

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



**Desempeño sísmico con curvas de capacidad de muros de ductilidad
limitada basado en ensayos experimentales**

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

AUTOR

Andrea Rubi Nicole Calero Barboza

ASESOR

Jose Alberto Acero Martinez

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

Chiclayo, 2023

Desempeño sísmico con curvas de capacidad de muros de ductilidad limitada basado en ensayos experimentales

PRESENTADA POR

Andrea Rubi Nicole Calero Barboza

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

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Jorge Enrique Alvarez Ruffran

PRESIDENTE

Jose Alfredo Rolando Cespedes Deza

SECRETARIO

Jose Alberto Acero Martinez

VOCAL

Dedicatoria

Dedico este trabajo de tesis principalmente a Dios, a mis padres, abuelitos, hermanos. A Dios por iluminar mi camino, guiarme y acompañarme en cada paso que doy; a mis padres, por los consejos, valores y principios que me han inculcado, sin su trabajo y sacrificio nada de eso fuera posible; a mis abuelitos, a quienes quiero como unos padres, por ser los principales promotores de mis sueños, por estar siempre dispuestos a escucharme y creer en mí; a mis hermanos por acompañarme en este proceso y a mi Calín, por ser mi pequeño motor que me impulsa a salir adelante.

Agradecimientos

Es mucho lo que tengo que agradecer quiero iniciar por mi padre Jorge Calero por haberme brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos; a mi madre, Marilú Barboza por su apoyo incondicional para poder cumplir con todos mis objetivos personales y académicos; a mis abuelitos, Betito y Dorita por ser mis mejores guías de vida, por sus consejos y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona y me acompañan en todos mis sueños y metas; a mis hermanos, Luis y Dora por motivarme a su manera a culminar esta tesis; a mi Calín, que sin decir una palabra me alegra y motiva en mis días y noches más difíciles. A mi asesor José Acero que formó parte importante de esta historia con sus aportes profesionales, sus conocimientos rigurosos y precisos. A SENCICO por apoyar e impulsar la investigación y a su vez hacerla más accesible a jóvenes investigadores.

Desempeño sísmico con curvas de capacidad de muros de ductilidad limitada basado en ensayos experimentales

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%	19%	3%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	KAREN ELENA CABALLERO MORRISON. "Estudio teórico-experimental de soportes esbeltos de hormigón armado con fibras de acero sometidos a compresión y carga lateral cíclica", Universitat Politecnica de Valencia, 2015 Publicación	2%
4	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	1%
5	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	

Índice

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Situación problemática	13
Formulación del problema	14
Justificación	15
Objetivos.....	15
Revisión de literatura	16
Antecedentes	16
Bases teóricas.....	19
Efectos sísmicos.....	19
Sismo-resistencia.....	21
Análisis sísmico no lineal.....	21
Curva Bilineal	21
Curva Trilineal.....	21
Calibración de un muro.....	22
Pier Label.....	22
Modelo de Takeda.....	22
Rotulas plásticas.....	22
Desempeño sísmico	23
Curva de capacidad	23
Muros de ductilidad limitada	24
Modos de falla.....	24
Lazos Histeréticos.....	26
Envolvente	26
Campana de Gauss.....	26
Sismo resistencia.....	26
Desempeño sísmico	26

Curvas de capacidad	27
Muros de ductilidad limitada	27
Método de coeficiente ASCE 41-17	27
Cortante Basal.....	27
Materiales y métodos	39
Tipo y nivel de investigación.....	39
Diseño de investigación.....	39
Población, muestra, muestreo	39
Criterio de selección	39
Criterios de inclusión.....	39
Criterios de exclusión.....	40
Hipótesis y Operacionalización de variables.....	40
Hipótesis.....	40
Operacionalización de variables.....	40
Técnica e instrumentos de recolección de datos:	41
Procedimiento.....	41
Etapa 01: Propuesta de investigación	41
Etapa 02: Se va a analizar el nivel de desplazamiento de los muros de ductilidad limitada	41
Etapa 03: Determinación de las curvas de capacidad de los muros de ductilidad limitada.	41
Etapa 04: Desarrollo de un modelo matemático para validar su comportamiento no lineal	41
Etapa 05: Desempeño Estructural de un edificio de 06 Niveles.....	42
Resultados y discusión	42
Análisis del nivel de desplazamiento para definir el daño de la estructura basado en las cargas cíclicas que se aplicaron a los muros de ductilidad limitada en los ensayos de laboratorio realizados por SENCICO.....	42
Determinación de las curvas de capacidad de los muros de ductilidad limitadas	66
Validación de la curva representativa por medio de un modelo matemático a través del software ETABS.....	71
Medir el nivel de desempeño en función de la deriva	75
Análisis no lineal estático del edificio de 06 niveles	79

Conclusiones	83
Recomendaciones.....	84
Referencias	85

Lista de tablas

Tabla 1: Descripción de los daños y niveles de desempeño	23
Tabla 2: Normas que regulan las características del acero.....	29
Tabla 3:Características del acero A615.....	29
Tabla 4: Especificaciones técnicas del concreto	30
Tabla 5: Muestras de acero de refuerzo de 3/8"	32
Tabla 6: Muestra de acero de refuerzo de 1/2"	32
Tabla 7: Resistencia a la compresión en probetas del concreto en muros y vigas soleras.....	34
Tabla 8: Instrumentación.....	37
Tabla 9: Instrumentación.....	37
Tabla 10: Operación de variables.....	40
Tabla 11: Técnicas e instrumentos para recopilar información	41
Tabla 12: Curvas promedio 01	69
Tabla 13: Curva promedio 02.....	69
Tabla 14: Curva promedio 03.....	69
Tabla 15: Rigidez elástica	76
Tabla 16: Rigidez post agrietamiento.....	76
Tabla 17: Rigidez post fluencia.....	76
Tabla 18: Corte y desplazamiento para los puntos de comportamiento.....	80
Tabla 19: Cortante y desplazamiento para los puntos de comportamiento.....	81

Lista de figuras

Figura 1: Curva típica de respuesta estructural	19
Figura 2: Curva de capacidad o resistencia estructural	20
Figura 3: Ductilidad estructural.....	20
Figura 4: Detallado estructural Espécimen 01, 02 y 03	28
Figura 5: Colocación de espécimen en las mordazas de la Maquina Universal. Especímenes ensayados de muestras 3/8”	31
Figura 6: Diagrama esfuerzo deformación global muestra de 3/8”, espécimen 1.....	31
Figura 7: Diagrama esfuerzo deformación global muestra de 1/2”, espécimen 6.....	32
Figura 8: Elaboración de probetas de concreto	33
Figura 9: Probeta ensayada a compresión axial	33
Figura 10: Sensores de deformación	36
Figura 11: Sensores de deformación	36
Figura 12: Montaje y colocación.....	38
Figura 13: MDL - 01 - Fase 1	43
Figura 14: MDL - 01 - Fase 2	43
Figura 15: MDL - 01 - Fase 3	44
Figura 16: MDL - 01 - Fase 4	44
Figura 17: MDL - 01 - Fase 5	45
Figura 18: MDL - 01 - Fase 6	45
Figura 19: MDL - 01 - Fase 7	46
Figura 20: MDL - 01 - Fase 8	46
Figura 21: MDL - 01 - Fase 9	47
Figura 22: MDL - 01 - Fase 10	47
Figura 23: MDL - 01 - Fase 11	48
Figura 24: MDL - 01 - Fase 12	48
Figura 25: MDL - 01 - Fase 13	49
Figura 26: MDL - 02 - Fase 1	50
Figura 27: MDL - 02 - Fase 2	50
Figura 28: MDL - 02 - Fase 3	51
Figura 29: MDL - 02 - Fase 4	52
Figura 30: MDL - 02 - Fase 5	52
Figura 31: MDL - 02 - Fase 6	53
Figura 32: MDL - 02 - Fase 7	54
Figura 33: MDL - 02 - Fase 8	54
Figura 34: MDL - 02 - Fase 9	55
Figura 35: MDL - 02 - Fase 10	56

Figura 36: MDL - 02 - Fase 11	56
Figura 37: MDL - 02 - Fase 12	57
Figura 38: MDL - 02 - Fase 13	58
Figura 39: MDL - 03 - Fase 1	58
Figura 40: MDL - 03 - Fase 2	59
Figura 41: MDL - 03 - Fase 3	60
Figura 42: MDL - 03 - Fase 4	60
Figura 43: MDL - 03 - Fase 5	61
Figura 44: MDL - 03 - Fase 6	62
Figura 45: MDL - 03 - Fase 7	62
Figura 46: MDL - 03 - Fase 8	63
Figura 47: MDL - 03 - Fase 9	64
Figura 48: MDL - 03 - Fase 10	64
Figura 49: MDL - 03 - Fase 11	65
Figura 50: MDL - 03 - Fase 12	65
Figura 51: MDL - 03 - Fase 13	66
Figura 52: Lazos Histeréticos MDL - 01	67
Figura 53: Lazos Histeréticos MDL - 02	67
Figura 54: Lazos Histeréticos MDL - 03	68
Figura 55: Curva Promedio MDL - 01	69
Figura 56: Curva Promedio MDL - 02	69
Figura 57: Curva Promedio MDL - 03	69
Figura 58: Curva promedio representativa MDL 01, 02, 03	70
Figura 59: Modelo matemático discretizado	71
Figura 60: Modelos constitutivos, acero de 3/8" y 1/2"	72
Figura 61: Modelo constitutivo del concreto	73
Figura 62: Cuantía y plasticidad tipo fibra	73
Figura 63: Discretización horizontal y vertical	74
Figura 64: Curva analítica vs experimental	75
Figura 65: Grafica trilineal de la curva de capacidad	77
Figura 66: Sectorización según SEAOC VISON 2000	77
Figura 67: Derivas umbral de los niveles de desempeño	78
Figura 68: Modelo tridimensional del edificio de 6 niveles	79
Figura 69: Curva de capacidad X-X	80
Figura 70: Respuesta para sismo de Diseño	81
Figura 71: Respuesta para sismo Ocasional	81
Figura 72: Desempeño estructural para sismo Raro y de Diseño	82

Resumen

En el presente trabajo de investigación se exhibirán los resultados experimentales realizados por SENCICO basado en cargas cíclicas que se aplicaron a 03 muros de ductilidad limitada llevados a la rotura en los ensayos de laboratorio, estos resultados se evaluaron y procesaron con el objeto de analizar su comportamiento frente a condiciones de carga laterales controladas, para obtener sus lazos histeréticos que representan la degradación de su rigidez en 13 fases propuestas, a su vez, se determinó las curvas de capacidad envolventes para cada espécimen con el propósito de obtener una curva representativa para las muestras, después, se validó la curva representativa por medio de una calibración teórica con ayuda del software Etabs añadiendo la no linealidad a los materiales y al modelo matemático, de esta manera se obtuvo una curva de capacidad analítica que se acomoda bastante bien a la experimental, además se planteó una curva trilineal que representa muy bien al comportamiento de muros de ductilidad limitada en sus condiciones de comportamiento, elástico, post agrietamiento y post fluencia con el objeto de sectorizar la curva de capacidad trilineal en sus niveles de desempeño estructural con sus respectivas derivas umbral, guiándose de los lineamientos propuestos por SEAOC VISION 2000, finalmente, se realizó el desempeño estructural de un edificio de 06 niveles de muros de ductilidad limitada para demandas de sismo ocasional y diseño con periodos de retorno de 100 y 475 años respectivamente.

Palabras Clave: deriva, curva trilineal, post elástico, post agrietamiento, post fluencia

Abstract

In this research work, the experimental results performed by SENCICO based on cyclic loads that were applied to 03 walls of limited ductility taken to failure in laboratory tests will be exhibited, these results were evaluated and processed in order to analyze their behavior under controlled lateral loading conditions, These results were evaluated and processed in order to analyze their behavior under controlled lateral loading conditions, to obtain their hysteretic loops that represent the degradation of their stiffness in 13 proposed phases, in turn, the enveloping capacity curves were determined for each specimen in order to obtain a representative curve for the samples, then, the representative curve was validated by means of a theoretical calibration with the help of Etabs software adding the nonlinearity to the materials and the mathematical model, In this way, an analytical capacity curve was obtained that fits quite well with the experimental one, in addition, a trilinear curve was proposed that represents very well the behavior of walls of limited ductility in their behavioral conditions, elastic, post-cracking and post-creep, with the purpose of sectoring the trilinear capacity curve in its structural performance levels with their respective threshold drifts, guided by the guidelines proposed by SEAOC VISION 2000, finally, the structural performance of a building with 06 levels of limited ductility walls for occasional and design earthquake demands with return periods of 100 and 475 years, respectively, was carried out.

Keywords: drift, trilinear curve, post elastic, post cracking, post creep.

Introducción

La presente investigación se realiza debido a la necesidad de mitigar la incertidumbre debido a la falta de evidencias experimentales para medir el desempeño sísmico del sistema de muros de ductilidad limitada especialmente considerando que nos encontramos en una zona con alta actividad sísmica a nivel mundial por encontrarse en el Cinturón de Fuego del Pacífico.

Esta iniciativa se dio debido al aumento de crecimiento población, haciendo que surja la necesidad de la compra, adquisición o construcción de nuevas viviendas que se encuentren al alcance de la población por tal motivo el sistema de muros de ductilidad limitada que tiene como elementos estructurales a muros de concreto armado usualmente de 10 a 12 cm de espesor, se convirtió en uno de los más usados debido a su alto nivel de productividad, reducción en tiempo de ejecución y menor costo a comparación de otros sistemas tradicionales, lo que vuelve imperativo conocer su comportamiento sísmico.

En la elaboración de la presente se procesará las curvas de capacidad obtenidos de los ensayos experimentales realizados por SENCICO a 03 especímenes de Muros de concreto armado haciendo un análisis detallado, comparativo y estadístico de los modos y mecanismos de falla para determinar una curva trilineal que representa el comportamiento elástico e inelástico de los especímenes en función a sus derivas de daño límite con el propósito de describir los niveles de desempeño estructural para demandas de sismo de diseño y máximo. A su vez se validará la curva de capacidad trilineal por medio de una calibración computacional tomando en consideración sus características físicas y mecánicas de cada espécimen.

Se finalizará la investigación aplicando los nuevos conocimientos y objetivos planteados al determinar el nivel de desempeño estructural de una edificación de muros de ductilidad limitada de 06 niveles ubicada en la región de Lambayeque, ciudad Chiclayo, urbanización Santa Victoria construida con el sistema de muros de ductilidad limitada para proporcionar un aporte más eficaz y real de la problemática planeada en la presente investigación.

Situación problemática

A lo largo de los años, según Seiner [1] la zona denominada el Cinturón de Fuego del Pacífico ha presenciado gran actividad sísmica, donde las colisiones de placas tectónicas no han sido una actividad infrecuente. Esta porción de la tierra comprende las riberas sudamericanas y asiáticas frente al Océano Pacífico, donde se da el 80% de la actividad sísmica en el planeta.

A nivel mundial, la sismicidad es un problema que durante muchos años ha preocupado a la población en todo el mundo, debido a que no existen los mecanismos que puedan ayudar a la prevención de terremotos. Por ello, es necesario realizar un análisis del comportamiento ante los movimientos sísmicos de diversas estructuras para evitar su futuro colapso. [2]

El Perú pertenece al Cinturón del Fuego del Pacífico presentando así una zonificación sísmica de mayor riesgo, en el país es la zona 4 donde se presenta toda la superficie de la costa peruana como zona de alto riesgo sísmico. [3]

A nivel nacional, existe un problema alarmante debido al acelerado crecimiento poblacional que se evidencia en los últimos años, por lo que, existe una mayor demanda de familias que necesitan adquirir o construir viviendas, este alto índice de crecimiento demográfico es notable en la región Lambayeque dado que se registra un aumento del 4% en el año 2020, lo que hace que surja una alta demanda de viviendas que crece constantemente en todo su territorio, especialmente en sectores populares. [4]

Asimismo, la carencia de suficientes recursos económicos opta por programas sociales de viviendas que ofrece el estado peruano como apoyo, siendo los edificios de muros de ductilidad limitada (EMDL) los más usados debido al alto nivel de productividad, reducción en tiempos de ejecución y menor costo a comparación de los edificios convencionales.

En el caso de los edificios de muros de ductilidad limitada, en la actualidad no se cuenta con suficientes evidencias o estudios realizados de su comportamiento sísmico. Por lo que, se genera una gran preocupación la falta de antecedentes de su comportamiento real, vacío en conocimientos, la elevada demanda de construcciones con este sistema con inseguridades, los escasos recursos económicos de familias para adquirir una vivienda. De esta manera, nace la iniciativa de evaluar el desempeño sísmico de muros de ductilidad limitada basado en ensayos experimentales.

Formulación del problema

¿Cómo se puede contribuir al análisis no lineal basándose en ensayos experimentales a nivel de desempeño sísmico del sistema de muros de ductilidad limitada con malla dúctil?

Justificación

En el aspecto técnico, se considera que la presente aportará de manera significativa al cálculo o a la representación del desempeño sísmico de MDL a nivel de proyección, ejecución y de edificaciones existentes; beneficiará a la rama de la ingeniería estructural ya que servirá como evidencia experimental para conocer parámetros como la derivas límite de los niveles de desempeño de una estructura del sistema MDL; lo que permitirá ser inicio de muchas más iniciativas en la búsqueda de nuevos conocimientos.

En el aspecto social, desde que llegó este sistema al país hace aproximadamente 20 años, ha tenido una gran acogida teniendo un impacto positivo en las familias, siendo muy utilizada en programas de apoyo social como “Fondo mi vivienda” y “Techo Propio”; por lo que, al tener una gran demanda, el riesgo de pérdidas de vida es mayor por lo que es de vital importancia tener en cuenta en el desempeño sísmico de este sistema.

Esta investigación beneficia a las empresas contratistas o ejecutoras, debido al alto nivel de productividad mediante la reducción de tiempos de ejecución, menores costos a comparación de los edificios convencionales y se considera de gran importancia debido a que es un sistema estructural económico, siendo más accesible de adquirir.

En el aspecto ambiental, esta investigación no genera impacto ambiental negativo, ya que, no se hará empleo de sustancias o materiales que afecten al medio ambiente; debido a que se basará en analizar los ensayos experimentales de muros de ductilidad limitada con el fin de analizar su comportamiento.

Objetivos

El objetivo general de esta investigación es evaluar el desempeño sísmico de muros de ductilidad limitada basada en ensayos experimentales con el fin de proporcionar nuevos conocimientos de este sistema constructivo para lo cual se va analizar el nivel de desplazamiento para definir el daño de la estructura basado en las cargas cíclicas que se aplicaron a los muros de ductilidad limitada en los ensayos de laboratorio realizados por SENCICO, además se va determinar las curvas de capacidad de dichos muros para obtener la curva de capacidad trilineal que represente el comportamiento de la misma, así mismo, se desarrollara un modelo matemático para validar su comportamiento a través del programa computacional ETABS, también, se medirá el nivel de desempeño en función de los diferentes niveles de deriva, y finalmente se va determinar el nivel de desempeño de una edificación típica con muros de ductilidad limitada a través de un programa computacional en la ciudad de Chiclayo.

Revisión de literatura

Antecedentes

A nivel internacional, López, Verduga [5], en su trabajo de investigación tuvo como objetivo general evaluar el riesgo sísmico de estructuras de ductilidad limitada en la parroquia de Alóag. La metodología aplicada en este proyecto de investigación fue la inspección de 20 viviendas realizando un levantamiento de situación actual, y la aplicación de FEMA 154. En conclusión, se determina que las 20 edificaciones evaluadas presentan una alta vulnerabilidad, esto se debe principalmente a la autoconstrucción de las mismas, también el riesgo sísmico constituye un peligro sísmico alto con una aceleración espectral máxima de 1.30 g. con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años estableciendo un nivel de vulnerabilidad alto para estructuras de 3 a 4 piso y una vulnerabilidad baja para edificaciones de 1 a 2 niveles.

Juan Vélez, Carlos A. Blandón, Ricardo Bonett, Carlos Arteta, Julián Carrillo, João Almeida y Katrin Beyer, [6] se realizaron ensayos cuasi-estáticos cíclicos en el plano y con carga axial constante, en el presente artículo se ha identificado las variables principales que intervienen en el comportamiento sísmico de los muros delgado de concreto reforzado, el centro Colombiano de Investigación en Ingeniería Sísmica en unión con la Escuela Politécnica Federal de Lausane están desarrollando una investigación enfocada en el comportamiento experimental de los muros de concreto reforzado con solo una capa de refuerzo convencional dúctil tomando en consideración construcciones típicas del entorno Colombiano, para ello se trabajó con 2 muros a escala real, los cuales fueron realizados con base en un muro arquetípico que se definió a partir de una análisis estadístico.

