

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“PROPUESTA DE CURVAS DE FRAGILIDAD DE VIVIENDAS
DE ALBAÑILERÍA CONFINADA NO INGENIERIL BASADAS
EN ENSAYOS EXPERIMENTALES EN LIMA
METROPOLITANA”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

ERIKA NORA FLORES TERREROS

ID: 0000-0002-4111-9951

ASESOR

Dr. CARLOS ALBERTO ZAVALA TOLEDO

ID: 0000-0001-9472-2036

LIMA-PERÚ

2025

© 2025, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Flores Terreros, Erika Nora

eflorest@uni.edu.pe

956717636

Dedicatoria

A mis padres, Washington Flores Eulogio y Juana Rosario Terreros Santillán, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida. por siempre estar a mi lado guiándome en el camino de la fe, ciencia e investigación, brindándome la fuerza necesaria para seguir adelante.

A mi querida hermana Ruth, al igual que yo, se dedica a la ciencia, desde diferentes campos, juntas con nuestro compromiso y esfuerzo, aportemos en el desarrollo de soluciones en energía e infraestructura, con el fin de promover un futuro más seguro y sostenible.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la vida y acompañarme en mi camino de la investigación.

A mi asesor el Dr. Carlos Zavala Toledo por su valiosa guía y por despertar en mi la inquietud de contribuir a la reducción los problemas sociales mediante el estudio y la aplicación de la vulnerabilidad sísmica.

Agradezco a los investigadores del CISMID por sus valiosos consejos y aporte en el desarrollo de esta investigación, así como a los asistentes de investigación, Luis Fernando, Amancio, André, Jenny y Jairo, y a los técnicos del laboratorio de estructuras, por su apoyo en la realización de los ensayos.

Finalmente, extendo mi gratitud al Centro Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) por financiar los ensayos en muros de albañilería, lo que ha hecho posible profundizar y dar continuidad a esta investigación.

Índice

Resumen	v
Abstract	vi
Prólogo	vii
Lista de tablas	viii
Lista de figuras	xi
Lista de símbolos y siglas	xvii
CAPÍTULO I: Introducción	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	2
1.3 Metodología	3
1.4 Objetivos del estudio	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
CAPITULO II: Marco teórico y conceptual	5
2.1 Ensayo cíclico estático de muros de albañilería	5
2.1.1 Curva de histéresis	5
2.1.2 Rigidez	6
2.1.3 Amortiguamiento equivalente histerético	7
2.1.4 Modelo matemático de histéresis	8
2.1.5 Idealización de la curva de capacidad o envolvente	10
2.2 Niveles de desempeño y estado de daño	13
2.3 Análisis dinámico	16
2.4 Registro sísmico	16
2.5 Curvas de fragilidad	16
CAPITULO III Programa experimental de ensayos en muros de albañilería informal	19

3.1	Introducción.....	19
3.2	Descripción de los especímenes	19
3.3	Construcción de los especímenes	21
3.3.1	Base de cimentación	21
3.3.2	Muro de albañilería confinada	22
3.3.3	Columnas de confinamiento	23
3.3.4	Viga solera	23
3.4	Descripción y configuración experimental de muros de albañilería.....	24
3.4.1	Sistema de aplicación de carga.....	24
3.4.2	Instrumentos de medición	25
3.4.3	Sistema de adquisición de datos	27
3.4.4	Protocolo de desplazamiento	28
CAPITULO IV Resultados y análisis experimental de los ensayos en muros de albañilería.....		29
4.1	Introducción.....	29
4.2	Comportamiento experimental de muros de albañilería de ladrillo solido artesanal	29
4.2.1	Curva de histéresis.....	29
4.2.2	Curva de capacidad	31
4.2.3	Degradación de rigidez.....	37
4.2.4	Espesores máximos de grietas.....	38
4.2.5	Daños observados en los especímenes durante el ensayo	39
4.3	Comportamiento experimental de muros de albañilería de ladrillo industrial pandereta.....	41
4.3.1	Curva de histéresis.....	41
4.3.2	Curva de capacidad	43
4.3.3	Degradación de rigidez.....	47
4.3.4	Espesores máximos de grietas.....	48
4.3.5	Daños observados de los especímenes durante el ensayo	48

4.4	Análisis de resultados.....	51
4.4.1	Curva de histéresis.....	51
4.4.2	Curva de capacidad promedio.....	54
4.4.3	Estado límite de daño.....	58
4.4.4	Idealización de curva envolvente.....	60
4.4.5	Disipación de energía.....	64
4.4.6	Espesores máximos de grietas.....	67
CAPÍTULO V Curvas de fragilidad en viviendas de albañilería informal		69
5.1	Introducción.....	69
5.2	Metodología	69
5.3	Características de viviendas en Lima Metropolitana y Callao	70
5.3.1	Tipo de material.....	72
5.3.2	Cantidad de pisos.....	73
5.3.3	Tipo de uso	75
5.3.4	Densidad de muros	76
5.4	Propuesta de tipología de viviendas	78
5.5	Características de la muestra de ensayos experimentales	83
5.5.1	Base de datos en muros de albañilería confinada.	83
5.5.2	Estados límites de daños y mecanismos de falla en muros de albañilería confinada.....	85
5.5.3	Calibración de los muros de albañilería informal	87
5.6	Análisis dinámico no lineal tiempo historia.....	90
5.6.1	Registros sísmicos	90
5.6.2	Curvas de capacidad de las viviendas.....	96
5.6.3	Procesamiento del análisis dinámico no lineal.....	104
5.7	Curvas de fragilidad de viviendas de albañilería.....	105
5.8	Análisis de las curvas de fragilidad.....	116
5.8.1	Escenarios de demanda sísmica.	116

5.8.2	Matrices de probabilidad de daño.....	118
5.8.3	Estado o grado de daño medio.....	124
	Conclusiones	157
	Recomendaciones	160
	Referencias bibliográficas	162
	Anexos	1

Resumen

Los terremotos representan aproximadamente el 50% de las muertes causadas por eventos naturales a nivel mundial, lo que resalta la necesidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica reforzando edificaciones vulnerables y proteger la vida de la población. Esta investigación tiene como objetivo determinar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería no ingenieril en Lima Metropolitana mediante el desarrollo de curvas de fragilidad.

La metodología se basa en una base de datos experimental de muros de albañilería confinada no ingenieril. Se establecieron tipologías de viviendas y su clasificación taxonómica para definir el nivel de exposición. Las curvas de capacidad por piso se obtuvieron mediante el modelo tetralineal, aplicando diez registros sísmicos escalados y realizando análisis no lineal tiempo historia. A partir de estos resultados, se generaron curvas de fragilidad específicas.

Los resultados muestran que, ante un sismo muy raro, como el esperado en Lima Metropolitana, debido al silencio sísmico, el 70 % de las viviendas presentan daño por inminente colapso, independientemente del tipo de ladrillo empleado. Además, se evidenció una mayor vulnerabilidad estructural en las viviendas de mayor altura en comparación con aquellas viviendas de un solo piso. Como producto de la investigación, se proponen curvas de fragilidad para cuarenta tipologías de viviendas, proporcionando una herramienta clave para la estimación su vulnerabilidad sísmica ante distintos escenarios sísmicos.

Palabras Clave: Vulnerabilidad sísmica, albañilería no ingenieril, modelo tetralineal, curvas de fragilidad.

Abstract

Earthquakes represent approximately 50% of deaths caused by natural events worldwide, which highlights the need to evaluate seismic vulnerability by reinforcing vulnerable buildings and protecting the lives of the population. This research aims to determine the seismic vulnerability of non-engineering masonry homes in Metropolitan Lima through the development of fragility curves.

The methodology is based on an experimental database of non-engineering confined masonry walls. Housing typologies and their taxonomic classification were established to define the level of exposure. The capacity curves per floor were obtained using the tetralinear model, applying ten scaled seismic records and performing nonlinear time history analysis. From these results, specific fragility curves were generated.

The results show that, in the event of a very rare earthquake, such as the one expected in Metropolitan Lima, due to seismic silence, 70 % of the dwellings present damage due to imminent collapse, regardless of the type of brick used. Furthermore, greater structural vulnerability was evident in higher-rise homes compared to single-story homes. As a product of the research, fragility curves are proposed for forty types of housing, providing a key tool for estimating their seismic vulnerability in different seismic scenarios.

Keywords: Seismic vulnerability, non-engineering masonry, tetralinear model, fragility curves.

Prólogo

En este trabajo, el autor aborda una problemática de gran relevancia para nuestra sociedad, considerando que el 83% de las viviendas en Lima Metropolitana están construidas con albañilería. Esta realidad, sumada al silencio sísmico y la alta probabilidad de que el sismo esperado alcance una magnitud de 8.9Mw como resultado de investigaciones previas del CISMID durante el proyecto SATREPS (2010-2015), resalta la necesidad de profundizar en el análisis de la vulnerabilidad sísmica de estas viviendas de albañilería confinada no ingenieril.

La presente investigación propone una metodología para calcular la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería, basándose en ensayos experimentales que permiten desarrollar de curvas de fragilidad. Esta metodología permite estimar la vulnerabilidad y el cálculo del riesgo sísmico, contribuyendo así a la protección de la vida y el patrimonio de la población.

El trabajo realizado refleja un alto nivel de compromiso y rigor académico desde la planificación y ejecución de los ensayos experimentales hasta el análisis detallado de los resultados. Los ensayos revelan que los muros de albañilería confinada no cumplen el límite máximo de distorsión ante un sismo severo, según la Norma E070 de albañilería. Además, se realizaron una serie de simulaciones para estudiar el comportamiento de estas viviendas frente a diversos escenarios sísmicos, con el objetivo de ofrecer una metodología de evaluación adaptada a viviendas con características específicas como el número de pisos, niveles densidad de muros, tipo de material de construcción (ladrillo sólido artesanal y ladrillo tubular industrial)

La tesista ha demostrado habilidades técnicas y metodológicas destacables. Su esfuerzo ha dado lugar a una investigación que no solo aporta al conocimiento científico, sino que también tiene el potencial de influir en futuras políticas públicas y normativas relacionadas con la seguridad estructural.

Confío en que esta tesis se convertirá en una referencia clave para investigadores, profesionales del sector construcción y organismos encargados de la gestión del riesgo.

Carlos Alberto Zavala Toledo
Asesor de la tesis

Lista de tablas

Tabla N° 2.1 Formulación de la curva de capacidad- Tetra-Lineal	11
Tabla N° 3.1 Características de los especímenes ensayados.....	21
Tabla N°3.2 Descripción de canales de datos para los muros de albañilería.	26
Tabla N°3.3 Distorsión objetivo para el control de desplazamiento por ciclo.....	28
Tabla N° 4.1 Rigidez inicial experimental ML1CCA-1,2 y 3.....	37
Tabla N° 4.2 Daños Observados en ML1CCA-1	39
Tabla N° 4.3 Rigidez inicial ML2CCA -1,2 y 3.....	48
Tabla N° 4.4 Daños Observados en ML2CCA-1	49
Tabla N° 4.5. Resultado promedio de los ensayos.....	55
Tabla N° 4.6. Resultados del comportamiento de los muros de los ensayos experimentales	56
Tabla N° 4.7. Comportamiento de los muros de los ensayos experimentales	58
Tabla N° 4.8. Valores límites de agrietamiento, fluencia, resistencia máxima y estado último del modelo de curva Tetra Lineal.....	61
Tabla N° 4.9. Valores de los 04 estados límites del modelo Tetralineal	63
Tabla N° 4.10 Energía disipada en los muros de albañilería de ladrillo sólido....	64
Tabla N° 4.11 Energía disipada en los muros de albañilería de ladrillo Tubular. 64	
Tabla N° 4.12 Amortiguamiento Equivalente de Muros ML1CCA-1,2,3.....	65
Tabla N° 4.13 Amortiguamiento Equivalente de Muros ML2CCA-1,2,3.....	66
Tabla N° 5.1 Distribución del tipo de material	72
Tabla N° 5.2 Distribución del número de Pisos	74
Tabla N° 5.3 Distribución de Tipo de Uso	75
Tabla N° 5.4 Porcentaje de densidad mínima de muros según norma E.070.....	76
Tabla N° 5.5 Código de 40 tipologías de viviendas propuestas.....	82
Tabla N° 5.6 Características de los muros de albañilería confinada	84
Tabla N° 5.7 Distorsiones representativas ($\times 10^{-3}$).....	84
Tabla N° 5.8 Fallas observadas durante los ensayos de muros de albañilería confinada.....	85
Tabla N° 5.9.Niveles de Daño y Estados Límites de daño [Elaboración Propia]	87
Tabla N° 5.10. Parámetros de control de histéresis	89
Tabla N° 5.11 Información de los Registros Sísmicos.....	90
Tabla N° 5.12 Tipos de suelos de cada estación Acelerográfica.....	94
Tabla N° 5.13. Coeficientes de las formulaciones propuestas	96

Tabla N° 5.14 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L1 cimentado S1	106
Tabla N° 5.15 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L2 cimentado S1	107
Tabla N° 5.16 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L1 cimentado S2	108
Tabla N° 5.17 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L2 cimentado S2	108
Tabla N° 5.18 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L1 cimentado S3	109
Tabla N° 5.19 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L2 cimentado S3	110
Tabla N° 5.20 Niveles de demanda sísmica asociado a la aceleración en roca del litoral Peruano Zona 4	117
Tabla N° 5.21 Niveles de demanda sísmica asociado a los escenarios de riesgos sísmicos del litoral peruano	118
Tabla N° 5.22. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 1.5%	119
Tabla N° 5.23. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 2.0%	120
Tabla N° 5.24. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 2.5%	121
Tabla N° 5.25. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 3.0%.	122
Tabla N° 5.26. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 3.5%.	123
Tabla N° 5.27 intervalo de variación del parámetro de Dm para viviendas con muros ML1 y MI2	124
Tabla N° 5.28 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 1.5% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3.....	147
Tabla N° 5.29 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 1.5% cimentados en tipos de suelo S1, S2 1y S3.....	148
Tabla N° 5.30 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 2.0% cimentados en tipo de suelo S1, S2 1y S3.....	149

Tabla N° 5.31 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 2.0% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3.....	150
Tabla N° 5.32 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 2.5% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3.....	151
Tabla N° 5.33 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 2.5% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3.....	152
Tabla N° 5.34 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 3.0% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3.....	153
Tabla N° 5.35 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 3.0% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3.....	154
Tabla N° 5.36 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 3.5% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3.....	155
Tabla N° 5.37 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 3.5% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3.....	156

Lista de figuras

Figura N° 2.1 Comportamiento de un muro de albañilería de ladrillo solido ML1CCA-1 sometidos a cargas horizontales y carga axial de 140kN.....	5
Figura N° 2.2 Caída de rigidez de un muro de albañilería.....	6
Figura N° 2.3 Deformación de pared de extremo fijo sujeta a carga lateral.....	7
Figura N° 2.4. Lazo de histéresis carga-deflexión. (Wakabayashi, 1986).....	8
Figura N° 2.5 Modelo Tetralineal (Diaz, 2017b)	10
Figura N° 2.6 Curva Primaria Tetra-Lineal. (Diaz, 2017b)	12
Figura N° 2.7 Curva de Capacidad Tetra-Lineal-(Diaz, 2017b)	12
Figura N° 2.8. Nivel de desempeño objetivo y rangos en edificaciones (American Society of Civil Engineers, 2014).....	14
Figura N° 2.9 Nivel de desempeño de un muro de albañilería (Cardenas et al., 2014) ...	15
Figura N°3.1 Propiedades Geométricas de los 6 muros de albañilería confinada.	20
Figura N°3.2 Vista en planta del mecano de carga	25
Figura N°3.3 Esquema de la configuración del ensayo estático cíclico	25
Figura N°3.4 Distribución de sensores.....	27
Figura N°3.5 Data Logger y computadora personal	28
Figura N°3.6 Protocolo de desplazamientos objetivo	28
Figura N°4.1 Curva de histéresis del espécimen ML1CCA-1	30
Figura N°4.2 Curva de histéresis del espécimen ML1CCA-2	30
Figura N°4.3 Curva de histéresis del espécimen ML1CCA-3.....	31
Figura N°4.4 curva envolvente para primera aplicación de distorsión objetivo (1) (Color negro) y segunda (2) aplicación de distorsión objetivo (color rojo) de los especímenes (a) ML1CCA-1, (b) ML1CCA-2 y (c) ML1CCA-3.....	33
Figura N°4.5 Curva de capacidad de ML1CCA-1 en función de (a) carga vs desplazamiento y (b) esfuerzo de corte vs distorsión	34
Figura N°4.6 Curvas de capacidad de ML1CCA-2 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)	35
Figura N°4.7 Curvas de capacidad de ML1CCA-3 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)	36
Figura N°4.8. Comparativa de degradación de rigideces ML1CCA-1, ML1CCA-2 y ML1CCA-3.....	38
Figura N°4.9.Espesor máximo de grietas del espécimen ML1CCA-1.....	38
Figura N°4.10.Curva de histéresis del espécimen ML2CCA-1	41
Figura N°4.11.Curva de histéresis del espécimen ML2CCA-2	42

Figura N°4.12. Curva de histéresis del espécimen ML2CCA-3	42
Figura N°4.13 Curvas envolventes para primera (1) y segunda (2) aplicación de distorsión objetivo del espécimen (a) ML1CCA-1, (b) ML1CCA-2, (c) ML1CCA-3	44
Figura N°4.14 Curva de capacidad de ML2CCA-1 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)	45
Figura N°4.15 Curvas de capacidad de ML1CCA-2 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)	45
Figura N°4.16 Curvas de capacidad de ML2CCA-3 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)	46
Figura N°4.17. Comparativa de degradación de rigideces ML2CCA1,2,3	47
Figura N°4.18. Espesor máximo de grietas del espécimen ML2CCA-1	48
Figura N°4.19. Curva de histéresis de los especímenes ML1CCA-1, ML1CCA-2 y ML1CCA-3	52
Figura N° 4.20 Curva de histéresis de los especímenes ML2CCA-1, ML2CCA-2 y ML2CCA-3	53
Figura N°4.21. Curva de capacidad promedio de los muros de ladrillo artesanal sólido macizo	54
Figura N°4.22. Curva de capacidad promedio de los muros de ladrillo industrial tubular	55
Figura N° 4.23. Comparación de Curva envolvente en muros de ladrillo sólido y ladrillo industrial tubular en unidades de esfuerzo promedio vs distorsión.....	56
Figura N° 4.24. Curva de capacidad idealizada a un modelo Tetra Lineal de los muros artesanal sólido e industrial tubular.....	61
Figura N° 4.25. Comparación de la curva del modelo Tetra lineal y curva experimental en función de Esfuerzo y distorsión del Muro confinado de ladrillo Sólido (ML1CCA) y Muro confinado de ladrillo tubular (ML2CCA).....	63
Figura N°4.26. Amortiguamiento viscoso equivalente de los 03 especímenes ML1CCA-1,2,3 para el segundo ciclo	65
Figura N°4.27. Amortiguamiento viscoso equivalente de los 03 especímenes ML2CCA-1,2,3 para el segundo ciclo	66
Figura N° 4.28 Grietrometro.....	67
Figura N° 4.29. Espesores de grietas en los muros y columna de confinamiento medidos en (a) Ladrillo, (b) Mortero, (c) Columna.	68
Figura N° 5.1 Metodología para hallar curvas de fragilidad	70
Figura N°5.2 Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Lima al año 2022. (CISMID, 2022)	71
Figura N°5.3 Material Predominante de los 49 distritos de Lima	72

Figura N°5.4 Distribución de materiales(Diaz et al., 2023)	73
Figura N°5.5 Distribución de número de pisos por Distrito	74
Figura N°5.6 Distribución del número de pisos	74
Figura N°5.7 Distribución del tipo de Uso.....	75
Figura N° 5.8. Densidad promedio de viviendas de albañilería confinada.....	77
Figura N° 5.9. Vivienda promedio de 02 pisos de albañilería confinada.....	78
Figura N° 5.10 Vista en planta típica de viviendas de albañilería confinada con cinco densidades de muros de (1) 1.5%, (2) 2%, (3) 2.5%, (4) 3% y (5) 3.5%	81
Figura N° 5.11. Fallas de Muros de ladrillo solido (ML1)	86
Figura N° 5.12. Falla de Muros ML2.	86
Figura N° 5.13. Simulador Programa de Histéresis (Diaz, 2017a).....	88
Figura N° 5.14. Modelo de Histéresis Tetralineal (D-trilinear) calibrado	89
Figura N° 5.15. Red Acelerográfica de CISMID	91
Figura N° 5.16 Registro normalizado del terremoto de Lima 1966 – Estación Parque de la Reserva	92
Figura N° 5.17 Registro normalizado del terremoto de Lima 1970 – Estación Parque de la Reserva	92
Figura N° 5.18 Registro normalizado del terremoto de Lima 1974 – Estación Parque de la Reserva	92
Figura N° 5.19 Registro normalizado del terremoto de Lima 1974 – Estación Surco	92
Figura N° 5.20 Registro normalizado del terremoto de Lima 1974 – Estación La Molina	93
Figura N° 5.21 Registro normalizado del terremoto de Ático 2001 – Estación Moquegua	93
Figura N° 5.22 Registro normalizado del terremoto de Pisco 2007 – Estación UNICA....	93
Figura N° 5.23 Registro normalizado del Proyecto SATREPS. Estación CMA_5_1 (Callao)	93
Figura N° 5.24 Registro normalizado del Proyecto SATREPS. Estación CMA_7_1 (Callao)	94
Figura N° 5.25 Registro normalizado del Proyecto SATREPS. Estación DHN_5_1 (La Punta).....	94
Figura N° 5.26 Espectro de respuesta Normalizado de cada registro sísmico ubicado en diferentes tipos de suelo	95
Figura N° 5.27 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal solido de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 1.5%	97
Figura N° 5.28 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal solido de 1 a 4 pisos con densidad de muros 2.0%.....	98

Figura N° 5.29 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal solido de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 2.5%	99
Figura N° 5.30 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal solido de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 3.0%	99
Figura N° 5.31 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal Solido de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 3.5%	100
Figura N° 5.32 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 1.5%	101
Figura N° 5.33 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 2.0%	101
Figura N° 5.34 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 2.5%	102
Figura N° 5.35 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 3.0%	103
Figura N° 5.36 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 3.5%	103
Figura N° 5.37 Programa de cómputo del programa MDOF (Diaz, 2019b)	104
Figura N° 5.38 Curvas de fragilidad analítica para viviendas de 01 piso con densidad de muro de 2% contruidos con ladrillo solido artesanal (a, b, c), ladrillo Tubular industrial (d, e, f) y cimentadas en tipo de suelos S1, S2, y S3.	111
Figura N° 5.39 Curvas de fragilidad analítica para viviendas de 02 pisos con densidad de muro de 2% contruidos con ladrillo solido artesanal (a, b, c), ladrillo Tubular industrial (d, e, f) y cimentadas en tipo de suelos S1, S2, y S3.	112
Figura N° 5.40 Curvas de fragilidad analítica para viviendas de 03 pisos con densidad de muro de 2% contruidos con ladrillo solido artesanal (a, b, c), ladrillo Tubular industrial (d, e, f) y cimentadas en tipo de suelos S1, S2, y S3.	113
Figura N° 5.41 Curvas de fragilidad analítica para viviendas de 03 pisos con densidad de muro de 2% contruidos con ladrillo solido artesanal (a, b, c), ladrillo Tubular industrial (d, e, f) y cimentadas en tipo de suelos S1, S2, y S3.	114
Figura N° 5.42. Probabilidad de daño para las viviendas de tipología a) L1 y b) L2 sobre tipo de suelo S1	115
Figura N° 5.43. Probabilidad de daño para las viviendas de tipología c) L1 y d) L2 sobre tipo de suelo S2	115
Figura N° 5.44. Probabilidad de daño para las viviendas de tipología e) L1 y f) L2 sobre tipo de suelo S3.....	115

Figura N° 5.45 Curva de probabilidad anual de ausencia por aceleración espectral Aguilar et al (2017)	117
Figura N°5.46. Daño medio en viviendas 001ML1_S1	125
Figura N°5.47. Daño medio en viviendas 001ML1_S2	126
Figura N°5.48. Daño medio en viviendas 001ML1_S3	126
Figura N°5.49. Daño medio en viviendas 002ML1_S1	127
Figura N°5.50. Daño medio en viviendas 002ML1_S2	127
Figura N°5.51. Daño medio en viviendas 002ML1_S3	128
Figura N°5.52. Daño medio en viviendas 003ML1_S1	128
Figura N°5.53. Daño medio en viviendas 003ML1_S2	129
Figura N°5.54. Daño medio en viviendas 003ML1_S3	129
Figura N°5.55. Daño medio en viviendas 004ML1_S1	130
Figura N°5.56. Daño medio en viviendas 004ML1_S2	130
Figura N°5.57. Daño medio en viviendas 004ML1_S3	131
Figura N°5.58. Daño medio en viviendas 001ML2_S1	131
Figura N°5.59. Daño medio en viviendas 001ML2_S2	132
Figura N°5.60. Daño medio en viviendas 001ML2_S3	133
Figura N°5.61. Daño medio en viviendas 002ML2_S1	133
Figura N°5.62. Daño medio en viviendas 002ML2_S2	134
Figura N°5.63. Daño medio en viviendas 002ML2_S3	134
Figura N°5.64. Daño medio en viviendas 003ML2_S1	135
Figura N°5.65. Daño medio en viviendas 003ML2_S2	135
Figura N°5.66. Daño medio en viviendas 003ML2_S3	136
Figura N°5.67. Daño medio en viviendas 004ML2_S1	136
Figura N°5.68. Daño medio en viviendas 004ML2_S2	137
Figura N°5.69. Daño medio en viviendas 004ML2_S3	137
Figura N°5.70. Daño medio en viviendas 001M2.5L1	138
Figura N°5.71. Daño medio en viviendas 002M2.5L1	139
Figura N°5.72. Daño medio en viviendas 003M2.5L1	139
Figura N°5.73. Daño medio en viviendas 004M2.5L1	140
Figura N°5.74. Daño medio en viviendas 001M3.5L1	140
Figura N°5.75. Daño medio en viviendas 001M3.5L1	141
Figura N°5.76. Daño medio en viviendas 001M3.5L1	141
Figura N°5.77. Daño medio en viviendas 001M3.5L1	142
Figura N°5.78. Daño medio en viviendas 001M2.5L2	142
Figura N°5.79. Daño medio en viviendas 002M2.5L2	143

Figura N°5.80. Daño medio en viviendas 003M2.5L2	143
Figura N°5.81. Daño medio en viviendas 004M2.5L2	144
Figura N°5.82. Daño medio en viviendas 001M3.5L2	144
Figura N°5.83. Daño medio en viviendas 002M3.5L2	145
Figura N°5.84. Daño medio en viviendas 002M3.5L2	145
Figura N°5.85. Daño medio en viviendas 002M3.5L2	146

Lista de símbolos y siglas

Símbolos

K_e	: Rigidez efectiva.
G	: Módulo de corte.
$A_w = t.l$: Área de la sección de corte horizontal del muro.
H	altura del muro.
α'	: Coeficiente que determina la posición de los momentos de flexión a lo largo de la altura del muro.
$\alpha': 0.83$: Coeficiente de momentos de flexión a lo largo de la altura del muro para el caso de un extremo fijo.
$\alpha': 3.33$: Coeficiente de momentos de flexión a lo largo de la altura del muro para el caso de un muro en voladizo.
β_{equiv}	: Amortiguamiento equivalente.
b_0	: Coeficiente que controla la degradación de rigidez.
b_1	: Coeficiente que controla la relación de desplazamiento.
b_2	: Coeficiente que controla la relación de degradación de resistencia.
μ	: Ductilidad (δ_m/δ_y).
δ_m	: Amplitud máxima de pico de desplazamiento.
Q_m	: Fuerza restauradora de la amplitud máxima de pico de desplazamiento.
Q_c	: Resistencia al Agrietamiento.
Q_y	: Resistencia a la Fluencia.
Q_u	: Resistencia Ultima.
δ_c	: Desplazamiento en la Resistencia al Agrietamiento.
δ_y	: Desplazamiento en la Resistencia a la Fluencia.
δ_u	: Desplazamiento en la Resistencia Ultima.
K	: Rigidez Elástica.
K_c	: Rigidez de Agrietamiento.
K_y	: Rigidez de Fluencia, Rigidez secante en el punto de fluencia.
K_{py}	: Rigidez Post Fluencia.
a_1	: Relación entre la Fuerza de agrietamiento y la Fuerza a la fluencia (Q_c/Q_y).
a_2	: Relación de la rigidez de fluencia y rigidez elástica (K_y/K).
a_3	: Relación de la rigidez post Fluencia y rigidez elástica (K_{py}/K).

a_4	: Relación desplazamiento máximo y desplazamiento en la fuerza de fluencia (δ_m/δ_y).
a_5	: Factor de ductilidad (δ_u/δ_y), μ
a_6	: Relación de Resistencia ultima y Resistencia para un desplazamiento máximo (Q_u/Q_m).
P_c	: Punto de Agrietamiento.
K_0	: Rigidez Inicial elástica.
P_y	: Punto de Fluencia.
K_1	: Rigidez post elástica.
P_m	: Punto Máximo.
K_2	: Rigidez post fluencia.
P_u	: Punto Ultimo.
K_3	: Rigidez del estado ultimo.
Q	: Carga.
δ	: Deformación.
$F_i(D)$: Probabilidad condicional para un estado de daño "i" (o más estados de daños) del parámetro de demanda.
D	: Parámetro de demanda.
ϕ :	: Función de distribución normal estándar acumulativa (Gaussiana).
θ_i :	: Valor medio de la distribución de probabilidad para el estado de daño "i".
β_i	: Desviación estándar logarítmica o Factor de dispersión.
β_r	: Representa la variable aleatoria que es observado en los resultados del ensayo.
β_u	: Representa incertidumbre de que los Ensayos experimentales representan.
β	: Dispersión total.
L	: Longitud del muro.
t	: Espesor del muro.
A_p	: Área de la planta típica.
Z	: Factor de Zona.
U	: Tipo de uso.
S	: Calidad del tipo de suelo.
N	: Número de pisos de la vivienda.
h	: Altura del muro.

