirtiéndose en grietas de tracción diagonal, que terminaron en la base del muro.</p> <p>La grieta del talón derecho se formó a 15 cm de altura con respecto a la base del muro.</p> <p>La grieta del talón izquierdo se formó a 35 cm de altura con respecto a la base del muro.</p>
	

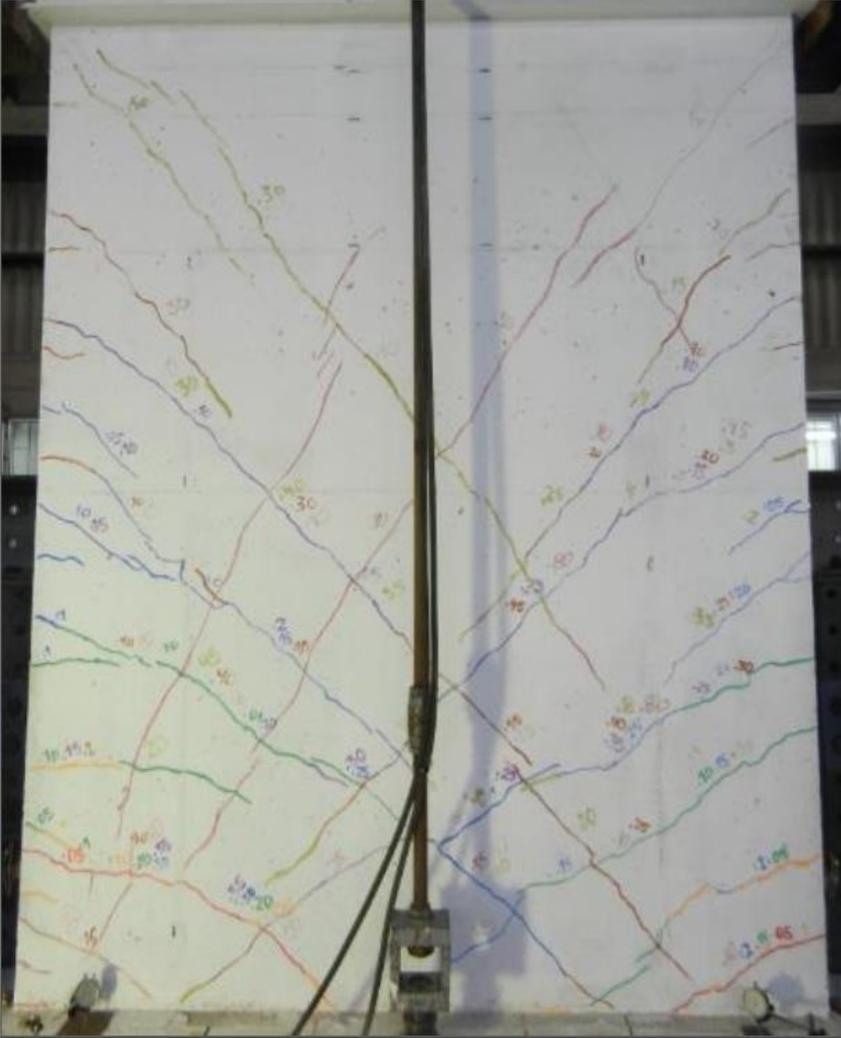
FASE V	
Desplazamiento	2.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	17.87 ton
Observación	<p>La grieta del talón izquierdo formada en la fase 5 aumento su grosor a 0.10 mm</p> <p>Además se formaron más grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm</p>
	

FASE VII	
Desplazamiento	4.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	23.80 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.25 mm.</p> <p>Además, se formaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.10 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.20 mm.</p>
	