Juan Vélez [7], en su trabajo de investigación tuvo como objetivo principal evaluar de forma experimental la incidencia del tipo, disposición y cuantía de refuerzo en el comportamiento de los especímenes. Se ensayaron 4 muros a escala real, los cuales fueron hechos con las características típicas que se encuentran en las edificaciones que usan el diseño estructural de muros de ductilidad limitada en Colombia, analiza los resultados los compara con predicciones numéricas. También muestra algunas de las debilidades de los muros típicos de este sistema como altas degradaciones de la rigidez desde valores muy bajos de deriva, la concentración del comportamiento inelástico en una o muy pocas grietas de apertura significativa. Finalmente, el autor sugiere incluir el sistema de muros de ductilidad limita como un nuevo sistema estructural en la siguiente versión del reglamento NSR colombiano y a su vez adoptar algunos lineamientos de la normativa peruana como el espesor mínimo, el número máximo de pisos, entre otros.

Quezada [8], en su trabajo de investigación tuvo por objetivo general clasificar las fallas más comunes que existen en los sistemas estructurales de ductilidad limitada. La metodología utilizada en la investigación es de tipo cualitativa, realizada mediante la revisión bibliográfica e investigación de campo con la finalidad de determinar la incidencia de fallas en viviendas de dos niveles en zonas sísmicas altas. La investigación concluye que, a través de la metodología empleada en 21 viviendas, 19 de estas están construidas con sistema de pórticos resistentes y que 2 de ellas están conformados por muros estructurales portantes. Así mismo determina que la falla más común en este sistema es por la flexión entre vigas y columnas, falla por cortante en columnas, deficiente rigidez, falla por la debilidad de confinamiento en los extremos de vigas y columnas, todas estas fallas mencionadas son ocasionadas por la autoconstrucción, convirtiéndose en estructuras vulnerables.

A nivel nacional, Alvarado [9], en su investigación tuvo como objetivo general, determinar la vulnerabilidad sísmica en las viviendas con muro de ductilidad limitada de la etapa II localizada en la habilitación urbana Paseo del Mar. La metodología aplicada en la investigación es descriptivo no experimental, esto se dio a través de la recolección de datos y el levantamiento de la situación actual de las viviendas. Se concluye que cuenta con un desplazamiento reducido de distorsión máxima de 0.005 obtenido del análisis lineal, así mismo se determina que las viviendas analizadas no son vulnerables ante un sismo, cumpliendo con el desplazamiento lateral máximo como indica el RNE en la norma E 0.30.

López y Rodríguez [10], en su investigación realizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Tuvo como objetivo general favorecer la mitigación del riesgo sísmico en las viviendas unifamiliares de muro de ductilidad limitada, la metodología empleada para la investigación se divide en dos momentos, el primero determinar las características del edificio tanto estructural como arquitectónicas y la segunda la generación de curvas de fragilidad como método probabilístico en las viviendas de muro con ductilidad limitada. Concluyo que las curvas de fragilidad en las viviendas de 3 niveles muestran un daño leve a severo de 1.9 g. a 4.6g. mientras que la tipología de la vivienda con 2 niveles presenta un daño leve de 3.2 g. a 4.4 g. así mismo refiere que las viviendas con muros de ductilidad limitada de 3 y 2 pisos presentan baja vulnerabilidad para escenarios de peligros con aceleraciones en base de hasta 1.0g, siendo favorables para a vulnerabilidad y riesgo de las viviendas.

Miguel Diaz [11], en su informe realizado tuvo como objetivo revisar los actuales criterios para el diseño de edificaciones con muros de ductilidad limitada según indican las normas peruanas,

recopilar una base de datos de ensayos experimentales trabajados con muros de ductilidad limitada realizados en el país, encontrándose con los escasos estudios experimentales de este sistema; para así, comparar los resultados obtenidos de manera experimental y teórica, usando las fórmulas tradicionales. Centrándose en el tipo de falla, su resistencia máxima, periodos, valor de reducción de la fuerza, entre otros. En base a lo observado, en su informe propone nuevos planteamientos para el diseño de este sistema estructural para una posible actualización de la norma de diseño sismorresistente E030 y diseño de concreto armado E060.

Luis Ceferino [12], su tesis se realizó un estudio experimental que consta de un ensayo bajo carga axial constante y acción lateral cíclica, se trabajó con 4 especímenes de muros de ductilidad limitada de los cuales 2 fueron muros de sección transversal “H” y los otros 2 fueron muros planos. Los resultados obtenidos de manera experimental se compararon con las resistencias que calculadas teniendo como base las normas técnicas E-60 y ACI318-11. Se realizó el análisis de las propagaciones de grietas, las degradaciones, los tipos de falla, entre otros. Además se simuló el muro de sección “H”, se edificaron 3 modelos de muros con alturas equivalentes entre 2, 3,4 pisos con la finalidad de calcular los anchos efectivos y verifican la influencia de la altura respecto al ancho efectivo desarrollada en el muro.

A nivel local, Tolentino [13], en su investigación realizado tuvo como objetivo general diseñar la estructura del edificio de vivienda social de muros de ductilidad limitada y muros de albañilería confinada y de ambas soluciones. La metodología aplicada para esta investigación es de tipo no experimental – descriptiva, mediante la técnica de observación sistémica y recopilación de información, esto en base a dos módulos típicos. Se concluye que la estructura tiene una adecuada rigidez lateral en ambos sentidos, de tal manera los desplazamientos dieron como resultados los permitidos en la norma técnica E0.030 del reglamento nacional de edificaciones, en los muros de ductilidad limitada los desplazamientos en el eje X: 0.00156 y en el eje Y: 0.00090, así mismo los muros de albañilería confinada los desplazamientos en el sentido X: 0.00169 y en el eje Y: 0.00135, ambos sistemas constructivos se encuentran dentro de lo permitido que es 0.005 indicado la norma E-0.30 del RNE.

Bases teóricas

Efectos sísmicos.

He, Yang, Zhu y Pang [14] expresan que los defectos sísmicos se dividen en:

Peligros sísmicos. - Depende del sismo tectónico, las características del suelo y la topografía del lugar, se suele expresar mediante el valor máximo.

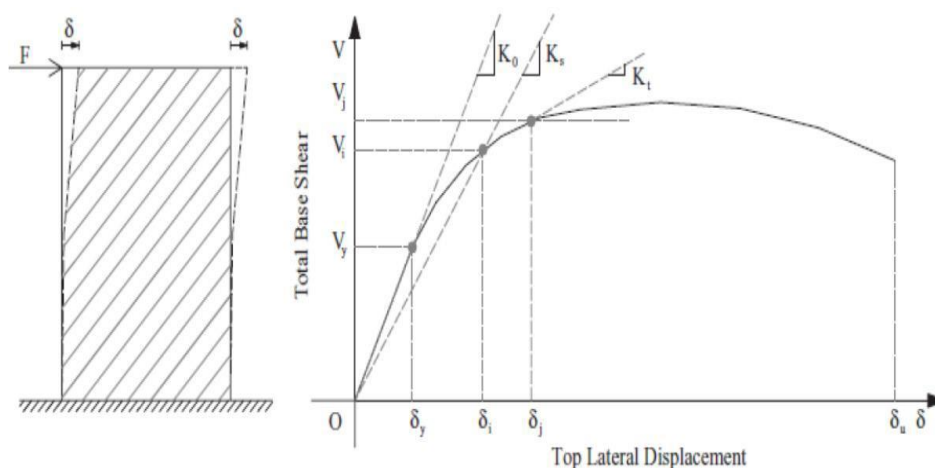
Riesgo sísmico. - Es el grado de pérdida que se espera que sufra la estructura durante el tiempo que se presente el sismo, dependiendo de la vulnerabilidad de la construcción y del peligro sísmico de la zona.

- **Estructuras sismo resistentes:** resisten esfuerzos producidos por los sismos, lo que afecta a las edificaciones de la zona sísmica, ciñéndose estrictamente al no colapso de la estructura frente a un terremoto.
- **Estructuras antisísmicas:** Mitiga efectos del sismo, disminuyendo los esfuerzos de la estructura, con el fin que la estructura se dúctil, empleando amortiguadores o disipadores dinámicos.

Las estructuras presentan características como:

- **Rigidez.** – la capacidad de un conjunto de elementos o de un elemento estructural para resistir desplazamientos producidos por una acción, se relaciona con la fuerzas y desplazamiento, con un valor no constante. [12]

Figura 1: Curva típica de respuesta estructural



Fuente: [12]

Donde:

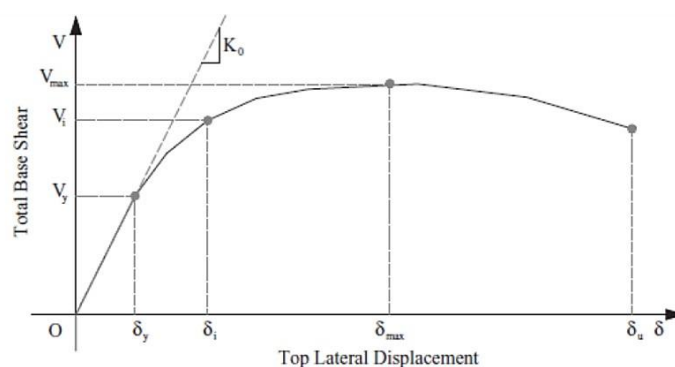
Δ : desplazamiento requerido

V_i : fuerza resistente

K_j : Rigidez para un desplazamiento

- **Resistencia estructural.** – La capacidad de un conjunto de elementos o de un elemento estructural de resistir cargas, es una función de tipo de acción. La resistencia puede ser a cargas axiales, momentos y cortes, las cuales pueden cuantificar la capacidad de la estructura o elementos. Se puede representar en la curva de capacidad. [13]

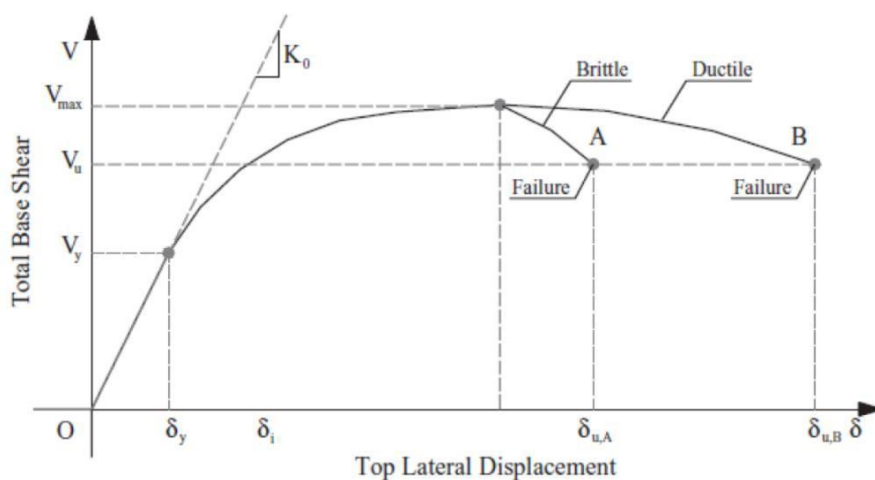
Figura 2: Curva de capacidad o resistencia estructural



Fuente: [13]

- **Ductilidad.** – La habilidad de un sistema estructural o elemento de deformarse más allá del límite elástico aceptable, lo que reduce la rigidez y la resistencia. [14]

Figura 3: Ductilidad estructural



Fuente: [14]

Para medir la respuesta estructural se emplean las siguientes ductilidades [15]:

Sismo-resistencia.

Es la propiedad que tiene las estructuras para poder enfrentar los sismos evitando la destrucción parcial o completa de la edificación, con una adecuada configuración estructural. [16]

Análisis sísmico no lineal.

- Análisis no lineal estático. – Análisis que considera la fluencia de los materiales y la pérdida que hay de rigidez en la estructura, los resultados se obtienen desarrollando varios pasos en los cuales se le aumenta la carga aplicada y se va recalculando la respuesta con la rótula plástica generadas en los pasos. [17]
- Análisis no lineal dinámico. – Análisis que considera la fluencia de los materiales y la pérdida que hay de rigidez en la estructura, igual que en el análisis no lineal estático con la diferencia que para obtener la respuesta que da la estructura no se emplea un patrón fijo de cargas en cambio se usa un registro sísmico que genera graficas a respuestas histeréticas del edificio. [18]

Curva Bilineal

La curva bilineal nos ayuda a determinar la fluencia efectiva, el punto de respuesta se mueve a lo largo de la línea de rigidez elástica hasta alcanzar el punto de fluencia. Después de este punto, la reacción se mueve a lo largo de un camino completamente plástico hasta que se obtiene una descarga. Después de la descarga, la armadura se mueve a lo largo de una línea paralela a la línea elástica original. Para simular las propiedades de endurecimiento por deformación del acero y el hormigón armado (modelo bilineal), se asigna una pendiente positiva a la rigidez después de la tracción. La rigidez sin carga después de la fluencia es igual a la rigidez elástica inicial.

Curva Trilineal

La curva primaria es de forma trilineal con cambios de rigidez en el agrietamiento por flexión y fluencia. Hasta la fluencia, el modelo se comporta en una manera similar al modelo bilineal. Cuando la respuesta excede el punto de fluencia, el punto de respuesta sigue la parte de endurecimiento por deformación de la curva primaria. Una vez que se realiza la descarga desde un punto en la curva primaria, el punto de descarga se considera un nuevo “punto de fluencia” en la dirección. El modelo se comporta de manera bilineal entre los “puntos de

fluencia” positivos y negativos con una rigidez degradada proporcional a la relación de las pendientes que conectan los “puntos de rendimientos actuales” y “los puntos de rendimientos iniciales”. La relación de la primera y segunda rigidez se mantiene constante incluso después de la fluencia.

Calibración de un muro

Para confirmar el comportamiento no lineal del elemento estructural, se realiza una calibración añadiendo las propiedades de los materiales, incluida su no linealidad. Las curvas de capacidad obtenidas en el software deben compararse con las obtenidas de los ensayos para amplificar las cargas para el modelo estructural completo.

Pier Label

El elemento Pier Label se utiliza para distribuir uniformemente el momento y la fuerza cortante en la placa.

Modelo de Takeda

Mander, Priestley y Park (1988), propusieron un modelo esfuerzo-deformación para el hormigón bajo cargas a compresión considerando una diferencia entre el hormigón confinado con refuerzo transversal y el hormigón no confinado de recubrimiento.

Rotulas plásticas

Son mecanismos ubicados en zonas específicas de los elementos estructurales que permiten disipar la energía. La junta plástica aparece en el momento en que el momento en que resiste el perfil supera al momento plástico de dicho perfil. La longitud de la resina (L_p) determina el área específica en la que los ciclos aumentan más rápido. Esta se define por la ecuación (1):

$$L_p = \frac{Mu - M_y}{V}$$

Donde:

M_u : Momento resistente a flexión.

M_y : Momento de fluencia.

V : Fuerza cortante

Desempeño sísmico

Los diseños que se basan en el desempeño sísmico consisten en evaluar mediante esquemas que son apropiados para permitir el dimensionamiento y detallado de los componentes estructurales, no estructurales y contenido que resista movimientos producidos por el sismo y con niveles de fiabilidad, sin superar los límites que posee la edificación. Se cuantifica en la cantidad de daño de un edificio. [19]

Tabla 1: Descripción de los daños y niveles de desempeño

Estado de daño	Nivel de desempeño	Descripción de daños
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño despreciable o nulo en elementos estructurales y no estructurales.
Leve	Operacional	Daño leve en los elementos no estructurales y agrietamientos en elementos estructurales.
Moderado	Seguridad	Daños moderados en los elementos estructurales.
Severo	Pre – Colapso	Daños severos en elementos estructurales y fallo en los elementos no estructurales.
Completo	Colapso	Perdida parcial o completa de la edificación.

Fuente: [19]

Curva de capacidad

Grafica el esfuerzo-desplazamiento de las estructuras, para poder generar la gráfica se debe definir la distribución de las fuerzas por altura en el diafragma de los pisos, la cual se evalúa en varios pasos mientras se aumenta la intensidad de la carga, mientras se toma un punto de control en el desplazamiento. [21] Tiene una zona inelástica y una elástica correspondiendo a la aparición de rótulas plásticas en los elementos, la estructura pierde la rigidez debido a las rótulas.

Muros de ductilidad limitada

Definición

Edificaciones que se caracterizan por poseer un sistema estructural donde por medio de muros de concreto armado con espesores reducidos dan la resistencia sísmica y la carga de gravedad, prescindiendo de los extremos confinados y del esfuerzo vertical disponiéndose en una sola capa.

Este sistema se aplica mayormente en los edificios de residenciales, ya que es limitada las áreas de los ambientes buscando economía en la construcción, dando como beneficio la rapidez en la construcción y que son económicos.

Mallas electrosoldadas

La malla de soldadura eléctrica consta de barras laminadas en frío lisas o corrugadas que se cruzan en ángulo recto y están soldadas en todas las intersecciones. Debido a su rápida instalación en obras de construcción, se utiliza en todo tipo de estructuras planas [22].

Mallas dúctiles

La ductilidad del acero en tracción es la capacidad de deformarse bajo carga después de superar el límite elástico sin romperse.

Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas R

El factor de modificación de la respuesta, es un parámetro clave para el diseño sismorresistente; el cual representa la capacidad de la estructura para disipar energía. [23]

Modos de falla

Los modos de falla son las características o tipos de fallas que ocurren en varios elementos estructurales como placas, vigas y columnas. Se basa en gran medida en la complejidad del sistema estructural, que es el estudio de caso de SMDL para este estudio. Los modos de fractura son una función de la tensión inducida en los elementos estructurales, que pueden ser pandeo elástico, ruptura, deformación plástica, desgaste, corrosión, fluencia e inestabilidad.

Falla por flexión

Este tipo de rotura se produce cuando la resistencia al corte supera la resistencia a la flexión. Esta rotura se caracteriza por el balanceo en los bordes del muro, donde la mayor parte de la carga vertical se transmite a través de los bordes comprimidos, dando como resultado la rotura del hormigón seguida del pandeo. Se ha observado experimentalmente que después de que se forman grietas de tensión o flexión en los bordes del muro, las armaduras longitudinales intentan extruir el hormigón durante la operación de tensión o compresión.

Falla por cortante

El daño por cortante se produce en los muros de hormigón armado cuando su resistencia al corte es menor que su resistencia a la flexión. Esta fractura se caracteriza por la presencia de grietas diagonales. Al igual que cuando se dobla, las partes del talón del muro pueden ser aplastadas por la torsión posterior del refuerzo longitudinal, si el extremo no está apoyado.

Falla por corte-cizalle (Deslizamiento)

Este tipo de daño suele ser un subproducto del daño por flexión causado por la combinación de dos grietas por flexión en ambos extremos de la pared. Este daño generalmente ocurre en las costuras de las paredes. Esta situación se agudiza si existe evidencia de separación del hormigón, si las juntas son lisas o si se adosan armaduras verticales en el mismo tramo. Si las armaduras verticales están diseñadas específicamente para flexión sin considerar las fuerzas cortantes que actúan al mismo tiempo, entonces también se debe usar el valor máximo durante un sismo.

Especificaciones:

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento expresa las siguientes consideraciones [3]:

- Los EMDL tienen la característica de tener un sistema estructural donde las cargas de gravedad y la resistencia sísmica, que se da por muros de concreto armado sin lograr desplazamientos inelásticos. Los muros tienen un espesor reducido, refuerzo vertical en una sola hilera y prescinden de extremos confinados.
- La edificación posee un máximo de 8 pisos.
- Se usa $R = 4$ para analizar y diseñar los edificios sísmicos.
- No se deberá exceder de 0.005 en el máximo desplazamiento relativo de entrepiso que se divide entre la altura de entrepiso.
- Deriva inelástica = $0.75 \cdot R \cdot$ deriva elástica

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento expresa los siguientes requerimientos:

- La resistencia a la compresión es mínima de 17 MPa (174 kg/cm²) en los EMDL, menos en el sistema de transferencia que debe tener 28 MPa (280 kg/cm²).
- Se debe tomar en consideración de trabajabilidad en el diseño de mezclas para los muros de espesor reducido.
- En los muros que tienen acero en las barras de esfuerzo debe ser dúctil y de grado 60.
- Con las especificaciones de ASTM A496 y A497 se usa la malla electrosoldada, con el refuerzo repartido de 3 pisos repartidos en los muros del edificio.