L	: Longitud del Muro.
l	: Longitud efectiva del muro ($\approx 0.9 \cdot L$).
P_t	: Relación de acero longitudinal ($a_t/t \cdot l$).
P_{we}	: Relación de acero transversal ($a_w/t \cdot sep \leq 0.0012$).
a_t	: Área de la sección de refuerzo de tensión de la columna en confinamiento.
a_w	: Área de la sección de refuerzo lateral de la columna en confinamiento.
σ_y	: Esfuerzo de fluencia de las varillas longitudinales de la columna.
σ_{wy}	: Esfuerzo de fluencia de los estribos transversales a la columna.
σ_0	: Carga axial.
F_m	: Resistencia axial de la pila de albañilería.
β_0	: Coeficiente de estado límite de daño de agrietamiento.
β_1	: Coeficiente de estado límite de daño de fluencia.
β_2	: Coeficiente de estado límite de daño máximo.
β_3	: Coeficiente de estado límite de daño último.
S_1	: Tipo de roca o suelo muy rígidos.
S_2	: Tipo de suelo intermedio.
S_3	: Tipo de suelo Blando.
L1	: Unidad de ladrillo Solido Artesanal.
L2	: Unidad de ladrillo Industrial Tubular.
$DM = \frac{\sum L \cdot t}{A_p}$: Densidad de Muros.
L	: Longitud del muro.
t	: Espesor del muro.
A_p	: Área de la planta típica.
Z	: El factor de Zona.
U	: Factor de uso.
S	: Factor de suelo.
N	: Número de pisos de la vivienda.
ED_i	: Estado de daño i .
PGA	: Aceleración pico del Suelo (Peak Ground Acceleration).
ϕ	: Función de distribución normal estándar acumulada (Gaussiana).
μ	: Valor medio del logaritmo natural de las aceleraciones pico del suelo.
σ	: Desviación estándar del logaritmo natural de las aceleraciones pico

	del suelo.
$P[ED_i/PGA]$: Probabilidad de alcanzar el estado de daño i para una aceleración pico del suelo.
Z	: Factor de Zona.
$D_m = \sum_{i=0}^N iP[DS_i]$: Estado de daño más probable.
N	: Número de estados de daños considerados.
i	: Número correspondiente al estado de daño.
$i=0$: Sin daño.
$i=1$: Daño leve.
$i=2$: Daño moderado.
$i=3$: Daño severo.
$i=4$: Daño colapso.
$P[DS_i]$: Probabilidad de ocurrencia de estado de daño i

Siglas

ADNL	: Análisis Dinámico No Lineal.
CMA_7_1 (Callao)	: Aceleración artificial de simulaciones de movimiento del terreno desde el deslizamiento No.7 y el hipocentro No.1
CISMID	: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
DHN_5_1 (La Punta)	: Aceleración artificial de simulaciones de movimiento del terreno desde el deslizamiento No.5 y el hipocentro No.1
FEMA 356	: Federal Emergency Management Agency (2000) “Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings”, Report N° FEMA 356, Washington D.C
FEMA 356 (2000).	: Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington DC, USA
MOL	: Estación Acelerográfica en la Molina.
MOQ001	: Estación Acelerográfica en Moquegua.
PQR	: Estación Acelerográfica en el Parque de la Reserva.
SATREPS	: Sociedad de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible. (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development)
SENCICO	: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.
SCO	: Estación Acelerográfica en Surco.
UNICA	: Estación Acelerográfica en Universidad de Ica.

CAPÍTULO I: Introducción

1.1 Generalidades

Perú al estar ubicado dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, es altamente vulnerable a sismos de gran magnitud, los cuales generan severos daños en infraestructura y significativas pérdidas a nivel social y económico. Ante este desastre de origen natural, es necesario contar con información cualitativa y cuantitativa para diseñar los planes de preparación en la protección de las personas y formar comunidades resilientes. Asimismo, contar con modelos y herramientas analíticas en la evaluación del riesgo sísmico ayudan a anticipar las posibles consecuencias de un terremoto sobre una determinada región geográfica. Evaluar el riesgo sísmico es cuantificar la vulnerabilidad de las viviendas y/o edificaciones con diferentes métodos, para la estimación de pérdidas por sismos.

En ese sentido, la comunidad científica en 1990, gracias a la iniciativa de la asamblea general de las Naciones Unidas, nombra el año “Decenio Internacional en la Reducción de Desastres Naturales” (IDNDR) para reducir los altos costos de reparación y mayores pérdidas de vidas humanas; incentivando en el desarrollo de metodologías para la evaluación de riesgo sísmico. En 1996, con el apoyo del gobierno japonés, el profesor Kenji Okazaki crea una metodología llamada RADIUS (herramienta para la evaluación del riesgo) para el diagnóstico de áreas urbanas; esta herramienta adopta 10 tipos de edificaciones basados en ciudades latinoamericanas, que tienen un parámetro muy importante el cual consiste en el comportamiento de las diferentes estructuras ante determinada intensidad sísmica, asignándole el nombre de Curva de Fragilidad o también llamadas funciones de fragilidad.

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) en 1999, publica el programa HAZUS (que proviene de Hazards U.S). Este programa evalúa la vulnerabilidad sísmica de ciudades en forma aproximada, empleando el Método del Espectro de Capacidad (Capacity Spectrum Method, CSM); el cual proporciona 36 tipologías estructurales de Norte América para una magnitud del sismo analizado, determinándose niveles de daños denominados: Pre-Norma, Bajo, Moderado y Alto, generando Curvas de fragilidad para los cuatro niveles de daños antes mencionados.

En el Perú entre las principales investigaciones relacionadas al uso de las curvas de fragilidad, se tiene investigaciones realizadas en el Centro Peruano Japonés de Investigación Sísmica y Mitigación de Desastres (CISMID), Zavala, et al (2007) en la que se desarrollaron la evaluación de la respuesta sísmica en las viviendas de Pisco con el

simulador de respuesta sísmica y nivel de daño (SRSND), calculando el porcentaje de daño en términos de costo de reparación, para luego hacer uso de las curvas de fragilidad en albañilería y adobe como parámetros de comparación para la evaluación de los resultados del simulador (SRSND).

Como se observa con el pasar de los años el desarrollo de las investigaciones en diferentes países, confirman que la cuantificación de la vulnerabilidad es muy importante para estimar el riesgo sísmico. En el Perú es de vital importancia medir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas, estudiando su comportamiento ante diferentes escenarios sísmicos. Debido a que la ciudad de Lima presenta un silencio sísmico (Pulido et al., 2015) y el crecimiento demográfico ha aumentado en los últimos años albergando el 30% de la población peruana aproximadamente, en la actualidad. El aporte de esta Tesis es cuantificar la vulnerabilidad de las viviendas de la ciudad de Lima a través de una metodología probabilística ante diferentes escenarios sísmicos y usando estudios experimentales en muros de albañilería.

1.2 Descripción del problema de investigación

En los últimos años, la principal causa de pérdidas humanas y económicas que se producen en el mundo debido a los terremotos es el inadecuado comportamiento sísmico de las estructuras, es decir se debe al colapso de las edificaciones. Las enseñanzas dejadas por los terremotos y el avance del conocimiento junto con la tecnología en el área de la ingeniería sismorresistente confirman la vulnerabilidad sísmica de las viviendas.

Los registros sísmicos en el Perú revelan que la ciudad de Lima tuvo grandes experiencias en sismos de gran magnitud, produciendo en los años 1940, 1966 y 1974, sismos con una magnitud máxima de VIII grados aproximadamente, causando pérdidas de vidas y daños en áreas urbanas. Investigaciones realizadas en el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) en el marco del Proyecto SATREPS (2010-2015) han demostrado que en la región Costa Centro donde se ubican Lima Metropolitana y Callao, existe una gran probabilidad de ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

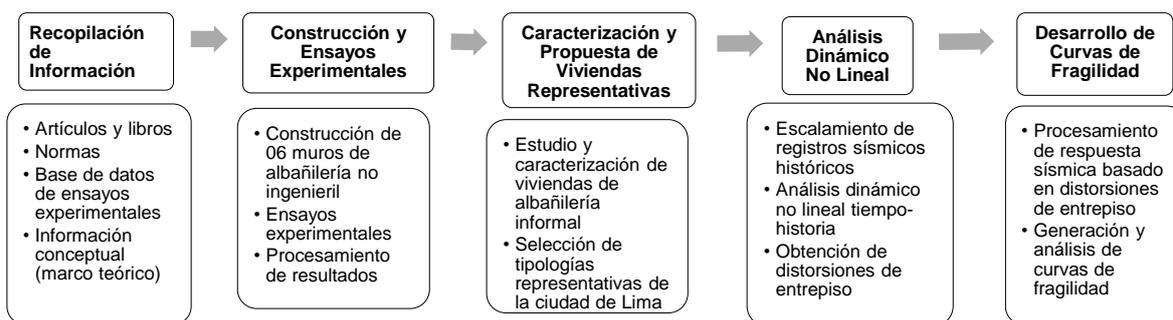
Por otro lado, el Perú tiene 6 censos realizados desde los años 1940, 1961, 1972, 1983, 2007 hasta el año 2017. Los resultados de la evolución poblacional por región nos muestran que la región de la Costa representa más de la mitad de la población en el país, siendo la población censada con 29 millones 381 mil 884 habitantes de acuerdo con los resultados del último censo 2017, que representa un tercio de la población del país que viven en Lima Metropolitana con 32.3% (9 millones de habitantes aproximadamente) (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018). Por lo tanto, a medida que la ciudad

crece se hacen más vulnerables ante la amenaza sísmica, generando pérdidas económicas y humanas.

Por esta razón, es necesario contar con estudios de vulnerabilidad sísmica de las viviendas debido a que las características de sitio influyen en su respuesta sísmica, para así poder prever pérdidas tanto económicas, sociales y humanas, siendo la finalidad del estudio de la vulnerabilidad, intervenir y reforzar las estructuras más vulnerables con planes de prevención y mitigación de desastres y con el apoyo de institución afines.

1.3 Metodología

En este trabajo se define y aplica una metodología para la elaboración de las curvas de fragilidad de viviendas de albañilería no ingenieril representativas de la ciudad de Lima. El procedimiento analítico seguido en este estudio se describe brevemente a continuación: 1) Recopilación de artículos, libros, Normas, estudio de base de datos de ensayos experimentales y toda información necesaria para una mejor comprensión de los aspectos conceptuales como se indicó en el marco teórico. 2) Construcción, ensayo experimental y procesamiento de ensayos de 06 muros de albañilería no ingenieril o informal. 3) Estudio, caracterización y propuesta de viviendas representativas de albañilería no ingenieril de la ciudad de Lima. 4) Escalamiento de registros sísmicos históricos para el análisis dinámico no lineal tiempo historia y obtener como respuesta distorsiones de entrepiso de las viviendas representativas. 5) Procesamiento de la respuesta sísmica basado en distorsión de entrepiso, desarrollo y análisis de las curvas de fragilidad de las viviendas representativas de la ciudad de Lima.



Metodología para hallar curvas de Fragilidad

1.4 Objetivos del estudio

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar curvas de fragilidad sísmica para viviendas representativas de albañilería no ingenieril o informal de la ciudad de Lima mediante el análisis dinámico no lineal tiempo historia utilizando ensayos experimentales de muros de albañilería no ingenieril.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar resultados de ensayos experimentales en muros de albañilería no ingenieril, calibrando los modelos numéricos de los muros para la obtención del nivel de daño, definiendo los estados límites de daño y nivel de desempeño de los muros de albañilería no ingenieril.
- Establecer viviendas representativas de albañilería confinada de la ciudad de Lima mediante el análisis de resultados estadísticos de informes de riesgo sísmico de los distritos estudiados por CISMID.
- Desarrollar simulaciones numéricas de respuesta en el tiempo de las viviendas de albañilería confinada no ingenieril y desarrollar curvas de fragilidad de viviendas representativas para cada nivel de daño, analizando la respuesta probabilística para distintos niveles de intensidad sísmica

CAPITULO II: Marco teórico y conceptual

2.1 Ensayo cíclico estático de muros de albañilería

El objetivo de los ensayos cíclicos estáticos es determinar el comportamiento estructural del muro frente a fuerzas cíclicas laterales que generan esfuerzo de cortantes. Estos ensayos permiten determinar propiedades como: la rigidez elástica, rigideces inelásticas, la resistencia máxima y resistencia última, las cuales conforman la curva de capacidad del muro. Además, observar los patrones de falla y/o evolución de daños a medida que se producen deformaciones generando agrietamiento en el sistema.

2.1.1 Curva de histéresis

La curva de histéresis es la respuesta del comportamiento de un elemento bajo cargas cíclicas estáticas de carga y descarga que representaría a un sismo real; gráficamente, las curvas de histéresis están en función de la carga o resistencia (kN) y desplazamiento (mm) y está conformada por varios lazos que se ubican entre el primer y tercer cuadrante. Así mismo, nos permite conocer la resistencia máxima, degradación de rigidez, amortiguamiento y la energía que disipa el muro por cada lazo de histéresis.

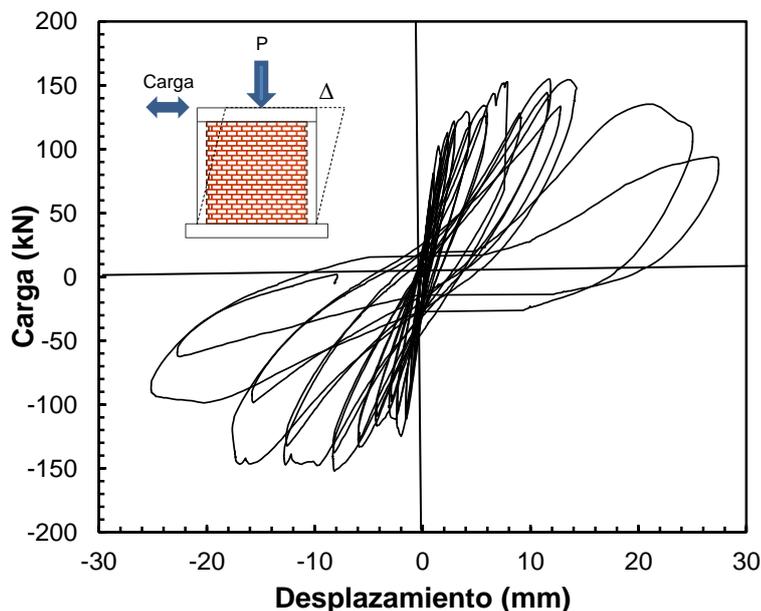


Figura N° 2.1 Comportamiento de un muro de albañilería de ladrillo sólido ML1CCA-1 sometidos a cargas horizontales y carga axial de 140kN

2.1.2 Rigidez

La rigidez de un muro estructural es un parámetro muy importante en una estructura y el periodo de vibración de una edificación en consideración depende de las rigideces de los muros, y la fuerza cortante sísmico es distribuido entre las paredes de acuerdo con su rigidez individual.

La rigidez de un elemento estructural está definida por el efecto de acción, corte y/o momento flector, el cual causa un desplazamiento unitario y/o rotación del elemento en consideración. La rigidez del elemento depende de las propiedades mecánicas de los materiales constituyentes, su geometría y las restricciones de borde.

La Figura N° 2.2 muestra la rigidez equivalente por cada lazo de histéresis donde se observa que conforme va aumentando la deformación máxima de cada lazo, la rigidez disminuye.

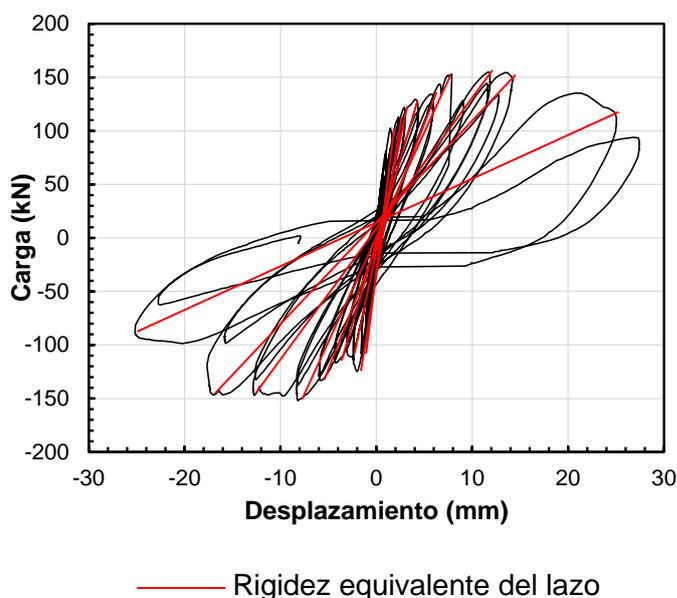


Figura N° 2.2 Caída de rigidez de un muro de albañilería.

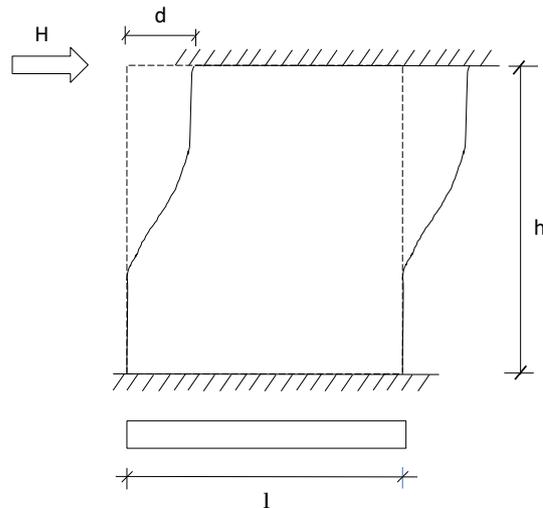


Figura N° 2.3 Deformación de pared de extremo fijo sujeta a carga lateral.

$$K_e = \frac{GA_w}{1.2h \left[1 + \alpha' \frac{G}{E} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

Donde:

K_e : Rigidez efectiva;

G: módulo de corte;

$A_w = t \cdot l$: Área de la sección de corte horizontal del muro;

H: altura del muro;

α' : Coeficiente que determina la posición de los momentos de flexión a lo largo de la altura del muro;

α' : 0.83 en el caso de un extremo fijo

α' : 3.33 en el caso de un muro en voladizo.

2.1.3 Amortiguamiento equivalente histerético

Este amortiguamiento ocurre cuando una estructura experimenta inversiones de signo de la carga dentro del rango inelástico como se observa en la Figura N° 2.4, la energía que corresponde al área del lazo se disipa en el ciclo. Esta disipación en la energía se define como amortiguamiento equivalente.

En la Figura N° 2.4, presenta un lazo de histéresis en términos de la relación fuerza desplazamiento. La energía introducida desde el punto D hasta el punto A, se representa por el área definida por los puntos DAE. Cuando la estructura se desplaza del punto A al

punto B, la energía almacenada se descarga representada por el área BEA. Lo mismo ocurre entre los puntos B y C, y entre los puntos C y D. En consecuencia, la energía que correspondiente al área ABCD se disipa en un ciclo completo de inversión de carga.

Este amortiguamiento asociado con el lazo de histéresis en el rango inelástico puede incorporarse en el análisis al suponer un resorte que refleje las características de restauración no elástica. (Wakabayashi, 1986).

$$\beta_{equiv} = \frac{1}{4\pi} x \frac{\text{área de lazo}}{\Delta OAE + \Delta OCF} = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W} \quad (2)$$

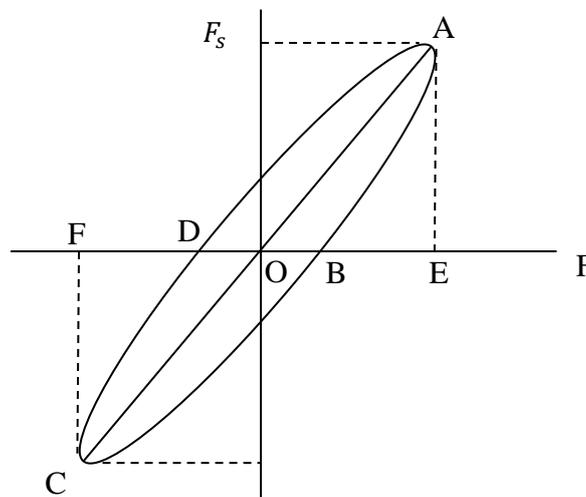


Figura N° 2.4. Lazo de histéresis carga-deflexión. (Wakabayashi, 1986)

2.1.4 Modelo matemático de histéresis

Un modelo de histéresis se obtiene al extraer características comunes de las relaciones de resistencia-deformación (fuerzas de restitución) observados en ensayos de laboratorio para miembros con propiedades similares. El modelo de histéresis de un miembro debe poder expresar relaciones de resistencia-deformación en cualquier historia de carga incluida las cargas reversibles.

Muchos estudios experimentales sobre las características de la fuerza de restauración inelástica se han realizado con respecto a las relaciones de esfuerzo-deformación en los materiales, fuerza-desplazamiento en miembros y fuerza desplazamiento en pórticos. (Akenori Shibata, 2010)

Existen muchas investigaciones en modelos matemáticos de histéresis que representan las curvas de histéresis para diferentes sistemas estructurales y tipo de material. Entre los modelos de histéresis que existen se encuentran: modelo bilineal, modelo de Takeda, modelo Takeda Slip, modelo de degradación Trilineal (D-tri model), modelo orientado al origen etc. Sin embargo, el modelo matemático que más se ajusta a muros de albañilería confinada, permite idealizar el comportamiento de histéresis llamado modelo QuadLinear o Tetralineal ajustándose a los ensayos experimentales observados en el Laboratorio de Estructuras del CISMID.

El modelo de histéresis fue adoptado por el profesor T. Saito. Este modelo simula las características dominantes de rigidez a corte en el muro de albañilería confinada.

El modelo de histéresis está definido por 03 parámetros que controlan la rigidez, desplazamiento y resistencia como se observa en la Figura N° 2.5

Donde:

- b_0 Controla la degradación de rigidez
- b_1 Controla la relación de desplazamiento
- b_2 Controla la relación de degradación de resistencia.
- μ Ductilidad (δ_m/δ_y)
- δ_{max} Desplazamiento máximo.
- δ_y Desplazamiento en la resistencia de fluencia.
- Q_{max} Resistencia máxima.
- K_y Rigidez de fluencia, Rigidez secante en el punto de fluencia.
- K_d Rigidez de descarga
- K_m Rigidez correspondiente al punto máximo.
- K_s Rigidez de deslizamiento.

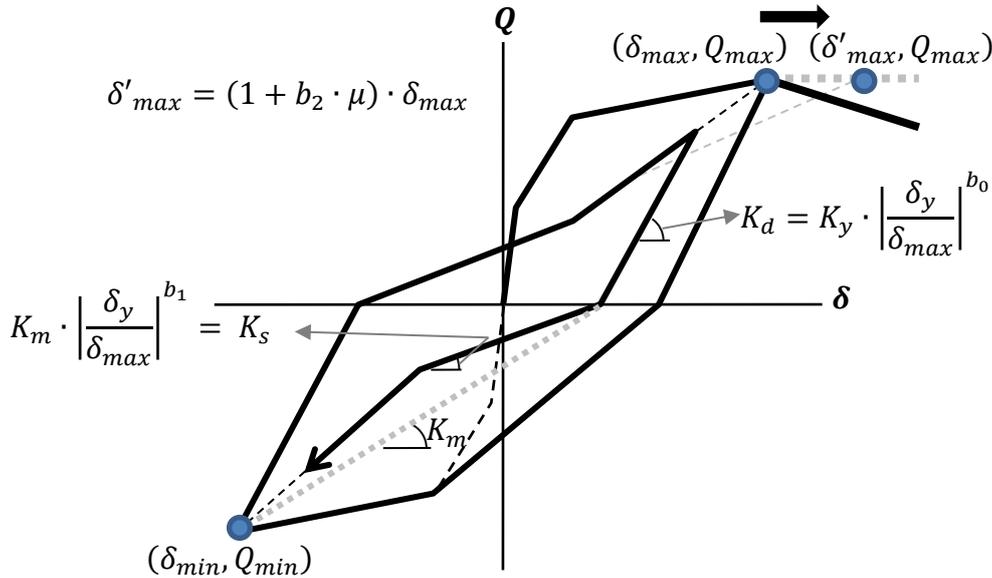


Figura N° 2.5 Modelo Tetralineal (Diaz, 2017b)

2.1.5 Idealización de la curva de capacidad o envolvente

La curva de capacidad está definida como la curva envolvente del comportamiento histórico de un elemento estructural sujeto a cargas cíclicas. Esta curva está relacionada con la carga lateral en el eje de las ordenadas y desplazamiento lateral en el eje de las abscisas.

La idealización de la curva envolvente o curva primaria está representada por el modelo Tetra-Lineal adaptado por el Profesor Saito y estudiado por (Diaz, 2017b), como se observa en la Figura N° 2.6 y en la Figura N° 2.7 donde la curva tiene la relación carga – desplazamiento bajo carga monótonica creciente y la Tabla N° 2.1 muestra las formulaciones de la curva de capacidad

Donde:

δ_m : Amplitud máxima de pico de desplazamiento. Q_y : Resistencia a la Fluencia.

Q_m : Fuerza restauradora de la amplitud máxima de pico de Desplazamiento. Q_u : Resistencia Ultima.