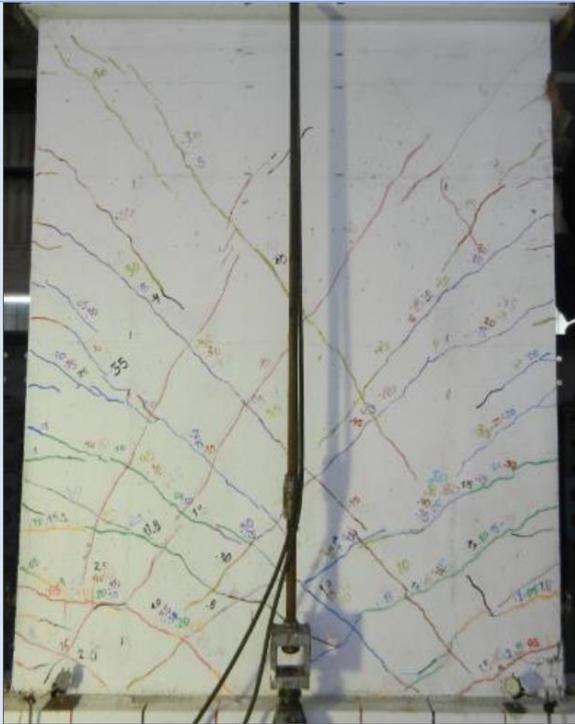
FASE VIII	
Desplazamiento	6.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	26.54 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.30 mm. Otras grietas existentes solo aumentaron su grosor hasta 0.35 mm.</p> <p>Aparecieron grietas de tracción diagonal pura llegando a un grosor de 0.15 mm.</p>
	

FASE IX	
Desplazamiento	8.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	30.82 ton
Observación	<p>Grietas existentes se prolongaron y otras grietas solo aumentaron su grosor hasta 0.45 mm</p> <p>Aparecieron grietas de tracción diagonal con grosores menores a 0.05 mm.</p>
	

FASE X	
Desplazamiento	12.00 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	33.87 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor hasta un valor máximo fue de 0.40 mm Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor menor a 0.50 mm.
	

FASE XI	
Desplazamiento	16.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	35.97 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor hasta 0.80 mm Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor menor a 0.50 mm.
	

FASE XII	
Desplazamiento	23.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	38.19 ton
Observación	Grietas existentes se prolongaron y otras solo aumentaron su grosor. En los extremos inferiores aumentaron el grosor de grietas existentes a un valor máximo de 1.8 mm. Se observo aplastamiento leve en el talón derecho del muro
	

FASE XIII	
Desplazamiento	30.50 mm
Carga axial	30 ton
Carga lateral máxima	36.29 ton
Observación	Se observo aplastamiento severo de los talones y pandeo del acero de los extremos del muro.
	
	

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN SÍSMICA

Para la determinación del factor R, se ha realizado la calibración de manera acertada con respecto a los resultados de los ensayos, esto se obtuvo variando principalmente las características no lineales del concreto. El motivo por el cual se realizó el procedimiento indicado fue porque de acuerdo con lo leído en los informes presentados sobre los ensayos elaborados por SENCICO, las variaciones en la resistencia del concreto eran notorias, lo que llevo a suponer que, en algunos casos de los ensayos, el concreto de los muros podía alcanzar altos valores de resistencia a la compresión.

Por otro lado, el comportamiento del acero no ha sido variado, debido a que las barras empleadas cuentan con el aval de un fabricante certificado, pasando por distintas pruebas y ensayos de calidad al material.

Habiendo desarrollado la metodología aplicada en capítulos anteriores se obtuvieron resultados coherentes a lo indicado por la normativa vigente peruana (norma E. 030). A continuación, se muestran las tablas resúmenes de la obtención de valores para cada grupo de muros analizados.

a) Aplicando el criterio de igualación de energías

Determinación de la capacidad de absorción de energía para cada grupo de muros.

Tabla 15: Eh para cada espécimen

ESPECÍMEN	CARGA LATERAL (tn)	DESPLAZAMIENTO (mm)	Eh
MDL01-SCA-LR	11.98	21.34	80.30
MDL02-SCA-LR	11.97	20.47	76.23
MDL03-SCA-LR	11.97	21.76	76.77
MDL04-SCA	16.43	23.57	193.57
MDL05-SCA	16.48	21.37	176.03
MDL06-SCA	16.48	22.72	187.20
MDL07-CCA	23.48	36.52	428.72
MDL08-CCA	23.66	38.04	449.99
MDL09-CCA	23.64	37.17	190.24

Determinación de la rigidez inicial para los tres grupos de muros de ductilidad limitada.