Lazos 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.

Envolvente

Para determinar la envolvente de lazos histeréticos, se seleccionaron los datos asociados a la mayor fuerza cortante (positiva y negativa) en cada fase y con ello se obtienen las curvas de capacidad.

Campana de Gauss

Es la representación gráfica de una distribución estadística vinculada a una variable. Se trata de una representación gráfica de la distribución normal de un conjunto de datos, los cuales se reparten en valores bajos, medios y altos y crean un gráfico de forma acampanada y simétrica.

Asimismo, como definición de términos básicos, tenemos lo siguiente:

Sismo resistencia

Edificación resistente desde el diseño hasta la culminación de la obra. [22]

Desempeño sísmico

Comportamiento que se desea que tenga una edificación en su vida útil. [13]

Curvas de capacidad

Diagrama que demuestra el límite y el punto de rotura del material a emplear. [23]

Muros de ductilidad limitada

Muro con características apropiadas para emplearse en residencias para tener un óptimo trabajo frente a un sismo.

Método de coeficiente ASCE 41-17

En el programa se elige el periodo de dirección de análisis, se lee el número de pisos, las masas, los pesos y las cortantes que gobiernan, en función a esto se elige el punto de desempeño que va dentro de la curva de capacidad

Cortante Basal

Es la abscisa de la curva de capacidad debido a que esta se compone entre los desplazamientos máximos y la cortante

- **Construcción de especímenes**

Características de los materiales

Acero de refuerzo

Las barras de acero son capaces de resistir solicitaciones a tracción. El refuerzo o acero dúctil corrugado que se fabrica en el Perú es del tipo Grado 60, producido por Aceros Arequipa y Sider Perú. Las varillas de acero corrugado deben cumplir con características reguladas en la Normativa peruana de Concreto Armado E.060 y en la norma internacional ASTM A615. En la tabla 4.1 se presenta las normas que el acero debe cumplir según Norma E.060.

Tabla 2: Normas que regulan las características del acero

Norma	Especificación
Norma Peruana Itintec 341.031-A-42	Acero Grado 60 Convencional
Norma ASTM A615	Acero Grado 60 Convencional (EMDL)
Norma ASTM A706	Acero de baja aleación, soldable, Grado 60.

En los especímenes se utiliza el acero grado 60 establecidos bajos los lineamientos de la norma ASTM A 615.

Tabla 3: Características del acero A615

Características	Valor		ASTM A615
Límite de fluencia mínimo (fy)	4200 kg/cm ²		Cumple
Resistencia a la tracción mínima (fu)	6300 kg/cm ²		Cumple
Módulo de Elasticidad E	2000000 kg/cm ²		No especifica
Deformación en el inicio de la fluencia (ey)	0.0021		No especifica
Alargamiento de Rotura mínimo	Diámetro	Elongación mínima de Rotura	Cumple
	3/8", 1/2", 5/8" y 3/4"	9%	
	1"	8%	
	1 3/8"	7%	

Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO.

Concreto

El concreto utilizado en la construcción de los muros vario de acuerdo con su funcionalidad del elemento estructural. El concreto de las vigas de cimentación fue diseñado con una resistencia característica de 210 kg/cm² por el método de Fuller, teniendo en cuenta las propiedades de los agregados del laboratorio. Para los muros y vigas soleras se utilizó concreto premezclado. En el pedido se indicó que el concreto era para muros de ductilidad limitada, por lo cual se limitó el huso 67 ASTM C-33 para el agregado grueso, resistencia a compresión del concreto 175 kg/cm², slump de 6" y adicionalmente fibras de polipropileno. A continuación, en la tabla 2 se muestran las especificaciones técnicas consideradas para el concreto.

Tabla 4: Especificaciones técnicas del concreto

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Resistencia en compresión f'c a 28 días de edad	175 a 210 kg/cm ² , según lo establezca el proyectista
Agregado grueso	Tamaño Máximo Nominal 1"- cumplir HUSO 57 AST C-33 (Se podrá usar menor T.M. a criterio del constructor, pero no mayor del especificado)
Agregado fino	Gradación según ASTM C-33
Tipo de cemento	Puede ser Standard según ASTM C-150 (Tipo I, II, V) o Adicionado según ASTM C-595, pudiendo emplearse adiciones minerales, según lo establezca el proyectista por criterios de durabilidad.
Fibras de polipropileno	400 gr a 900 gr, según lo establezca el proyectista.
Asentamiento (pulg.)	3 a 4 pulgadas mínimo
Aire incorporado en %	3% a 4%

Fuente: SENCICO

Ensayos de los materiales

Acero de refuerzo

Se tomaron muestras del acero utilizado en la construcción de los muros para el ensayo de tracción del acero. Los ensayos de tracción de barras de acero se realizan de acuerdo con lo especificado en la norma ASTM A370. Se ensayaron 6 especímenes por cada diámetro de varilla (1/2" y 3/8"). El ensayo de tracción se realizó en la Máquina Universal de Ensayos de marca MTS, la cual aplica una carga axial al espécimen y permite medir la carga aplicada y la deformación generada en el espécimen (Fig. 5).

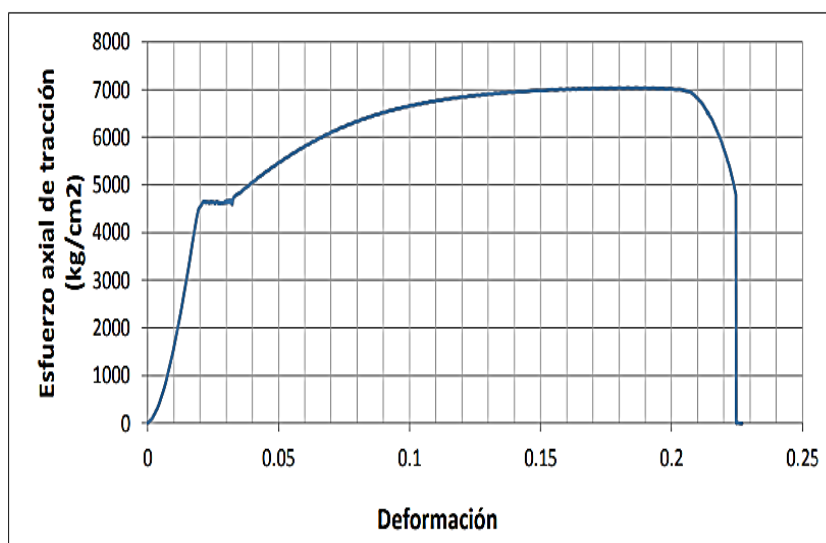
Figura 5: Colocación de espécimen en las mordazas de la Máquina Universal. Especímenes ensayados de muestras 3/8"



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

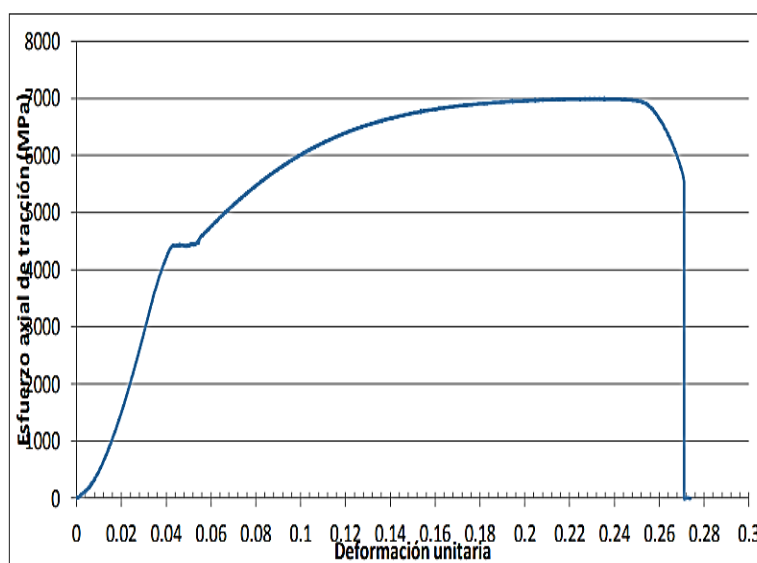
Los especímenes se colocaron uno a uno en la celda de la Máquina Universal. Las barras de acero al llegar a la rotura liberaron energía en forma de calor. En los gráficos globales de esfuerzo deformación para el espécimen de 3/8" (Fig. 6) y de 1/2" (Fig. 7), se observa la poca plataforma de fluencia y el proceso de endurecimiento del acero.

Figura 6: Diagrama esfuerzo deformación global muestra de 3/8", espécimen 1



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

Figura 7: Diagrama esfuerzo deformación global muestra de 1/2", espécimen 6



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

A continuación, se presenta la tabla 5 y 6 respectivamente con el resumen de los esfuerzos de fluencia (f_y) y esfuerzos últimos (f_u) de los seis especímenes de acero ensayados.

Tabla 5: Muestras de acero de refuerzo de 3/8"

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

Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO.

Tabla 6: Muestra de acero de refuerzo de 1/2"

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

Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO.

Concreto

Se elaboraron 22 probetas de concreto en total (Fig. 8). Las probetas elaboradas fueron desmoldadas al día siguiente del vaciado y fueron colocadas en la poza de curado. Dos probetas fueron ensayadas a los siete días del vaciado, dos ensayadas a veintiocho días y las dos restantes se ensayaron el mismo día del ensayo de los muros (Fig. 9).

Figura 8: Elaboración de probetas de concreto



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

Figura 9: Probeta ensayada a compresión axial



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

A continuación, en la tabla 7 se muestra las probetas ensayadas y su resistencia a la

compresión.

Tabla 7: Resistencia a la compresión en probetas del concreto en muros y vigas soleras

Especímen	Resistencia de diseño	Edad (días)	Diámetro		Carga Máxima (KN)	Tipo de falla	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de resistencia	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	% de resistencia promedio
			D1	D2						
M-MDL-N°01	175	7	152.9	153.6	311.8	2	172.31	98.46	170.00	97.14
M-MDL-N°02			154.5	154.3	308	2	167.69	95.82		
M-MDL-N°03	175	21	153.6	153.5	380.8	3	209.62	119.78	211.05	120.60
M-MDL-N°04			151.6	151.5	376	2	212.48	121.42		
M-MDL-N°05	175	28	152.6	152.3	374.7	5	209.25	119.57	202.17	115.53
M-MDL-N°06			152.5	153.3	351.4	2	195.09	111.48		
M-MDL-N°07	175	31	154	153.5	380.8	2	209.08	119.47	215.06	122.89
M-MDL-N°08			153	151.2	394	4	221.04	126.31		
M-MDL-N°09	175	33	154	151.8	382	2	212.08	121.19	196.57	112.33
M-MDL-N°10			157.7	157.5	346.5	2	181.06	103.47		
M-MDL-N°11	175	35	153.9	153.5	311.8	2	213.09	121.77	215.71	123.26
M-MDL-N°12			154.5	154.3	308	2	218.32	124.75		
M-MDL-N°13	175	39	155.4	155	415.3	2	223.78	127.87	222.08	126.90
M-MDL-N°14			153.8	153.4	400.6	2	220.38	125.93		
M-MDL-N°15	175	40	153	152.4	404.6	2	225.21	128.69	217.58	124.33
M-MDL-N°16			152.3	152.9	376.7	2	209.96	119.97		
M-MDL-N°17	175	76	152.5	153.1	430	2	239.04	136.59	241.11	137.78
M-MDL-N°18			153.6	153.3	441.2	3	243.19	138.96		
M-MDL-N°19	175	77	149.3	149.2	445.3	2	259.46	148.26	257.59	147.19
M-MDL-N°20			147.5	146	424.3	4	255.72	146.12		
M-MDL-N°21	175	81	146.9	147.2	408.5	5	245.19	140.11	231.85	132.48
M-MDL-N°22			147	146.8	363.3	2	218.51	124.86		

Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO.

Descripción de los especímenes

Los tres (03) especímenes se ensayaron sin carga vertical y a carga lateral hasta llegar a la rotura, los muros se anclaron a vigas de cimentación de 0.44 m de alto x 0.25 de ancho, en cada muro se colocó una viga solera de 0.25m de ancho y 0.20 de alto, la distribución de acero en el alma fue cada 25 cm un acero de 3/8” y en los bordes es de 3 aceros de 1/2”.

- Técnicas de ensayo

Todos los muros fueron ensayados mediante una carga lateral cíclica con desplazamiento controlado. Este ensayo consiste en someter a los muros a un desplazamiento conocido en ambos sentidos, que se va incrementando gradualmente mediante una fuerza aplicada a la altura del eje de la viga solera. El ensayo se realizó en fases que dependieron de las condiciones de carga, cada fase estuvo conformada por dos ciclos con un mismo desplazamiento máximo. Este desplazamiento fue aumentando en cada fase hasta llegar al límite establecido de rotura. Para cada muro se registró su desplazamiento lateral, deformaciones diagonales y verticales con el fin de conocer a detalle su comportamiento a carga lateral.

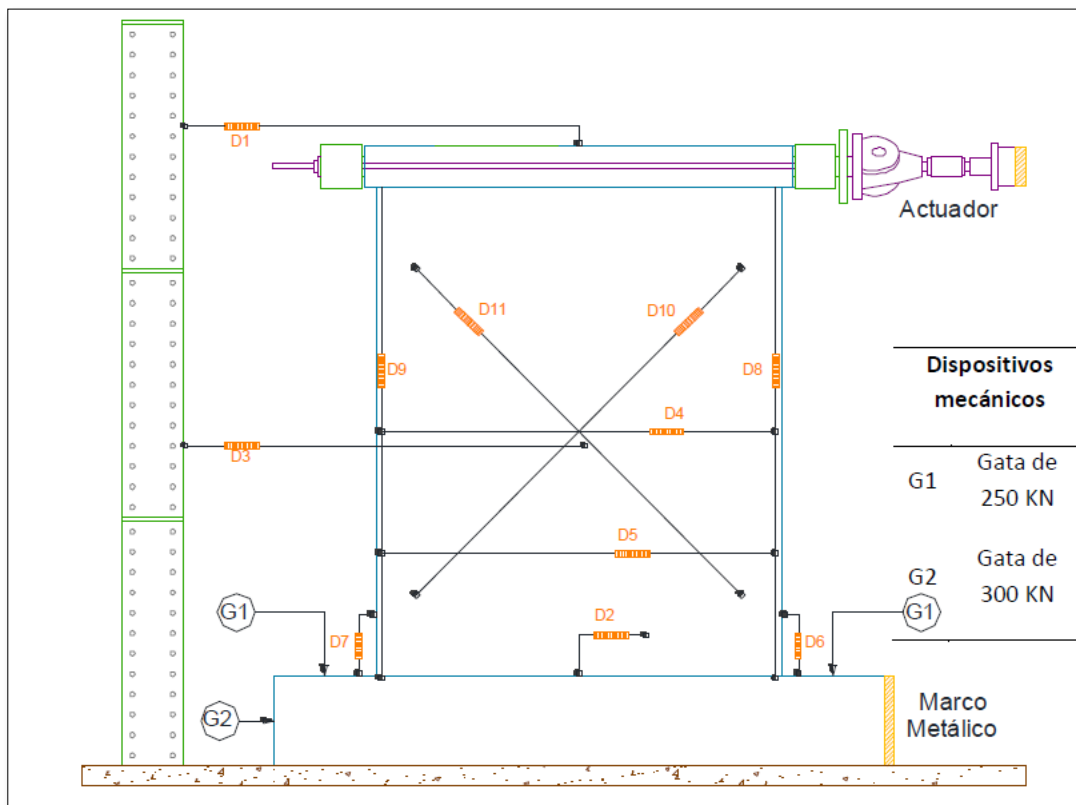
- Instrumentación

Los especímenes fueron colocados a la posición de ensayo utilizando como medio de transporte un puente grúa el cual levantaba al espécimen de sus puntos de izaje localizados en la viga de cimentación. Con el fin de uniformizar la superficie de contacto con el piso, se colocó capping en la parte inferior de la viga de cimentación.

La fuerza, deformaciones y desplazamientos fueron medidas durante la ejecución del ensayo. Para medir las demandas producidas por el movimiento, se utilizan sensores tales como celdas de carga y transductores de deformación (LVDT).

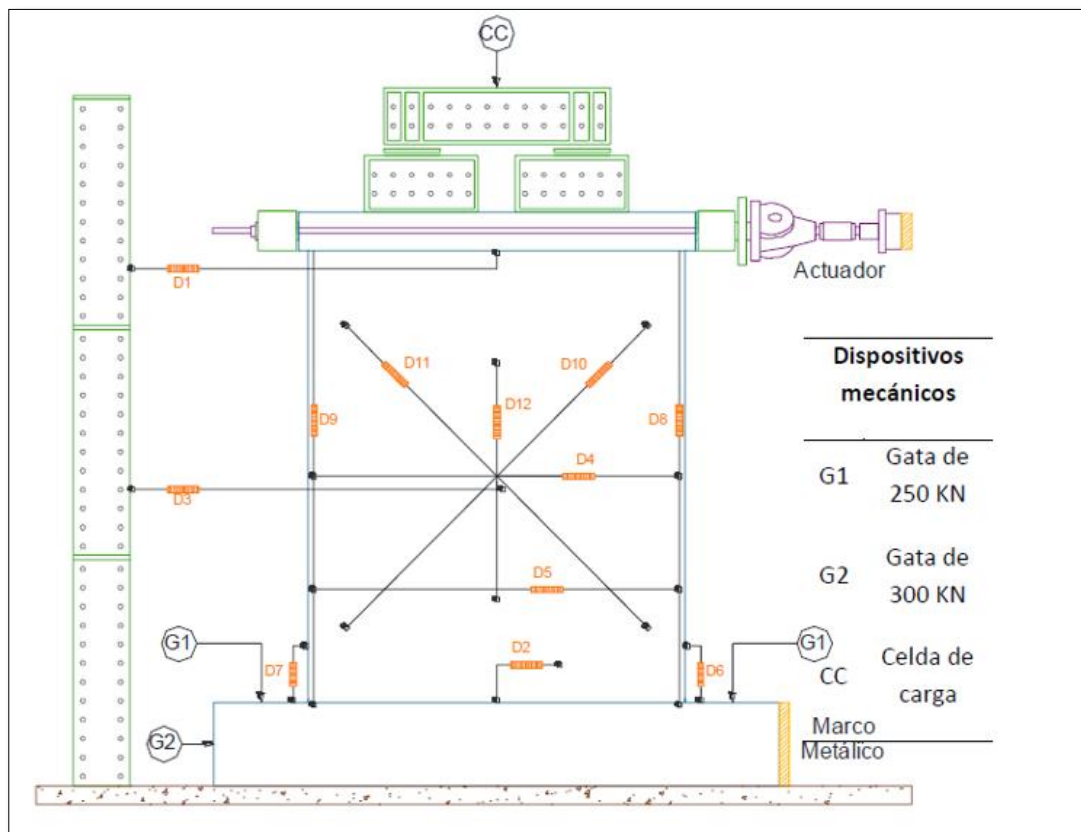
Los sensores de deformación fueron ubicados en diversos puntos del muro (Fig. 10 y 11). Existen sensores que miden deformaciones diagonales, verticales y horizontales, para poder conocer los desplazamientos en varias direcciones. Todos estos sensores se conectan a un sistema de escaneo universal utilizando el software LabView.

Figura 10: Sensores de deformación



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

Figura 11: Sensores de deformación



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

Se colocaron 11 LVDT para los muros que se ensayaron, en la Tabla 8 se muestra la nomenclatura usada para los instrumentos y en la Tabla 9 un detalle de la función de cada uno de ellos.

Tabla 8: Instrumentación

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

Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

Tabla 9: Instrumentación

ID	Instrumento	Objeto de medición
Registro de carga		
	Actuador	El actuador permite inducir deformaciones laterales por acción de una carga horizontal. Estos desplazamientos generados en el eje de la viga superior de confinamiento son controlados. Con una celda de carga de 500 KN
	Celda de carga	En el caso de la carga vertical aplicada sobre el muro esta celda de carga permite registrar su magnitud, la que debe mantenerse constante durante el ensayo. Celda de carga de 2000 KN
	Manómetros de presión	Conectados a la bomba de cada gata hidráulica. Miden la presión aplicada sobre las gatas, la que multiplicada por el área del pistón dará la magnitud de la carga existente en cada gata. Bombas hidráulicas 600 KN
Registro de desplazamiento		
D1, D3	LVDT	Tienen la finalidad de registrar los desplazamientos horizontales en el eje del muro respecto a la losa de ensayo
D2	LVDT	Mide el deslizamiento del muro respecto a la viga
D4, D5	LVDT	Permiten estimar el ancho total de grietas producidas en sus respectivas alturas
D6, D7	LVDT	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	LVDT	Mide la deformación axial total del muro en ambos extremos.
D10, D11	LVDT	Permiten obtener la deformación por corte en los muros y calcular en el rango elástico el módulo de corte (G)
D12	LVDT	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.

Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- Montaje y colocación

Se colocaron tres gatas hidráulicas en las vigas de cimentación para evitar el desplazamiento y volteo del muro. Estas gatas proporcionan dos fuerzas verticales y una fuerza horizontal con una capacidad máxima de 300 KN.

La aplicación de carga horizontal en los muros se realiza por medio de un actuador hidráulico a la altura del eje de la viga solera. La carga pasa directamente a la cara de la viga. Este actuador tiene una capacidad máxima de 500 KN.

Figura 12: Montaje y colocación



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

El tipo del presente estudio se considera pura, ya que, está orientada en contribuir nuevos conocimientos en el sector de la ingeniería civil mediante dicha propuesta planteada en la investigación.

El nivel de investigación se considera una tesis descriptiva, basándose en el análisis y descripción de todas las consideraciones de los muros de ductilidad limitada de una estructura mediante ensayos experimentales.

Diseño de investigación

El diseño de contrastación de hipótesis en esta propuesta de tesis se considera experimental, por realizar la manipulación de sus variables con el fin de obtener una relación causa- efecto, por lo que, se acude a los ensayos experimentales realizados por SENCICO para así realizar su respectivo análisis del comportamiento de los muros de ductilidad limitada.

Población, muestra, muestreo

Esta investigación no cuenta con población específica. Sin embargo, se pueden considerar a los muros de ductilidad limitada.

Se considera como muestra de estudio a los 9 especímenes de muros de ductilidad limitada que fueron utilizados para los ensayos experimentales.

Se realiza un muestreo estadístico, se hace empleo del tipo de muestreo probabilístico e intencional, basándose en los estándares del sistema estructural.

Criterio de selección

Dentro de los criterios de selección podemos determinar a los criterios de inclusión y criterios de exclusión.

Criterios de inclusión.

Estos criterios de inclusión se consideran a los ensayos de laboratorio que se realizarán a los 9 especímenes de muros de ductilidad limitada.

Criterios de exclusión.

Se excluyen todos los ensayos o modelados que no se especifican en la presente investigación.

Hipótesis y Operacionalización de variables

Hipótesis.

El desempeño sísmico con curvas de capacidad de muros de ductilidad limitada basado en ensayos experimentales contribuirá en estudios de vulnerabilidad sísmica de edificios.

Operacionalización de variables.

Esta investigación presentó como operacionalización de variables a las dimensiones e indicadores que forman parte de cada variable de estudio, las cuales, serán mencionadas a continuación:

Variable 01: Desempeño sísmico con curvas de capacidad

Variable 02: Muros de ductilidad limitada

Tabla 10: Operación de variables

Variables de estudio	Dimensión	Indicadores
Variable 01: Desempeño sísmico con curvas de capacidad	Caracterización sísmica	Medida de deriva
		Desplazamientos
	Estado de daño	DS1 inicio de agrietamiento
		DS2 resistencia pico
		DS3 Deriva que implica resistencia posterior al pico
Curvas de capacidad	Análisis Pushover	
Variable 02: Muros de ductilidad limitada	Cargas	Especímenes
		Carga máxima
		Desplazamientos

Técnica e instrumentos de recolección de datos:

Dentro de las técnicas e instrumentos de recolección de datos de mayor importancia, consideramos lo siguiente:

Tabla 11: Técnicas e instrumentos para recopilar información

Técnicas	Instrumentos
Observación	Ficha de ensayos experimentales
Análisis de contenido	Ficha bibliográfica

Procedimiento

Para la demostración de la hipótesis planteada en la presente investigación, se considera necesario brindar la siguiente información relacionada al cronograma y planificación que presenta para demostrar la hipótesis.

Etapa 01: Propuesta de investigación

Recopilación de la información bibliográfica
Revisión de las normativas existentes

Etapa 02: Se va a analizar el nivel de desplazamiento de los muros de ductilidad limitada

Se analizó los diferentes niveles de fallas y desplazamientos para las 13 diferentes fases ensayadas en los muros de ductilidad limitada.

Etapa 03: Determinación de las curvas de capacidad de los muros de ductilidad limitada

Se determino las curvas de capacidad por espécimen procesándolas estadísticamente para obtener una curva representativa que describa el comportamiento elástico e inelástico de los tres especímenes en función de la cortante en la base y el desplazamiento, a su vez, se obtuvo una curva de capacidad trilineal que representa las fases de comportamiento estructural de un muro de concreto armado en su estado de rigidez elástica, rigidez post agrietamiento y rigidez post fluencia, finalmente, se sectorizo la curva trilineal en niveles de daño o desempeño estructural en función a derivas.

Etapa 04: Desarrollo de un modelo matemático para validar su comportamiento no lineal

Se definió los materiales que se han utilizado para la elaboración de los muros
Se añadió la no linealidad

Se procedió a modelar el muro con las dimensiones dadas en las especificaciones

Aplico las cuantías de acero que corresponde al muro

Se añadió diafragma rígido al muro

Se añadió una carga tipo piers y la plasticidad, esto para tener un mejor comportamiento sísmico

Para tener mayor precisión se discretizó al muro para que con ello se obtenga la curva de capacidad validada por el software ETABS

Etapa 05: Desempeño Estructural de un edificio de 06 Niveles

Análisis estático no lineal estático Se realizó el desempeño Estructural de un edificio de muros de ductilidad limitada de 06 niveles considerando las características físicas y mecánicas consignadas en los planos de estructuras, así mismo, se tomó en consideración su configuración estructural, geometría, cargas permanentes y vivas en función a la importancia de esta, además, para la no linealidad se tomó en cuenta los lineamientos regulados por el FEMA 440.

Resultados y discusión

Análisis del nivel de desplazamiento para definir el daño de la estructura basado en las cargas cíclicas que se aplicaron a los muros de ductilidad limitada en los ensayos de laboratorio realizados por SENCICO.

Para la realización de este objetivo se observó los daños de los muros como resultado de la aplicación de las cargas cíclicas y en base a eso se realizó un análisis en cada fase. Para un mejor estudio y entendimiento de los ensayos estos se han dividido en 13 fases para analizar los daños en función de su nivel de desplazamiento. Parámetros a tomar en cuenta; desplazamiento, carga axial y carga lateral máxima.

- **MDL – 01:** Ensayos de muros de ductilidad limitada con carga lateral y sin carga axial.

- **Fase 1:**

Se observó un desplazamiento de 0.5 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 5.49 tn.

- **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 1, no presentó grietas y tuvo un comportamiento elástico.

Figura 13: MDL - 01 - Fase 1



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 2:** Se observó un desplazamiento de 0.80 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 7.18 tn

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 2, en los extremos inferiores se formaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm.

Figura 14: MDL - 01 - Fase 2



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 3:** Se observó un desplazamiento de 1.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 8.27 tn

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 3, se prolongan las grietas que iniciaron en la fase 2. En los extremos inferiores del muro se formaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm.

Figura 15: MDL - 01 - Fase 3



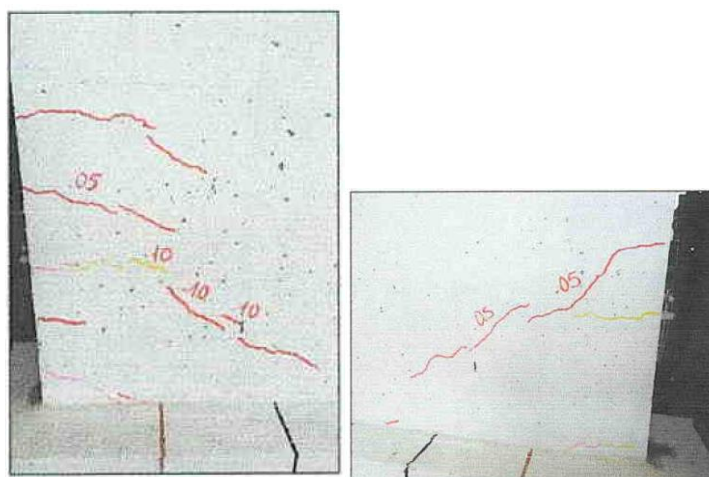
Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 4:** Se observó un desplazamiento de 1.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 9.80 tn

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 4, 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 fue de 0.10 mm.

Figura 16: MDL - 01 - Fase 4



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

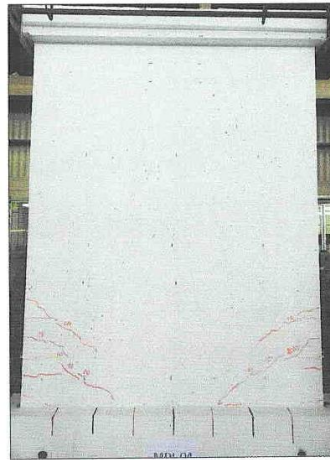
- **Fase 5:** Se observó un desplazamiento de 2.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 11.34 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 5, se prolongaron las grietas formadas en la fase 4 y a su vez otras grietas de fases anteriores aumentaron su grosor a un valor máximo de

0.10 mm. Aparecieron grietas de tracción por flexión de grosor máximo de 0.05 mm.

Figura 17: MDL - 01 - Fase 5



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 6:** Se observó un desplazamiento de 3.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 13.09 tn

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 6, se prolongaron las grietas formadas en la fase 5 y a su vez otras grietas de fases anteriores 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. Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.15 mm.

Figura 18: MDL - 01 - Fase 6



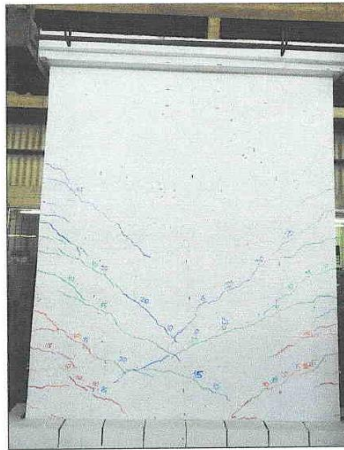
Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 7:** Se observó un desplazamiento de 4.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 16.00 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 7, se prolongaron las grietas formadas en la fase 6 y a su vez otras grietas de fases anteriores aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.30 mm. Otras grietas existentes solo aumentaron su grosor hasta 0.15 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal pura con un grosor máximo de 0.25 mm.

Figura 19: MDL - 01 - Fase 7



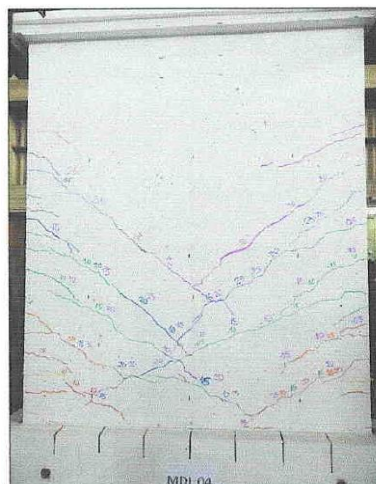
Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 8:** Se observó un desplazamiento de 6.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 18.51 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 8, se prolongaron las grietas formadas en la fase 7 y a su vez otras grietas de fases anteriores aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.30 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal pura con un grosor máximo de 0.25 mm.

Figura 20: MDL - 01 - Fase 8



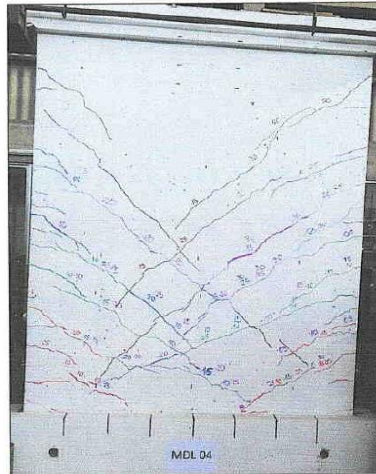
Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 9:** Se observó un desplazamiento de 8.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 21.41 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 9, se prolongaron las grietas formadas en la fase 8 y a su vez otras grietas de fases anteriores aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.50 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal con un grosor máximo de 0.50 mm.

Figura 21: MDL - 01 - Fase 9



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 10:** Se observó un desplazamiento de 12.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 23.92 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 10, se prolongaron las grietas formadas en la fase 9 y a su vez otras grietas de fases anteriores aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.80 mm.

Figura 22: MDL - 01 - Fase 10



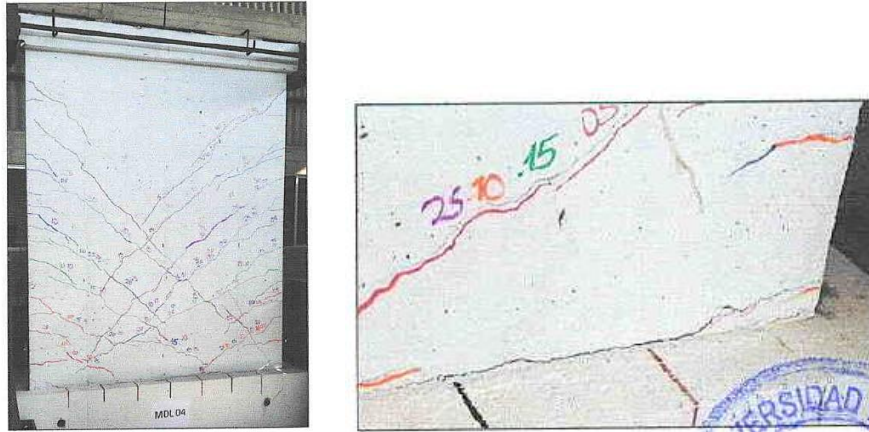
Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 11:** Se observó un desplazamiento de 16.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 25.35 tn

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 11, se prolongaron las grietas existentes y a su vez otras grietas de fases anteriores aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.80 mm. En la base se observó deslizamiento del muro con respecto a la viga de cimentación.

Figura 23: MDL - 01 - Fase 11



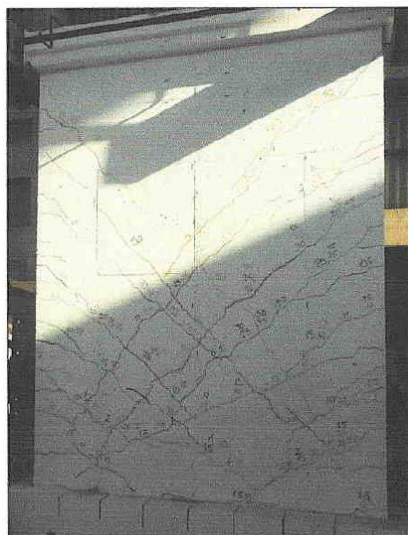
Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 12:** Se observó un desplazamiento de 23.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 26.44 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 12, se prolongaron las grietas existentes y a su vez otras grietas de fases anteriores aumentaron su grosor. En los extremos inferiores el grosor de grietas existentes aumento hasta 2 mm.

Figura 24: MDL - 01 - Fase 12



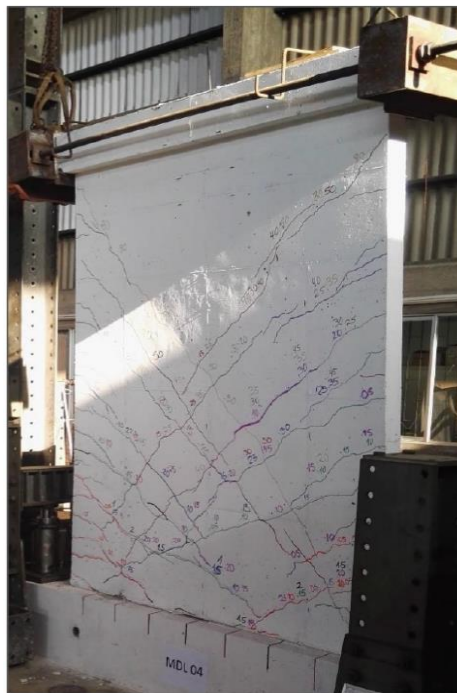
Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 13:** Se observó un desplazamiento de 30.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 26.35 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 01 en la fase 13, en los extremos interiores del muro se observó aplastamiento.

Figura 25: MDL - 01 - Fase 13



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **MDL – 02:**

Fase 1: Se observó un desplazamiento de 0.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 4.80 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 1, no presentó grietas, tuvo un comportamiento elástico.

Figura 26: MDL - 02 - Fase 1



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 2:**

Se observó un desplazamiento de 0.80 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 6.26 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 2, en el extremo inferior derecho del muro se formaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm.

Figura 27: MDL - 02 - Fase 2



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

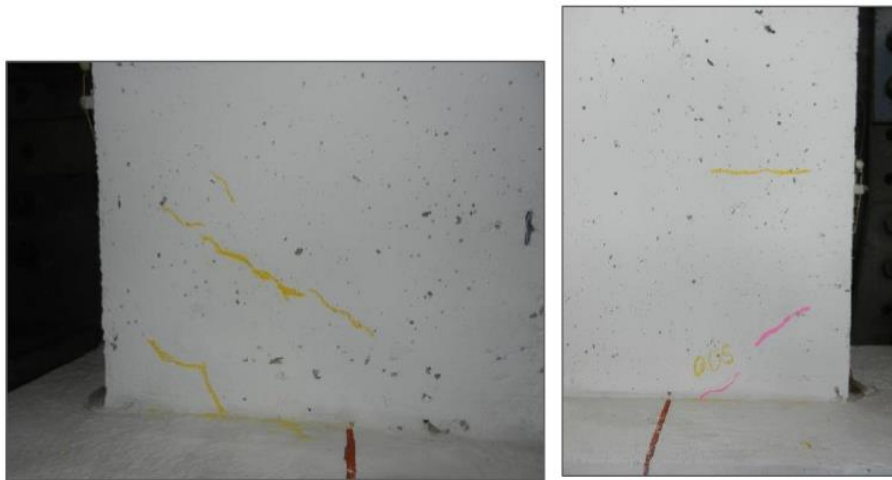
- **Fase 3:**

Se observó un desplazamiento de 1.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 7.05 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 3, presentó grietas formadas en la fase 2, aumentó su grosor a 0.05 mm. En los extremos inferiores del muro se formaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm.

Figura 28: MDL - 02 - Fase 3



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

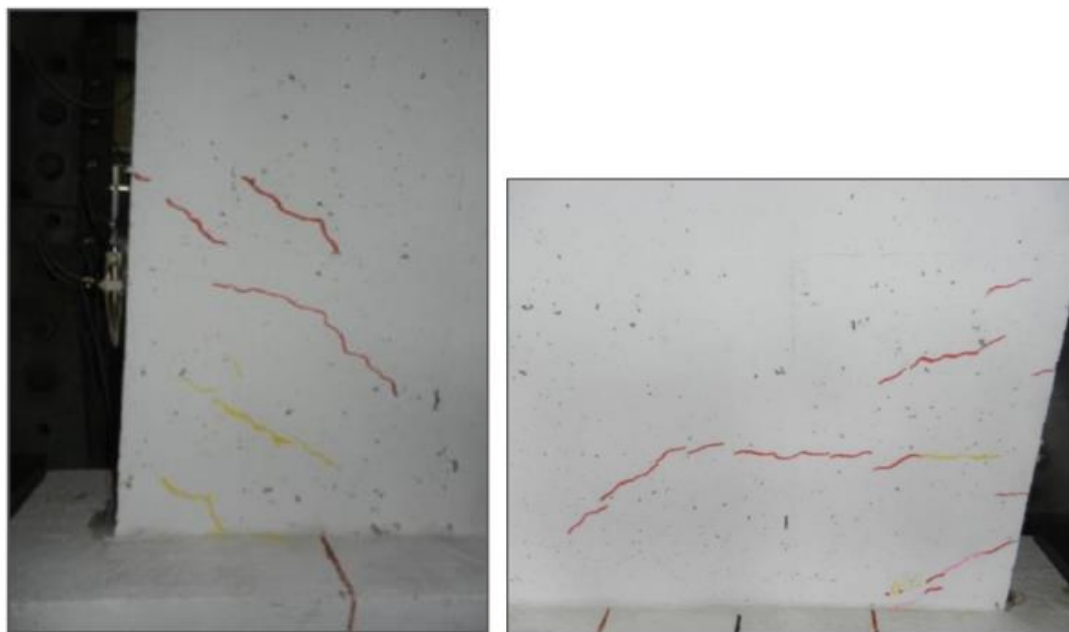
- **Fase 4:**

Se observó un desplazamiento de 1.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 8.67 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 4, 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.