Q_c :	Resistencia al Agrietamiento	δ_c :	Desplazamiento en la Resistencia al Agrietamiento
δ_y :	Desplazamiento en la Resistencia a la Fluencia.	δ_u :	Desplazamiento en la Resistencia Última.
K :	Rigidez Elástica	K_c :	Rigidez de Agrietamiento
K_y :	Rigidez de Fluencia, Rigidez secante en el punto de fluencia	K_{py} :	Rigidez Post Fluencia
a_1 :	Relación entre la Fuerza de agrietamiento y la Fuerza a la fluencia (Q_c/Q_y)	a_2 :	Relación de la rigidez de fluencia y rigidez elástica (K_y/K)
a_3 :	Relación de la rigidez post Fluencia y rigidez elástica (K_{py}/K)	a_4 :	Relación desplazamiento máximo y desplazamiento en la fuerza de fluencia (δ_m/δ_y)
a_5, μ :	Factor de ductilidad (δ_u/δ_y)	a_6 :	Relación de Resistencia última y Resistencia para un desplazamiento máximo (Q_u/Q_m)

Tabla N° 2.1 Formulación de la curva de capacidad- Tetra-Lineal

Para la Curva de capacidad	Complementario
$K = 4\pi^2 \cdot m/T^2$	
$K_y = a_2 \cdot K$	
$K_3 = K_{py} = a_3 \cdot K$	$K_1 = K_c = K, K_3 = K_u$
$\delta_c = a_1 \cdot a_2 \cdot \delta_y$	$K_2 = \frac{(1 - a_1) \cdot a_2}{(1 - a_1 \cdot a_2)} \cdot K$
$\delta_m = a_4 \cdot \delta_y$	$K_3/K_y = a_3/a_2$
$\delta_u = a_5 \cdot \delta_y$	$T_y/T = \sqrt{1/a_2}$
$Q_c = a_1 \cdot a_2 \cdot K \cdot \delta_y$	
$Q_y = a_2 \cdot K \cdot \delta_y$	
$Q_m = [a_2 + a_3 \cdot (a_4 - 1)] \cdot K \cdot \delta_y$	
$Q_u = [a_2 + a_3 \cdot (a_5 - 1)] \cdot a_6 \cdot K \cdot \delta_y$	

Nota:(Diaz, 2017b)

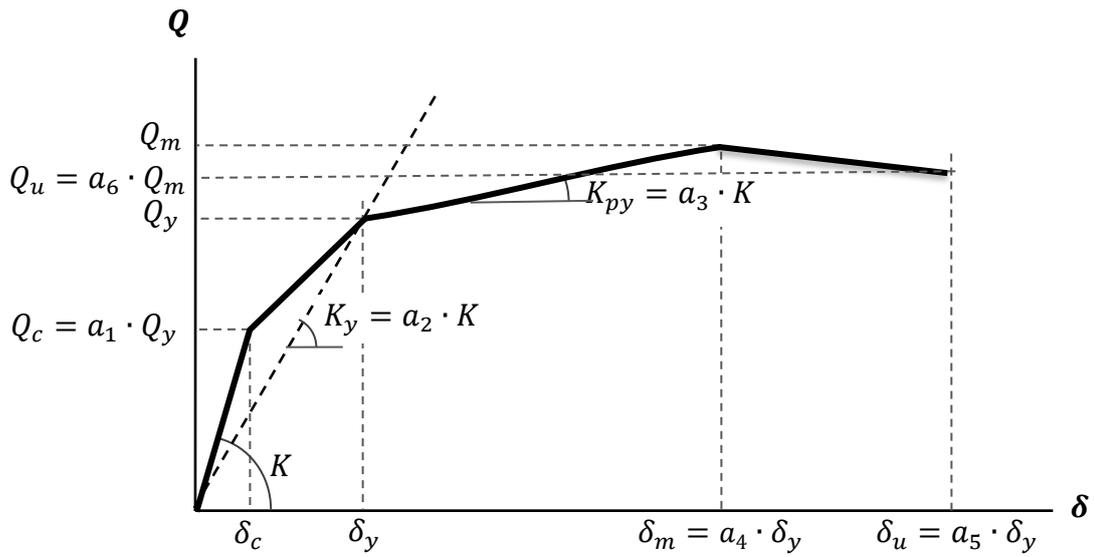


Figura N° 2.6 Curva Primaria Tetra-Lineal. (Diaz, 2017b)

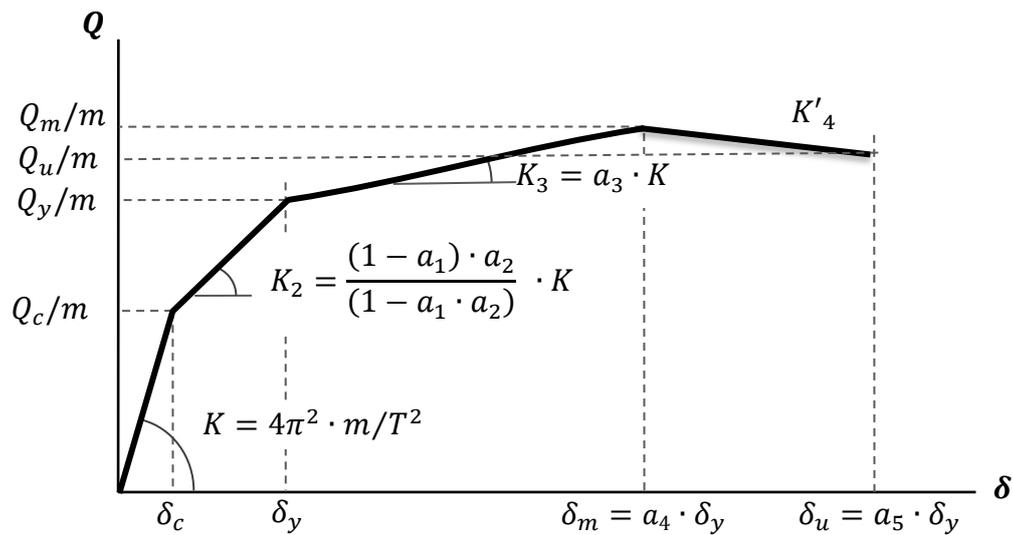


Figura N° 2.7 Curva de Capacidad Tetra-Lineal-(Diaz, 2017b)

2.2 Niveles de desempeño y estado de daño

El comportamiento de las estructuras está expresado en niveles de desempeño objetivo expresados en estados de daños que podrían experimentar durante un terremoto. Estos incluyen la capacidad de reanudar las funciones normales dentro del edificio, la conveniencia de ocupación post-terremoto, y el riesgo para la seguridad de la (Federal Emergency Management Agency, 2000)

El nivel de desempeño describe una condición de límite de daño que puede considerarse satisfactoria para un edificio determinado y un movimiento de suelo dado y está establecido en tres aspectos fundamentales:

1. El daño físico dentro del edificio, tanto para componentes estructurales y no estructurales.
2. La amenaza de la seguridad de los ocupantes del edificio creado por el daño.
3. La capacidad de funcionalidad del edificio posterior al terremoto.

El estado previsto después del terremoto de los edificios descritos en estos cuadros tiene fines comparativos y no debe utilizarse en el proceso de evaluación de la seguridad posterior al terremoto.

A continuación, se describe los niveles de desempeño definidos por el (American Society of Civil Engineers, 2014) para elementos estructurales.

Operacional: Se definirá como el estado de daño post terremoto en el que los componentes estructurales y no estructurales son capaces de soportar las funciones previas al terremoto presentes en la estructura.

Ocupación Inmediata (S-1): se definirá como el estado de daño posterior a un sismo que permanece seguro de ocupar. Esencialmente conserva su resistencia y rigidez previas al sismo, y cumple los criterios de aceptación especificados en esta norma para este nivel de desempeño estructural

Seguridad de Vida (S-3): se definirá como el estado de daño posterior a un sismo que incluye daños a los componentes estructurales, pero conserva un margen frente al inicio de colapso estructural parcial o total.

Prevención al colapso (S-5): Se definirá como el estado de daño posterior a un sismo que incluye daños a componentes estructurales de modo que la estructura continúe soportando cargas de gravedad, pero no conserva ningún margen contra el nivel de colapso para este nivel de desempeño estructural.

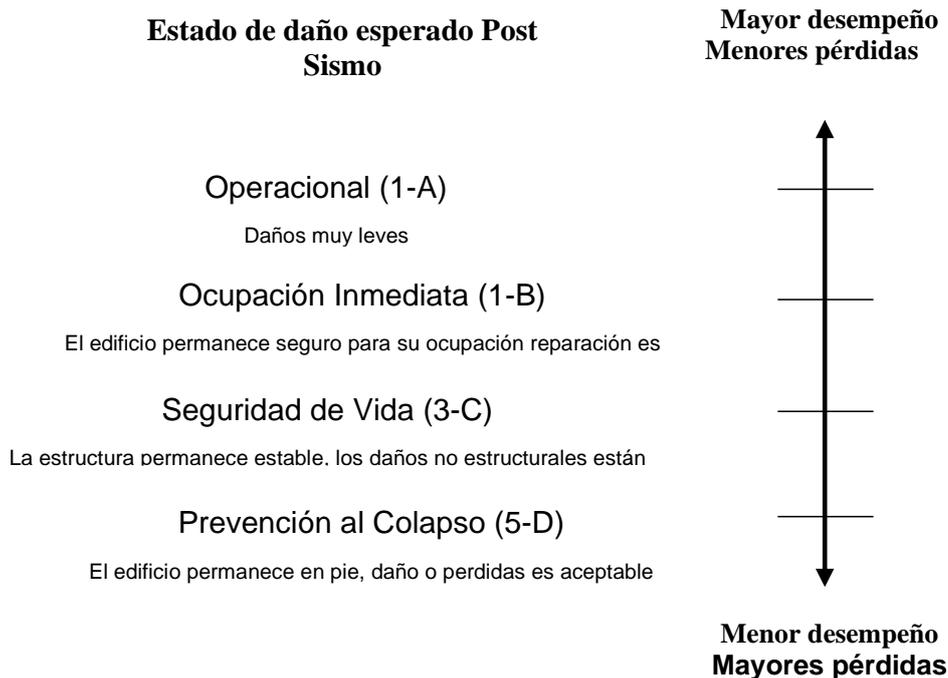
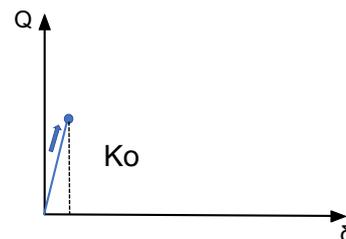


Figura N° 2.8. Nivel de desempeño objetivo y rangos en edificaciones (American Society of Civil Engineers, 2014)

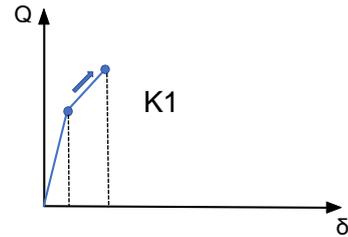
Las distorsiones son valores típicos que ilustran la respuesta estructural global asociada a varios niveles de desempeño estructural.

Por otro lado, los muros de albañilería sufren daños en sus elementos estructurales y con base en evidencia experimental (Cardenas et al., 2014) propone 04 procesos de estados límites de daños para muros de albañilería confinada: a) Estado Elástico, b) Estado post Elástico, c) Estado de Fluencia, d) Estado Ultimo obtenidos de la base de datos de ensayos experimentales en muros de albañilería del Laboratorio de estructuras del CISMID y en la Figura N° 2.9 se observa los niveles de desempeño de un muro de albañilería conforme va desarrollando su capacidad asociado a su nivel de desempeño estructural.

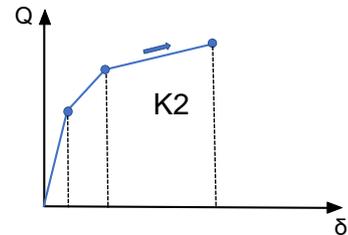
- a) Estado Elástico: Ocurre cuando el muro tiene un comportamiento con rigidez inicial (K_0) hasta que aparece el primer agrietamiento en el muro y agrietamiento horizontal en las columnas Alcanza una fuerza lateral (P_c).



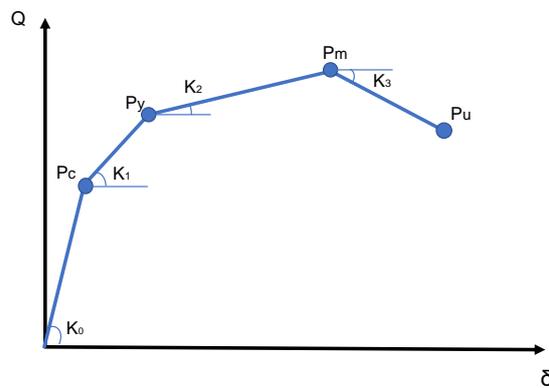
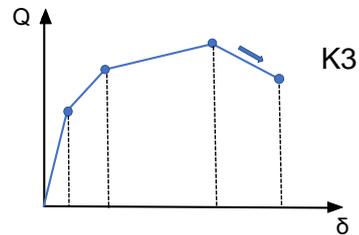
b) Estado Post Elástico: Entre el primer agrietamiento y el agrietamiento diagonal inicial alcanza una fuerza lateral (P_y) degradándose la rigidez post elástica (K_1)



c) Estado de Fluencia: Esta caracterizado Por el incremento del agrietamiento diagonal. Además, el incremento de desplazamiento e incremento de resistencia. Alcanza una fuerza máxima de (P_m) pero una leve degradación de rigidez (K_2)



d) Estado Ultimo: El decaimiento de la rigidez teniendo como pendiente negativa (K_3). Alcanza una fuerza (P_u) considerando una reducción de resistencia del 20%.



Donde:

- P_c : Punto de Agrietamiento
- K_0 : Rigidez Inicial elástica
- P_y : Punto de Fluencia
- K_1 : Rigidez post elástica
- P_m : Punto Máximo
- K_2 : Rigidez post fluencia
- P_u : Punto Último
- K_3 : Rigidez del estado ultimo
- Q : Carga
- δ : Deformación

Figura N° 2.9 Nivel de desempeño de un muro de albañilería (Cardenas et al., 2014)

2.3 Análisis dinámico

El análisis dinámico, busca conocer los desplazamientos y esfuerzos que se generan en la estructura, cuando estas son sometidas a cargas dinámicas, esto es, que varían con el tiempo. Para obtener la respuesta dinámica de una estructura sometida a un sismo grande es necesario el análisis dinámico inelástico. (Wakabayashi, 1986)

En el análisis dinámico de la historia en el tiempo, usualmente la estructura se reemplaza por un sistema de masas concentradas. Es necesario establecer un modelo de histéresis asociado con la fuerza restauradora. Después de determinar el factor de amortiguamiento y el modelo de histéresis y escoger un diseño apropiado para el sitio del edificio, se lleva a cabo la integración directa paso a paso mediante computadora. Los resultados importantes del cálculo son los valores máximos de la historia en el tiempo de cantidades como el cortante de entrepiso, el momento de volteo, la deflexión, el desplazamiento lateral de entrepiso. (Wakabayashi, 1986)

2.4 Registro sísmico

Los movimientos sísmicos se caracterizan por los siguientes parámetros (1) amplitud máxima de aceleración; (2) frecuencia predominante o periodo predominante, y (3) duración del movimiento. De estas características se puede obtener la historia en el tiempo, del movimiento.

Con este fin, se genera un movimiento sísmico sintético con las características deseadas, o se modifican un sismo existente (Seed, Idriss y Kiefer, 1969). Los registros sísmicos tomados en el terreno se afectan grandemente por el mecanismo de la fuente, geología de la trayectoria, condiciones locales del sitio y como los registros están limitados en número, los movimientos artificiales (simulados) del terreno algunas veces se utilizan para el análisis dinámico en adición a los registros de los sismos reales. Las ondas sísmicas artificiales se construyen estadísticamente a partir del contenido de frecuencia, variación de la amplitud y duración del temblor. Son convenientes por que se pueden obtener espectros de respuesta relativamente continuos que concuerdan con los espectros de diseño uniformes (Wakabayashi, 1986).

2.5 Curvas de fragilidad

Las curvas de Fragilidad representan la probabilidad que una estructura exceda un determinado estado límite de daño en función de un parámetro que representa la intensidad sísmica, como la distorsión de entrepiso de la aceleración del nivel de techo.

Estas curvas de fragilidad se pueden obtener mediante experimentos, observaciones de campo, opinión de expertos y procesos de simulación.

Las curvas de fragilidad también llamada funciones de vulnerabilidad, son de forma distribución log normal acumulada, teniendo como un valor medio, θ , y la desviación estándar logarítmica, o el factor de dispersión β . La forma matemática para las funciones de fragilidad es:(Porter, 2021)

$$F_i(D) = \Phi\left(\frac{\ln(D/\theta_i)}{\beta_i}\right) \quad (3)$$

$$\theta_i = e^{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \ln(D_i)} \quad (4)$$

$F_i(D)$: Probabilidad condicional para un estado de daño "i" (o más estados de daños) del parámetro de demanda.

D: parámetro de demanda

Φ : Función de distribución normal estándar acumulativa (Gaussiana)

θ_i : Valor medio de la distribución de probabilidad para el estado de daño "i"

β_i : Desviación estándar logarítmica o Factor de dispersión

La dispersión, β , representa la incertidumbre en el valor real del parámetro de demanda, D, que un estado de daño "i" es probable que inicie. Esta incertidumbre es el resultado de la variabilidad de la calidad de construcción y la instalación de componentes en una edificación, así como la variabilidad en la historia de carga que un componente puede experimentar antes de la falla. Cuando los parámetros de fragilidad se determinan sobre la base al conjunto limitado de datos de ensayo, dos contribuyentes a la incertidumbre deben ser considerados. El primero de estos, denominado β_r , representa la variable aleatoria que es observado en los datos de ensayo donde el cual los parámetros de fragilidad son determinados. El segundo termino β_u , representa incertidumbre de que las pruebas representan las condiciones reales de instalación de carga, o incertidumbre de que los datos disponibles son una muestra adecuada de medida para representar con precisión la verdadera variabilidad aleatoria. La dispersión total, β , es calculada:

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

β_r = Representa la variable aleatoria que es observado en los resultados del ensayo.

β_u = Representa incertidumbre de que los Ensayos experimentales representan las condiciones reales de instalación de carga, o incertidumbre de que los datos disponibles son una muestra adecuada de medida para representar con precisión la verdadera variabilidad aleatoria.

β = Dispersión total.

De acuerdo con las características propuestas por el manual del Fema_58_1: de los datos experimentales se tiene un número mínimo de especímenes ensayados con la misma configuración y protocolo de cargas en una sola dirección el valor de $\beta_u = 0.25$

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

CAPITULO III Programa experimental de ensayos en muros de albañilería informal

3.1 Introducción

El presente capítulo describe los procedimientos a seguir para realizar los ensayos experimentales en muros según los lineamientos del (Federal Emergency Management Agency, 2007). Además, se detalla la geometría de los muros de albañilería confinada informal, las propiedades físicas de las unidades de albañilería y el procedimiento constructivo correspondiente. Los especímenes ensayados fueron 6 muros de albañilería confinada con dos tipos de unidades de ladrillo informal, tres (3) muros construidos con unidades de ladrillo solido artesanal y tres (3) muros con unidad de ladrillo industrial tubular.

Estos ensayos formaron parte del proyecto de investigación “Ensayos de Muros a Escala Real y la Elaboración de las Correspondientes Curvas de Fragilidad”(Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2017a), desarrollado en el marco del convenio específico de cooperación interinstitucional entre el Servicio de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) y la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.2 Descripción de los especímenes

Los especímenes ensayados fueron seis (06) muros de albañilería confinada con dos tipos de unidades de ladrillo informal. Tres (03) muros con unidades de ladrillo artesanal sólido y tres (03) muros con unidades de ladrillo industrial pandereta. Los seis muros de albañilería confinada fueron ensayados hasta el límite de rotura (Distorsión 1/100).

Los seis muros de albañilería confinada con unidades de ladrillo informal fueron construidos y ensayados en el Laboratorio de estructuras del CISMID de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los muros de albañilería confinada para ambos tipos de unidades de ladrillo informal tienen las siguientes características geométricas y aceros de refuerzo como se observa en la Figura N°3.1.

La Figura N°3.1 muestra el muro de albañilería confinada con vista de elevación, corte, planta y detalles de la viga. Los muros tienen una longitud de ancho de 2.6 m, una altura de 2.5 m, y un espesor de 0.114 m para muros con ladrillo artesanal sólido y de espesor 0.108 m para los que emplean industrial tipo ladrillo pandereta. Las columnas de confinamiento y la viga están hechas de concreto armado, con dimensiones de la columna

de 0.20m de largo y 0.12m de ancho y 0.30x0.30m para la viga. La zona de confinamiento entre el muro y las columnas tienen un endentado de 0.05m de longitud.

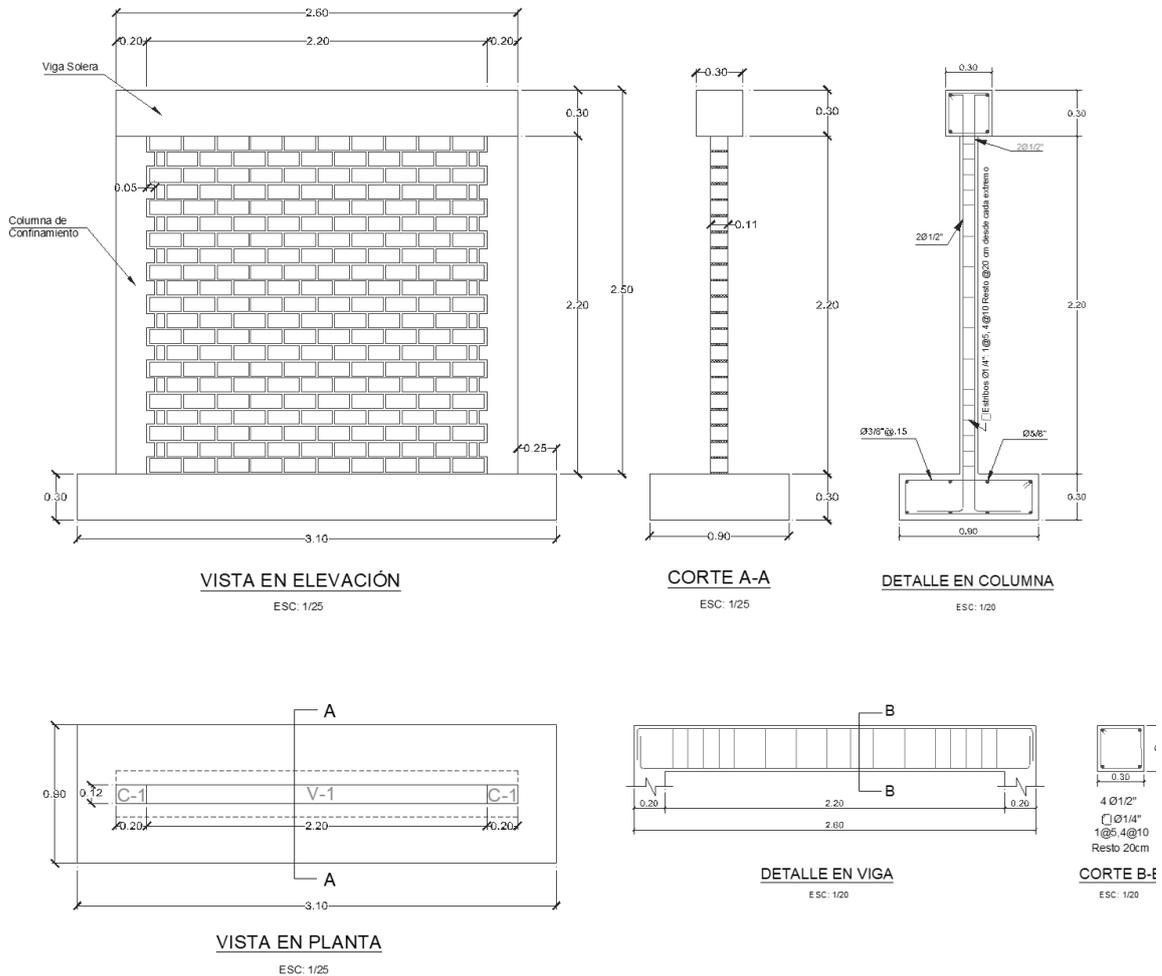


Figura N°3.1 Propiedades Geométricas de los 6 muros de albañilería confinada.

Fuente: Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2017b)

En la Tabla N° 3.1 presenta las características de los especímenes ensayados, especificando la cantidad, el nombre de identificación, el tipo de unidad de albañilería, la carga axial aplicada y el límite de distorsión alcanzado para cada espécimen.

Tabla N° 3.1 Características de los especímenes ensayados

N°	Id.	Unidad de Albañilería	Carga axial (kN)	Límite de Distorsión
1	ML1CCA-1	Artesanal Macizo	140	1/100
2	ML1CCA-2	Artesanal Macizo	140	1/100
3	ML1CCA-3	Artesanal Macizo	140	1/100
4	ML2CCA-1	Industrial Pandereta	140	1/100
5	ML2CCA-2	Industrial Pandereta	140	1/100
6	ML2CCA-3	Industrial Pandereta	140	1/100

Fuente: Elaboración Propia

Nota:

M: muro 1, 2 o 3: Numero de espécimen

L1: Ladrillo artesanal sólido CCA: Con carga axial

L2: Ladrillo industrial pandereta

3.3 Construcción de los especímenes

El procedimiento constructivo de 6 muros de albañilería confinada fue elaborado siguiendo las prácticas comunes de construcción en la costa del Perú con los siguientes pasos.

1. Construir la Base de cimentación
2. Levantar el Muro de albañilería confinada endentada
3. Construir las Columnas de confinamiento
4. y Construir la Viga solera

3.3.1 Base de cimentación

La construcción de los 6 muros de albañilería confinada e informal es representativa e in situ y se desarrolló en el laboratorio de estructuras del CISMID.

Para la construcción de la base de cimentación se utilizó los siguientes materiales: manta plástica, madera de encofrado, liquido de desencofrado a base de emulsiones, tubos de PVC 2", aceros de refuerzo, tacos de concreto y alambre #8 y alambre #16.

Como protección para el cimiento de los muros y la losa de reacción del laboratorio de estructuras se usó una manga plástica resistente al concreto. Posteriormente se inició con el armado del encofrado adecuadamente arriostrados y a la vez se habilito el acero de refuerzo según indica el plano. E01 y E02 en el Anexo A

Teniendo el encofrado y la armadura de acero posicionadas correctamente, se coloca los tubos de PVC de 2" a 35 cm de los bordes extremos de la base y cada 60cm interiormente, los orificios de los tubos servirán para emperrar y conectar la base de cimentación con lo losa de reacción del Laboratorio y simular una cimentación de base fija. Además, se utilizó desmoldante líquido a base de emulsiones para facilitar el desencofrado de la madera.

El vaciado de concreto tiene una resistencia de 210(kg/cm²) y previo a esta actividad se colocó los aceros de refuerzo vertical de las columnas anclado a los aceros de refuerzo en los extremos de la base de cimentación.

Terminado el tarrajeo y frotachado la cara superior de la base de cimentación, se raya en forma de equis(x) la zona de asentado de los ladrillos, para levantar el muro, y generar una buena adherencia entre el mortero y el ladrillo.

3.3.2 Muro de albañilería confinada

De los seis (06) muros de albañilería se construyó tres (03) muros con unidad de ladrillo macizo artesanal sólido y (03) muros con unidad de ladrillo industrial pandereta. Siendo el procedimiento constructivo similar para los 6 muros.

Los materiales utilizados son: unidades el ladrillo, mortero 1:6, espátula, escotillón plomada, regla e hilo de pabilo.

Antes de empezar a levantar el muro en hiladas, primero se humedeció las unidades de albañilería un día antes para tener una buena adherencia entre mortero y ladrillo y así no absorba el agua del mortero.

La construcción del muro se hace en dos jornadas. Se levanta las hiladas hasta la mitad del total del muro siendo 1.10mt la primera altura y se completa en la segunda jornada la altura total de 2.2m.

Para empezar a levantar el muro, primero se limpia y humedece la base del cimiento para colocar el mortero, a la vez se coloca en forma vertical los escantillones en los extremos del muro que servirá para colocar el hilo de pabilo y levantar las hiladas de los muros en forma horizontal y obtener un espesor de junta vertical y horizontal de 1.5cm al terminar la primera jornada se aploma junto con el escotillón en los extremos y al centro del muro para corroborar la verticalidad del muro.

3.3.3 Columnas de confinamiento

Las dimensiones de las columnas de confinamiento tienen dimensiones 0.20 m de largo y 0.12 m de ancho. Los materiales para utilizar son: madera de encofrado, alambre # 16, vibradora, acero de refuerzo transversal $\varnothing 1/4"$ y tacos de concreto de 4cm de espesor, ancho y longitud, así mismo la resistencia de concreto fue de 140 kg/cm².

El acero de refuerzo longitudinal es 4 $\varnothing 1/2"$ y acero de refuerzo transversal para los estribos es $\varnothing 1/4"$: 1@5,4@10 resto 20cm como indica los planos.

Terminando de colocar los estribos a las columnas y atortolando con el alambre #16, se procede a encofrar colocando previo los tacos de concreto amarrando en los aceros longitudinales y/o estribos desde la base, la mitad y la parte superior de la columna. Estos servirán de recubrimiento y tener la armadura de la columna centrada al momento de vaciar el concreto.