Tabla 16: Rigidez inicial para cada espécimen

ESPECÍMEN	V MAX	D1	D3	CRÍTICO	K
MDL01-SCA-LR	201.3291	12.0791	5.4711	12.0791	16.6676
MDL02-SCA-LR	187.2295	12.0863	5.6429	12.0863	15.4911
MDL03-SCA-LR	199.6069	12.1251	5.5201	12.1251	16.4623
MDL04-SCA	259.3912	30.1929	23.2158	30.1929	8.5911
MDL05-SCA	243.1716	30.6729	18.9084	30.6729	7.9279
MDL06-SCA	256.6588	30.6682	18.7837	30.6682	8.3689
MDL07-CCA	371.7600	30.6750	16.3369	30.6750	12.1193
MDL08-CCA	391.4978	30.7661	17.3329	30.7661	12.7250
MDL09-CCA	374.9173	30.8043	15.6212	30.8043	12.1710

Factor de reducción de las fuerzas sísmicas

Tabla 17: Factor R por igualación de energía

ESPECÍMEN	Ko	Vr	Eh	Ve	R	PROMEDIO POR GRUPO
MDL01-SCA-LR	16.6676	11.98	80.2970	51.7369	4.3193	4.1937
MDL02-SCA-LR	15.4911	11.97	76.2308	48.5983	4.0604	
MDL03-SCA-LR	16.4623	11.97	76.7691	50.2752	4.2015	
MDL04-SCA	8.5911	16.43	193.5736	57.6717	3.5111	3.3717
MDL05-SCA	7.9279	16.48	176.0278	52.8305	3.2065	
MDL06-SCA	8.3689	16.48	187.2050	55.9767	3.3975	
MDL07-CCA	12.1193	23.48	428.7249	101.9397	4.3420	4.4133
MDL08-CCA	12.7250	23.66	449.9923	107.0154	4.5237	
MDL09-CCA	12.1710	23.64	439.3594	103.4159	4.3744	

Tabla 18: Promedio de Ro por método de igualación de energías

PROMEDIO	3.99
R MAX	4.52
R MIN	3.21

b) Aplicando el FEMA P695 o también llamado ATC 63

Factor de ductilidad

Tabla 19: Determinación del factor de ductilidad

ESPECÍMEN	F_e Tnf	F_y Tnf	R_μ
MDL01-SCA-LR	53.72	21.34	2.52
MDL02-SCA-LR	57.07	20.47	2.79
MDL03-SCA-LR	53.97	21.76	2.48
MDL04-SCA	60.40	24.50	2.46
MDL05-SCA	63.14	22.44	2.81
MDL06-SCA	64.33	23.99	2.68
MDL07-CCA	83.26	35.15	2.37
MDL08-CCA	82.91	38.22	2.17
MDL09-CCA	84.52	36.04	2.34

Factor de sobre resistencia

$$V_0 = V_c + V_s \quad V_c = A_c * \alpha * \sqrt{f'c} \quad V_s = \frac{A_v h * f_y * d}{s}$$

$f'c =$	175	Kg/cm ²
$e =$	10	cm
$L =$	200	cm
$\alpha =$	0.8	
$F_y =$	4200	Kg/cm ²
$V_c =$	21.17	Tn
$V_s =$	19.08	Tn
$V_0 =$	40.25	Tn

Tabla 20: Determinación del factor de sobre resistencia

ESPECÍMEN	V_u^*	V_0	R_s
MDL01-SCA-LR	21.34	40.25	0.53
MDL02-SCA-LR	20.47	40.25	0.51
MDL03-SCA-LR	21.76	40.25	0.54
MDL04-SCA	24.50	40.25	0.61
MDL05-SCA	22.44	40.25	0.56
MDL06-SCA	23.99	40.25	0.60
MDL07-CCA	36.52	40.25	0.91
MDL08-CCA	38.22	40.25	0.95
MDL09-CCA	37.17	40.25	0.92

Los muros que contaron con carga axial en el procedimiento de ensayo tienen una mayor resistencia en comparación con los muros ensayados únicamente con carga lateral cíclica; lo cual se refleja en los resultados obtenidos para el factor de sobre resistencia.