Figura 29: MDL - 02 - Fase 4



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 5:**

Se observó un desplazamiento de 2.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 9.53 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 5, presentó grietas formadas en la fase 4 y otras grietas aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.10 mm. Aparecieron grietas de tracción por flexión con un grosor máximo a 0.05 mm.

Figura 30: MDL - 02 - Fase 5



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

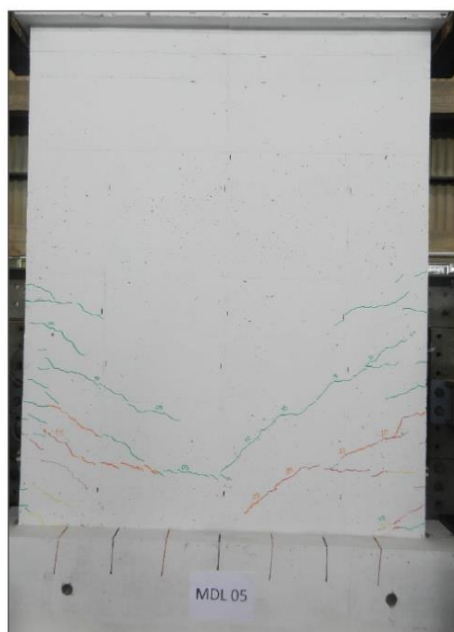
- **Fase 6:**

Se observó un desplazamiento de 3.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 10.98 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 6, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.10 mm. Además, se formaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.15 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.05 mm.

Figura 31: MDL - 02 - Fase 6



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

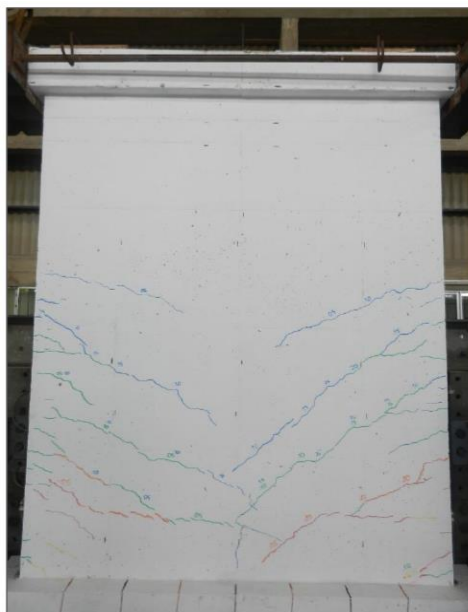
- **Fase 7:**

Se observó un desplazamiento de 4.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 13.16 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 7, las 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 llegando a un grosor máximo de 0.10 mm.

Figura 32: MDL - 02 - Fase 7



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

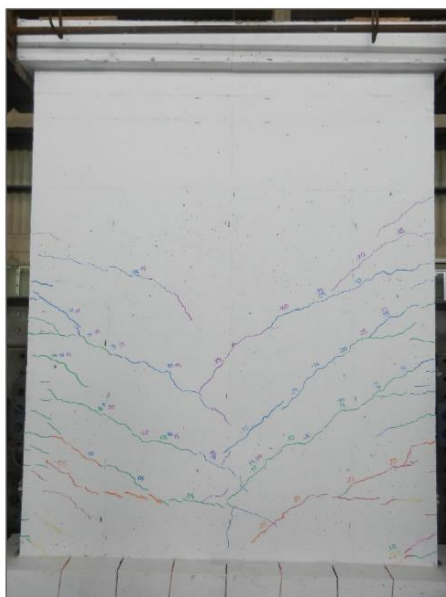
- **Fase 8:**

Se observó un desplazamiento de 6.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 15.29 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 8, las grietas existentes se prolongaron y otras grietas solo aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.25 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.20 mm.

Figura 33: MDL - 02 - Fase 8



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

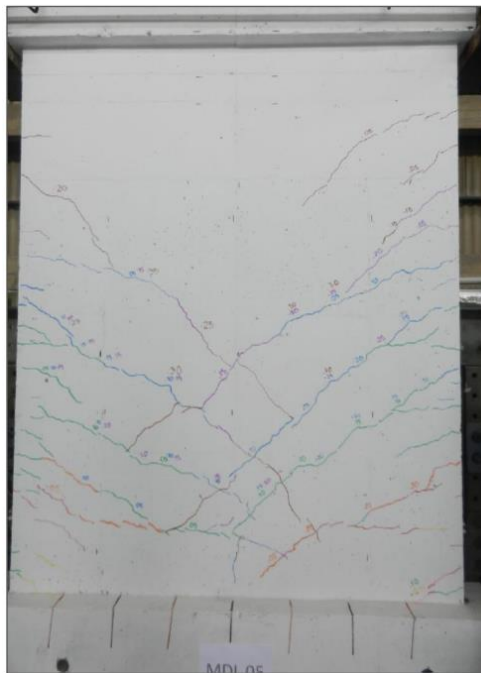
- **Fase 9:**

Se observó un desplazamiento de 8.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 18.43 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 9, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.35 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.20 mm

Figura 34: MDL - 02 - Fase 9



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

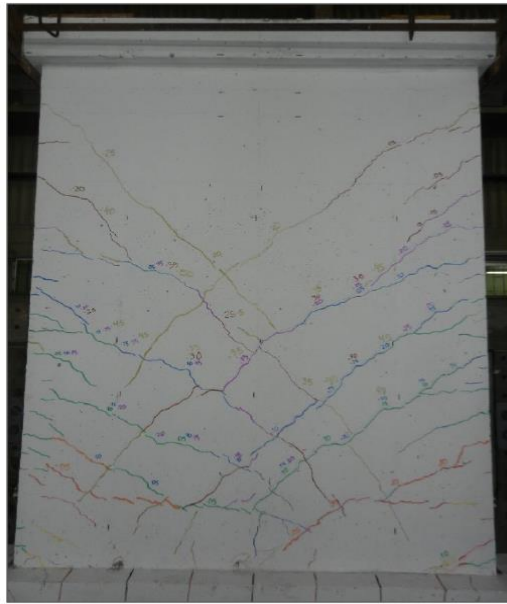
- **Fase 10:**

Se observó un desplazamiento de 12.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 21.03 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 10, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.50 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.25 mm

Figura 35: MDL - 02 - Fase 10



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

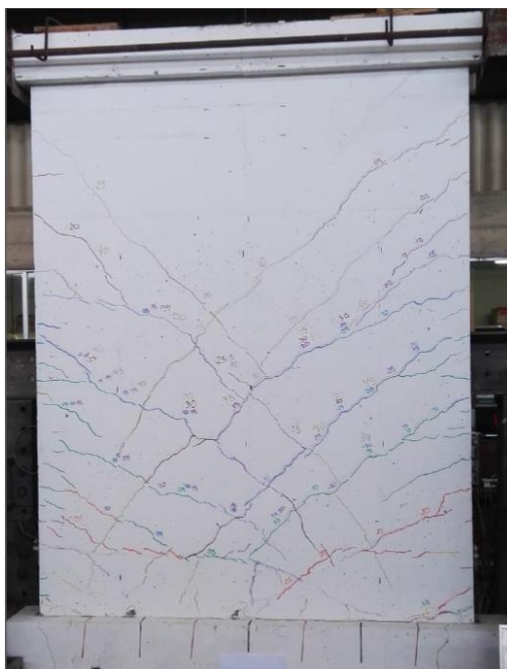
- **Fase 11:**

Se observó un desplazamiento de 16.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 22.90 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 11, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.80 mm. En la base se observó deslizamiento del muro con respecto a la viga de cimentación.

Figura 36: MDL - 02 - Fase 11



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

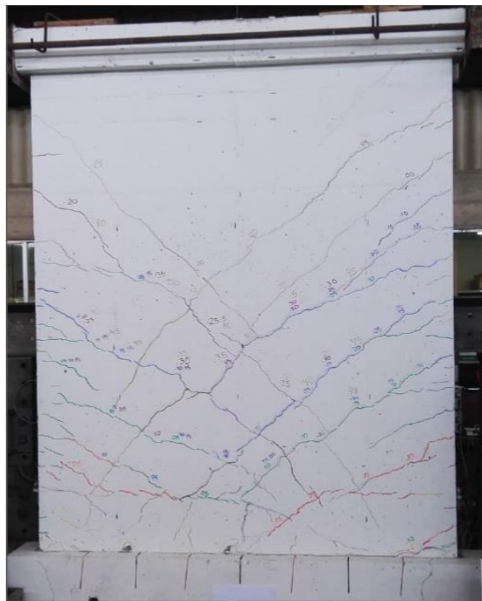
- **Fase 12:**

Se observó un desplazamiento de 23.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 24.27 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 12, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor. Aparecieron grietas de tracción diagonal llegando a un grosor máximo de 0.40 mm. En los extremos inferiores aumentaron el grosor de grietas existentes a más de 1 mm. Se observó aplastamiento de los talones.

Figura 37: MDL - 02 - Fase 12



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 13:**

Se observó un desplazamiento de 30.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 24.79 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 02 en la fase 13, se observó aplastamiento severo de los talones y pandeo del acero vertical del extremo izquierdo inferior del muro.

Figura 38: MDL - 02 - Fase 13



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **MDL – 03:** Ensayos de muros de ductilidad limitada con carga lateral y sin carga axial.

- **Fase 1:**

Se observó un desplazamiento de 0.5 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 4.92 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 1, no presentó grietas y tuvo un comportamiento elástico.

Figura 39: MDL - 03 - Fase 1



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 2:**

Se observó un desplazamiento de 0.80 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 6.30 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 2, en los extremos inferiores del muro se formaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm.

Figura 40: MDL - 03 - Fase 2



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 3:**

Se observó un desplazamiento de 1.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 7.01 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 3, en los extremos inferiores del muro se formaron grietas de tracción por flexión con un grosor menor a 0.05 mm.

Figura 41: MDL - 03 - Fase 3



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 4:**

Se observó un desplazamiento de 1.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 8.77 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 4, 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 fue de 0.05 mm.

Figura 42: MDL - 03 - Fase 4



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 5:**

Se observó un desplazamiento de 2.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 10.45 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 5, las grietas formadas en la fase 4 y otras existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a un valor máximo de 0.05 mm. Aparecieron grietas de tracción por flexión con grosor máximo de 0.05 mm.

Figura 43: MDL - 03 - Fase 5



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 6:**

Se observó un desplazamiento de 3.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 11.86 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 6, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a 0.20 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.

Figura 44: MDL - 03 - Fase 6



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 7:**

Se observó un desplazamiento de 4.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 14.82 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 7, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a 0.15 mm. Además, se formaron más grietas de tracción por flexión con un grosor máximo de 0.05 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonales llegando a un grosor máximo de 0.10 mm.

Figura 45: MDL - 03 - Fase 7



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

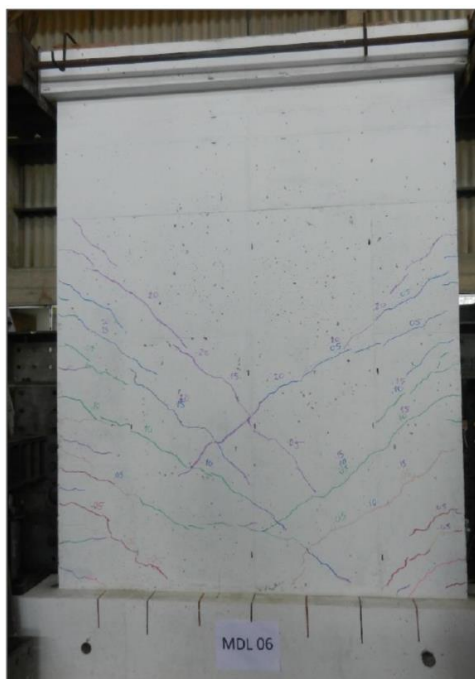
- **Fase 8:**

Se observó un desplazamiento de 6.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 17.20 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 8, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a 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.

Figura 46: MDL - 03 - Fase 8



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

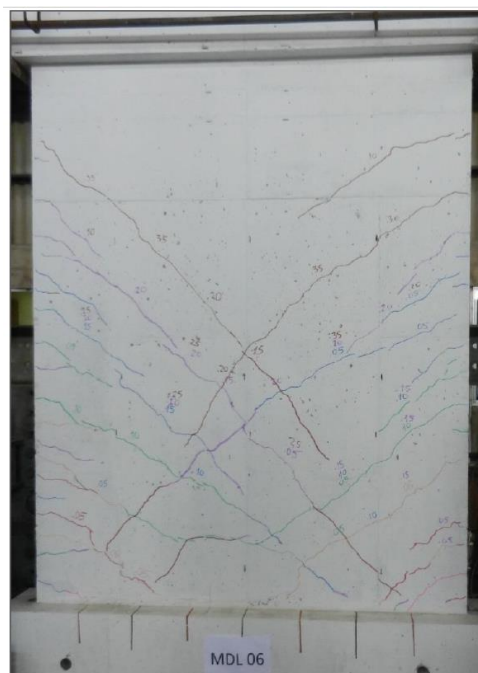
- **Fase 9:**

Se observó un desplazamiento de 8.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 20.61 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 9, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a 0.35 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal pura llegando a un grosor de 0.35 mm.

Figura 47: MDL - 03 - Fase 9



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 10:**

Se observó un desplazamiento de 12.00 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 23.53 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 10, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a 0.40 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal pura llegando a un grosor de 0.05 mm.

Figura 48: MDL - 03 - Fase 10



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

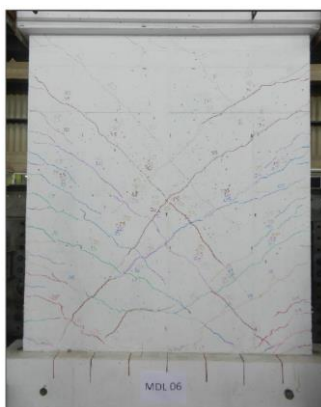
- **Fase 11:**

Se observó un desplazamiento de 16.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 24.62 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 11, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor a 0.50 mm. Aparecieron grietas de tracción diagonal pura llegando a un grosor de 0.50 mm.

Figura 49: MDL - 03 - Fase 11



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

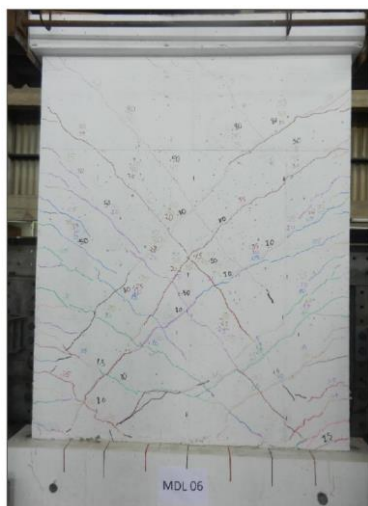
- **Fase 12:**

Se observó un desplazamiento de 23.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 25.76 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 12, las grietas existentes se prolongaron y aumentaron su grosor. En los extremos inferiores aumentaron el grosor de grietas existentes a un valor máximo de 1.5 mm. Se observó aplastamiento de los talones.

Figura 50: MDL - 03 - Fase 12



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

- **Fase 13:**

Se observó un desplazamiento de 30.50 mm, no se trabajó con carga axial y tiene una carga lateral máxima de 26.16 tn.

➤ **Conclusión:**

El espécimen MDL – 03 en la fase 13 se observó aplastamiento severo del talón izquierdo.

Figura 51: MDL - 03 - Fase 13



Fuente: Ensayos experimentales de Muros de Ductilidad Limitada, SENCICO

Determinación de las curvas de capacidad de los muros de ductilidad limitadas

Para poder obtener las curvas representativas de las curvas de capacidad, se precedió a la realización de los lazos histeréticos en base a las cargas cíclicas aplicadas a los diferentes muros, para así hallar sus puntos máximos formando las envolventes de las diferentes fases mencionadas anteriormente, las cuales se detallan a continuación:

Figura 52: Lazos Histeréticos MDL - 01

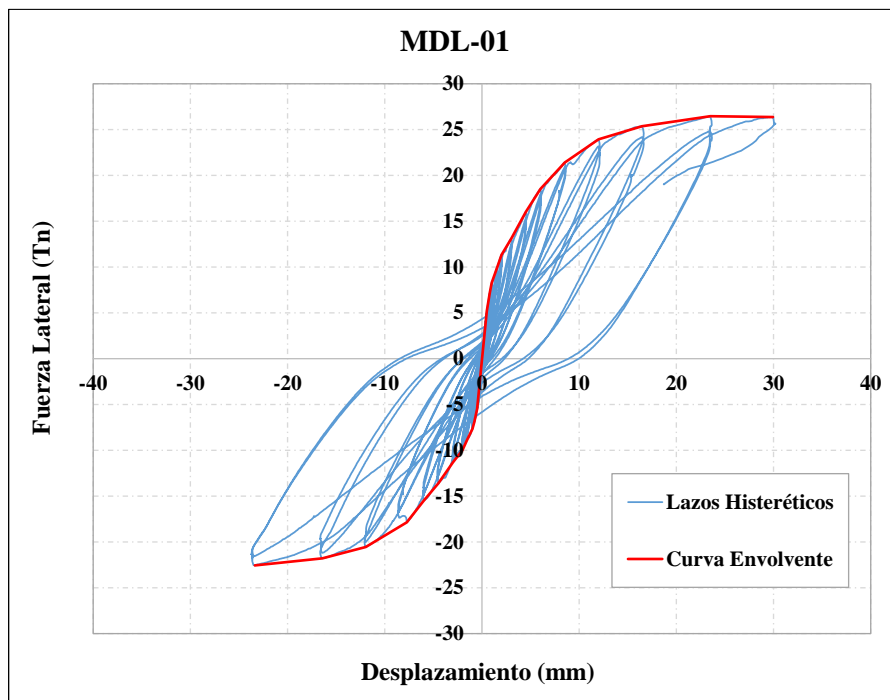


Figura 53: Lazos Histeréticos MDL - 02

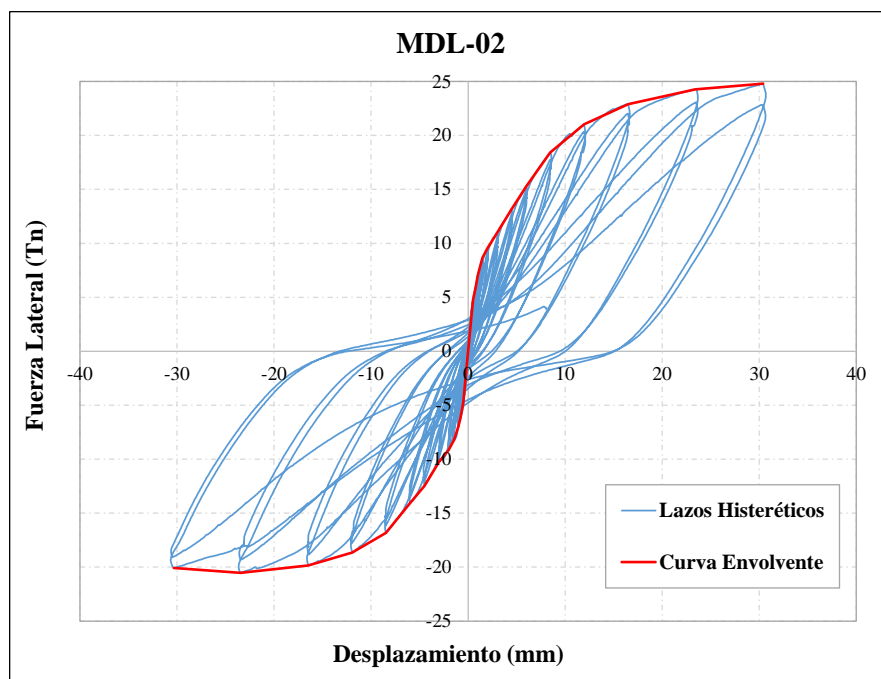
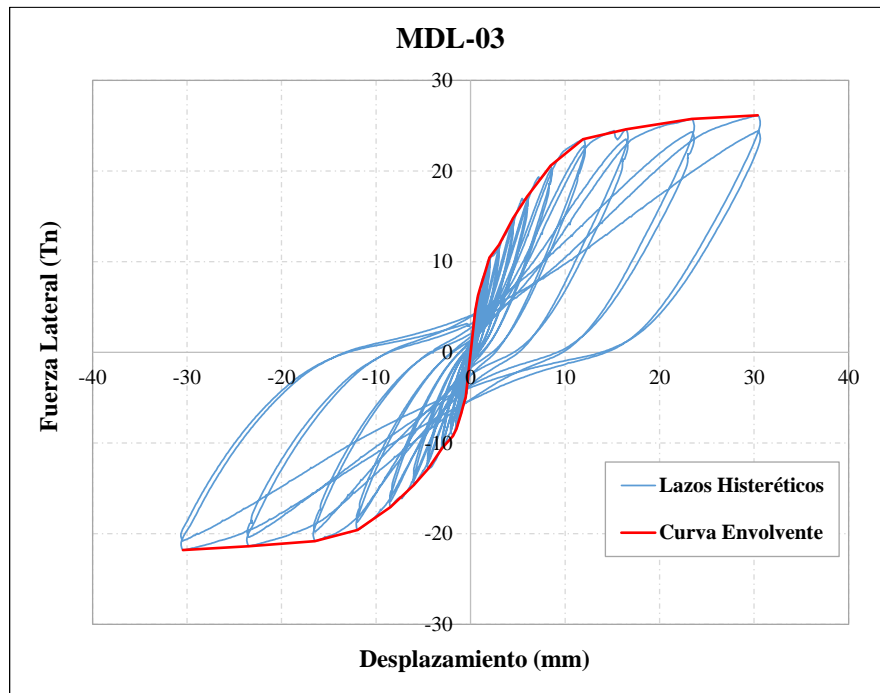


Figura 54: Lazos Histeréticos MDL - 03



- Conclusión: Puede reflejarse que los lazos histeréticos representan la degradación de la rigidez en el lado negativo de cada ciclo histerético a causa de los esfuerzos a tracción suscitados por la carga y descarga lateral en el espécimen, así mismo, se obtuvieron las curvas de capacidad envolventes considerando los desplazamiento y fuerzas máximas en cada ciclo de histéresis en el lado positivo y negativo.