Se uso la vibradora de concreto para evitar cangrejera en las columnas al momento de vaciar el concreto en el encofrado de las columnas.

3.3.4 Viga solera

La función de la viga solera es confinar la parte superior del muro y distribuir las cargas verticales hacia las columnas y después a las zapatas.

La viga solera tiene dimensiones de longitud de 2.6 m con sección transversal de 0.3 m de base y 0.3 m. de alto. El acero de refuerzo longitudinal es 4 $\varnothing 1/2"$ y acero de refuerzo en los estribos es $\varnothing 1/4"$: 1@5,4@10 resto 20cm como se indica los planos.

Los materiales utilizados fueron madera, puntales, pies derechos, alambre # 16, acero de refuerzo longitudinal $\varnothing 1/2"$ y transversal $\varnothing 1/4"$ y tacos de concreto para el recubrimiento de 4cm de espesor, ancho y longitud. Resistencia de concreto de 210 (kg/cm²). La viga solera es un elemento crucial para ensayar debido a su alta resistencia, lo que permite simular una viga infinitamente rígida durante el ensayo.

Para armar los aceros de refuerzo en la viga primero se coloca todos los estribos en la viga, pero solo se atortola (amarra) con el alambre #16 los estribos a los aceros longitudinales de extremo a extremo para luego terminar de atortolar una vez colocado en el encofrado con los cubos de mortero que servirán de recubrimiento.

Se termina de atortolar la armadura de la viga en el encofrado para evitar chocar con los tubos de PVC que también se colocan en la viga.

Usar la vibradora de concreto para evitar cangrejera en la viga al momento de vaciar el concreto.

En el Anexo B se encuentra un panel fotográfico de proceso constructivo.

3.4 Descripción y configuración experimental de muros de albañilería

Los ensayos experimentales en los 6 muros de albañilería fueron estático cíclicos de carga lateral hasta el límite de rotura con una distorsión de (1/100) y consistente con los lineamientos propuestos por el (Federal Emergency Management Agency, 2007). Los ensayos estáticos cíclicos de carga lateral ayudan a comprender el comportamiento estructural o desempeño de las estructuras frente a cargas cíclicas que simulan la acción de carga y descarga producida por el sismo. La respuesta al ensayo estático cíclico es la curva de comportamiento. Así también se puede predecir el comportamiento de los elementos analíticamente y que factores contribuyen al daño de los elementos que lo conforman.

El Laboratorio de Estructuras del CISMID cuenta con los equipos como: instrumentos de medición y adquiredor de datos, mecanos de cargas y gatas hidráulicas. Los ensayos realizados para los seis muros fueron por deformación controlada. A continuación, se describirán los equipos utilizados y los pasos para realizar el ensayo estático cíclico de los seis (06) muros de albañilería.

3.4.1 Sistema de aplicación de carga

El sistema de aplicación de carga consiste en transmitir la carga vertical y horizontal a un sistema de pórticos de vigas de acero que bordean el muro de albañilería confinada. Este sistema de pórticos sirve también para prevenir y evitar accidentes futuros que afecte la integridad de las personas en un eventual desplome del muro como se observa en la Figura N°3.2

Para los ensayos se utilizaron cuatro gatas hidráulicas estáticas con capacidad de carga de 500 kN, una amplitud de embolo (stroke) de +/- 250mm. Dos de estas Gatas hidráulicas instaladas de manera vertical, se conectan a la losa de reacción y a las vigas de acero horizontal que apoyan sobre la viga de concreto del espécimen, estas gatas aplican una carga axial constante de 140 kN y simulando el peso de los pisos superiores sobre el muro de albañilería. Las otras dos gatas hidráulicas están conectadas al muro de reacción, y aplican una carga horizontal cíclica lateral transmitida a través de una viga de acero acoplada lateralmente a la viga de concreto lateralmente como se muestra en la Figura N°3.3.

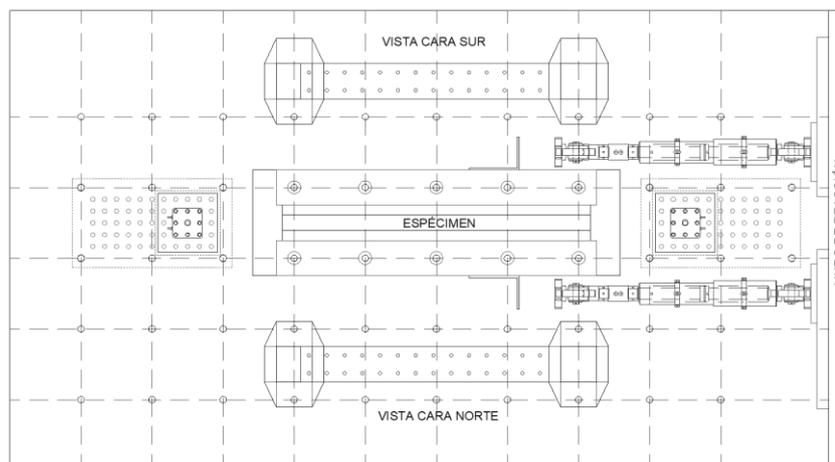


Figura N°3.2 Vista en planta del mecano de carga

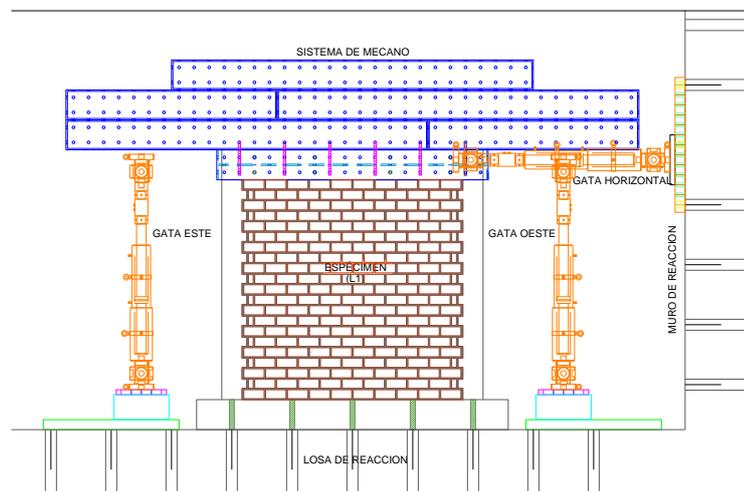


Figura N°3.3 Esquema de la configuración del ensayo estático cíclico

Fuente: Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2017b)

3.4.2 Instrumentos de medición

Durante el ensayo experimental se utilizó equipos y una serie de instrumentos de medición para el registro de deformaciones llamados transductores y/o sensores de desplazamientos con rangos de medida de 10mm, 30 mm, 50mm, 100mm y 200mm como se observa en la Tabla N°3.2. Estos transductores se conectan a un equipo de escaneo de señales llamado (Data Logger) para almacenar la información y visualizar en una computadora los gráficos carga Vs Desplazamiento. Se utilizaron 23 transductores o

canales de desplazamiento distribuidos de forma horizontal, vertical y diagonalmente en los muros como se observa en la Figura N°3.4.

Tabla N°3.2 Descripción de canales de datos para los muros de albañilería.

INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN				
Canal	Rango	Tipo	Unidad	Descripción
CH-00	JACK N	25	kN	Carga Horizontal: Gata Norte
CH-01	JACK S	50	kN	Carga Horizontal: Gata Sur
CH-02	JACK E	50	kN	Carga Vertical: Gata Este
CH-03	JACK O	100	kN	Carga Vertical: Gata Oeste
CH-04	LVDT	200	mm	Horizontal Este, H.
CH-05	LVDT	200	mm	Horizontal Oeste, H
CH-06	LVDT	100	mm	Vertical Este, H
CH-07	LVDT	100	mm	Vertical Oeste, H
CH-08	LVDT	100	mm	Horizontal Este, H/2
CH-09	LVDT	50	mm	Vertical Este, H/2
CH-10	LVDT	100	mm	Horizontal Oeste, H/2
CH-11	LVDT	50	mm	Vertical Oeste, H/2
CH-12	LVDT	50	mm	Vertical Este Base Columna.
CH-13	LVDT	50	mm	Horizontal Este Base Columna.
CH-14	LVDT	50	mm	Vertical Oeste, Base Columna.
CH-15	LVDT	50	mm	Horizontal Oeste, Base Columna.
CH-16	LVDT	30	mm	Vertical Este Base Columna.
CH-17	LVDT	50	mm	Diagonal Este
CH-18	LVDT	30	mm	Horizontal Este Base Columna.
CH-19	LVDT	30	mm	Vertical Oeste Base Columna.
CH-20	LVDT	50	mm	Diagonal Oeste
CH-21	LVDT	30	mm	Horizontal Oeste Base Columna
CH-22	LVDT	10	mm	Horizontal Este Base Cimiento

Fuente: Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2017b)

Los canales CH-00 y CH-01 miden las celdas de carga de las gatas horizontales, CH-02 y CH-03 miden las celdas de carga de las gatas verticales y los canales desde el CH-04 y CH-22 corresponden a los transductores de desplazamiento vertical, horizontal y diagonal ubicados en el muro. (LVDT's).

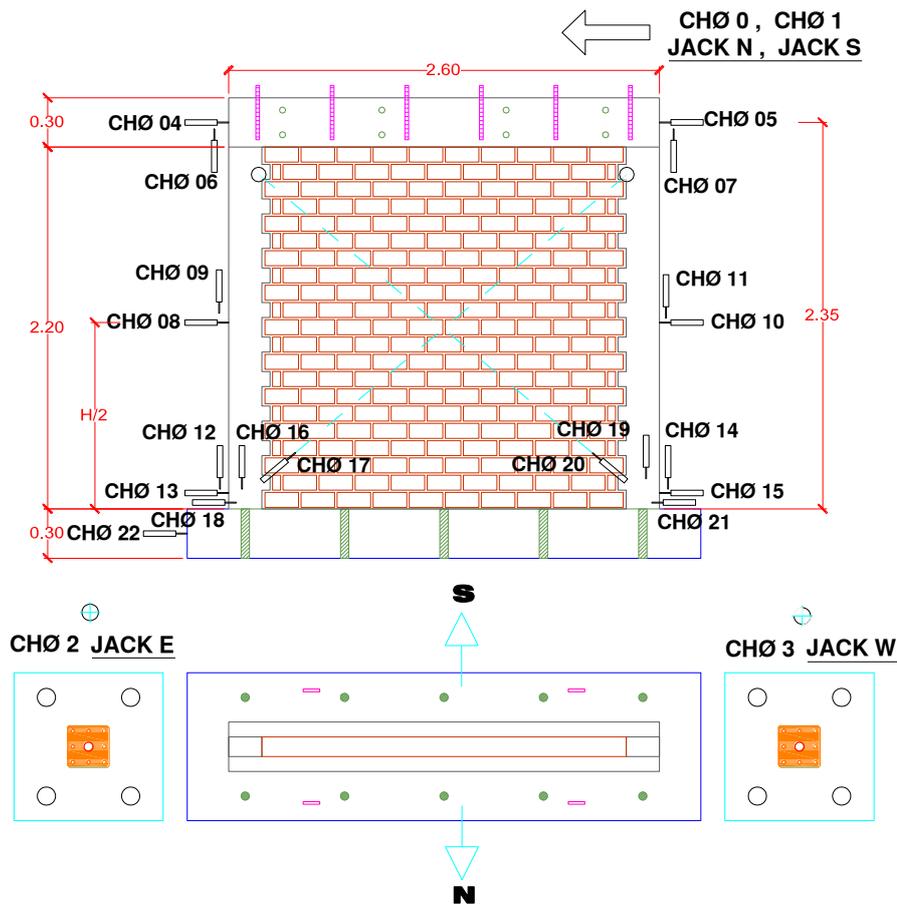


Figura N°3.4 Distribución de sensores

Fuente: Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2017b)

3.4.3 Sistema de adquisición de datos

El laboratorio de estructuras cuenta con un equipo de adquisición de datos llamado “Data Logger TDS-7130 usando un software de medición estático como se observa en la Figura N°3.5. El equipo Data Logger TDS-7130 se conecta con una PC y mediante los cables de los sensores distribuidos en el muro se realizan mediciones de deformación horizontal, vertical y diagonal. Además, mediante este sistema se puede visualizar gráficos de carga vs desplazamiento durante la ejecución del ensayo.

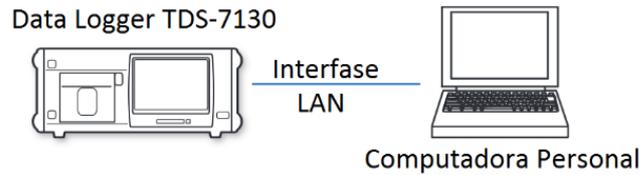


Figura N°3.5 Data Logger y computadora personal

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4 Protocolo de desplazamiento

El protocolo de desplazamiento consiste en repetir ciclos de deformación incremental completando dos amplitudes o desplazamientos máximos por cada ciclo de acuerdo con el (Federal Emergency Management Agency, 2007).

El ensayo cíclico estático de carga lateral es un ensayo por deformación controlada siendo la carga horizontal aplicada mediante un control de desplazamiento del monitor acorde al protocolo de desplazamiento. En la Figura N°3.6 muestra al protocolo de desplazamiento objetivo para los ensayos de muros.

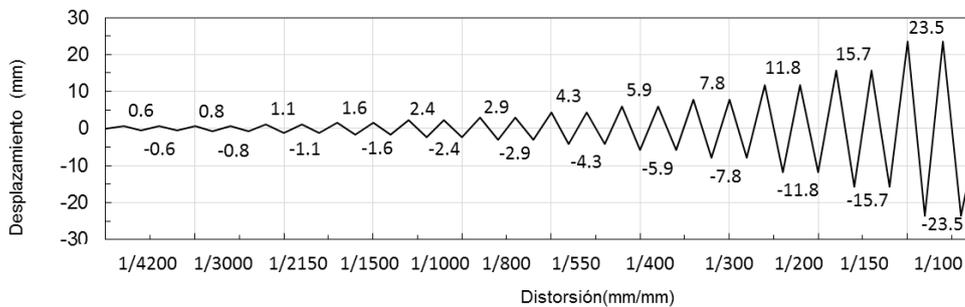


Figura N°3.6 Protocolo de desplazamientos objetivo

Fuente: Elaboración Propia

Los ensayos de los 06 muros de albañilería se realizaron con 12 distorsiones objetivos repitiéndose dos veces por cada ciclo como se muestra en la Tabla N°3.3

Tabla N°3.3 Distorsión objetivo para el control de desplazamiento por ciclo.

Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distorsión objetivo	$\frac{1}{4200}$	$\frac{1}{3000}$	$\frac{1}{2150}$	$\frac{1}{1500}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{800}$	$\frac{1}{550}$	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{100}$
N° de repetición	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV Resultados y análisis experimental de los ensayos en muros de albañilería

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados experimentales del comportamiento de 06 muros de albañilería ensayados con carga lateral estática cíclico y carga axial constante de 140kN y el análisis de resultados de tres 03 muros construidos con unidades de ladrillo tubular industrial y tres 03 muros construidos con unidades de ladrillo solido artesanal.

La respuesta de los muros ensayados es obtenida con las curvas de histéresis. A partir de los ensayos experimentales se generaron las curvas de capacidad, curva de degradación de rigidez y se describieron los niveles de estados de daño para los dos tipos de unidades de ladrillos utilizados en los muros.

4.2 Comportamiento experimental de muros de albañilería de ladrillo solido artesanal

Conforme al protocolo de desplazamiento indicado en el ítem 3.4.4 se ensayaron 06 muros de albañilería confinada con dos tipos de calidad de ladrillo: solido macizo artesanal y pandereta industrial. A continuación, se presenta los resultados de 03 muros de albañilería sólido artesanal.

El comportamiento del muro de albañilería sometida a cargas cíclicas debido a las inversiones de carga y descarga dan como resultado lazos de histéresis o curvas de histéresis; estas curvas permiten conocer la degradación de resistencia y rigidez del muro, el amortiguamiento y la energía que disipa el muro. Así mismo, los mecanismos de falla de un muro de albañilería confinada pueden manifestarse como falla por cortante y falla por flexión las cuales se identificarán mediante la aparición y propagación de grietas en los muros, respectivamente.

4.2.1 Curva de histéresis

La curva de histéresis de los especímenes es la respuesta de comportamiento de los muros ante la aplicación de carga horizontal medido por distorsiones objetivos. El canal CH04 mide los desplazamientos alcanzados del muro generando 02 lazos de histéresis por cada ciclo (distorsión objetivo), siendo los lazos de histéresis de color negro la respuesta de la primera distorsión objetivo y los lazos de color rojo para la segunda aplicación de distorsión objetivo.

En la curva de histéresis del espécimen ML1CCA-1, se observan los primeros lazos de histéresis comportándose de forma elástica hasta alcanzar una carga máxima de 152.5 kN

y un desplazamiento de 7.89mm, luego se observa una caída de pérdida de resistencia del muro y un desplazamiento máximo de 27.44mm como se observa en la Figura N°4.1

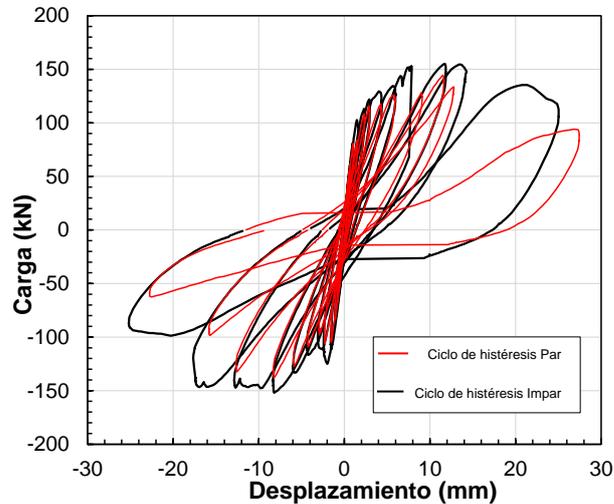


Figura N°4.1 Curva de histéresis del espécimen ML1CCA-1

Fuente: Elaboración Propia

La curva de histéresis del espécimen ML1CCA-2 se comporta elásticamente en los primeros lazos alcanzando una carga máxima de 135.5 kN y un desplazamiento de 10.81mm, conforme va disminuyendo la carga o pérdida de resistencia del muro, el desplazamiento máximo de 23.74mm va aumentando. Ver Figura N°4.2.

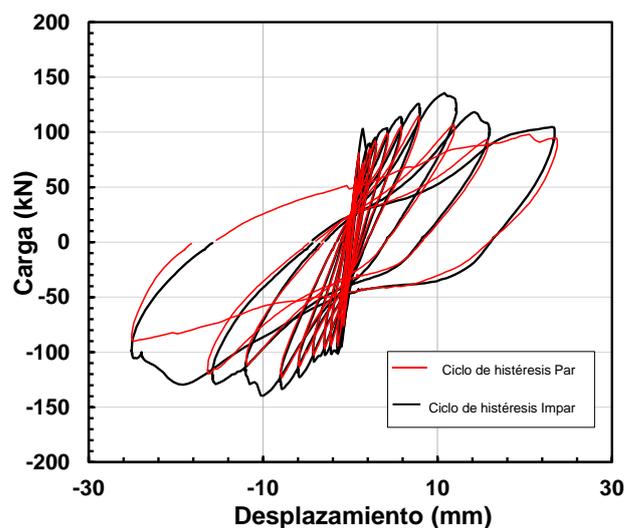


Figura N°4.2 Curva de histéresis del espécimen ML1CCA-2

Fuente: Elaboración Propia

La curva de histéresis para el espécimen ML1CCA-3, se observan los primeros lazos comportándose de forma elástica para luego alcanzar una carga máxima de 130.25 kN y un desplazamiento de 8.15mm y la disminución de la carga mientras va aumentando el desplazamiento máximo de 18.76mm, indica la pérdida de resistencia del muro. Ver Figura N°4.3.

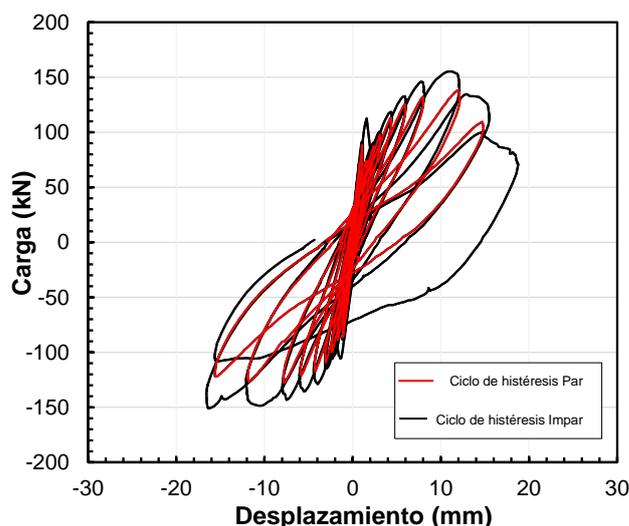


Figura N°4.3 Curva de histéresis del espécimen ML1CCA-3.

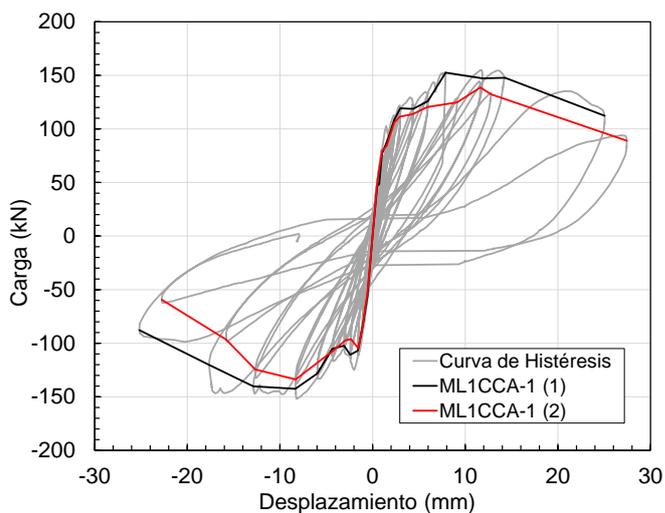
Fuente: Elaboración Propia

La curva de histéresis de los especímenes ML1CCA-1, ML1CCA-2, ML1CCA-3 generada para la primera distorsión objetivo, muestra una mayor capacidad de resistencia, pero menor ductilidad en comparación con la curva de histéresis correspondiente a la segunda distorsión objetivo. Además, se pueden observar incursiones en el comportamiento inelástico la disminución de la resistencia, degradación de rigidez y disipación de energía.

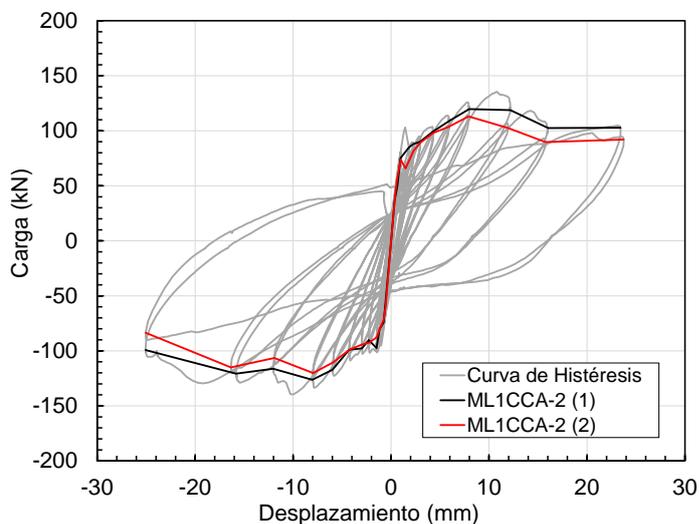
4.2.2 Curva de capacidad

La curva de capacidad o curva de comportamiento se forma uniendo los puntos máximos alcanzados en cada ciclo de histéresis. La aplicación de la primera y segunda distorsión objetivo genera dos curvas de capacidad, las cuales se expresan en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm). Así mismo, la curva de capacidad también puede presentarse en función del esfuerzo cortante promedio (N/mm^2 o MPa) calculado como la carga dividida entre el área de la sección bruta, y la distorsión (mm/mm) que corresponde al desplazamiento lateral medio dividido entre la altura.

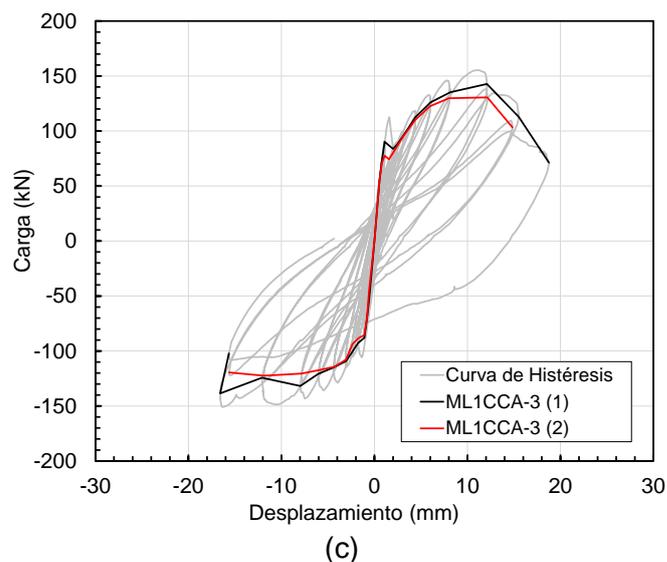
Dado que las viviendas de albañilería ya presentan degradación de rigidez debido a la resistencia a sismos históricos en el Perú, se estudió la curva de comportamiento obtenida a partir de la segunda (2) distorsión objetivo (curva de Roja) para los 03 especímenes ensayados, como se muestra en la Figura N°4.4.



(a)



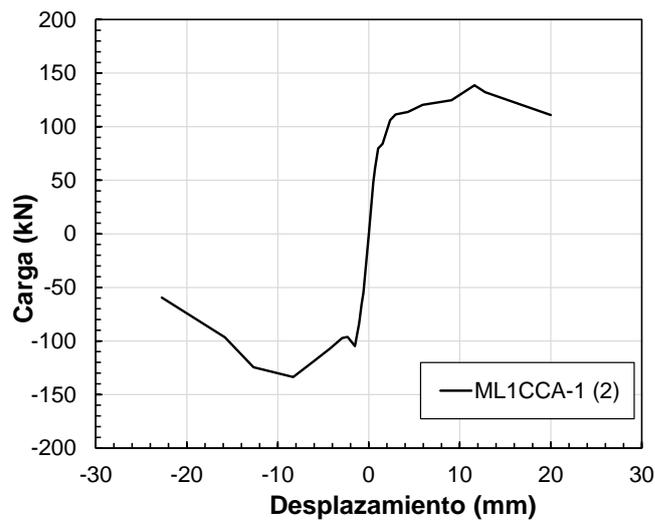
(b)



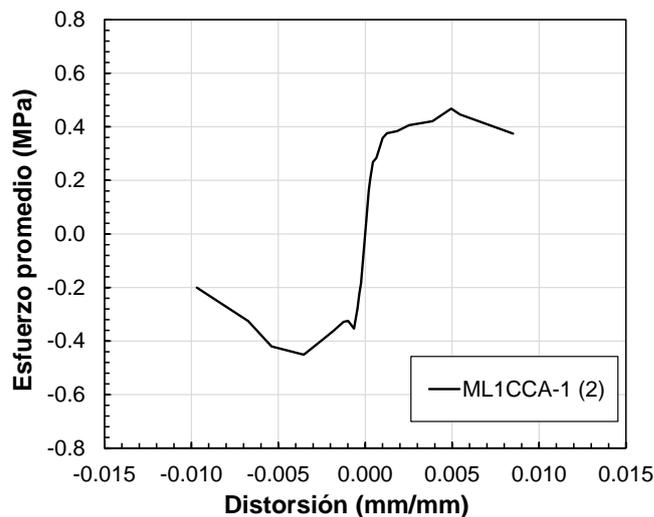
(c)
Figura N°4.4 curva envolvente para primera aplicación de distorsión objetivo (1) (Color negro) y segunda (2) aplicación de distorsión objetivo (color rojo) de los especímenes (a) ML1CCA-1, (b) ML1CCA-2 y (c) ML1CCA-3

Fuente: Elaboración Propia

La Figura N°4.5 (a) muestra la curva de Capacidad en términos de carga (kN) frente a desplazamiento (mm) para el espécimen ML1CCA-1 conformada por la curva en tracción y compresión. La rigidez elástica inicial promedio (carga/ desplazamiento) es de 91.37 kN/mm. A medida que la carga aumenta, la rigidez comienza a degradarse hasta alcanzar una carga máxima de 138.75 kN. Posteriormente, la curva presenta una pendiente negativa, lo que indica una pérdida de resistencia y/o colapso del muro, con un desplazamiento máximo de 27.44mm. Asimismo, la Figura N°4.5 (b) muestra la curva de esfuerzo cortante frente a distorsión, donde el esfuerzo cortante promedio del muro alcanza un valor máximo de 0.46 MPa.