Factor de redundancia

En la tabla 21 se muestra que el factor de redundancia se ve afectado directamente por la capacidad elástica que tuvo cada muro para soportar carga antes de se inicie la incursión en el rango elástico. Es claro que los muros SCA obtuvieron mayor capacidad, pues estuvieron sometidos a un solo tipo de sollicitación. Mientras que al grupo CCA tuvo que soportar esfuerzos directamente a compresión y a la par que las sollicitaciones cíclicas.

Tabla 21: Determinación del factor de redundancia

ESPECÍMEN	V_u^*	V_1	R_R
MDL01-SCA-LR	21.34	7.63	2.80
MDL02-SCA-LR	20.47	6.80	3.01
MDL03-SCA-LR	21.76	7.29	2.99
MDL04-SCA	24.50	9.61	2.55
MDL05-SCA	22.44	8.90	2.52
MDL06-SCA	23.99	9.85	2.44
MDL07-CCA	36.52	17.41	2.10
MDL08-CCA	38.22	17.47	2.19
MDL09-CCA	37.17	17.69	2.10

Factor de reducción de las fuerzas sísmicas

Tabla 22: Determinación de R_o mediante FEMA P695

ESPECÍMEN	R_μ	R_s	R_R	R	PROMEDIO POR GRUPO
MDL01-SCA-LR	2.52	0.53	2.80	3.73	4.00
MDL02-SCA-LR	2.79	0.51	3.01	4.27	
MDL03-SCA-LR	2.48	0.54	2.99	4.01	
MDL04-SCA	2.46	0.61	2.55	3.83	3.89
MDL05-SCA	2.81	0.56	2.52	3.95	
MDL06-SCA	2.68	0.60	2.44	3.89	
MDL07-CCA	2.37	0.91	2.10	4.51	4.52
MDL08-CCA	2.17	0.95	2.19	4.51	
MDL09-CCA	2.34	0.92	2.10	4.55	

Tabla 23: Promedio de Ro por método del FEMA P695

PROMEDIO	4.21
R MAX	4.55
R MIN	3.83

Como se puede apreciar en ambos métodos de determinación de Ro los resultados son conservadores y también son similares para cada grupo de muros (Tabla 24).

Tabla 24: Comparativa de Ro obtenidos

MUROS	IGUALACIÓN DE ENERGÍA	FEMA P695
MDL-LR	4.19	4.00
MDL-SCA	3.37	3.89
MDL-CCA	4.41	4.52

Según la tabla 24, se aprecia que la variación es mínima por grupo en comparativa de ambos métodos, para futuros diseños se puede considerar un promedio para cada caso; sin embargo, el caso más real es el MDL-CCA ya que es el caso más representativo ante un evento sísmico debido a que estos muros están sometidos tanto a carga lateral como a carga gravitacional.

Estos resultados se alejan un poco de lo propuesto por Genner Villareal [18] que, en una de sus entrevistas, manifiesta que, en el Perú, a falta de ensayos experimentales de laboratorio para el sistema MDL en el aspecto de respuesta sísmica no se tiene una data precisa o confiable en el comportamiento estructural ante diferentes solicitaciones de carga. Por tal sentido, recomienda utilizar un coeficiente de reducción sísmica de 3 para hacer del diseño estructural – sísmo resistente más conservador que lo propuesto y regulado por la norma peruana E-030 [3].

COMPARACIÓN A NIVEL DE OPTIMIZACIÓN SÍSMICA DEL NUEVO R_0 CON EL REGULADO Y UTILIZADO POR LA NORMA SISMORRESISTENTE E-030.