A través de métodos estadísticos y considerando el 50% de confiabilidad estructural se desarrolló las curvas de capacidad promedio considerando las envolventes positivas y negativas obtenidas de los lazos histeréticos antes mencionados.

- MDL-SCA

Tabla 12: Curvas promedio 01

MDL-01								
Envol (-)		Envol (+)		Promedio (u)		σ	$u+\sigma$	$u-\sigma$
D (mm)	V (Tn)	D (mm)	V (Tn)	D (mm)	V (Tn)	V (Tn)		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.50	5.49	0.50	5.17	0.50	5.33	0.232232	5.56	5.10
0.80	6.91	0.80	7.18	0.80	7.04	0.191063	7.23	6.85
1.00	7.69	1.00	8.27	1.00	7.98	0.410904	8.39	7.57
1.50	8.78	1.51	9.80	1.50	9.29	0.721656	10.01	8.57
2.00	9.96	2.01	11.34	2.00	10.65	0.973746	11.63	9.68
2.99	11.32	3.00	13.09	3.00	12.21	1.252556	13.46	10.95
4.50	13.62	4.51	16.00	4.50	14.81	1.680734	16.49	13.13
5.99	15.51	6.01	18.51	6.00	17.01	2.119335	19.13	14.89
7.73	17.87	8.52	21.41	8.12	19.64	2.50354	22.14	17.14
11.96	20.55	11.99	23.92	11.98	22.24	2.383617	24.62	19.86
16.41	21.79	16.44	25.35	16.43	23.57	2.516428	26.09	21.05
23.38	22.57	23.48	26.44	23.43	24.50	2.740828	27.24	21.76
	22.57	29.94	26.35	29.94	24.46	2.672348	27.13	21.79

Figura 55: Curva Promedio MDL - 01

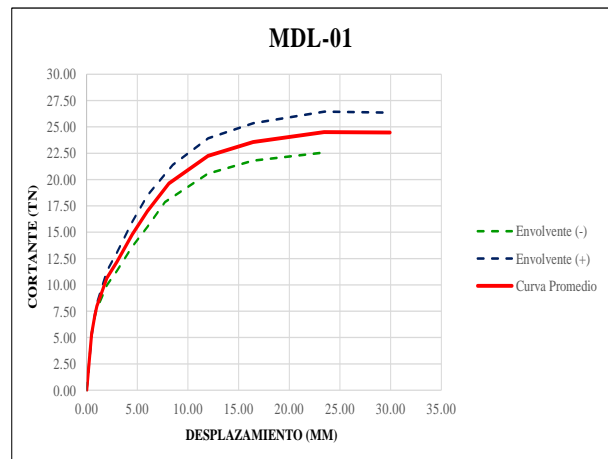


Tabla 13: Curva promedio 02

MDL-02								
Envol (-)		Envol (+)		Promedio (u)		σ	$u+\sigma$	$u-\sigma$
D (mm)	V (Tn)	D (mm)	V (Tn)	D (mm)	V (Tn)	V (Tn)		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.50	4.80	0.49	4.71	0.50	4.76	0.063607	4.82	4.69
0.80	6.26	0.80	6.06	0.80	6.16	0.138513	6.30	6.02
1.00	6.97	1.01	7.05	1.00	7.01	0.05659	7.07	6.96
1.45	8.24	1.49	8.67	1.47	8.45	0.302402	8.76	8.15
2.01	9.15	1.99	9.53	2.00	9.34	0.263666	9.60	9.08
2.99	10.23	3.00	10.98	2.99	10.60	0.525173	11.13	10.08
4.50	12.48	4.46	13.16	4.48	12.82	0.481427	13.30	12.34
5.97	14.05	6.00	15.29	5.98	14.67	0.879144	15.55	13.79
8.48	16.83	8.47	18.43	8.48	17.63	1.13265	18.76	16.50
11.93	18.65	11.96	21.03	11.95	19.84	1.682186	21.52	18.16
16.45	19.84	16.50	22.90	16.48	21.37	2.16272	23.53	19.20
23.44	20.53	23.40	24.27	23.42	22.40	2.645617	25.05	19.76
30.33	20.09	30.40	24.79	30.37	22.44	3.324627	25.76	19.11

Figura 56: Curva Promedio MDL - 02

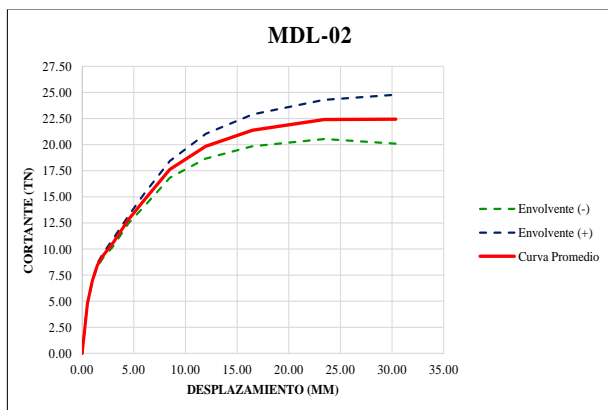


Tabla 14: Curva promedio 03

MDL-03								
Envol (-)		Envol (+)		Promedio (u)		σ	$u+\sigma$	$u-\sigma$
D (mm)	V (Tn)	D (mm)	V (Tn)	D (mm)	V (Tn)	V (Tn)		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.50	4.92	0.50	4.64	0.50	4.78	0.194375	4.97	4.58
0.80	5.98	0.80	6.30	0.80	6.14	0.221906	6.36	5.92
1.00	6.77	1.00	7.01	1.00	6.89	0.174564	7.06	6.71
1.50	8.45	1.50	8.77	1.50	8.61	0.226984	8.83	8.38
1.88	9.24	2.00	10.45	1.94	9.85	0.86103	10.71	8.98
2.99	10.54	3.00	11.86	3.00	11.20	0.931586	12.13	10.27
4.50	12.87	4.50	14.82	4.50	13.85	1.385749	15.23	12.46
6.00	14.63	6.00	17.20	6.00	15.92	1.819758	17.74	14.10
8.49	17.08	8.49	20.61	8.49	18.84	2.498592	21.34	16.34
11.95	19.59	11.91	23.53	11.93	21.56	2.781323	24.34	18.78
16.47	20.83	16.48	24.62	16.48	22.72	2.676904	25.40	20.05
23.48	21.39	23.42	25.76	23.45	23.58	3.091019	26.67	20.49
30.43	21.81	30.39	26.16	30.41	23.99	3.075792	27.06	20.91

Figura 57: Curva Promedio MDL - 03

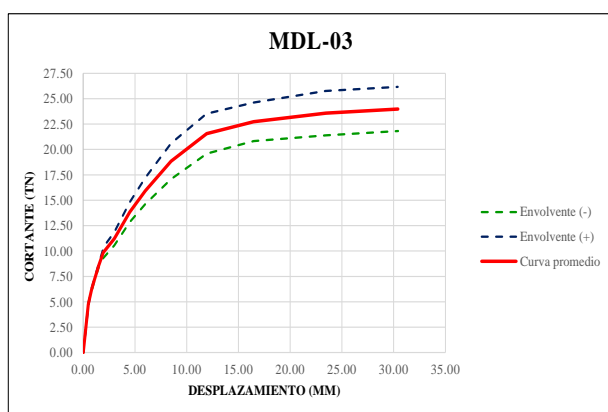
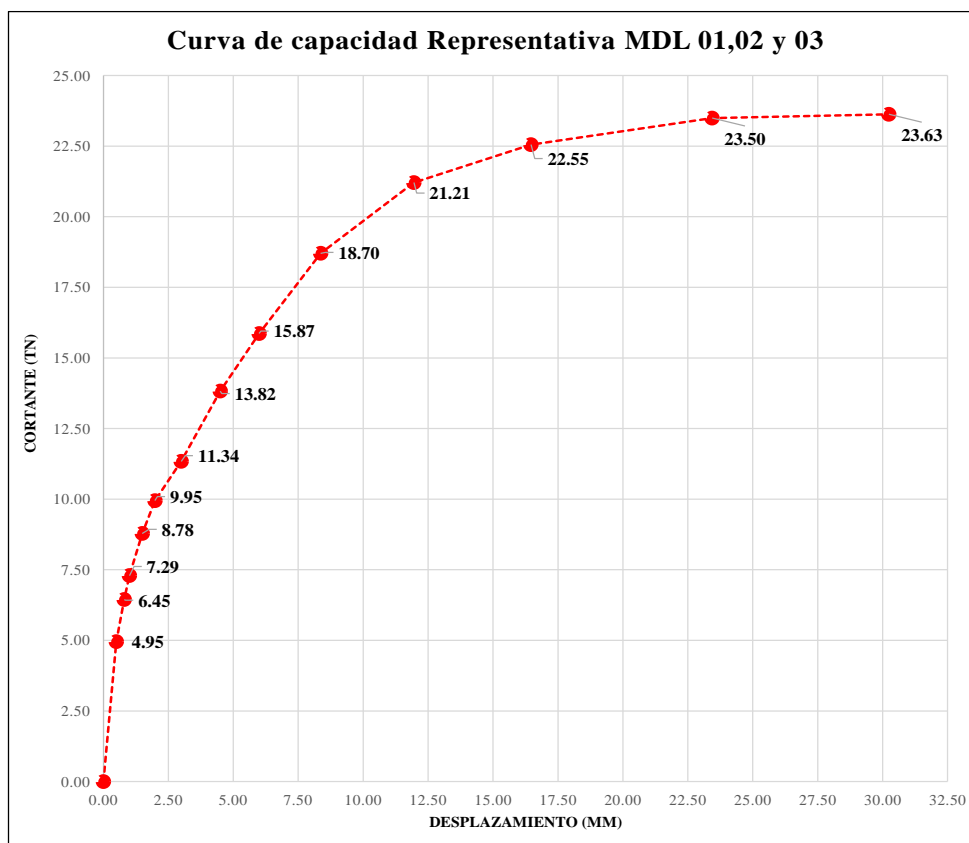


Figura 58: Curva promedio representativa MDL 01, 02, 03

Envol (-)	
D (mm)	V (Tn)
0.00	0.00
0.50	4.95
0.80	6.45
1.00	7.29
1.49	8.78
1.98	9.95
3.00	11.34
4.50	13.82
5.99	15.87
8.36	18.70
11.95	21.21
16.46	22.55
23.43	23.50
30.24	23.63



- **Conclusión:**

- Se encontró que los MDL 01, 02 y 03 desarrollan un comportamiento similar para las distintas demandas de desplazamiento encontrándose una fuerza cortante máxima de colapso de 24.46; 22.44 y 33.99 Tonf respectivamente.
- Se obtuvo una curva representativa promedio que grafica el comportamiento quasi-estático de los 03 especímenes encontrándose una fuerza y desplazamiento máximo de (30.24mm, 23.63 Tonf).

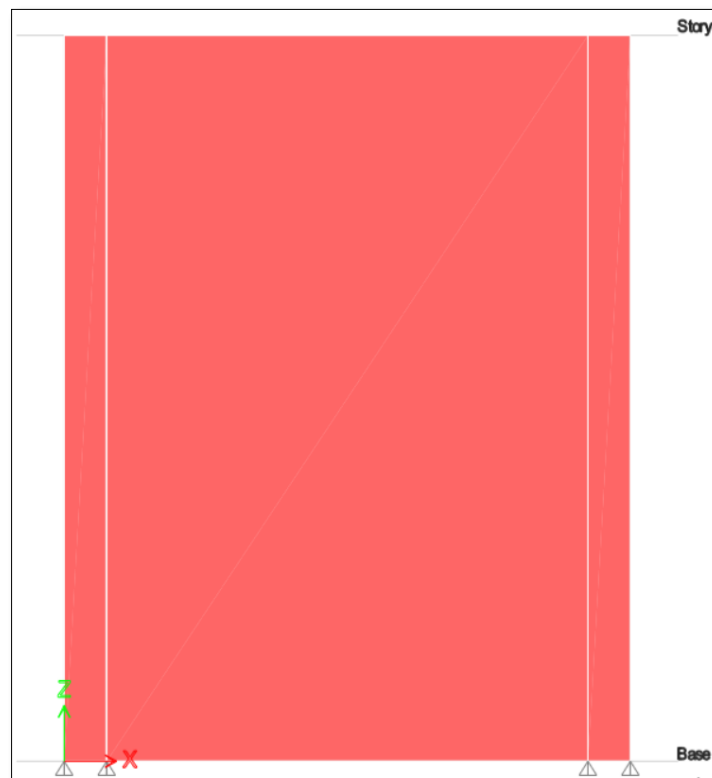
Validación de la curva representativa por medio de un modelo matemático a través del software ETABS.

La validación de la curva de capacidad representativa se realizó mediante un modelo matemático analítico en el software Etabs considerando su configuración estructural, geometría, materiales constitutivos y los desplazamientos de control promedio obtenidos en la curva de capacidad representativa.

Representación geométrica del modelo matemático.

Según lo especificado en el ítem 2.3 se consideró una altura de muro de 2.40 m por un ancho de 2m discretizando de manera vertical para la correcta asignación de refuerzo de acero en los bordes y en el alma.

Figura 59: Modelo matemático discretizado

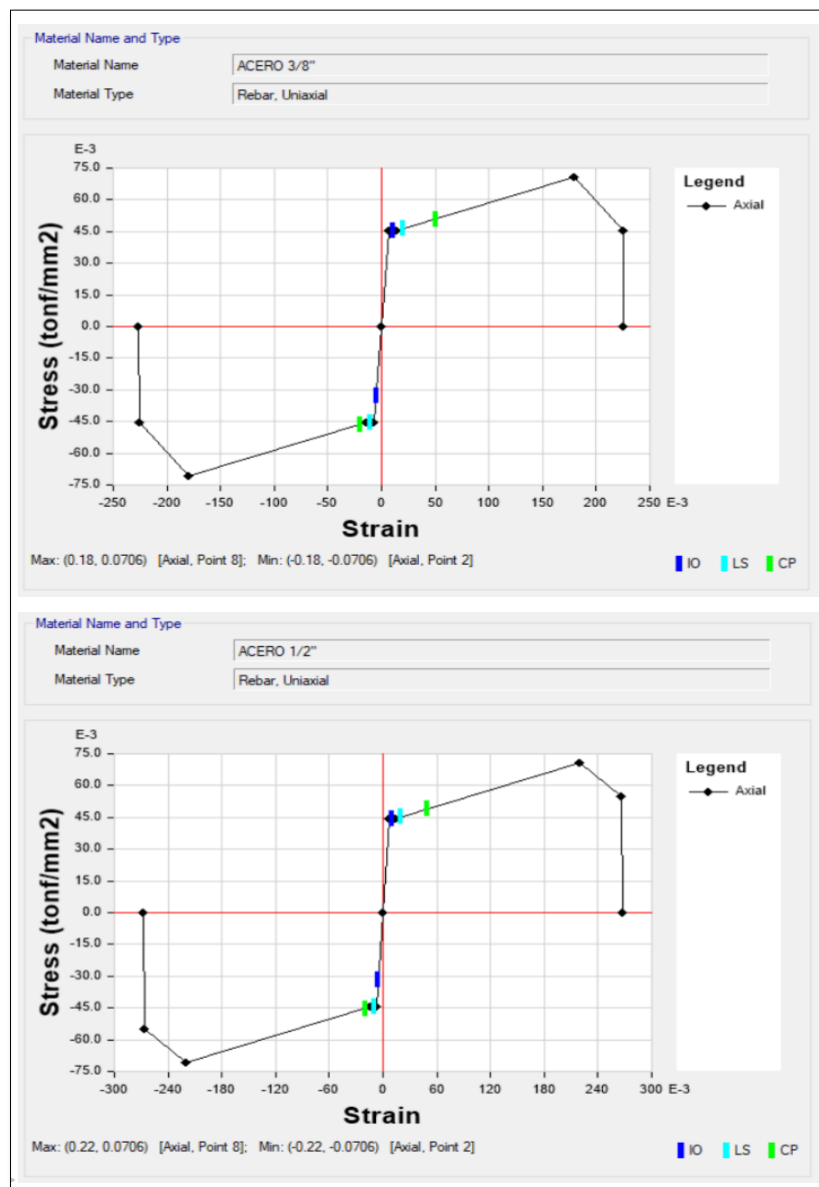


Asignación de la No linealidad a los Materiales

Acero de refuerzo

Se considero los diagramas constitutivos del acero tal como se indica en la data experimental en el ítem 2.2.1, ésta consistió en asignarle las características tension-deformacion obtenidos en los ensayos al acero de refuerzo de 3/8" y de 1/2" tal como se observa en la fig. 60

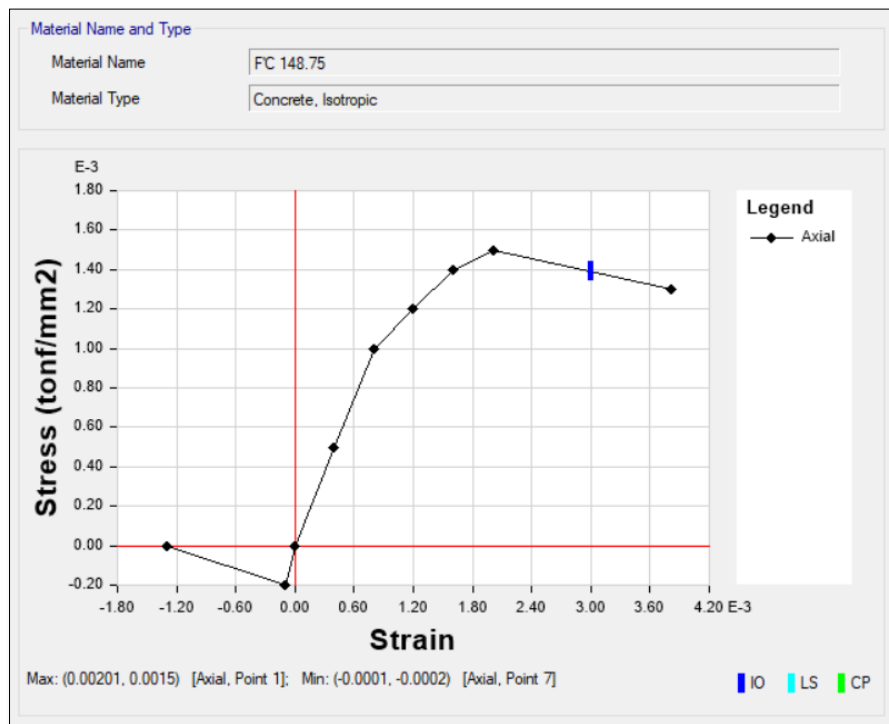
Figura 60: Modelos constitutivos, acero de 3/8" y 1/2"



Concreto

En el diagrama constitutivo del concreto se utilizó el modelo propuesto por Hognestad, que recomienda una deformación unitaria inicial de 0.002 y final de 0.0038 para concretos convencionales, a su vez considera que el esfuerzo a compresión del concreto puede ser reducido hasta en un 85%, para la presente se utiliza estos parámetros propuestos con el fin de asemejar mejor la curva de capacidad teórica a la experimental, a continuación en la fig.61 se muestra el modelo de Hognestad insertado en el modelo constitutivo del concreto en el software ETABS.