(a)



(b)

Figura N°4.5 Curva de capacidad de ML1CCA-1 en función de (a) carga vs desplazamiento y (b) esfuerzo de corte vs distorsión

Fuente: Elaboración Propia

La Figura N°4.6 (a) muestra la curva de capacidad en términos de carga (kN) frente a desplazamiento (mm) para el espécimen ML1CCA-2 conformada por las curvas de tracción y compresión. La rigidez elástica inicial promedio es de 97.7 kN/mm. A medida que la carga aumenta, la rigidez comienza a degradarse hasta alcanzar una carga máxima de 113 kN. Posteriormente, la curva presenta una pendiente negativa, lo que indica una pérdida de resistencia y/o colapso del muro, con un desplazamiento máximo de 23.74mm. Asimismo,

de la Figura N°4.5 (b) muestra la curva de esfuerzo cortante frente a distorsión, donde el esfuerzo cortante promedio del muro alcanza un valor máximo de 0.37 MPa.

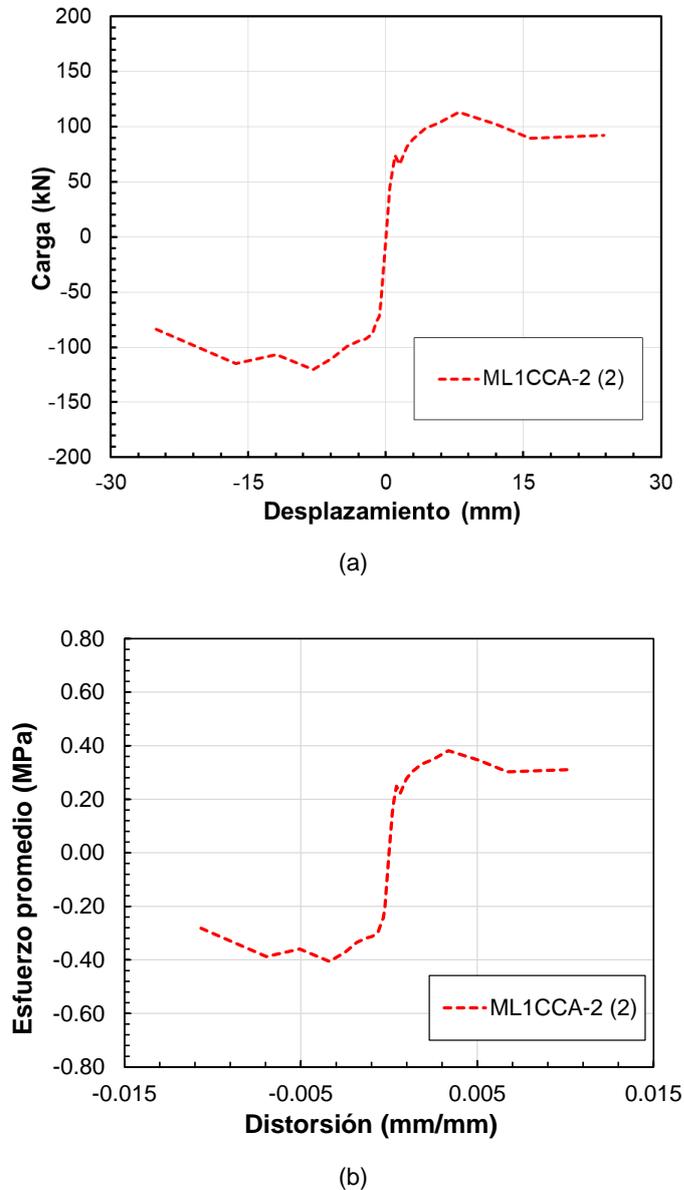
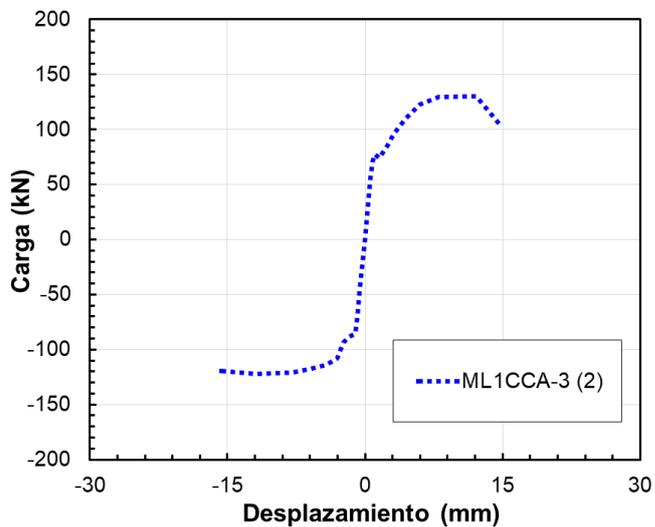


Figura N°4.6 Curvas de capacidad de ML1CCA-2 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)

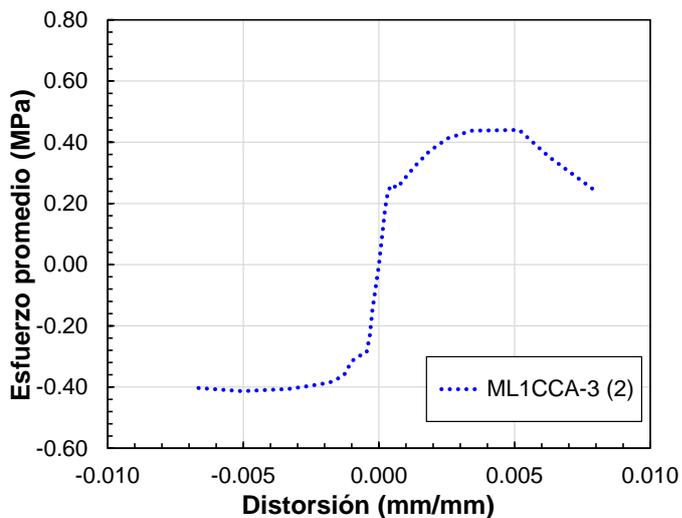
Fuente: Elaboración Propia

La Figura N°4.7(a) muestra la curva de capacidad del espécimen ML1CCA-3, expresada como la relación carga (kN) Vs Desplazamiento (mm). La curva presenta una rigidez elástica inicial promedio de 89.41 kN/mm y una carga máxima de 130.5 kN, punto en el cual comienza la caída de resistencia y/o inicio de colapso del muro con el valor de

desplazamiento máximo de 12.14 mm. Por su parte, la Figura N°4.7(b) muestra la curva de esfuerzo (MPa) frente a distorsión (mm/mm) donde el esfuerzo cortante del muro alcanza un valor de 0.44 MPa.



(a)



(b)

Figura N°4.7 Curvas de capacidad de ML1CCA-3 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3 Degradación de rigidez

La rigidez es la relación que existe entre la fuerza y el desplazamiento siendo una de las propiedades dinámicas más importantes de una estructura. Por las solicitaciones de carga y descarga que actúan en los especímenes y siguiendo el patrón de distorsiones objetivos, los muros de albañilería van perdiendo su rigidez elástica para alcanzar una rigidez inelástica. Las curvas de degradación de rigidez equivalente y distorsión máxima alcanzada en cada ciclo histerético para la segunda (2) aplicación de la distorsión objetivo, señalada en el protocolo de desplazamiento de los muros ML1CCA-1, ML1CCA- 2 y ML1CCA-3 se muestran en la Figura N°4.8. Los valores iniciales de rigidez para los especímenes se muestran en la Tabla N° 4.1.

De la Figura N°4.8 se observa como las tres curvas de los especímenes ML1CCA-1, ML1CCA-2 y ML1CCA-3 van degradándose y tomando la forma de una curva hiperbólica. A partir de la primera pérdida de rigidez el comportamiento del muro va entrando en el rango inelástico y se va formando una curva aplanada debido a la causa del reacomodo de las grietas formadas en el muro conforme va aumentando los desplazamientos objetivos por ciclo.

La curva del muro ML1CCA-1, tiene una rigidez inicial experimental de 98.47 kN/mm y se va degradando conforme va aumentando el desplazamiento hasta el valor de 26.39 kN/mm que representa el 27% de la rigidez inicial y una distorsión de 0.183%.

La curva del muro ML1CCA-2, tiene una rigidez inicial experimental de 99.44 kN/mm y se va degradando conforme va aumentando el desplazamiento hasta el valor de 22.74 kN/mm que representa el 23% de la rigidez inicial y una distorsión de 0.183%.

La curva del muro ML1CCA-3, tiene una rigidez inicial experimental de 101.85 kN/mm y se va degradando conforme va aumentando el desplazamiento hasta el valor de 25.11 kN/mm que representa el 25% de la rigidez inicial y una distorsión de 0.186%

Tabla N° 4.1 Rigidez inicial experimental ML1CCA-1,2 y 3

	ML1CCA-1	ML1CCA-2	ML1CCA-3
Ko (kN/mm)	98.47	99.44	101.85

Fuente: Elaboración Propia

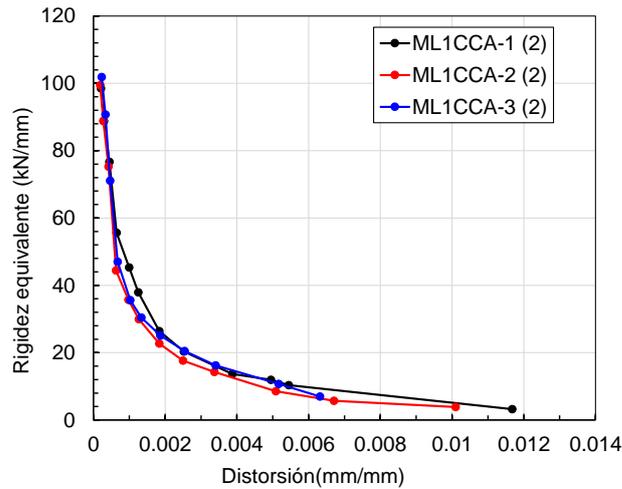


Figura N°4.8. Comparativa de degradación de rigedeces ML1CCA-1, ML1CCA-2 y ML1CCA-3

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4 Espesores máximos de grietas

La Figura N°4.9 muestra tres curvas que representan los espesores máximos de grietas medidos con un grieto metro, en los materiales de ladrillo, mortero y columna del espécimen ML1CCA-1. Se observa que las curvas de grietas en el ladrillo y el mortero presentan una tendencia similar, en contraste con la curva de grietas en las columnas. Además, las tres curvas incrementan a medida que aumentan los desplazamientos objetivos en el muro. Por otro lado, se observa que las grietas se originan primero en el muro de albañilería antes que las columnas de confinamiento. En el Anexo D, se puede observar los demás resultados para los especímenes ML1CCA-2, ML1CCA-3.

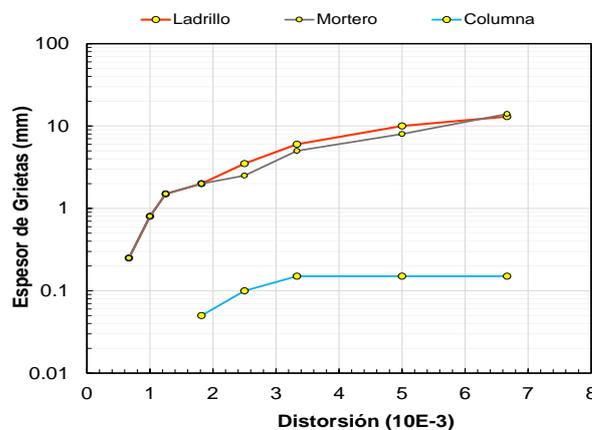


Figura N°4.9. Espesor máximo de grietas del espécimen ML1CCA-1

Fuente: Elaboración Propia

4.2.5 Daños observados en los especímenes durante el ensayo

La aplicación de cargas cíclicas en forma de distorsiones sobre el muro de albañilería confinada genera una respuesta visible en el muro, manifestada en daños progresivos. Los daños observados durante el ensayo incluyen la aparición de grietas diagonales en el muro, producto de las fuerzas internas de tracción y compresión, así como grietas horizontales en las columnas, incremento del espesor de las grietas y desprendimiento de ladrillo y mortero. Estos son los daños más representativos observados en general.

A continuación, en la Tabla N° 4.2, se describen los daños observados en los especímenes ML1CCCA-1, y los especímenes ML1CCA-2 y ML1CCA-3 en el Anexo C, respectivamente, para cada distorsión objetivo durante el ensayo.

Tabla N° 4.2 Daños Observados en ML1CCA-1

Distorsión	Descripción
1/4200	No se observaron daños
1/3000	No se observaron daños
1/2150	No se observaron daños
1/1500	Primera Grieta diagonal en la mitad superior del muro
1/1000	Continuación de grietas diagonales en muro Nuevas grietas diagonales en zona del endentado
1/800	2° grieta diagonal principal Nuevas grietas diagonales en zona del endentado
1/550	1° grieta diagonal principal Continuación de grietas diagonales zona endentada Continuación de grietas en la 2° diagonal principal del muro 1° Grieta diagonal entre viga y columna 1° grieta horizontal en columna
1/400	Continuación de primera grieta diagonal Continuación de 2° grieta diagonal principal Nuevas Grietas horizontales en columna 1°grieta diagonal en talón columna
1/300	Nuevas grietas horizontales en columnas Continuación de primera grieta diagonal Continuación de 2° grieta diagonal principal

Distorsión	Descripción
	Nuevas grietas diagonales en talón de columna Nuevas grietas diagonal encuentro columna viga
1/200	Nuevas grietas horizontales en columna Nuevas grietas diagonales en talón de columna Pequeño desprendimiento del ladrillo en la diagonal principal continuación de grieta diagonal en muro
1/150	Desprendimiento de ladrillo continuación grieta diagonal viga columna Continuación de grieta diagonal en talón de columna Nuevas grietas diagonales por la diagonal principal
1/100	Ensanchamiento de grietas Continuación de desprendimiento de ladrillo Inicio Trituración de talón de columna

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Comportamiento experimental de muros de albañilería de ladrillo industrial pandereta

De acuerdo con el protocolo de desplazamiento descrito en el ítem 3.4.4 se ensayaron seis muros de albañilería confinada con dos tipos de ladrillo: artesanal solido macizo e industrial pandereta. A continuación, se presentarán los resultados de los tres muros construidos con ladrillo industrial pandereta.

4.3.1 Curva de histéresis

La Figura N°4.10, Figura N°4.11 y Figura N°4.12 muestran la curva de histéresis del resultado de la aplicación de fuerza y desplazamiento registradas por el sensor CH04 (Punto de control) para los 03 especímenes: ML2CCA-1, ML2CCA-2 y ML2CCA-3, respectivamente.

La Figura N°4.10 muestra la curva de histéresis del espécimen ML2CCA-1, en la que se observa que los dos primeros ciclos de histéresis exhiben un comportamiento elástico. A medida que progresa el ensayo va degradándose la rigidez, alcanzando una carga máxima de 183.25kN y un desplazamiento de 5.74mm. Sin embargo, los ciclos de histéresis posteriores experimentan una caída de resistencia, a lo que reduce la capacidad del muro mientras el desplazamiento máximo aumenta hasta 16.4mm.

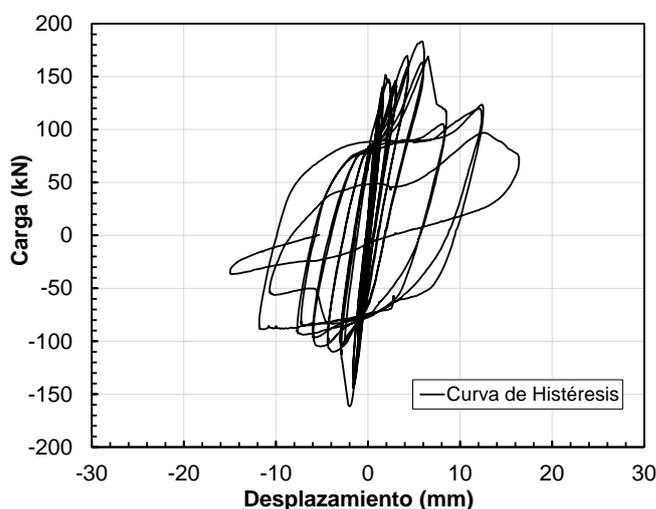


Figura N°4.10. Curva de histéresis del espécimen ML2CCA-1

Fuente: Elaboración Propia

La Figura N°4.11 presenta la curva de histéresis del espécimen ML2CCA-2, donde de manera similar, los dos primeros ciclos de histéresis muestran un comportamiento elástico. Progresivamente se alcanza una resistencia máxima de 131.25 kN con un desplazamiento

de 5.76mm. Además, se observa una disminución de la resistencia conforme el desplazamiento aumenta, alcanzando un valor de 24.46mm.

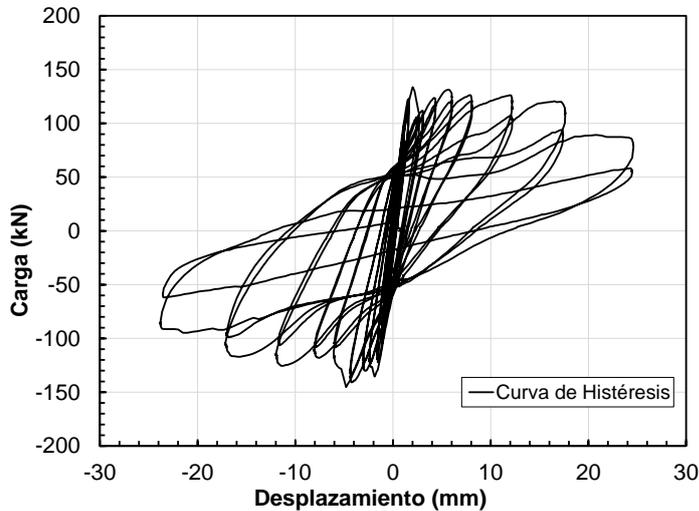


Figura N°4.11. Curva de histéresis del espécimen ML2CCA-2

Fuente: Elaboración Propia

La Figura N°4.12 muestra la curva de histéresis del espécimen ML2CCA-3, donde, al igual que los casos anteriores, los 02 primeros ciclos presentan un comportamiento elástico. A medida que aumentan los desplazamientos objetivos, el espécimen alcanza una carga máxima de 124.75 kN con un desplazamiento de 7.86mm. Así mismo, se observa una disminución de la resistencia conforme el desplazamiento continúa incrementándose, alcanzando un valor máximo de 15.86mm.

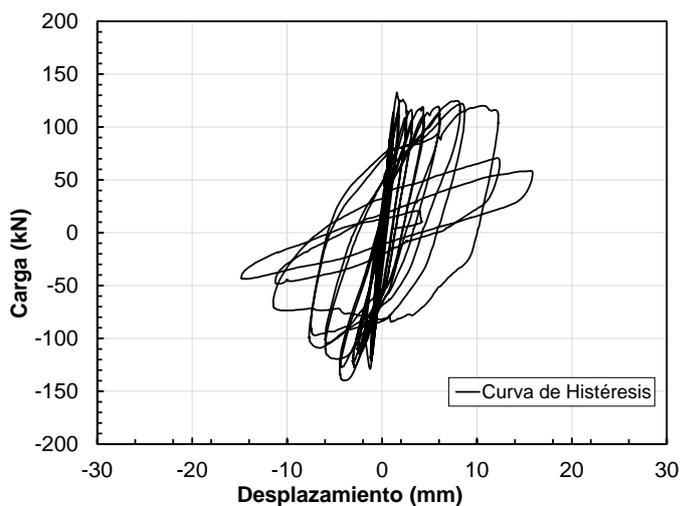
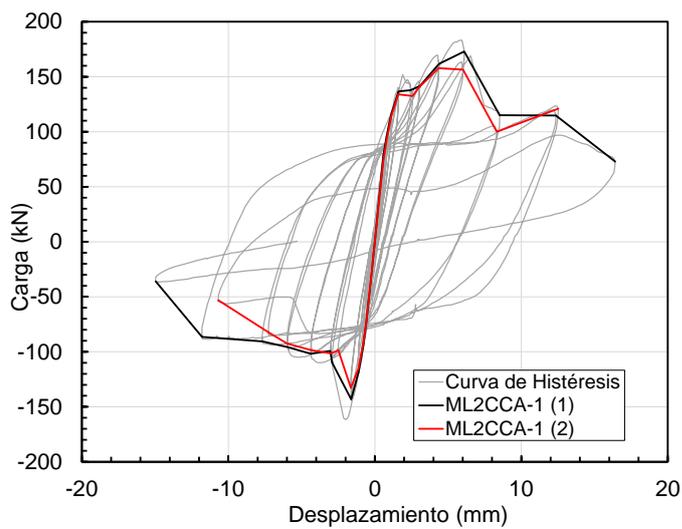


Figura N°4.12. Curva de histéresis del espécimen ML2CCA-3

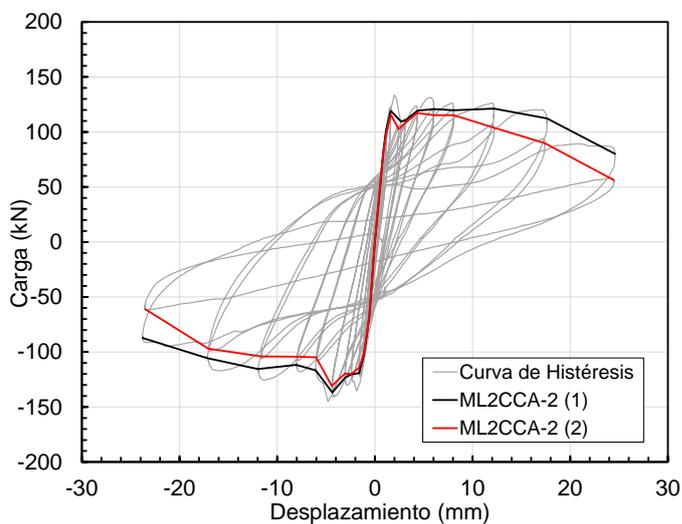
Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Curva de capacidad

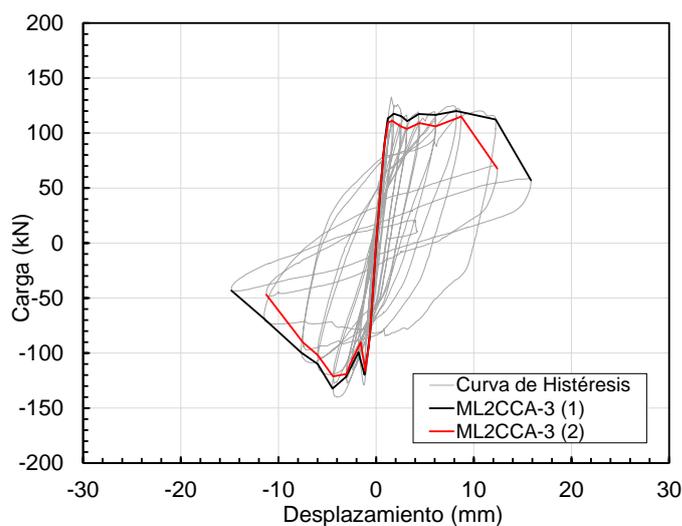
La curva de capacidad es la curva envolvente obtenida al unir los puntos máximos de cada ciclo histerético. Esta se puede representar en términos de la relación entre fuerza y desplazamiento o en función del esfuerzo cortante promedio (Carga dividida entre el área de la sección bruta) y la distorsión (Desplazamiento lateral medio dividido entre la altura) como se observa en la Figura N°4.13.



(a)



(b)



(c)

Figura N°4.13 Curvas envolventes para primera (1) y segunda (2) aplicación de distorsión objetivo del espécimen (a) ML1CCA-1, (b) ML1CCA-2, (c) ML1CCA-3

Elaboración Propia

Dado que las viviendas de albañilería ya presentan una degradación de rigidez debido a haber enfrentado Sismos históricos en el Perú, se utiliza la curva de comportamiento correspondiente a la segunda (2) distorsión objetivo (curva de color Rojo) para los 03 especímenes ensayados como se muestra en la Figura N°4.13.

La Figura N°4.14 (a) muestra la curva de capacidad o curva envolvente del espécimen ML2CCA-1 compuesta por las curvas de tracción y compresión. La curva de capacidad tiene una rigidez elástica inicial promedio (carga / desplazamiento) de 127.2 kN/mm, una resistencia máxima de 157.75 kN y un desplazamiento máximo de 8.32mm. por otro lado, la Figura N°4.14 (b) muestra la curva de esfuerzo versus distorsión, donde el esfuerzo cortante promedio máximo es de 0.56 MPa.

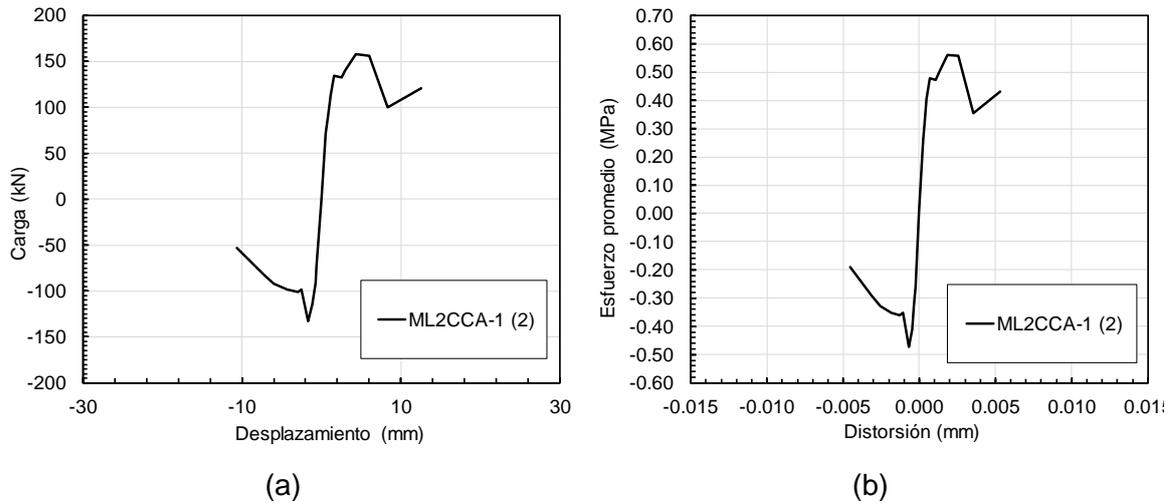


Figura N°4.14 Curva de capacidad de ML2CCA-1 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)

Elaboración Propia

La Figura N°4.15(a) presenta la curva de capacidad del espécimen ML2CCA-2 cuya rigidez elástica inicial promedio de 104.8 kN/mm. El espécimen alcanza una resistencia máxima de 117.25 kN y un desplazamiento máximo de 12.22 mm por la caída de resistencia y/o colapso del muro. Asimismo, la Figura N°4.15 (b) muestra la curva de esfuerzo versus distorsión, en la cual el esfuerzo cortante promedio del muro es de 0.41 MPa.