Para este punto se consideró una estructura arquetípica de 05 niveles, con uso de vivienda y ubicado en zona 4.

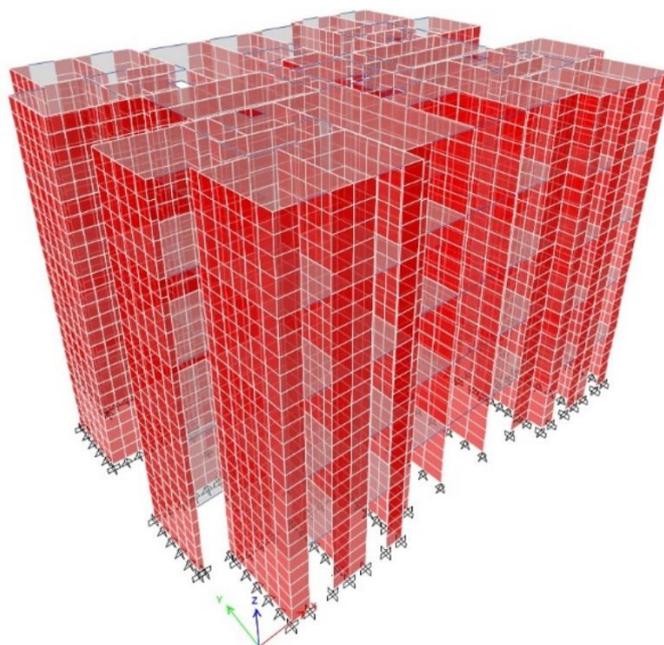


Ilustración 36: Elevación de estructura arquetípica de 05 niveles

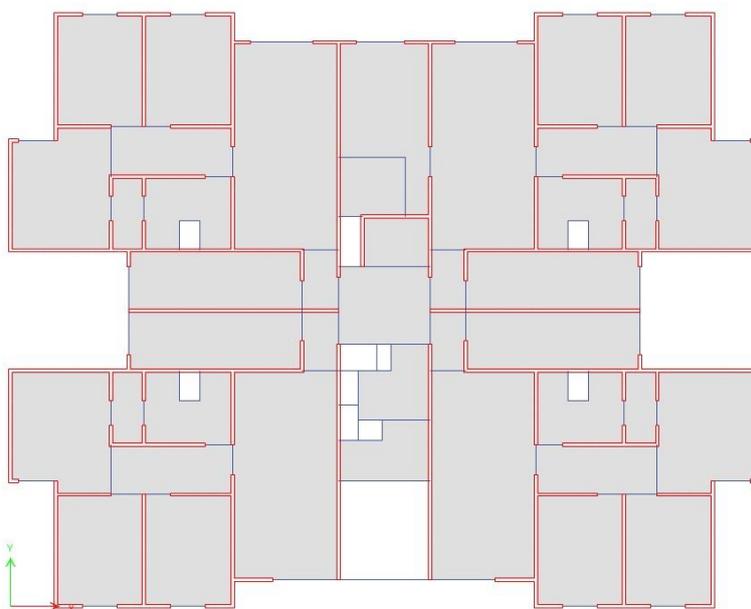


Ilustración 37: Vista en planta de la estructura arquetípica

Se tomaron como cargas adicionales al peso propio de la estructura, lo indicado en la Norma E.020:

- Sobrecarga = 200kg/m² considerando que es una estructura de tipo complejo habitacional.
- Acabados = 100 kg/m²

Así mismo, la estructuración estuvo conformada por muros de espesor de 10cm, losas de 10 cm, 15 cm y 20 cm de espesor. En algunas zonas se han considerado vigas chatas como elementos de borde de las losas macizas. Durante el modelado estructural se consideró a la escalera como una carga muerta distribuida sobre una losa, debido a que ésta no representa un gran incremento en la resistencia lateral de la estructura.