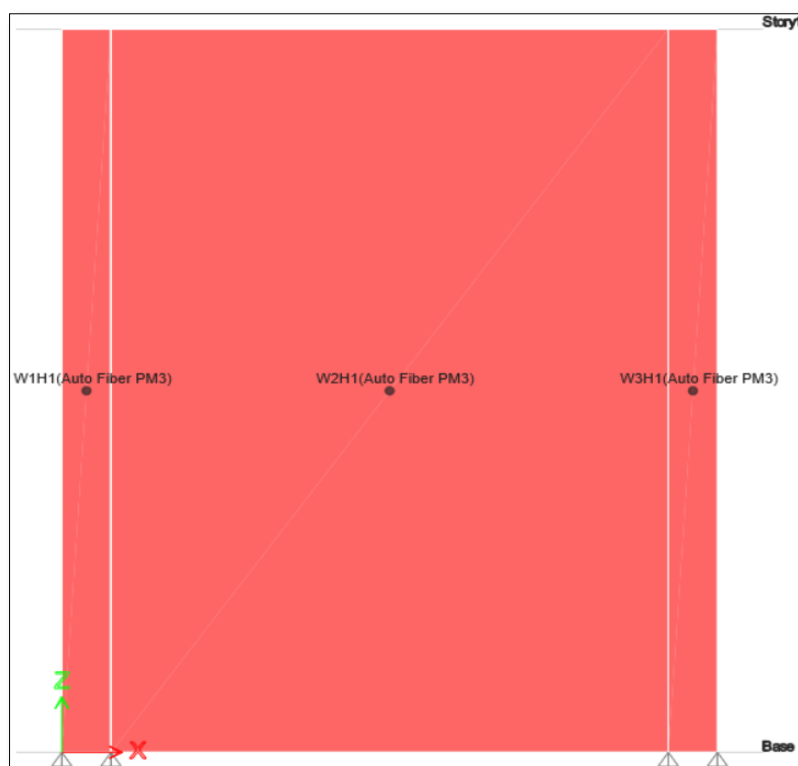
Figura 61: Modelo constitutivo del concreto



Asignación de la cuantía y la plasticidad tipo fibra

Se consideró en la configuración estructural del espécimen representativo la distribución del acero de refuerzo, las cuantías en el borde y en el alma de 3/8 y 1/2" pulgada respectivamente, a su vez se asignó el Wall hinge en su condición tipo fibra para la correcta lectura no lineal del modelo. Seguidamente se aplicó la condición de carga monótonica no lineal con un control de desplazamiento promedio de 29.9 mm.

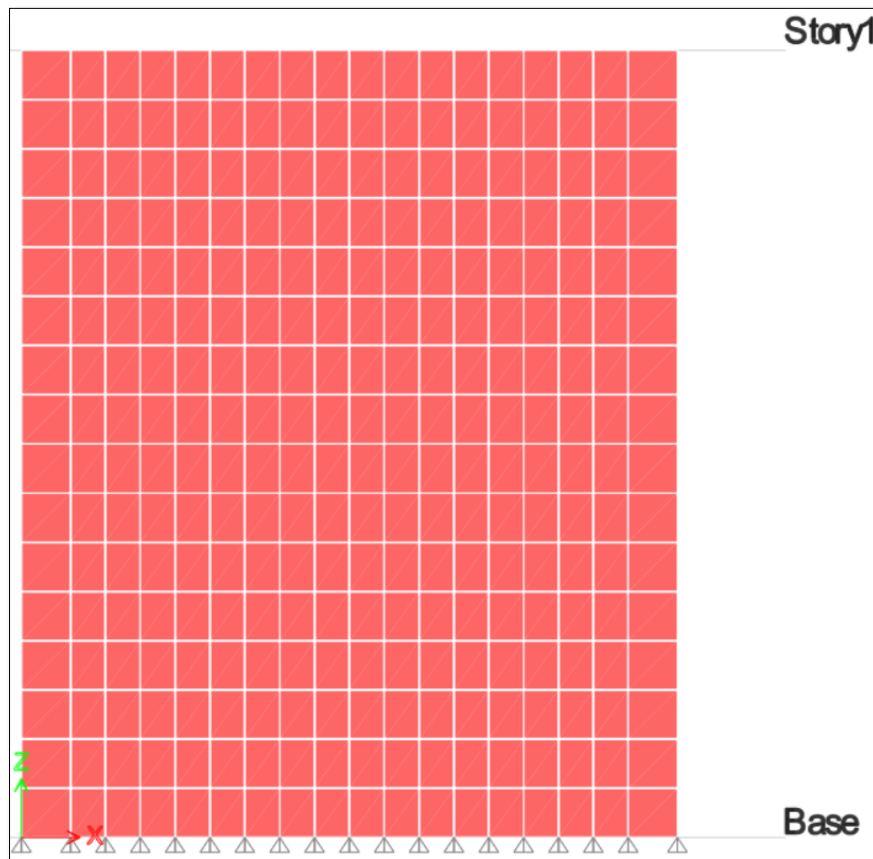
Figura 62: Cuantía y plasticidad tipo fibra



Discretización del modelo: Degradación de rigidez

Dentro de los parámetros de calibración analítica se considera la degradación de rigidez del modelo matemático por medio de la discretización horizontal y vertical aplicando el criterio de elementos finitos para asemejar debidamente la curva experimental a la analítica.

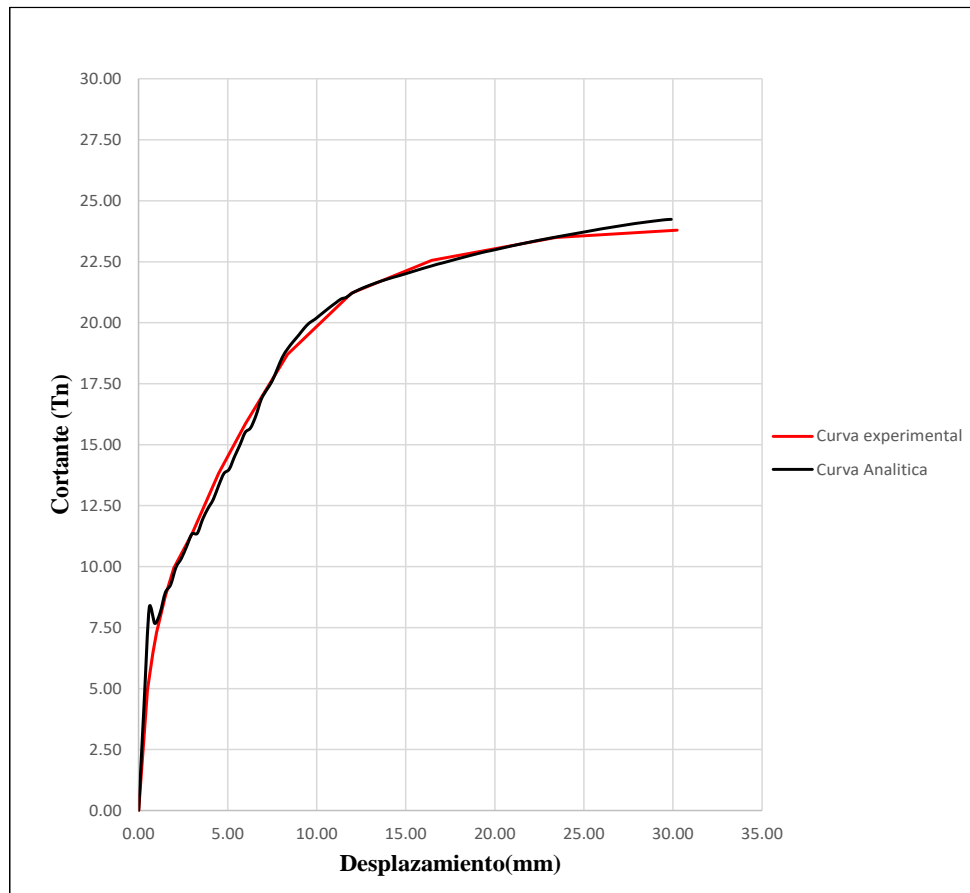
Figura 63: Discretización horizontal y vertical



Curva de capacidad experimental vs Analítica calibrada

Una vez culminada la correcta discretización del modelo matemático se asigna un Pier label a la sección para la correcta lectura de la fuerza cortante en la base, a continuación, se corre el software y se evalúa la curva de capacidad con el control de desplazamiento asignado real de 29.9 mm. En la fig. 64 se aprecia la curva de capacidad analítica vs la experimental cuyas pendientes de comportamiento en su estado elástico e inelástico se acomodan bastante bien.

Figura 64: Curva analítica vs experimental



Medir el nivel de desempeño en función de la deriva

La curva de capacidad de un muro de ductilidad limitada puede ser simbolizada mediante una curva de capacidad trilineal. La curva trilineal es expresada mediante tres pendientes diferentes, que representan la rigidez elástica, la rigidez post agrietamiento y la rigidez post fluencia hasta llegar a la resistencia máxima. (Diaz,2021), de esta manera se pudo realizar una descripción de los puntos notables y de los daños de los muros de ductilidad limitada en cada punto.

Para la representación de la curva de capacidad trilineal se usaron las siguientes consideraciones:

- Comportamiento Elástico (rigidez elástica): Se caracteriza por presentar fisuras por flexión localizada en la zona de los talones del muro que establece el inicio del agrietamiento. Se estima que el espesor máximo de las fisuras es de 0.05mm (Acero,2016)
- Rigidez post agrietamiento: Después de aparecer el primer agrietamiento, se suscitan fisuras diagonales por cortante de espesor máximo de 2mm. A su vez se da una degradación de la rigidez considerablemente. Además, se da el inicio al aplastamiento del concreto en la zona de los talones. (Acero,2016)

- Rigidez post fluencia: En este estado de daño se alcanza la resistencia ultima de los muros. Aumentan los espesores de las grietas diagonales hasta 3 mm, se agrava el aplastamiento en el concreto, existe desplazamiento por cizallamiento en la base del muro y se observa pandeo de las barras de acero en la zona de los talones comprometiendo la estabilidad del muro. (Acero,2016)
- Dichas consideraciones se representaron en tres puntos de la curva de capacidad. Estos fueron los valores promedio de los cortantes y desplazamientos en la fase 6 (tabla 15), fase 11 (tabla 16), y fase 13 (tabla 16), respectivamente. A continuación, se muestra la curva de capacidad trilineal en la fig. 65.

Tabla 15: Rigidez elástica

Cortante y desplazamiento				FASE 6		
Muros	Comportamiento elastico (rigidez elastica)					
	Envolvente (-)		Envolvente (+)		Promedio	
	V(Tnf)	D(mm)	V(Tnf)	D(mm)	V(Tnf)	D(mm)
MDL-01	11.32	2.99	13.09	3.00	11.34	3.00
MDL-02	10.23	2.99	10.98	3.00		
MDL-03	10.54	2.99	11.86	3.00		

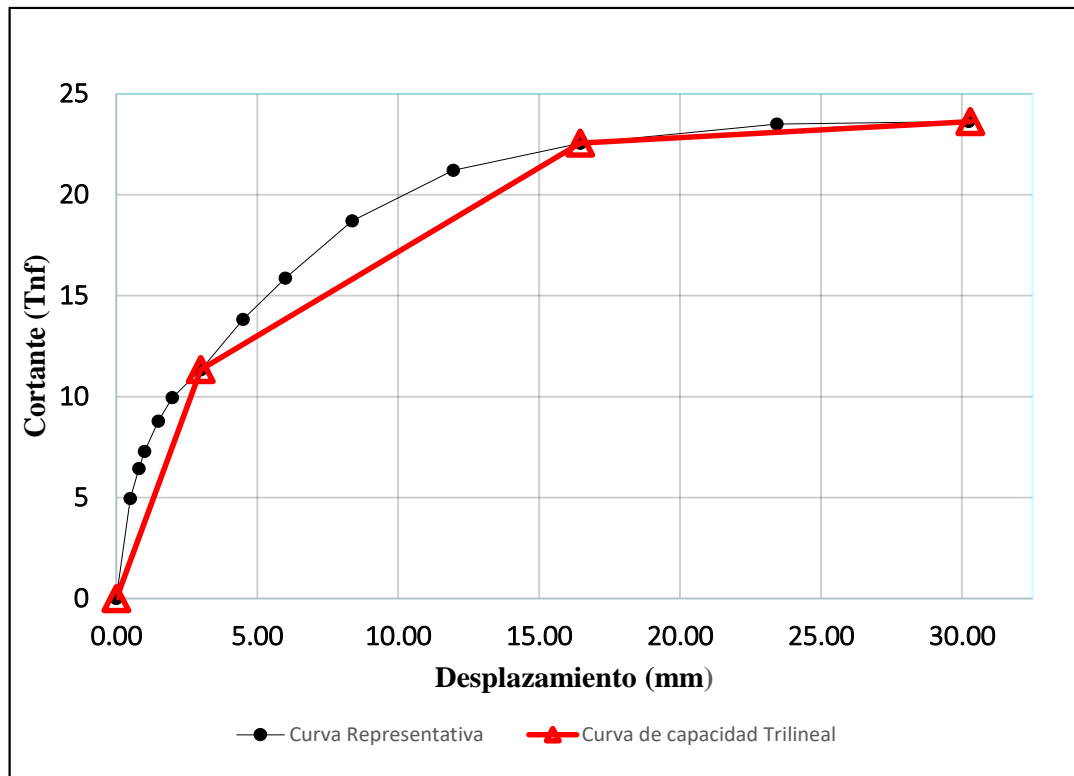
Tabla 16: Rigidez post agrietamiento

Cortante y desplazamiento				FASE 11		
Muros	Rigidez post agrietamiento					
	Envolvente (-)		Envolvente (+)		Promedio	
	V(Tnf)	D(mm)	V(Tnf)	D(mm)	V(Tnf)	D(mm)
MDL-01	21.79	16.41	25.35	16.44	22.55	16.46
MDL-02	19.84	16.45	22.90	16.50		
MDL-03	20.83	16.47	24.62	16.48		

Tabla 17: Rigidez post fluencia

Cortante y desplazamiento				FASE 13		
Muros	Rigidez post fluencia					
	Envolvente (-)		Envolvente (+)		Promedio	
	V(Tnf)	D(mm)	V(Tnf)	D(mm)	V(Tnf)	D(mm)
MDL-01	22.57	0.00	26.35	29.94	23.63	30.30
MDL-02	20.09	30.33	24.79	30.40		
MDL-03	21.81	30.43	26.16	30.39		

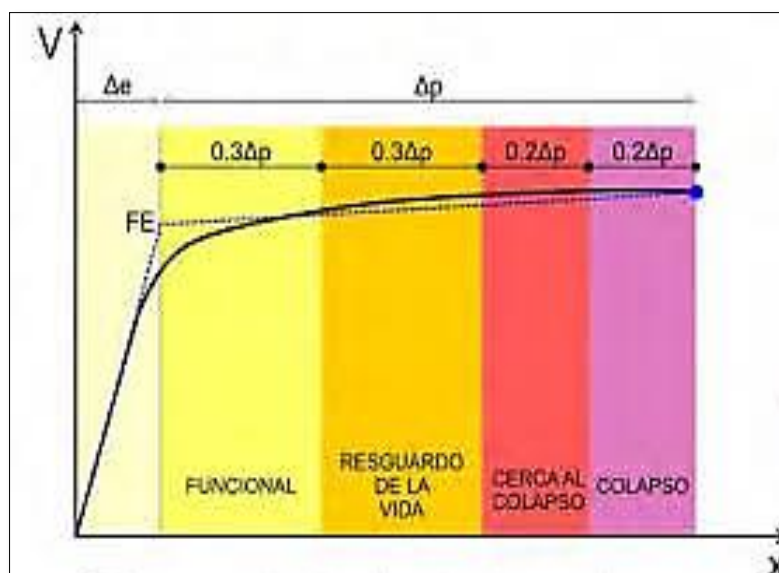
Figura 65: Grafica trilineal de la curva de capacidad



Los tres puntos que representan la gráfica trilineal son definidas como el de fluencia, post agrietamiento y post fluencia.

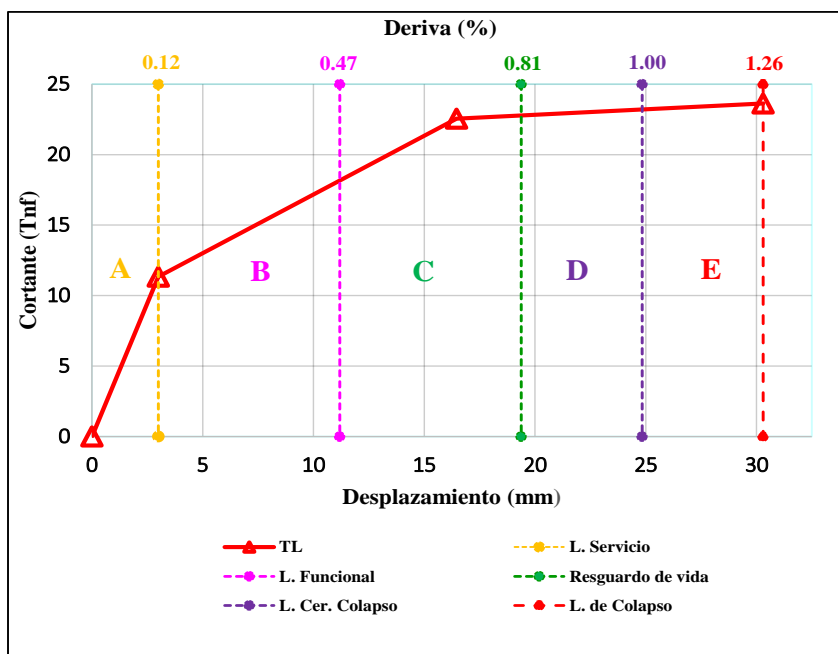
Para describir y representar el desempeño estructural producidos en los muros de ductilidad limitada se determinó derivas límite para 5 niveles de daño, cuyos niveles de daño fueron calculados por los lineamientos recomendados por SEAOC VISION 2000 lo cual indica que desde el desplazamiento plástico o inelástico (D_p) se deberá dividir en el 30% D_p para limite funcional y resguardo de vida y el 20% D_p para cercano al colapso y colapso.

Figura 66: Sectorización según SEAOC VISION 2000



En este sentido, se sectorizaron en 5 zonas. dichas áreas se fraccionan en base a los límites de nivel de desempeño de una estructura de muros de ductilidad limitada (fig.67).

Figura 67: Derivas umbral de los niveles de desempeño



Se determino la sectorización de los niveles de daño Estructural en función a los modos de falla que representan los tipos de comportamiento para los límites de desempeño estructural como se detalla a continuación:

Zona A: El muro tiene un comportamiento elástico. La carga y descarga de la fuerza aplicada al espécimen se mantiene en la recta descrita en esta zona. Los daños producidos al muro son mayormente fisuras de tracción por flexión, así como el inicio de la aparición de grietas horizontales en la parte de los talones

Zona B: Se inicia la etapa post agrietamiento, en el que el valor de la rigidez no es el mismo que el inicial. Los daños en esta etapa son la formación de grietas a tracción pura en el muro con un grosor promedio de 0.15 mm.

Zona C: Se sigue manteniendo en la etapa post agrietamiento. Los daños producidos en esta etapa son el aumento del grosor de las grietas diagonales por tracción pura que se encuentran entre 0.5 mm a 0.80 mm.

Zona D: En esta zona se finaliza la etapa post agrietamiento e inicia cuando hay un cambio significativo en la pendiente que sigue la curva de capacidad. Comienza la etapa de post fluencia. Los daños en esta zona se caracterizan por ser fisuras diagonales por corte de espesores promedio de 2 mm, además se da el inicio al aplastamiento del concreto en los talones del muro.

Zona E: El muro desarrolla una resistencia final. Se observa que el muro se encuentra cerca del colapso, por lo que se evidencia pandeo en los aceros de refuerzo longitudinal, falla por deslizamiento del muro y desprendimiento total del concreto en los talones del muro comprometiendo la estabilidad general del muro.