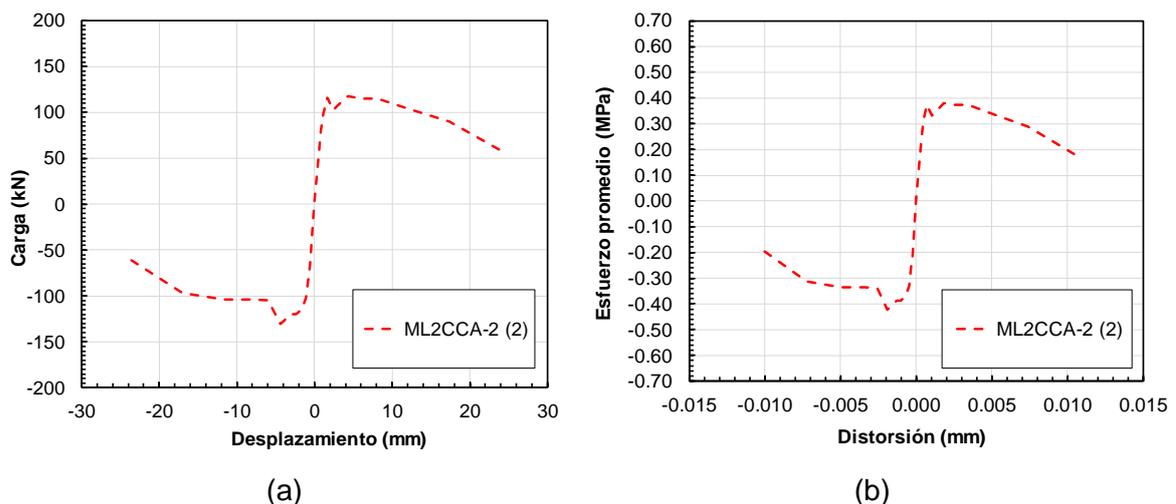


Figura N°4.15 Curvas de capacidad de ML1CCA-2 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)

Elaboración Propia

La Figura N°4.16(a) muestra la curva de capacidad del espécimen ML2CCA-3. Que presenta una rigidez elástica inicial promedio de 120 kN/mm², una carga máxima de 121.3 kN y un deslizamiento máximo de 12.4mm. Asimismo, la Figura N°4.16(b) presenta una curva de esfuerzo versus distorsión, donde el esfuerzo cortante promedio del muro es 0.41 MPa.

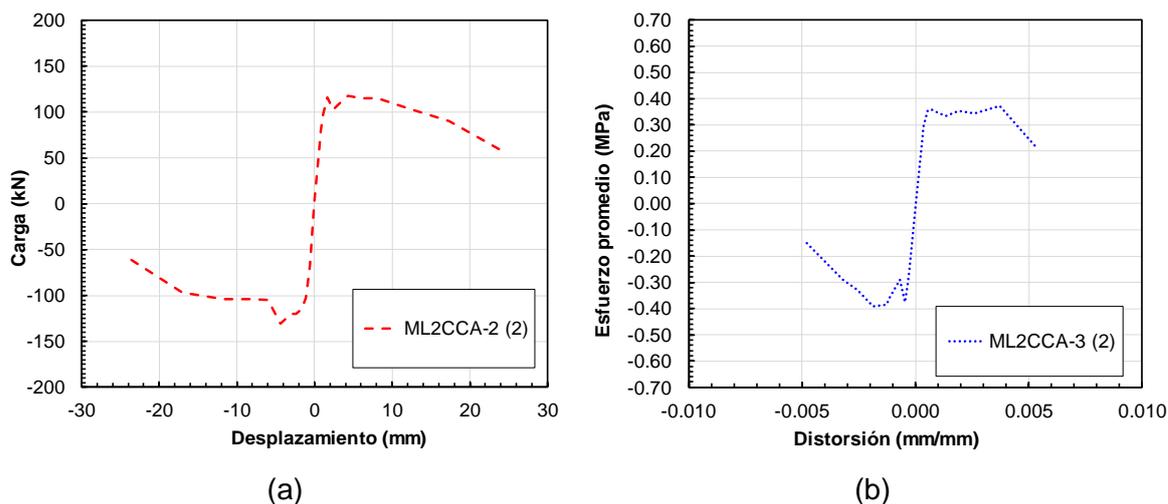


Figura N°4.16 Curvas de capacidad de ML2CCA-3 en función de carga vs desplazamiento (a) y esfuerzo de corte vs distorsión (b)

Elaboración Propia

4.3.3 Degradación de rigidez

Las curvas de degradación de rigidez equivalente y distorsión máxima de los tres muros construidos con unidades de ladrillo industrial tubular ML2CCA-1, ML2CCA-2 y ML2CCA-3 muestra una disminución progresiva a medida que se alcanza el desplazamiento objetivo por ciclo y adoptando la forma de una curva hiperbólica como se observa en la Figura N°4.17. El comportamiento inelástico comienza con la primera pérdida de rigidez, hasta formar una curva aplanada debido al reacomodo de las grietas formadas en el muro, esta curva fue obtenida durante la segunda (2) aplicación de distorsión objetivo, según lo establecido en el protocolo de desplazamientos. Los valores iniciales de rigidez para cada espécimen se presentan en la Tabla N° 4.1.

La curva de degradación de rigidez del muro ML2CCA-1 alcanza una rigidez inicial experimental de 128.57 KN/mm la cual disminuye progresivamente a medida que aumenta el desplazamiento objetivo hasta alcanzar el valor de 26.00 KN/mm, lo que representa el 20% de la rigidez inicial y una distorsión del 0.26%.

La curva del muro ML2CCA-2 alcanza una rigidez inicial experimental de 96.67 KN/mm y se va degradando conforme va aumentando el desplazamiento objetivo hasta alcanzar el valor de 22.74 KN/mm que representa el 20% de la rigidez inicial y una distorsión del 0.26%.

La curva del muro ML2CCA-3 tiene una rigidez inicial experimental de 109.72 KN/mm y se va degradando conforme va aumentando el desplazamiento objetivo hasta alcanzar el valor de 24.55 KN/mm que representa el 22% de la rigidez inicial y una distorsión 0.19%.

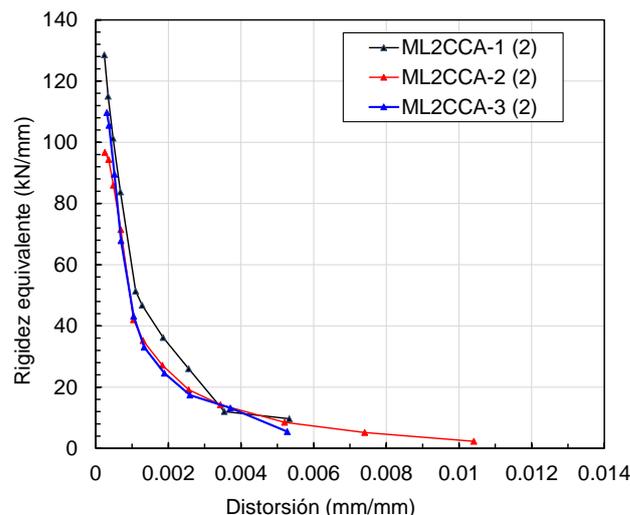


Figura N°4.17. Comparativa de degradación de rigideces ML2CCA1,2,3

Elaboración Propia

Tabla N° 4.3 Rigidez inicial ML2CCA -1,2 y 3

	ML2CCA-1	ML2CCA-2	ML2CCA-3
Ko (kN/mm)	128.57	96.67	109.72

Fuente: Elaboración Propia

4.3.4 Espesores máximos de grietas

La Figura N°4.18 presenta tres curvas que muestran los espesores máximos de grietas, medidos con un grietometro en el ladrillo, mortero y columna del espécimen ML2CCA-1 durante el ensayo se observa que las curvas de grietas en el ladrillo y el mortero tienen un comportamiento similar, en contraste con la curva de grietas en las columnas. Además, las tres curvas aumentan progresivamente a medida que incrementan los desplazamientos objetivos en el muro. Por otro lado, las grietas son observaron primero en las columnas de confinamiento y posteriormente, en el muro de albañilería. En el Anexo D, se puede observar los demás resultados para los especímenes ML2CCA-2, ML2CCA-3.

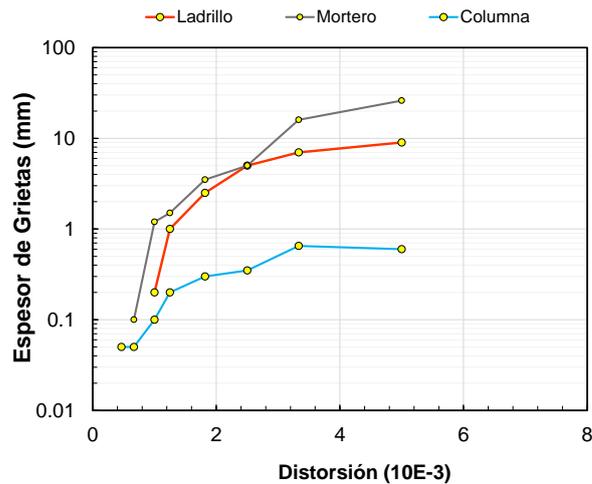


Figura N°4.18.Espesor máximo de grietas del espécimen ML2CCA-1

Elaboración Propia

4.3.5 Daños observados de los especímenes durante el ensayo

La aplicación de cargas cíclicas con control de deformaciones en el muro de albañilería confinada genera daños visibles en todo el muro. Los daños observados incluyen agrietamiento y desprendimiento de ladrillo y mortero a lo largo de las grietas diagonales, debido a los esfuerzos que se generan en el plano del muro de tracción y comprensión, así como la aparición de grietas horizontales en las columnas de confinamiento.

A continuación, en la Tabla N° 4.4, se describen los daños observados de los especímenes ML2CCCA-1, y en el ANEXO C, para los especímenes ML2CCA-2 y ML2CCA-3 para cada distorsión objetivo durante el ensayo.

Tabla N° 4.4 Daños Observados en ML2CCA-1

Daños Observados en ML2CCA-1	
Distorsión	Descripción
1/4200	No se observaron daños
1/3000	No se observaron daños
1/2150	1° grietas horizontales en columnas
1/1500	Nuevas grietas horizontales en columnas Primera grieta la parte inferior del muro (falla por junta) Primera grieta horizontal en muro cimiento
1/1000	Nuevas grietas horizontales en columnas Primera grieta diagonal paralelo a la diagonal principal del muro 2° grieta diagonal principal del muro (falla mortero) FALLA POR DESLIZAMIENTO Grietas diagonales en Zona del endentado 1° grieta diagonal en talón columna
1/800	Nuevas grietas horizontales en columna Continuación de grietas diagonales en zona del endentado 1° Grieta diagonal principal en muro 1° grieta diagonal viga columna Nueva grieta diagonal en talón columna
1/550	Continuación de 1° Grieta Diagonal principal en muro Nuevas grietas horizontales en columna Continuación de grieta en zona del endentado Continuación de grietas diagonales en talón columna Nuevas grietas diagonales en talón columna
Daños Observados en ML2CCA-1	
Distorsión	Descripción
1/400	Nuevas grietas diagonales en mitad superior del muro. 1° grieta diagonal viga columna Continuación de grieta diagonal en viga columna Nuevas grietas diagonales en talón columna Continuación de 1° grieta diagonal principal

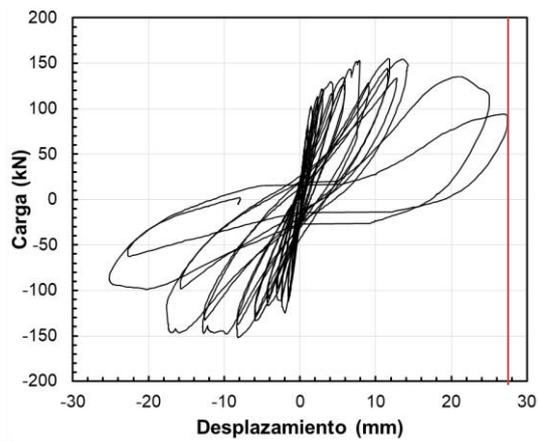
1/300	Desprendimiento de ladrillo Ensanchamiento de grietas diagonales Nuevas grietas en zona del endentado Nuevas grietas diagonales en viga columna Ensanchamiento de grietas diagonales en talón de columna
1/200	Nuevo desprendimiento de ladrillo Trituración de talón de columna Continuación de grietas en zona de endentado Desplome de talón de columna
1/150	Nuevas grietas diagonales en muro Desprendimiento de ladrillo por la diagonal principal Continuación de desprendimiento de concreto por el talón de columna

Fuente: Elaboración Propia

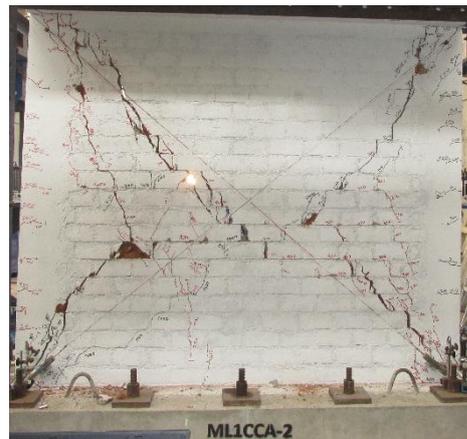
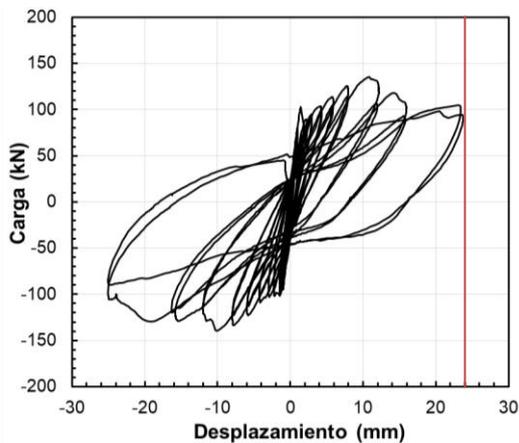
4.4 Análisis de resultados

4.4.1 Curva de histéresis

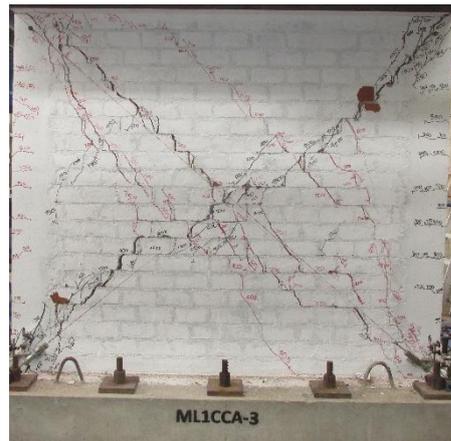
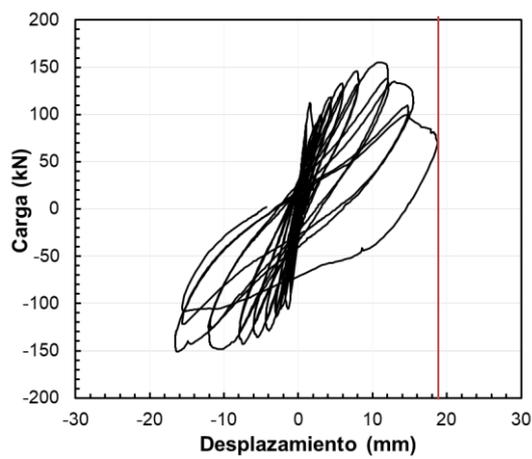
La curva de histéresis de los muros construidos con ladrillo artesanal sólido macizo y los de ladrillo industrial tubular muestran un comportamiento similar en el rango lineal. Sin embargo, en el rango no lineal, los últimos ciclos de histéresis van decayendo por la pérdida de resistencia y degradación de rigidez, alcanzando un mayor desplazamiento último en los muros de ladrillo artesanal sólido en comparación con los muros de ladrillo industrial tubular, lo que resulta en una mayor ductilidad. Además, los ciclos de histéresis en los muros de ladrillo solido artesanal se ensanchan, lo que indica un incremento en la disipación de energía como se observan en la Figura N°4.19. En los muros construidos de ladrillo industrial tubular, se observó que el muro ML2CCA-2 presenta mayor estabilidad y capacidad de disipación de energía en comparación con los otros dos muros.



(a) ML1CCA-1

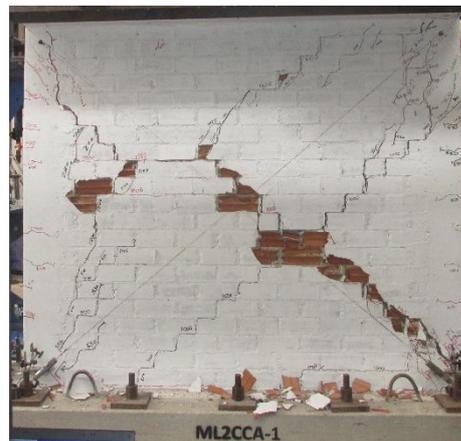
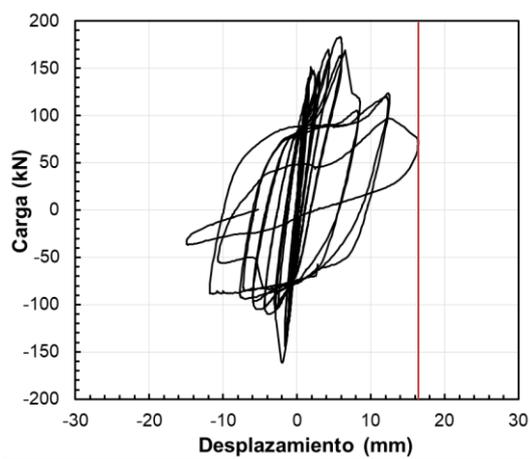


(b) ML1CCA-2

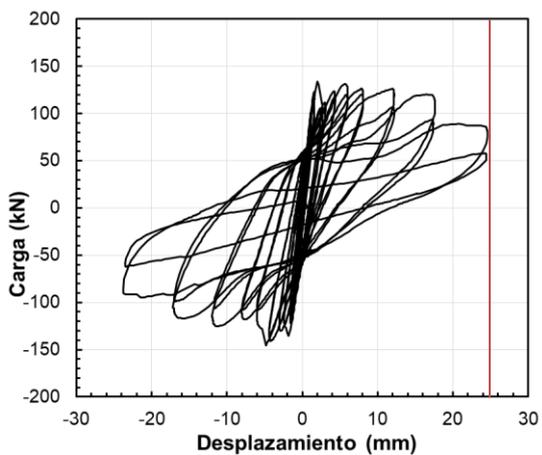


(c) ML1CCA-3

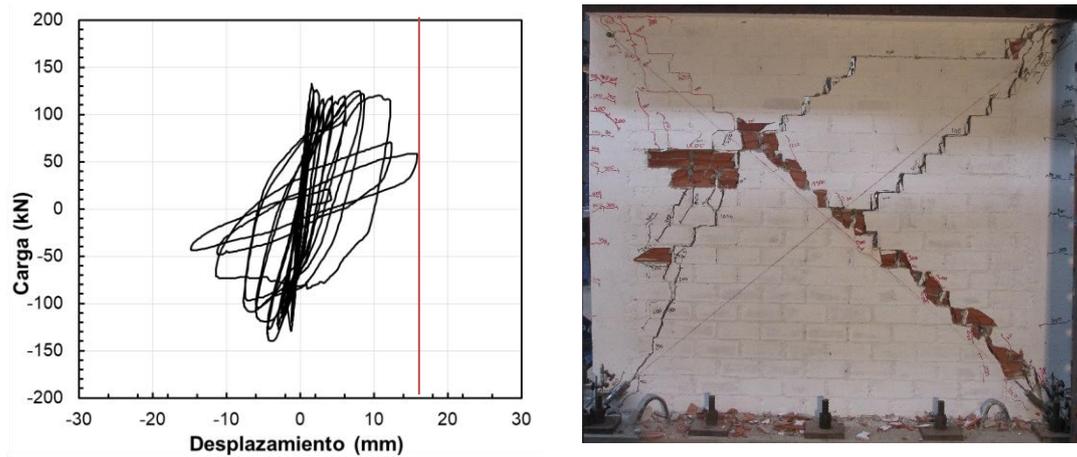
Figura N°4.19. Curva de histéresis de los especímenes ML1CCA-1, ML1CCA-2 y ML1CCA-3



(a) ML2CCA-1



(b) ML2CCA-2



(c) ML2CCA-3

Figura N° 4.20 Curva de histéresis de los especímenes ML2CCA-1, ML2CCA-2 y ML2CCA-3

Elaboración Propia

4.4.2 Curva de capacidad promedio

En la Figura N°4.21 muestra, para la segunda distorsión objetivo; las curvas de capacidad en tracción (+), en compresión (-) en valor absoluto y la curva de capacidad promedio (envolvente) de los tres muros de ladrillo sólido artesanal macizo ML1CCA-1, ML1CCA-2 y ML1CCA-3 ensayados bajo carga lateral hasta el estado límite de rotura. De la curva promedios se identifican dos rangos de comportamiento; el rango elástico (lineal) y el rango inelástico (no lineal). En el rango elástico, las primeras distorsiones alcanzan una distorsión de 0.03% y una resistencia cortante de 66.13 kN, entrando al rango inelástico no lineal, se obtiene una carga máxima de 123.67 kN.

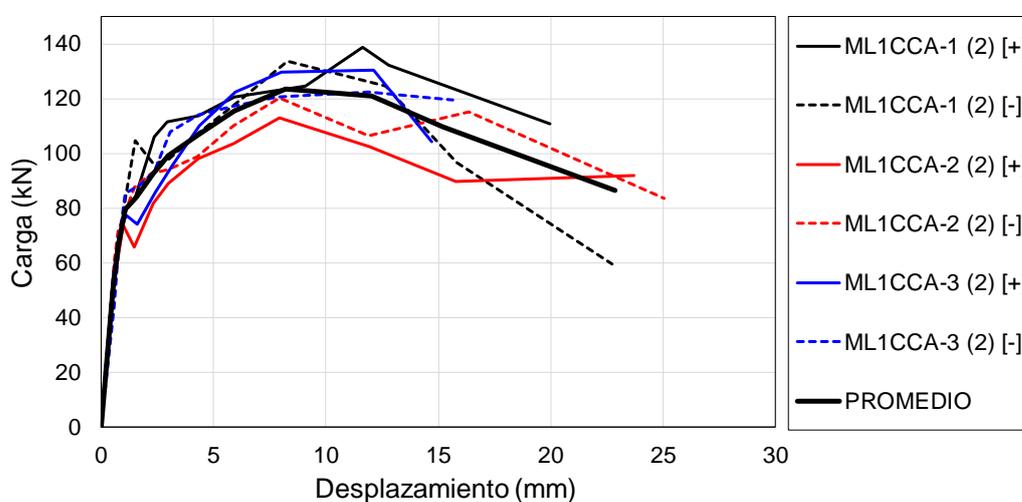


Figura N°4.21. Curva de capacidad promedio de los muros de ladrillo artesanal sólido macizo

En la Figura N°4.22 se muestra los resultados de la segunda distorsión objetivo; las curvas de capacidad en tracción (+), en compresión (-) en valor absoluto y la curva de capacidad promedio de los 03 muros de ladrillo industrial tubular son ML2CCA-1, ML2CCA-2 y ML2CCA-3 ensayados bajo carga lateral hasta el estado límite de rotura. Asimismo, se observa dos tipos de rangos de comportamiento en la curva promedio, el rango elástico lineal y el rango inelástico no lineal. El rango elástico lineal es observado por las primeras distorsiones objetivos alcanzando una distorsión de 0.03% y una carga cortante de 66.13 kN, para luego entrar en el rango inelástico no lineal, obteniendo una carga máxima de 123.67 kN.

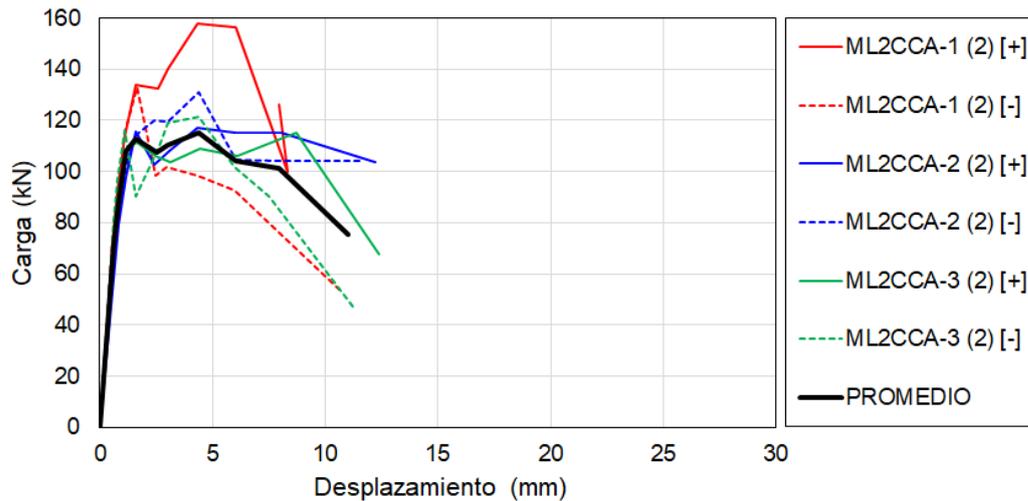


Figura N°4.22. Curva de capacidad promedio de los muros de ladrillo industrial tubular

Comparando las curvas de capacidad promedio de los dos tipos de muros de ladrillo artesanal solido e industrial tubular, se observó que los dos tipos de muros alcanzan una resistencia máxima muy similar. Sin embargo, el muro de ladrillo solido tiene mayor desplazamiento, es decir mayor ductilidad que el muro de ladrillo industrial tubular, y es debido a su falla que es del tipo frágil, como se observa en la Tabla N° 4.5.

Tabla N° 4.5. Resultado promedio de los ensayos

Espécimen	P _{máx}	D(P _{máx})	D _u	D _y	μ
ML1CCA-1[+]	138.75	11.63	27.44	2.94	9.33
ML1CCA-1[-]	133.75	8.3	22.75	2.92	7.79
ML1CCA-2[+]	113	7.92	23.74	2.97	7.99
ML1CCA-2[-]	120.25	7.95	25.06	2.98	8.41
ML1CCA-3[+]	130.5	12.14	18.76	3.14	5.97
ML1CCA-3[-]	122.5	11.88	15.63	2.94	5.32
ML2CCA-1[+]	157.75	4.36	12.52	2.58	4.85
ML2CCA-1[-]*	132.75	1.64	10.68	2.33	4.58
ML2CCA-2[+]	117.25	4.32	12.22	2.44	5.01
ML2CCA-2[-]	130.75	4.42	11.66	2.4	4.86
ML2CCA-3[+]	115.13	8.72	12.4	2.46	5.04
ML2CCA-3[-]	121.25	4.42	11.24	2.37	4.74

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 4.23 se compara las curvas envolventes de los 03 muros de ladrillo sólido artesanal en forma de líneas continuas mientras que los resultados de curvas envolventes de los 03 muros de ladrillos industrial tubular se presentan en con líneas discontinuas

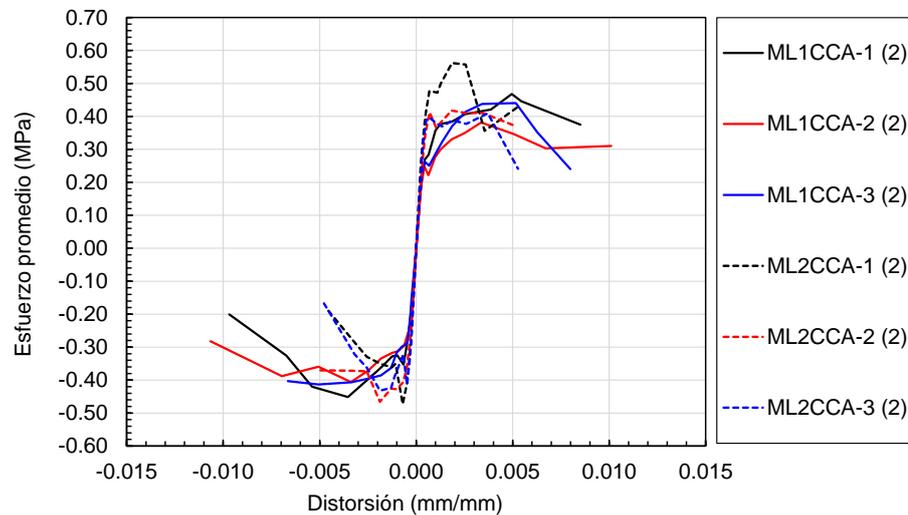


Figura N° 4.23. Comparación de Curva envolvente en muros de ladrillo sólido y ladrillo industrial tubular en unidades de esfuerzo promedio vs distorsión

Asimismo, en la Tabla N° 4.6 se comparan los resultados más relevantes de los ensayos experimentales.