Como factores sísmicos se ha considerado lo siguiente:

Tabla 25: Parámetros Sísmicos utilizados

Zonificación	Zona	4
	Z	0.45
Parámetros de Sitio	Suelo	S1
	S	1.00
	Tp (seg)	0.40
	Tl (seg)	2.50
	Tx (seg)	0.373
Factor de Amplificación Sísmica	C	2.500
Uso	Categoría	C
	U	1.00

Derivas para Ro según la norma E.030:

Tabla 26: Coeficiente según normal E. 030 R = 4

Ro	4
Ia	1
Ip	1
R	4

Tabla 27: Derivas en la dirección X-X R = 4

Piso	Altura (cm)	Desp. Abs.	Desp. Rel.	Desp. Rel. Real	Deriva
Piso 5	240	0.2793	0.061	0.183	0.001
Piso 4	240	0.2183	0.0664	0.1992	0.001
Piso 3	240	0.1519	0.0667	0.2001	0.001
Piso 2	240	0.0852	0.0582	0.1746	0.001
Piso 1	240	0.027	0.027	0.081	0.000

Tabla 28: Derivas en la dirección Y-Y R = 4

Piso	Altura (cm)	Desp. Abs.	Desp. Rel.	Desp. Rel. Real	Deriva
Piso 5	240	0.3198	0.0788	0.2364	0.001
Piso 4	240	0.241	0.0799	0.2397	0.001
Piso 3	240	0.1611	0.0744	0.2232	0.001
Piso 2	240	0.0867	0.0581	0.1743	0.001
Piso 1	240	0.0286	0.0286	0.0858	0.000

- Derivas para R_0 obtenido a partir de los ensayos:

Tabla 29: Coeficiente según normal E. 030 R = 4.5

R₀	4.5
I_a	1
I_p	1
R	4.5

Tabla 30: Derivas en la dirección X-X R = 4.5

Piso	Altura (cm)	Desp. Abs.	Desp. Rel.	Desp. Rel. Real	Deriva
Piso 5	240	0.3419	0.0733	0.1924125	0.001
Piso 4	240	0.2686	0.08	0.21	0.001
Piso 3	240	0.1886	0.0808	0.2121	0.001
Piso 2	240	0.1078	0.0708	0.18585	0.001
Piso 1	240	0.037	0.037	0.097125	0.000

Tabla 31: Derivas en la dirección Y-Y R = 4.5

Piso	Altura (cm)	Desp. Abs.	Desp. Rel.	Desp. Rel. Real	Deriva
Piso 5	240	0.402	0.0976	0.2562	0.001
Piso 4	240	0.3044	0.0993	0.2606625	0.001
Piso 3	240	0.2051	0.0929	0.2438625	0.001
Piso 2	240	0.1122	0.0736	0.1932	0.001
Piso 1	240	0.0386	0.0386	0.101325	0.000

Se ha empelado un valor de $R = 4.5$ para los muros que tienen carga axial y carga lateral, debido a que son los que mejor representan el comportamiento de un muro que forma parte de una edificación de muro portante. Para establecer la comparativa también se han obtenido derivas con un $R = 4$, tal cual se puede observar en las tablas 27 y 28.

Según Gálvez propone diseñar una estructura de este tipo con $R = 4$, la cual es aplicable hasta 12 pisos y tomando en cuenta que no requiere confinamiento. Se aplica este valor si las estructuras cumplen con las limitaciones indicadas en las Normas peruanas: regularidad en altura, su uso específico para vivienda, densidad de muros, entre otras.

Para ambos casos mostrados se observa que los resultados de deriva obtenidos son similares, por ende, el comportamiento sísmico al emplear un $R_o = 4$ y un $R_o = 4.5$ tiende a ser el mismo. Sin embargo, a pesar de ser mínimo existe una mejora en la ductilidad del sistema, la cual fue otorgada al utilizar mallas de acero dúctil.