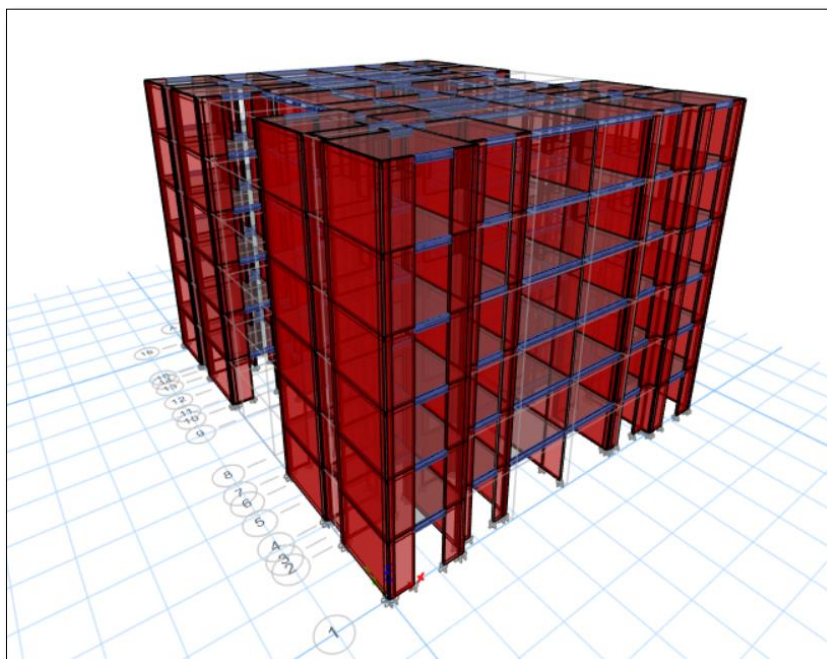
Análisis no lineal estático del edificio de 06 niveles

El análisis estático no lineal realizado en esta sección se realizó bajo los lineamientos para sismo ocasional y raro que corresponde a un periodo de retorno de 100 y 475 años respectivamente, donde para el sismo ocasional se consideró el 50 % del sismo raro acorde a la Norma E-030.

Modelo matemático

Las consideraciones estructurales en el modelo matemático se elaboran mediante una base grafica en tres dimensiones construido en el software computacional comercial ETABS. La edificación se compone mediante elementos que permiten deformaciones por flexión, fuerza cortante y carga axial debido a cargas verticales de gravedad y de fuerzas horizontales de sismo. En este sentido, los muros de ductilidad limitada se han considerado como elementos del tipo Shell y su no linealidad esta representada por la plasticidad tipo fibra. Las losas bidireccionales se consideran como un diafragma rígido, a su vez han sido modelados como elementos tipo membrana; es decir, no aportan rigidez a la estructura. Finalmente, las placas se consideran empotradas en su base. En la figura 24 se muestra una imagen tridimensional del modelo realizado.

Figura 68: Modelo tridimensional del edificio de 6 niveles



Curva de capacidad y respuesta frente a sismo ocasional y de diseño en la dirección longitudinal (XX)

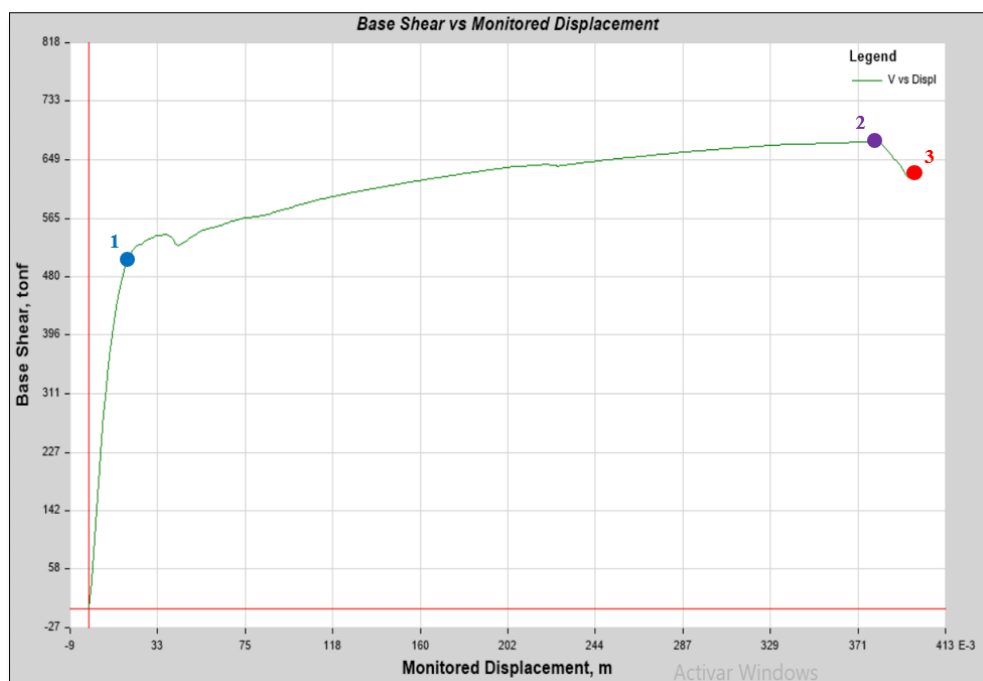
Del modelo matemático realizado se adquiere la curva de capacidad de la estructura en la dirección XX, solo en un sentido debido a que la planta es simétrica. Además, se muestra la respuesta frente a sismo ocasional y de diseño, acorde al ASCE 41-17.

A continuación, en la fig.25 se muestra la curva de capacidad que describe el rango elástico e inelástico, donde hasta el punto 1 se muestra un comportamiento casi completamente lineal (elástico), en el punto 2 la estructura presenta su máxima resistencia y al mismo tiempo pierde rigidez, en el punto 3 la estructura entra en el rango de cedencia, es decir, pierde rigidez y resistencia de manera gradual.

Tabla 18: Corte y desplazamiento para los puntos de comportamiento

Punto	Cortante (V)	Desplazamiento (mm)
1	506.4 Tonf	19 mm
2	674.68 Tonf	372 mm
3	622.74 Tonf	395 mm

Figura 69: Curva de capacidad X-X



En relación a la respuesta de la estructura en la tabla 11 se muestra la fuerza y desplazamiento de demanda para una sollicitación de sismo ocasional y de diseño acorde a los lineamientos de la norma sismorresistente peruana E-030.

Tabla 19: Cortante y desplazamiento para los puntos de comportamiento

Demanda	Cortante (V)	Desplazamiento (Δ)	Deriva
Sismo ocasional	528.25 Tonf	26.2 mm	0.21 %
Sismo de diseño (E-030)	566.23 Tonf	80.00 mm	0.60 %

En la figura 70 y 71 respectivamente se muestran los puntos de respuesta para demanda de sismo ocasional y raro acorde al método de coeficientes propuesto por el ASCE 41-17.

Figura 70: Respuesta para sismo de Diseño

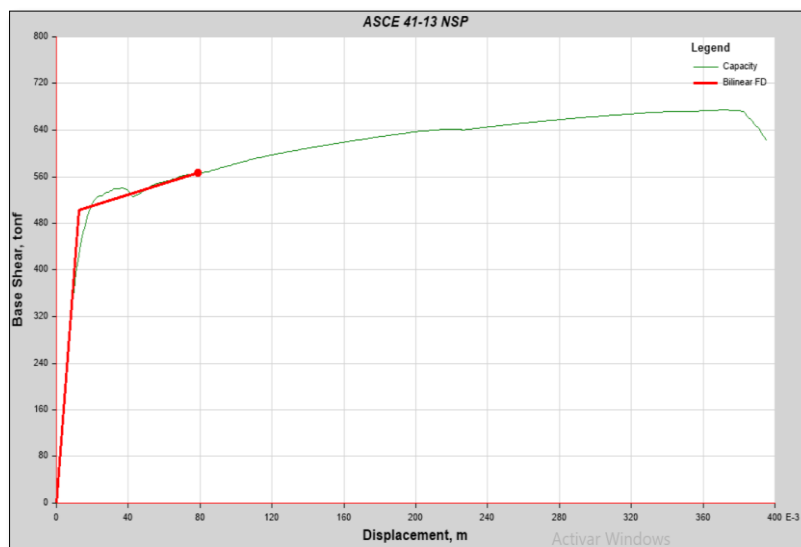
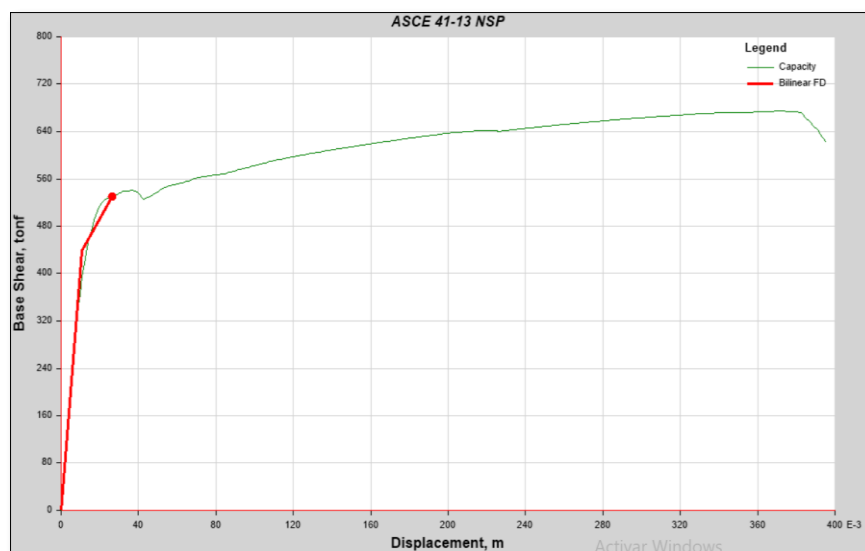
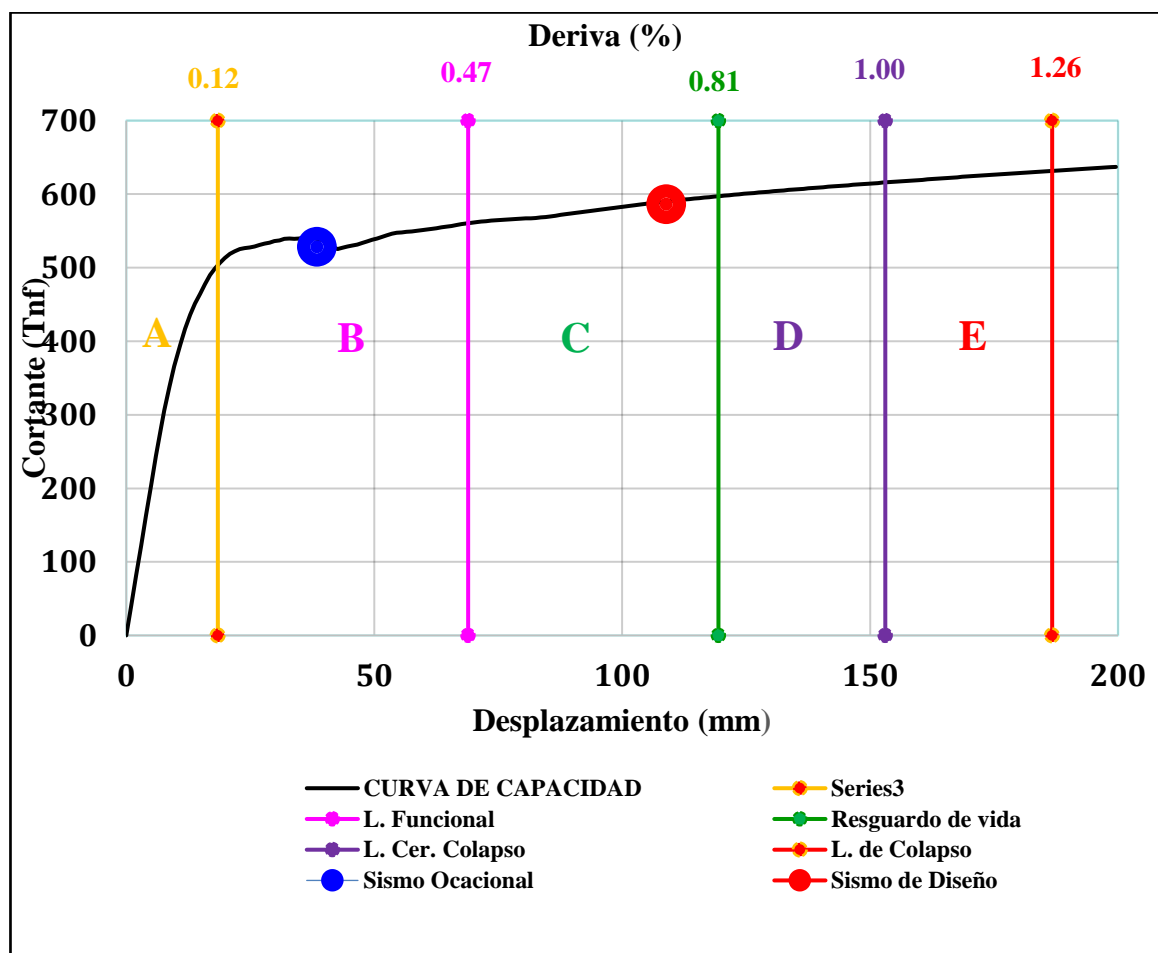


Figura 71: Respuesta para sismo Ocasional



A continuación, se describe el desempeño estructural para sismo ocasional y de diseño acorde a la importancia de la edificación en análisis que es de vivienda multifamiliar según la norma sismorresistente peruana E-030, en la dirección longitudinal X-X acorde a las derivas de daño de la curva de capacidad trilineal calculada apartados atrás cuya representación se detalla en la Fig.67.

Figura 72: Desempeño estructural para sismo Raro y de Diseño



De la fig. 72 se observa que el comportamiento estructural para sismo ocasional recae en la zona B cuyo nivel de desempeño estructural describe un daño donde la rigidez no es la misma que la inicial. Los daños en esta etapa son la formación de grietas a tracción pura en los muros con un grosor promedio de 0.15 mm, Consecuentemente el desempeño de la estructura para sismo de diseño esta acorde al sector C donde se describe un daño en el cual se sigue manteniendo en la etapa post agrietamiento, no obstante, en este rango los daños producidos son el aumento gradual y prolongado del grosor de las grietas diagonales por tracción pura que se encuentran en un rango de 0.5 mm a 0.80 mm.

Conclusiones

- ❖ Se identificó un comportamiento elástico en las primeras 6 fases del ensayo con un cortante representativo de 11.4 Tonf para un desplazamiento promedio de 3mm.
- ❖ Se encontró un cortante de 22.55 y 23.63 Tonf para los desplazamientos de 16.46 y 30.30 mm, representando un comportamiento de rigidez post agrietamiento y rigidez post fluencia respectivamente.
- ❖ Acorde a la calibración y validación de la curva experimental se observó un margen de error del 2% entre la curva experimental y la curva calibrada por el software ETABS, esta última se acomodaba bastante bien a la curva experimental en análisis.
- ❖ Se obtuvo los niveles de derivas umbral para los distintos tipos de niveles de desempeño A, B, C, D, y E derivas de 0.12%; 0.47%;0.81%;1% y 1.26% respectivamente.
- ❖ El nivel de desempeño estructural en la dirección longitudinal X-X para sismo ocasional es de límite funcional acorde a la curva trilineal.
- ❖ El nivel de desempeño estructural en la dirección longitudinal X-X para sismo de diseño es de límite de resguardo de vida acorde a la curva trilineal.

Recomendaciones

- ❖ Es recomendable realizar ensayos cíclicos en MDL con un mayor número de especímenes con el propósito de tener una mayor certeza en la confiabilidad estructural mínima del 50%.
- ❖ Acorde a la calibración de muros estructurales se recomienda calibrar un modelo matemático completo en función a la data experimental con el fin de asemejar el desempeño estructural de una edificación a escala real.

Referencias

- [1] L. Seiner, Historia de los sismos en el Perú. Catálogo: Siglos XV-XVII, Lima: Fondo Editorial de Universidad de Lima, 2017.
- [2] L. Fernández, R. Guardado, I. Herrera, R. Oliva y P. Díaz, «Escenarios susceptibles a la licuación inducida por sismos de gran magnitud en Santiago de Cuba,» *Minería y Geología*, 2016.
- [3] Norma Técnica Peruana, «Diseño Sismorresistente E.30,» 2018.
- [4] Instituto Nacional de Estadística e Informática, «Características de la población. Perú: Perfil Sociodemográfico,» INEI, 2017.
- [5] G. López y J. Verduga, «Evaluación de riesgo sísmico de estructuras de ductilidad limitada en la parroquia de Alóag, provincia de Pichincha.,» Universidad Central del Ecuador, 2019.
- Juan Vélez, Carlos A. Blandón, Ricardo Bonett, Carlos Arteta, Julián Carrillo, João Almeida y Katrin Beyer «Ensayos cuasi-estáticos cíclicos de muros delgados de concreto reforzado en edificios colombianos,» Colombian Earthquake Engineering Research Center –CEER.
- [6] Juan Vélez, «estudio numérico y experimental sobre el Comportamiento sísmico de muros Delgados de edificios de concreto,» Universidad de Antioquia Colombia.
- S. Quezada, «Fallas mas comunes en sistemas estructurales de ductilidad limitada en viviendas de hasta dos pisos en zonas sísmicas altas,» Universidad de Machala, Machala, 2019.
- [7] S. Alvarado, «Vulnerabilidad sísmica en viviendas con muros de ductilidad limitada – Paseo del Mar – II Etapa – Nuevo Chimbote,» Universidad Cesar Vallejo, 2018.
- [8] S. López y C. Rodríguez, «Construcción de curvas de fragilidad para viviendas unifamiliares de muros de ductilidad limitada,» Universidad Católica del Perú, 2018.
- [9] Miguel Díaz, «Revisión de criterios de diseño de edificaciones con muros de ductilidad limitada, establecidos en las normas de estructuras peruanas y planteamiento de propuesta de actualización,» Perú, 2021.
- Luis Ceferino, «Evaluación del ancho efectivo en muros de ductilidad limitada de borde empleando modelos no lineales validados por ensayos experimentales,» Universidad Nacional de Ingeniería, 2013.
- [10] Luis Ceferino, «Evaluación del ancho efectivo en muros de ductilidad limitada de borde empleando modelos no lineales validados por ensayos experimentales,» Universidad Nacional de Ingeniería, 2013.

- [13] J. Toletino, «Análisis comparativo entre muros de ductilidad limitada y muros de albañilería confinada para un edificio de vivienda social de departamentos, Piura 2018,» Universidad Privada de Trujillo, Trujillo, 2019.
- [14] Z. He, H. Yang, J. Zhu y Y. Pang, «A new energy balance-based method for evaluating seismic performance of isolated bridges under near-fault ground motions,» *Structures*, vol. 34, 2021.
- [15] I. Imaran, D. siringoringo y J. Michael, «Seismic performance of reinforced concrete buildings with double concave friction pendulum base isolation system: case study of design by Indonesian code,» *Structures*, vol. 34, 2021.
- [16] W. Li, H. Gao, R. Xiang y Y. Du, «Experimental study of seismic performance of precast shear wall with a new bolt-plate connection joint,» *Structures*, vol. 34, 2021.
- [17] Z. Jianchen, Q. Hongxing, S. Jian y J. Hongbo, «Seismic performance evaluation of different strategies for retrofitting RC frame buildings,» *Structures*, vol. 34, 2021.
- [18] F. Chen, M. He, y. Wang, Z. Shu y G. He, «Seismic performance of self-centering steel-tiX. Estrella, P. Guindos, J. Almazán, S. Malek, H. Santa Maria, J. Montaña y S.
- [19] Berwart, «Seismic performance factors for timber buildings with woodframe shear walls,» *Engineering Structures*, vol. 248, 2021.
- [20] M. Zerbin, A. Aprile, K. Beyer y E. Spacone, «Ductility reduction factor formulations for seismic design of RC wall and frame structures,» *Engineering Structures*, vol. 178, 2019. mber hybrid shear wall structures,» *Journal of Building Engineering*, vol. 43, 202
- [21] J. Zhong, J. Zhang, X. Zhi y F. Fan, «Probabilistic seismic demand and capacity models and fragility curves for reticulated structures under far-field ground motions,» *Thin-Walled Structures*, vol. 137, 2019. 1.
- [22] «Prodac,» Available:<https://prodac.bekaert.com/esMX/infraestructura/refuerzo-de-c>
- [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).oncreto/malla-electrosoldada.