Tabla N° 4.6. Resultados del comportamiento de los muros de los ensayos experimentales

Parámetros Teóricos	ML1CCA-1	ML1CCA-2	ML1CCA-3	ML2CCA-1	ML2CCA-2	ML2CCA-3
Carga Axial "P", kN	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
Rigidez "K", kN/mm	96.0	104.0	90.0	127.0	105.0	119.0
Fuerza Cortante de Agrietamiento diagonal Teórico, kN	98.0	98.0	98.0	87.2	87.2	87.2
Resultados del comportamiento Experimental de los Muros						
1° grieta por flexión	1/550	1/800	1/1000	1/2150	1/1500	1/2150
Cortante, kN	113.8	89.0	85.8	113.5	115.8	109.3
Distorsión, x10 ⁻³	1.83	1.26	1.03	0.48	0.69	0.52
Desplazamiento, mm	4.31	2.97	2.41	1.12	1.62	1.22

1° grieta inclinada	1/1500	1/2150	1/1500	1/1500	1/2150	1/1500
Cortante, kN	84.0	73.8	74.3	134.0	98.0	111.3
Distorsión, $\times 10^{-3}$	0.64	0.42	0.67	0.68	0.49	0.70
Desplazamiento, mm	1.51	0.98	1.58	1.60	1.14	1.64
Rigidez inicial, kN/mm	96.3	104.0	89.6	127.2	104.7	119.2

Resultados del comportamiento Experimental de los Muros

	ML1CCA-1	ML1CCA-1	ML1CCA-1	ML2CCA-1	ML2CCA-1	ML2CCA-1
Cortante de agrietamiento	1/800	1/1000	1/550	1/1000	1/1000	1/800
Cortante, kN	111.5	81.75	110	132.5	102.5	103.8
Distorsión de agrietamiento, $\times 10^{-3}$	1.25	0.97	1.86	1.10	1.04	1.34
Desplazamiento de agrietamiento, mm	2.94	2.29	4.38	2.58	2.44	3.14
Cortante máximo	1/200	1/300	1/200	1/550	1/550	1/550
Cortante, kN	138.8	113	130.5	157.8	117.3	109.0
Distorsión a carga máxima, $\times 10^{-3}$	4.95	3.37	5.17	1.86	1.84	1.89
Desplazamiento a carga máxima, mm	11.63	7.92	12.14	4.36	4.32	4.44
Cortante de falla	1/100	1/100	1/100	1/200	1/100	1/150
Cortante, kN	111.0	92.0	71.3	126.2	56.3	57.0
Distorsión a la falla, $\times 10^{-3}$	8.51	10.10	7.98	3.38	10.41	6.75
Desplazamiento de la falla, mm	19.99	23.74	18.76	7.94	24.46	15.86

Fuente: Elaboración Propia

4.4.3 Estado límite de daño

El comportamiento histerético de los muros de albañilería, sometidos a una combinación de carga vertical constante y carga horizontal lateral reversible, se representa mediante un modelo de curva envolvente llamado Quadlinear o TetraLineal. El modelo está representado por cuatro estados límites, definidos en el Capítulo 2, y observados en el comportamiento de los muros ensayados

Límite de Agrietamiento: determinado por el δ_c de desplazamiento y Q_{cr} de resistencia en la formación de las primeras grietas significativas en el muro, que cambian la pendiente de la envolvente, definidos por el punto Po

Límite de Fluencia: Determinado por el δ_y de desplazamiento y el Q_y de resistencia en la formación de grietas horizontales en el muro evidenciando la fluencia del acero de refuerzo, que cambia la pendiente de la envolvente.

Límite de Resistencia Máxima: Determinado por la máxima resistencia Q_{max} , alcanzado durante el ensayo y su correspondiente desplazamiento $\delta_m(Q_{max})$

Límite de Estado Ultimo: Determinado por el desplazamiento máximo δ_u alcanzado durante el ensayo y su correspondiente resistencia ultima $Q_u(\delta_u)$.

Se ha observado en numerosos experimentos, que la degradación en el rango no lineal, antes del colapso de los muros de albañilería es relativamente significativa. El factor de degradación de resistencia varía entre 0.4 y 0.8. No obstante, se recomienda que no se tolere más del 20% de degradación de la resistencia ($Q_u(\delta_u) = 0.8 Q_m$) (Tomažević, 1999). Los estados límites mencionados, se presentan en la Tabla N° 4.7 donde se describen los estados límites del comportamiento de los muros ensayados.

Tabla N° 4.7. Comportamiento de los muros de los ensayos experimentales

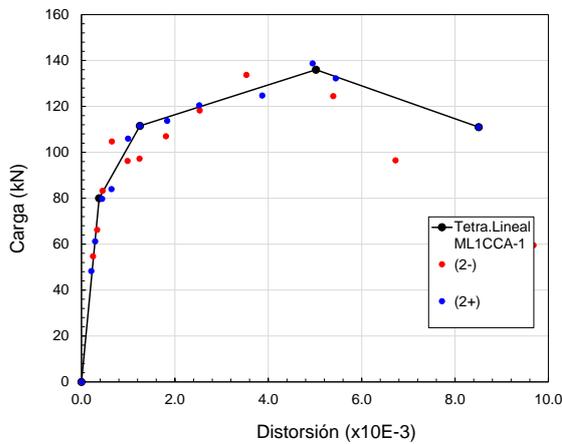
Especímenes	ML1CCA-1	ML1CCA-2	ML1CCA-3	ML2CCA-1	ML2CCA-2	ML2CCA-3
Inicio de Agrietamiento	1/1500	1/2150	1/1500	1/1500	1/1500	1/2150
Pcr Cortante, kN (+)	84.0	73.8	74.3	134.0	115.8	109.3
Desplazamiento, mm (+)	1.51	0.98	1.58	1.60	1.620	1.220
Distorsión, x10-3 (+)	0.64	0.42	0.67	0.68	0.69	0.52
ko, KN/mm	55.6	75.3	47.0	83.8	71.5	89.5
Po Cortante, kN (-)	104.8	77.3	88.3	132.8	-114.3	116.0
Desplazamiento, mm (-)	1.53	1.03	1.69	1.64	-1.6	1.12

Distorsión, x10 ⁻³ (-)	0.65	0.44	0.72	0.70	-0.68	0.48
ko, KN/mm	68.5	75.0	52.2	80.9	71.4	103.6
K(loop), kN/mm	62.1	75.1	49.7	82.3	71.4	96.3
Inicio de Fluencia	1/1/550	1/1/800	1/800	1/800	1/1500	1/1500
Py Cortante, kN (+)	113.8	89.0	95.5	140.3	115.8	111.3
Desplazamiento, mm (+)	4.31	2.97	3.14	3.00	1.62	1.64
Distorsión, x10 ⁻³ (+)	1.83	1.26	1.34	1.28	0.69	0.70
Py Cortante, kN (-)	-107.0	94.3	-107.8	-101.5	114.3	90.3
Desplazamiento, mm (-)	4.25	2.98	-3.06	-2.98	1.60	1.58
Distorsión, x10 ⁻³ (-)	1.81	1.27	-1.30	-1.27	0.68	0.67
K(loop), kN/mm	25.8	30.8	32.8	40.4	71.4	62.6
Resistencia Máxima	1/200	1/300	1/300	1/550	1/550	1/550
Pm Cortante, kN (+)	138.8	113.0	129.8	157.8	117.3	109.0
Desplazamiento, mm (+)	11.63	7.92	8.01	4.36	4.32	4.44
Distorsión, x10 ⁻³ (+)	4.95	3.37	3.41	1.86	1.84	1.89
Pm Cortante, kN (-)	124.5	120.3	120.5	-98.5	130.8	121.3
Desplazamiento, mm (-)	12.67	7.95	7.85	-4.34	4.42	4.42
Distorsión, x10 ⁻³ (-)	5.39	3.38	3.34	-1.85	1.88	1.88
K(loop), kN/mm	10.8	14.7	15.8	29.5	28.4	26.0
Resistencia Ultima	1/100	1/100	1/100	1/200	1/100	1/200
Cortante, kN (+)	111.0	92.0	71.3	126.2	56.25	67.750
Desplazamiento, mm (+)	19.99	23.740	18.76	7.935	24.46	12.400
Distorsión, x10 ⁻³ (+)	8.51	10.10	7.98	3.38	10.41	5.28
Cortante, kN (-)	59.5	83.5	102.3	-53.25	61	47.000
Desplazamiento, mm (-)	22.75	25.06	15.65	-10.68	23.54	11.240
Distorsión, x10 ⁻³ (-)	9.68	10.66	6.66	-4.54	10.02	4.78
K(loop), kN/mm	3.0	3.6	5.04	7.51	2.44	4.854

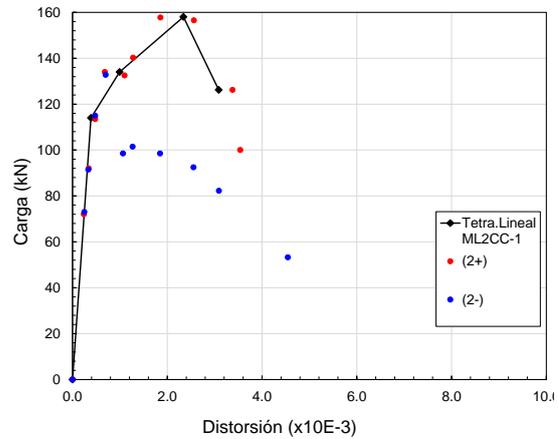
Fuente: Elaboración Propia

4.4.4 Idealización de curva envolvente

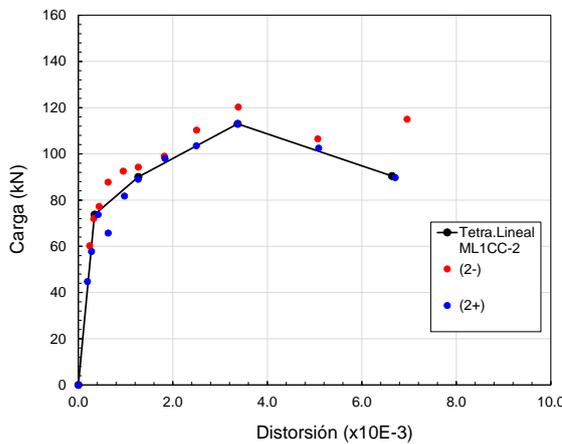
Del comportamiento histórico de los muros de albañilería, tanto solido artesanal como industria tubular, se obtuvo la curva de capacidad, identificándose para cada respuesta de los muros su respectiva curva envolvente en función del modelo tetra lineal definido en el capítulo 2. Esta curva envolvente idealizada se ajustó a la curva envolvente experimental mediante la equivalencia de áreas debajo de la curva y respetando lo observado experimentalmente mostrado en la Tabla N° 4.7 , así también se calibro y hallo los parámetros de histéresis que se presenta en el capítulo 5.



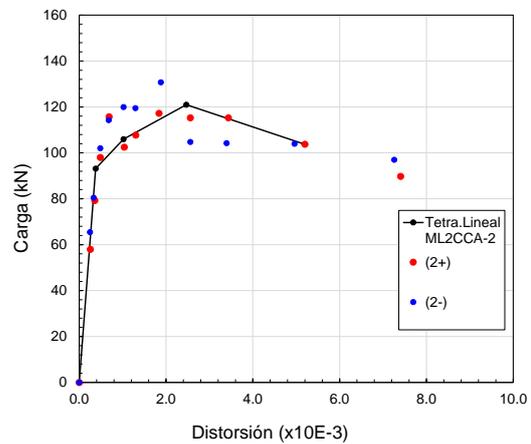
ML1CCA-1



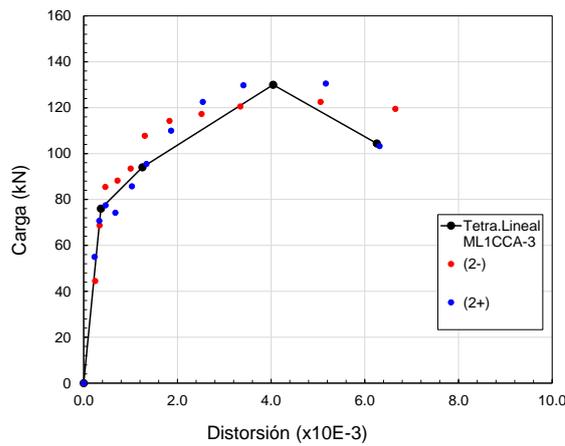
b) ML2CCA-1



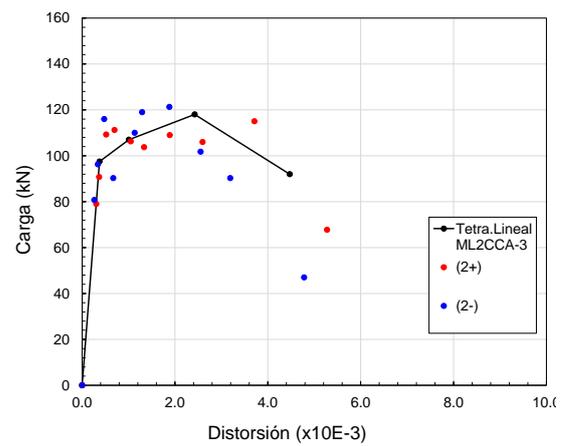
c) ML1CCA-2



d) ML2CCA-2



c) ML1CCA-3



d) ML2CCA-3

Figura N° 4.24. Curva de capacidad idealizada a un modelo Tetra Lineal de los muros artesanal sólido e industrial tubular.

En la Tabla N° 4.8 observamos los valores límites definidos de la curva de capacidad idealizada (Modelo Tetra-Lineal) en función de esfuerzo y distorsión representados por los 04 estados límites, como el valor de límite de agrietamiento ($\bar{\delta}_c, \sigma_{cr}$), punto de fluencia ($\bar{\delta}_y, \sigma_y$), resistencia máxima ($\bar{\delta}_m, \sigma_{max}$) y estado último ($\bar{\delta}_u, \sigma_u$) de los muros de albañilería de ladrillo sólido artesanal y ladrillo industrial tubular.

Tabla N° 4.8. Valores límites de agrietamiento, fluencia, resistencia máxima y estado último del modelo de curva Tetra Lineal

Espécimen	$\bar{\delta}_c$ ($\times 10^{-3}$)	$\bar{\delta}_y$ ($\times 10^{-3}$)	$\bar{\delta}_m$ ($\times 10^{-3}$)	$\bar{\delta}_u$ ($\times 10^{-3}$)	σ_{cr} (MPa)	σ_y (MPa)	σ_{max} (MPa)	σ_u (MPa)
ML1CCA-1	0.38	1.25	5.0	8.51	0.27	0.38	0.46	0.37
ML1CCA-2	0.34	1.27	3.37	6.63	0.25	0.30	0.38	0.30
ML1CCA-3	0.36	1.25	3.83	6.27	0.26	0.32	0.44	0.35
ML2CCA-1	0.39	0.99	2.34	3.09	0.41	0.48	0.56	0.45
ML2CCA-2	0.38	1.02	2.47	5.19	0.33	0.38	0.43	0.37
ML2CCA-3	0.37	1.01	2.43	4.47	0.35	0.38	0.42	0.33

Fuente: Elaboración Propia

A partir del promedio de las curvas envolventes idealizadas de los 03 muros de ladrillo sólido artesanal, y 03 muros de ladrillo industrial tubular, se obtuvo una curva envolvente tetra lineal para ambos tipos de muros como se observa en la Figura N° 4.25, cuyos valores se presentan en la

Tabla N° 4.9.

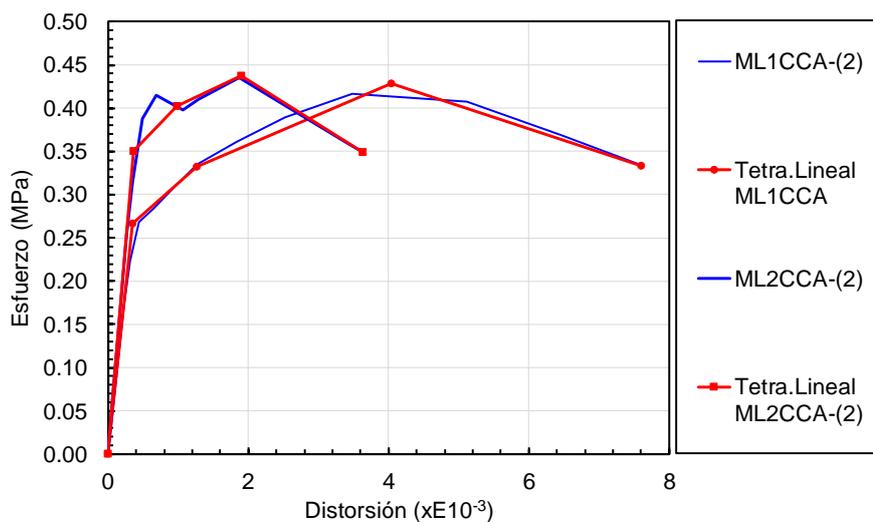


Figura N° 4.25. Comparación de la curva del modelo Tetra lineal y curva experimental en función de Esfuerzo y distorsión del Muro confinado de ladrillo Solido (ML1CCA) y Muro confinado de ladrillo tubular (ML2CCA).

Tabla N° 4.9. Valores de los 04 estados límites del modelo Tetralineal

Espécimen	δ_c (x10 ⁻³)	δ_y (x10 ⁻³)	δ_m (x10 ⁻³)	δ_u (x10 ⁻³)	σ_{cr} (kN)	σ_y (kN)	σ_{max} (kN)	σ_u (kN)
ML1CCA-2	0.3	1.3	4.0	8.0	0.26	0.33	0.43	0.33
ML2CCA-2	0.4	1.0	1.9	3.6	0.35	0.40	0.44	0.35

Fuente: Elaboración Propia

4.4.5 Disipación de energía

En la Tabla N° 4.10 y Tabla N° 4.11 muestra la disipación de energía calculada dentro del área de los lazos de histéresis de los muros de albañilería de ladrillo artesanal solido e industrial tubular. Se observa que, a medida que la distorsión aumenta, se libera más energía, lo cual refleja en el ensanchamiento de los lazos de histéresis.

Tabla N° 4.10 Energía disipada en los muros de albañilería de ladrillo sólido.

Energía Disipada (J)						
Distorsión	ML1CCA-1		ML1CCA-2		ML1CCA-3	
	1er Ciclo	2do Ciclo	1er Ciclo	2do Ciclo	1er Ciclo	2do Ciclo
1/4200	25.4	21.5	19.7	21.0	23.6	21.0
1/3000	34.4	31.6	34.3	33.5	32.9	30.4
1/2150	55.5	51.4	73.9	56.8	55.9	49.7
1/1500	125.1	80.9	169.4	95.0	190.3	85.9
1/1000	212.7	146.4	206.2	164.4	151.0	118.3
1/800	238.2	176.0	224.9	199.6	183.0	156.0
1/550	386.4	259.8	374.7	294.4	346.3	249.1
1/400	496.3	412.7	485.6	377.2	492.1	346.4
1/300	981.7	535.5	653.9	522.9	675.8	470.8
1/200	1257.4	867.5	1439.7	885.1	1464.8	963.1
1/150	1765.1	1044.5	1784.2	1410.9	1942.5	1155.4
1/100	3383.8	2058.9	3834.7	4038.7	2797.9	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.11 Energía disipada en los muros de albañilería de ladrillo Tubular.

Energía Disipada (J)						
Distorsión	ML2CCA-1		ML2CCA-2		ML2CCA-3	
	1er Ciclo	2do Ciclo	1er Ciclo	2do Ciclo	1er Ciclo	2do Ciclo
1/4200	22.8	20.2	19.0	17.4	28.4	28.4
1/3000	38.2	36.8	35.0	33.3	40.6	39.0
1/2150	64.7	63.6	57.9	55.9	68.0	66.6
1/1500	110.8	107.2	96.6	93.8	105.8	91.2
1/1000	168.1	170.9	145.6	125.1	148.7	130.7
1/800	217.9	210.4	169.8	164.9	176.1	162.9
1/550	354.2	343.9	260.0	253.3	255.6	242.0
1/400	527.7	471.1	364.7	346.9	353.0	323.3
1/300	489.9	416.0	483.8	465.6	493.2	501.4
1/200	709.2	757.5	739.6	633.9	687.0	420.1
1/150	598.6		988.9	780.8	452.0	
1/100			984.0	687.9		

Fuente: Elaboración Propia

La disipación de energía, también conocida como amortiguamiento histerético equivalente, representa la capacidad de un sistema inelástico para disipar energía. Esto se detalla en Tabla N° 4.12 y Figura N°4.26, así como en la Tabla N° 4.13 y Figura N°4.27.

Tabla N° 4.12 Amortiguamiento Equivalente de Muros ML1CCA-1,2,3

Amortiguamiento Equivalente (Heq)						
Distorsión	ML1CCA-1		ML1CCA-2		ML1CCA-3	
	1er Ciclo	2do Ciclo	1er Ciclo	2do Ciclo	1er Ciclo	2do Ciclo
1/4200	17.2%	14.5%	24.0%	16.6%	12.7%	11.2%
1/3000	15.9%	11.9%	16.7%	14.2%	9.5%	8.8%
1/2150	11.3%	9.9%	16.5%	12.5%	9.0%	9.4%
1/1500	13.0%	10.2%	17.5%	15.5%	18.0%	11.7%
1/1000	13.4%	9.4%	16.4%	14.0%	11.3%	9.1%
1/800	10.7%	8.5%	13.4%	12.0%	9.6%	8.3%
1/550	11.8%	8.4%	14.1%	11.1%	11.0%	8.2%
1/400	10.5%	9.2%	11.9%	9.9%	10.3%	7.5%
1/300	13.0%	7.5%	10.9%	9.3%	9.8%	7.2%
1/200	11.4%	8.6%	15.8%	11.5%	13.5%	9.7%
1/150	13.3%	9.8%	17.3%	15.9%	17.7%	12.0%
1/100	19.2%	13.4%	25.4%	29.4%	33.3%	

Fuente: Elaboración Propia

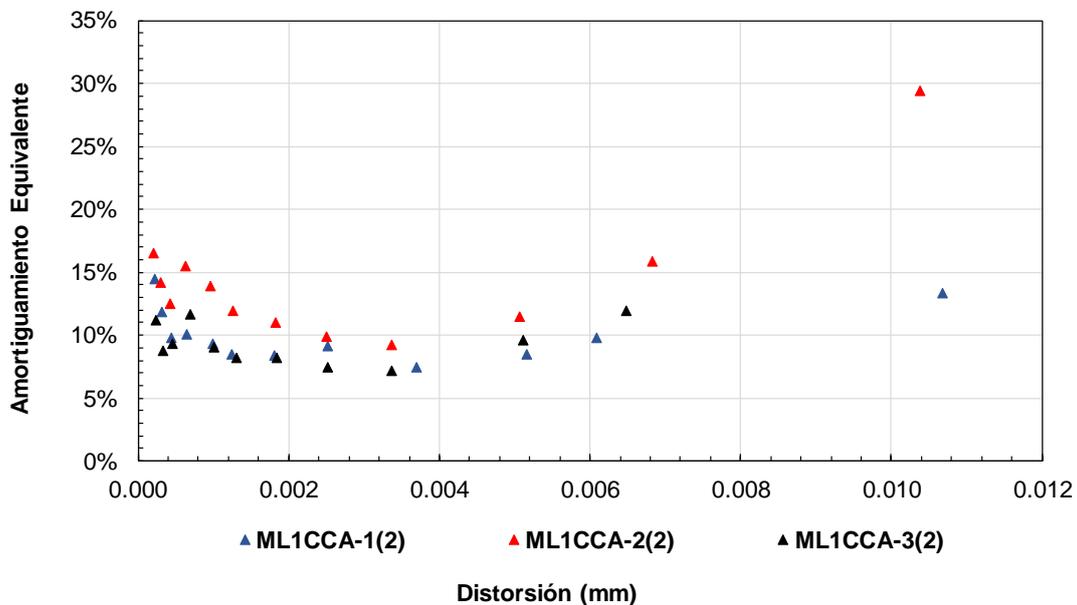


Figura N°4.26. Amortiguamiento viscoso equivalente de los 03 especímenes ML1CCA-1,2,3 para el segundo ciclo

Tabla N° 4.13 Amortiguamiento Equivalente de Muros ML2CCA-1,2,3

Amortiguamiento Equivalente (Heg)						
Distorsión	ML2CCA-1		ML2CCA-2		ML2CCA-3	
	1er Ciclo	2do Ciclo	1er Ciclo	2do Ciclo	1er Ciclo	2do Ciclo
1/4200	10.4%	10.1%	11.8%	10.5%	10.3%	8.3%
1/3000	8.9%	8.6%	9.0%	8.6%	8.2%	8.5%
1/2150	9.1%	8.2%	9.5%	8.9%	9.3%	7.8%
1/1500	9.6%	8.2%	10.8%	9.6%	15.9%	11.2%
1/1000	20.0%	18.4%	20.0%	16.6%	16.0%	13.0%
1/800	15.2%	15.4%	17.6%	15.9%	13.9%	11.9%
1/550	16.1%	16.3%	17.2%	15.2%	16.9%	15.2%
1/400	16.5%	18.6%	19.8%	17.5%	21.0%	20.7%
1/300	32.4%	34.1%	18.1%	16.9%	23.3%	28.8%
1/200	29.7%	30.0%	19.3%	19.1%	30.9%	19.1%
1/150	18.5%		21.2%	25.4%	14.3%	
1/100			28.0%	18.0%		

Fuente: Elaboración Propia

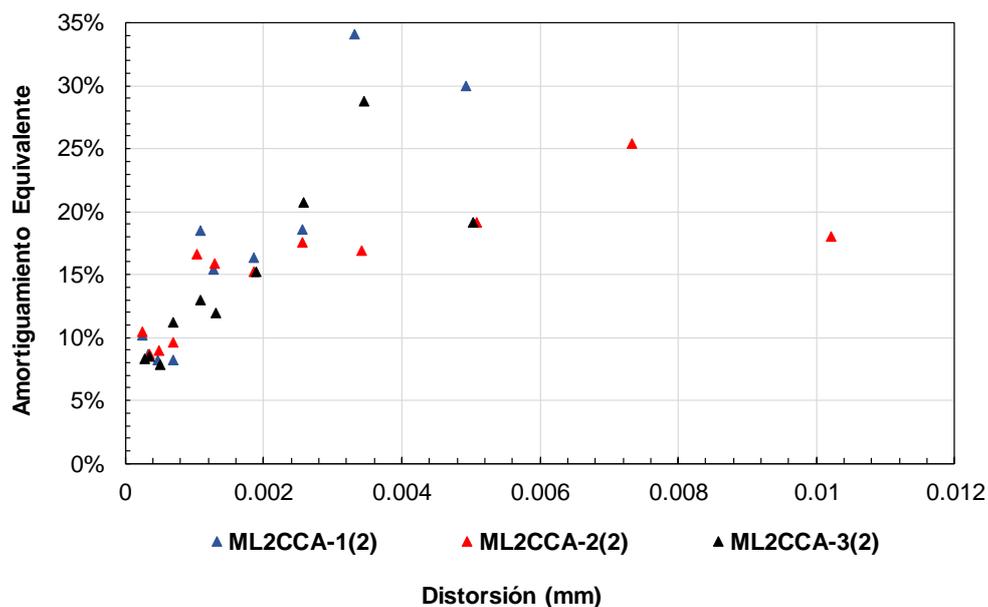


Figura N°4.27. Amortiguamiento viscoso equivalente de los 03 especímenes ML2CCA-1,2,3 para el segundo ciclo

4.4.6 Espesores máximos de grietas

Los daños observados en los muros bajo cargas cíclicas se manifiestan en grietas en el muro de albañilería específicamente en el ladrillo y mortero y en los elementos de confinamiento de las columnas. Estos tipos de grietas tienen forma horizontal y diagonal el cual depende del tipo de esfuerzo producido en cada elemento y van incrementando su espesor conforme va aumentando la distorsión objetivo por cada ciclo. Estos anchos de agrietamientos fueron medidos con un girómetro como se muestra en la Figura N° 4.28

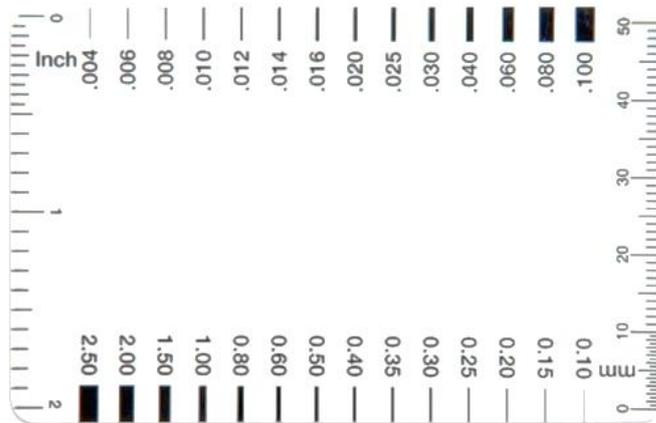


Figura N° 4.28 Grietometro

En la Figura N° 4.29 (a) se compara la curva de agrietamiento medido en los ladrillos durante el ensayo experimental para los dos tipos de muros: ML1 (Muro de ladrillo Solido artesanal) y ML2 (Muro de ladrillo Industrial Tubular). Estas curvas se representan en función de la distorsión (mm/mm) ($\times 10E^{-3}$) en el eje de las abscisas, y el ancho de agrietamiento o espesor de grietas, en el eje de las ordenadas, utilizando una escala logarítmica para una mejor visualización.