Conclusiones

- Se determinó que, durante el ensayo de muros, los elementos de base y acople (viga de cimentación y viga solera) no presentaron daño significativo durante el ensayo, pero sí se presentaron pequeñas grietas por flexión en la viga del muro con carga axial.
- La falla del muro se produce a una deriva de 1.2%, concentrando el daño en la base como se observan en las figuras por la trituración del concreto y el pandeo del refuerzo vertical dados en su mayoría notoriamente a partir de la fase 6.
- Bajo el modelo de Carrerira y Chu se obtuvo que la deformación correspondiente a la máxima resistencia a la compresión de concreto es de 0.0018
- Para el R_o mediante igualación de energías se obtuvo un valor mínimo de 3.21 y un máximo de 4.52, conforme se muestra en la tabla 18. Para el R_o mediante la normativa FEMA P695 se obtuvo un valor mínimo de 3.83 y un máximo de 4.55, conforme se muestra en la tabla 23.
- Con los resultados obtenidos, se refleja que el factor de modificación de respuesta se ve afectado por la inclusión de una carga axial, conllevando a obtener un mayor valor en comparación a los muros que no fueron sometidos al efecto combinado de carga axial y carga lateral cíclica.
- Se dedujo que, a partir de los valores de derivas obtenidos para el factor de modificación de respuesta sísmica según la normativa peruana actual y según lo calculado, se propone al factor equivalente a 4.5 para muros de ductilidad limitada reforzados con malla de acero dúctil.
- En conclusión, el comportamiento sísmico de una estructura bajo el R_o utilizado en la normativa actual y el comportamiento sísmico bajo un R_o obtenido en estos ensayos (con la adición de malla dúctil) han sido similares, lo que sí es notorio que al ser reforzado con el acero ASTM A615 grado 60 le adicionó ductilidad a la estructura.

Recomendaciones

- Se considera realizar más ensayos, ya que se reduce la posibilidad de obtener resultados atípicos o sesgados, lo que aumenta la confianza en la estimación de la confiabilidad estructural mínima. Por lo tanto, se recomienda realizar un número significativo de ensayos cíclicos en MDL para garantizar una confiabilidad estructural mínima del 50% con mayor certeza.
- En relación con la calibración de muros estructurales, se sugiere llevar a cabo la calibración de un modelo matemático completo basado en datos experimentales con el objetivo de lograr una similitud en el desempeño estructural de un edificio a escala real.
- Se recomienda crear una base de datos con ensayos cíclicos de cargas laterales y compartir los archivos de resultados para que los investigadores puedan acceder a ellos y difundir la metodología utilizada. Esto permitiría establecer una base global para calibrar modelos estructurales y promover el uso de procedimientos de análisis estructural no lineal en el diseño. Para lograrlo, los investigadores universitarios deberían compartir sus resultados, incluyendo archivos detallados de los pasos de los ensayos, en lugar de limitarse a presentaciones gráficas.

Referencias

- [1] G. Mojerón Blanco, C. Llanes-Burón, Z. Frómeta-Salas, “Métodos para la Determinación del Factor de Reducción de Respuesta de las Fuerzas Sísmicas”, *Ciencia en su PC*, vol. 1, núm. 1, pp. 24-35, 2018. [EN LÍNEA]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358269006/html/>
- [2] D. Arroyo Espinoza Y A. Terán Gilmore, “FACTORES DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON SISTEMAS PASIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA”, *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º66, pp. 73-93, enero-junio 2002. [EN LÍNEA]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/618/61806603.pdf>
- [3] A. MARÍN OSPINA, “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE MUROS DE CONCRETO MEDIANTE MÉTODOS SIMPLIFICADOS”, TESIS POST GRADO, UNIVERSIDAD EAFIT, MEDELLÍN, COLOMBIA, 2018. [EN LÍNEA]. Disponible en: <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/13326>
- [4] R. Aguiar, “Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte”, *Monograph Series in Earthquake Engineering*, editor A. H. Barbat (2007). IS58, ISBN: 978-84-96736-40-7. [EN LÍNEA]. Disponible en: https://www.scipedia.com/public/Aguiar_Samper_2007a
- [5] A. Gálvez Villacorta, “PROPUESTA DEL FACTOR DE REDUCCION DE FUERZA SISMICA PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES EN CONCRETO ARMADO CON MUROS REFORZADOS POR BARRAS DUCTILES Y MALLAS ELECTROSOLDADAS”, TESIS POST GRADO, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, LIMA, PERÚ, 2008. [EN LÍNEA]. Disponible en: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/109/2008/04/Valor-R-en-SMDL.pdf>
- [6] D. LLERENA PARIAPAZA, “EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA Y APORTICADO EN LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE CINCO NIVELES, CIUDAD DE PUNO”, TESIS PRE GRADO, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL

ALTIPLANO, PUNO, PERÚ, 2021. [EN LÍNEA]. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15059/Llerena_Pariapaza_Donald_E_milio.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[7] *NORMA SISMORRESISTENTE*, NORMA TÉCNICA PERUANA E 030, 2019.

[8] «Prodac,» [En línea]. Available: <https://prodac.bekaert.com/es-MX/infraestructura/refuerzo-de-concreto/malla-electrosoldada>.

[9] American Society of Civil Engineers. (2016). ASCE STANDARD ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. In ANSI/ASCE Standard (Issue 7 98).

[10] Z. Jianchen, Q. Hongxing, S. Jian y J. Hongbo, «Seismic performance evaluation of different strategies for retrofitting RC frame buildings,» Structures, vol. 34, 2021.

[11] Carreira, D. y Chu, K. «Stress – Strain Relationship for Plain Concrete in Compression». Aci Journal, 82-72, 1985.

[12] F. Chen, M. He, y. Wang, Z. Shu y G. He, «Seismic performance of self-centering steel-timber hybrid shear wall structures,» Journal of Building Engineering, vol. 43, 2021.

[13] X. Estrella, P. Guindos, J. Almazán, S. Malek, H. Santa Maria, J. Montaña y S. Berwart, «Seismic performance factors for timber buildings with woodframe shear walls,» Engineering Structures, vol. 248, 2021.

[14] J. J. Merodio Mejía y W. A. Vásquez Ortiz, «Estudio comparativo del comportamiento y diseño estructural de un edificio multifamiliar de 5 pisos diseñado con los sistemas de albañilería confinada y muros de ductilidad limitada en suelo flexible en la ciudad de Piura,» Lima, 2018.

[15] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Norma E.060: Concreto Armado,» Lima-Perú, 2017.

- [16] A. San Bartolomé, A. Muñoz y M. Villagarcía y C. Acuña, «COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE PLACAS DE CONCRETO REFORZADAS CON MALLAS ELECTROSOLDADAS» Lima-Perú, 2004.
- [17] J. Robert, R. D'Ercole. “Vulnerabilidades urbanas en los países andinos (Bolivia, Ecuador, Perú)”, *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 1 De diciembre 2009. [En línea]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2937383>
- [18] G. Villarreal, “ENTREVISTA A GENNER VILLAREAL: SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA” 2015 [En línea]. Disponible en: <http://gennervillarrealcastro.blogspot.com/2011/04/articulos-y-entrevistas-dr-genner.html>
- [19] Federal Emergency Management Agency (FEMA) y Programa Nacional de Reducción de Riesgos de Terremotos. (2009). FEMA P-695, Quantification of Building Seismic Performance Factors. Washington, DC.
- [20] SENCICO, Servicio de ensayos estructurales para determinar el comportamiento sísmico de muros de ductilidad limitada (2016). Lima, Perú.
- [21] Loa, G., Tarque, N. y Condori, C. Experimental and numerical modelling studies of slender reinforced concrete walls with single-layer reinforcement in Peru (2022). *Engineering Structures*.
- [22] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2007). FEMA 461 Interim testing protocols for determining the seismic performance characteristics of structural and non-structural components. Washington, DC.
- [23] American Society of Civil Engineers. (2016). ASCE STANDARD ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. In ANSI/ASCE Standard (Issue 7 98).