Las curvas de agrietamiento para los dos tipos de muros, ML1 y ML2, tienen un espesor de agrieta similar de aproximadamente de 3.5 mm hasta una distorsión 1/550, momento en que los muros ML2 alcanzando su máxima resistencia. Además, se observa que el muro ML2 alcanza mayor espesor de grietas en comparación con el muro ML1, a medida que las distorsiones aumentan al llegar a una distorsión de 1/200, el espesor de las grietas alcanza 13,5 mm en los muros ML2 y 10mm en los muros ML1, cuando ambos alcanzan su máxima resistencia.

El ancho o espesor de grietas medido en el mortero durante los ensayos mostrado en la Figura N° 4.29 (b) presentan una similitud en las curvas observadas en los ladrillos de los muros ML1 y ML2. Para.

Por otro lado, se hizo mediciones de espesor de grietas en los elementos columna de los muros durante el ensayo, como se observa en la Figura N° 4.29(c). Para una distorsión 1/550 el muro ML2 alcanza un mayor ancho de grieta con 0.2mm, mientras que el muro ML1 alcanza 0.1 mm En la distorsión 1/200, el espesor de grieta fue de 1.37mm en el muro ML2 y de 0.15mm en el muro ML1.

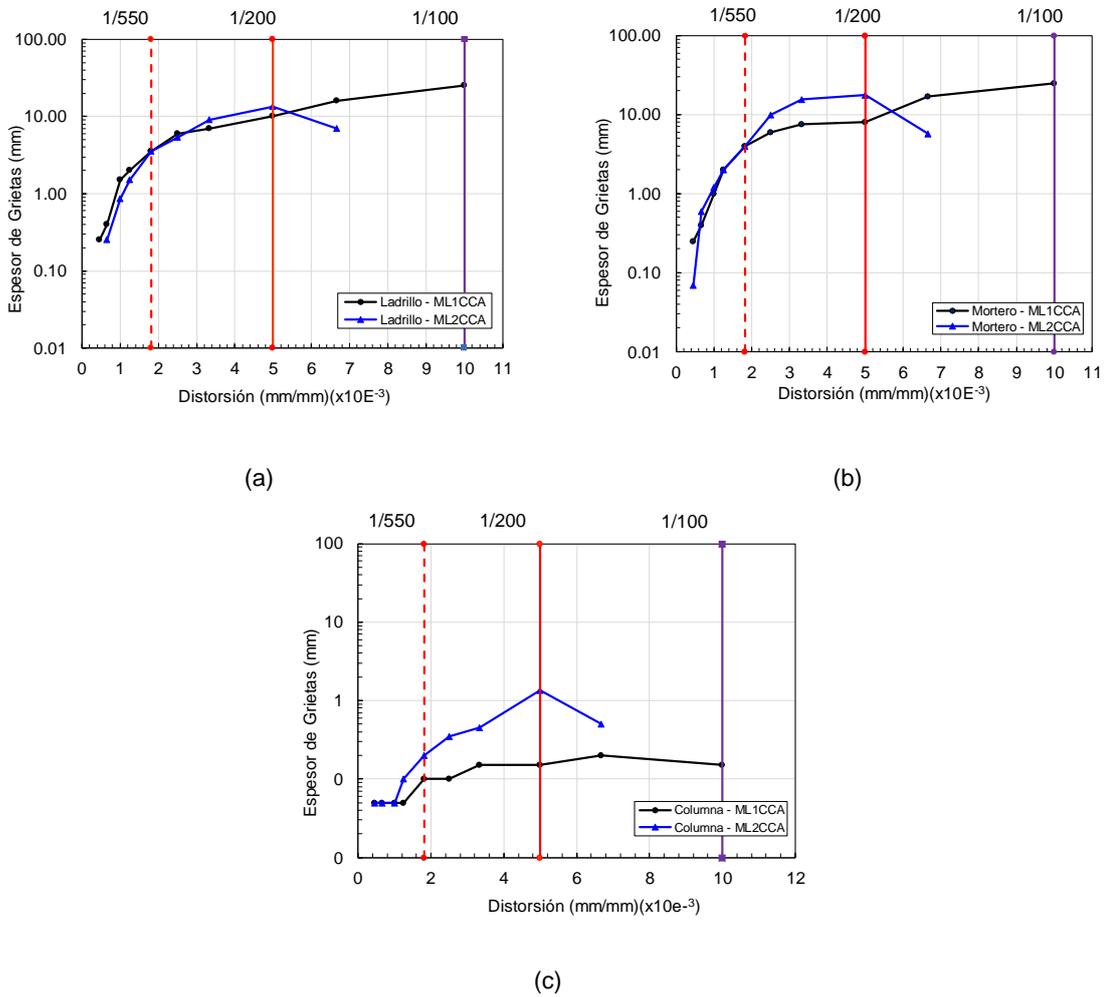


Figura N° 4.29. Espesores de grietas en los muros y columna de confinamiento medidos en (a) Ladrillo, (b) Mortero, (c) Columna.

CAPÍTULO V Curvas de fragilidad en viviendas de albañilería informal

5.1 Introducción.

El presente capítulo presenta el desarrollo de las curvas de fragilidad en viviendas de albañilería informal en Lima Metropolitana en base a una metodología propuesta. Esta metodología consta de una colección de bases de datos con características de vivienda construidas de 49 distritos de Lima Metropolitana y una colección de información de una serie de ensayos experimentales de muros de albañilería informal del laboratorio de estructuras del CISMID. También, se realizó una serie de simulaciones numéricas (análisis dinámico no lineal) utilizando 10 registros sísmicos escalados desde sismos leves hasta sismos severos.

Con los resultados obtenidos, se desarrollan curvas de fragilidad mediante un proceso estadístico y de acuerdo con los estados de límites de daños obtenidos de la base experimental de muros de albañilería.

5.2 Metodología

La metodología para hallar curvas de fragilidad en viviendas de albañilería informal en la ciudad de Lima Metropolitana y el Callao consiste en realizar cinco pasos que son dependientes e independientes entre sí.

El primer paso, es clasificar las características comunes de la zona en estudio, se estableció tipologías de viviendas en base a su sistema estructural como: tipo de material, densidad de muros y cantidad de pisos. El segundo paso analizó las características mecánicas de los materiales y el comportamiento estructural de los muros que conforman las viviendas de albañilería a través de ensayos experimentales. Así mismo, se halló curvas de capacidad por piso de las viviendas calibradas mediante el modelo Tetra lineal estableciendo los límites de daño en base a sus distorsiones. El tercer paso fue elegir 10 registros sísmicos y escalar cada registro desde 0.025g hasta 1g cada 0.025g, siendo (g) la aceleración de la gravedad. El cuarto paso consiste en hallar la respuesta sísmica de las viviendas de albañilería mediante las curvas de capacidad por piso y usar los registros sísmicos escalados cada 0.025g mediante un programa de análisis de dinámico tiempo historia. (Díaz, 2019b)

Finalmente, de la base de datos de los resultados obtenidos en distorsiones máximas de las viviendas por cada registro sísmico escalado, contabiliza por cada valor de PGA el número de veces que alcanza las distorsiones para cada límite de estado de daño

acumulado y la distribución estadística LogNormal se construye las curvas de fragilidad para cada estado de daño.

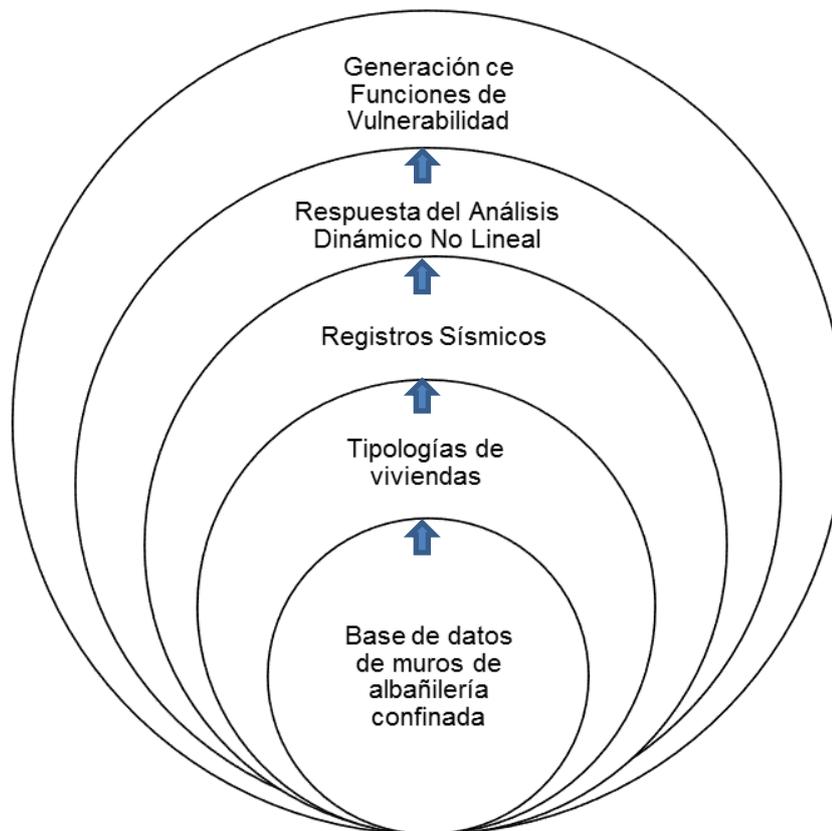


Figura N° 5.1 Metodología para hallar curvas de fragilidad

5.3 Características de viviendas en Lima Metropolitana y Callao

Desde el año 2010, CISMID viene realizando estudios de microzonificación, vulnerabilidad y riesgo sísmico con el apoyo del programa presupuestal por resultados PP068 del Ministerio de Economía y Finanzas y en colaboración con instituciones públicas como el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENEPRED). Hasta la fecha, estos estudios han evaluado 49 distritos en la ciudad de Lima y 6 distritos en el Callao.

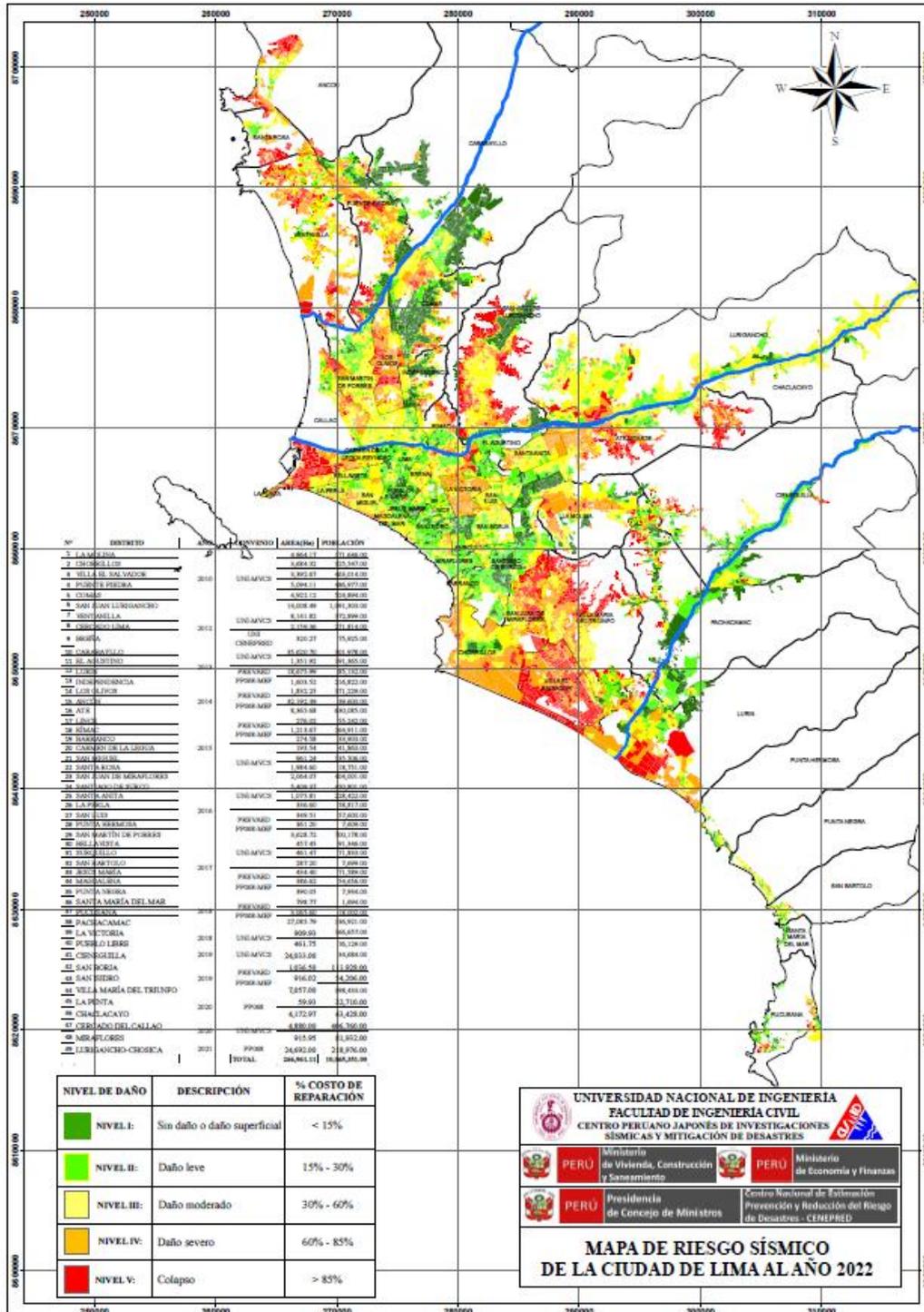


Figura N°5.2 Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Lima al año 2022. (CISMID, 2022)

De los estudios realizados en los 49 distritos de Lima Metropolitana y Callao se) obtuvieron una gran base de datos con características de viviendas representativas por manzana

como: tipo de material, número de pisos, tipo de uso, estado de conservación y sistema estructural.

5.3.1 Tipo de material

El tipo de material encontrado en las manzanas identificadas en Lima Metropolitana se observa en la Figura N°5.3. Observando como color predominante el color naranja que identifica el material de Mampostería o albañilería.

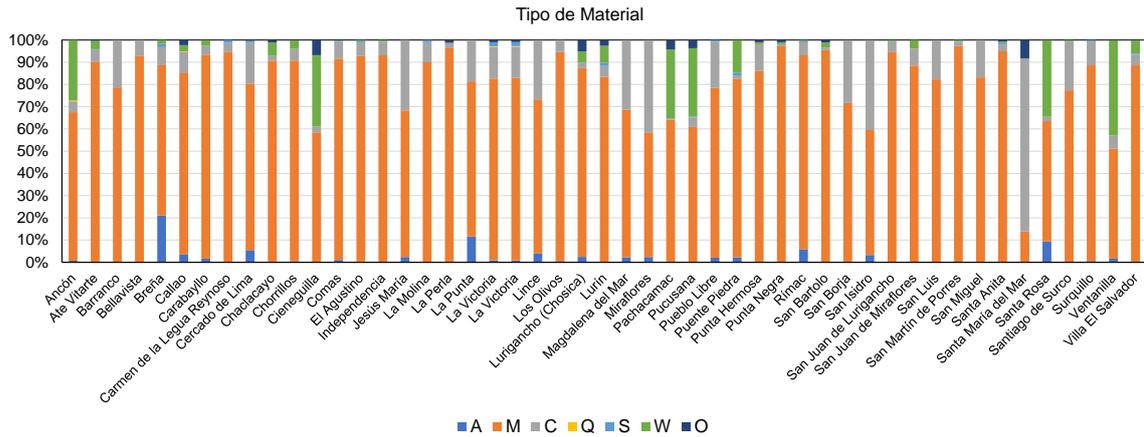


Figura N°5.3 Material Predominante de los 49 distritos de Lima

En la muestra de datos, la distribución de materiales usados en las edificaciones de los distritos de la ciudad de Lima Metropolitana y el Callao son Adobe, Mampostería, Concreto, Quincha, Acero, Madera entre otros como se observa en la Tabla N° 5.1.

Tabla N° 5.1 Distribución del tipo de material

Tipo de material	A	M	C	Q	S	W	O
Porcentaje	1.1%	82.9%	6.9%	0.01%	0.3%	8.3%	0.49%

Nota: A: Adobe C: Concreto S: Acero O: Otros M: Mampostería o Albañilería Q: Quincha
W: Madera

Fuente: (Díaz, 2019a)

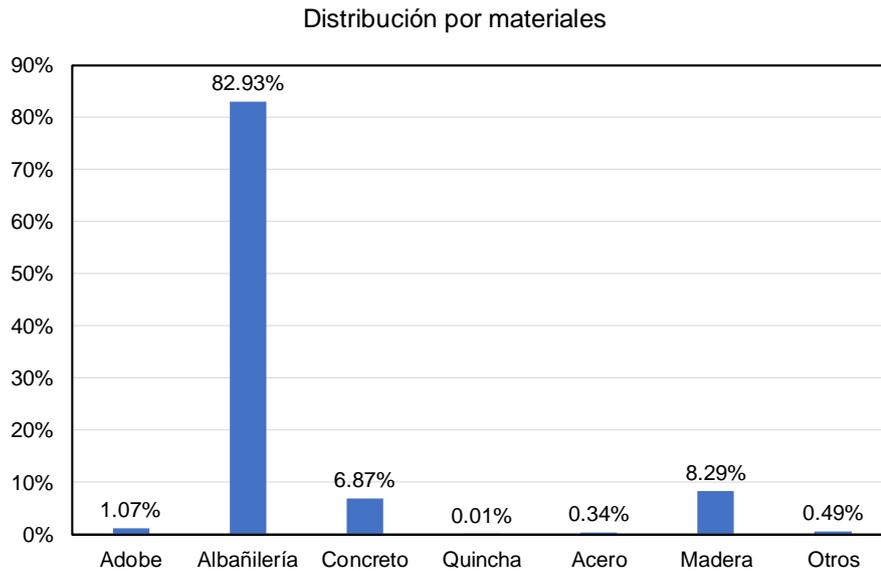


Figura N°5.4 Distribución de materiales(Díaz et al., 2023)

En la construcción de viviendas en Lima Metropolitana y el Callao, el material predominante es la albañilería, presente en el 82.9% de las edificaciones. La madera, utilizada principalmente en viviendas temporales, representa un 8.3%, mientras que el concreto armado constituye el 6.9%. El 1.9% restante corresponde a los materiales como adobe, acero, quincha y entre otros como se observa en la Figura N°5.4.

5.3.2 Cantidad de pisos

La cantidad de pisos por manzanas en los distritos evaluados se presentan en la Figura N°5.5, a través de una distribución de barras acumuladas con distintas tonalidades. Las barras de color azul representan a las viviendas de un piso, de las de color naranja corresponde a viviendas de dos pisos, el de color gris indica viviendas de tres pisos, las amarillas muestran viviendas de cuatro pisos, las celestes representan a viviendas de cinco pisos y finalmente, las barras de color verde indican viviendas de seis pisos.

El número de pisos de las edificaciones calculados en 49 distritos de la ciudad de Lima Metropolitana y el Callao representa: 45.84% para viviendas de hasta 02 pisos, 28.18% viviendas de 01 piso, el 19.91% viviendas de 03 pisos, 3.83% viviendas de 04 pisos, 1.12% viviendas de 05 pisos y 1.1% viviendas mayores de 06 pisos.

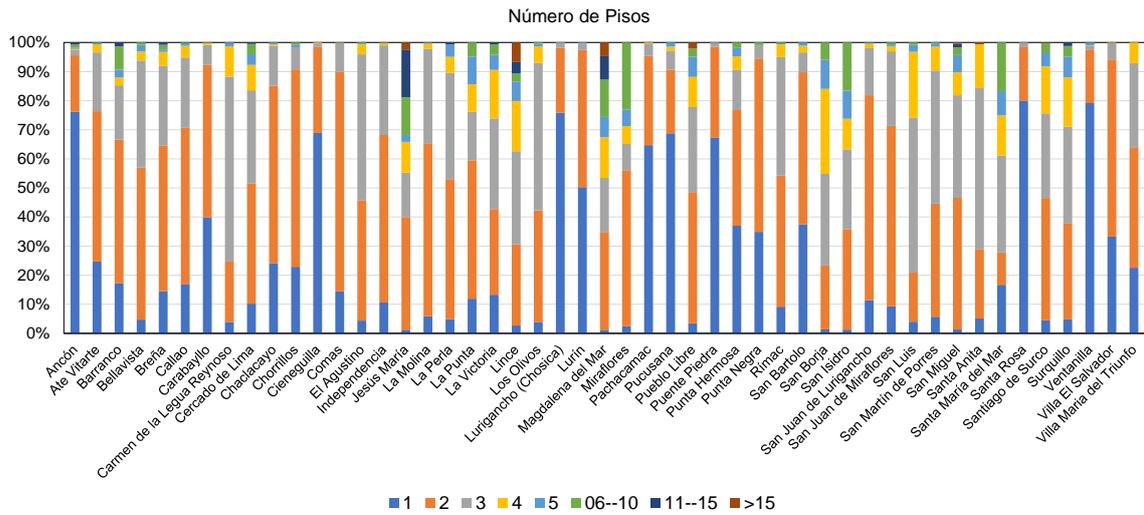


Figura N°5.5 Distribución de número de pisos por Distrito

Tabla N° 5.2 Distribución del número de Pisos

Número de pisos	1	2	3	4	5	6-10	11-15	>15
Porcentaje	28.2%	45.8%	19.9%	3.8%	1.1%	0.8%	0.2%	0.1%

Fuente: (Díaz, 2019a)

En la Figura N°5.6 muestra la distribución en barras del número de pisos en las edificaciones de los 49 distritos de la ciudad de Lima y Callao.

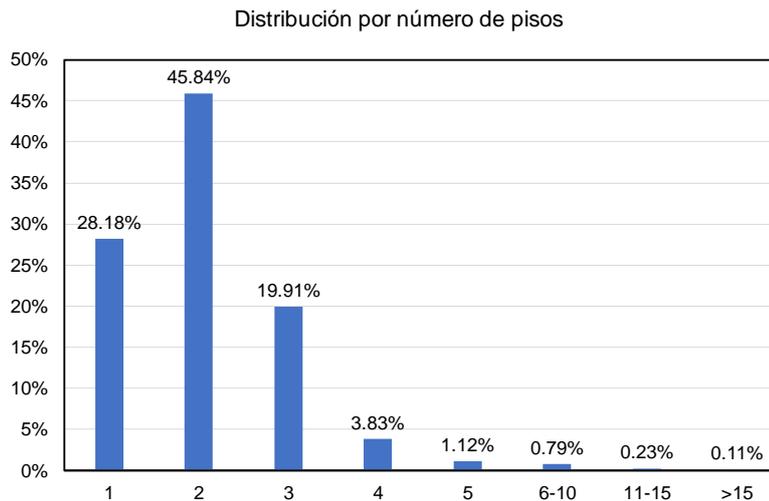


Figura N°5.6 Distribución del número de pisos

5.3.3 Tipo de uso

En la muestra de datos obtenidos, la distribución del tipo de Uso en las edificaciones de los 49 distritos evaluados en la ciudad de Lima Metropolitana y el Callao hasta el año 2018 están representados como se muestra en la Tabla N° 5.3.

Tabla N° 5.3 Distribución de Tipo de Uso

Tipo de Uso	V	Y	C	M	B	E	H	I	N	O
Porcentaje	78.78%	6.66%	2.93%	3.05%	0.18%	5.01%	0.55%	1.89%	0.00%	0.94%

Fuente: (Diaz, 2019a)

V: Vivienda C: Comercio B: Bomberos H: Salud N: Baldío

Y: Vivienda Comercio M: Multifamiliar E: Educación I: Industrial O: Otros

Distribución del tipo de Uso

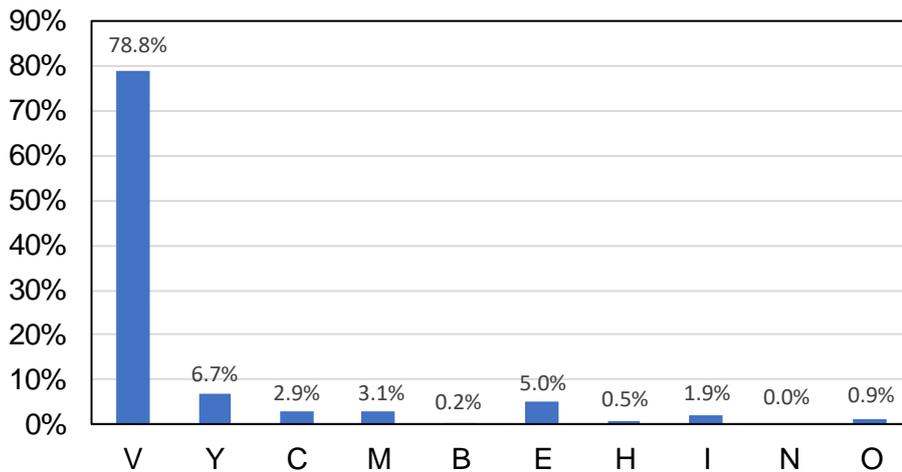


Figura N°5.7 Distribución del tipo de Uso

El análisis del tipo de uso en edificaciones revela que el mayor porcentaje corresponde a viviendas con un 78.8% del total. Le siguen las edificaciones con uso mixto de vivienda y comercio, que representa el 6.7%, mientras que las destinadas exclusivamente a comercio abarcan un 2.9%. las edificaciones de uso multifamiliar alcanzan el 3.05% y el restante 8.57% corresponde a usos diversos, tales como educativo, salud, industrial, terrenos baldíos, entre otros.

5.3.4 Densidad de muros

Otra característica relevante en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de albañilería es el cálculo de la densidad de muros. Este valor se determina siguiendo la norma de albañilería E.070 (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, 2020) y se obtiene mediante la siguiente ecuación (1)

$$\frac{\text{Área de Corte de los Muros}}{\text{Área de la planta Típica}} = \frac{\sum L \cdot t}{A_p} \geq \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot N}{56} \quad (1)$$

Donde: L es la longitud del muro, t es el espesor del muro y A_p es el área de la planta típica, Z es el factor de Zona, U el tipo de uso, S la calidad del tipo de suelo y N el número de pisos de la vivienda.

De la ecuación (1) se obtiene el porcentaje mínimo de densidad de muros como se muestra en la Tabla N° 5.4 para los diferentes tipos de suelos. La zona de estudio tiene un factor de zona =0.45, tipo de uso vivienda U = 1 y variando el número de pisos de 1 a 4 pisos.

Tabla N° 5.4 Porcentaje de densidad mínima de muros según norma E.070

Tipo de suelo para Z=0.45		N° de Pisos			
		1	2	3	4
So	0.80	0.64%	1.29%	1.93%	2.57%
S1	1.00	0.80%	1.61%	2.41%	3.21%
S2	1.05	0.84%	1.69%	2.53%	3.38%
S3	1.10	0.88%	1.77%	2.65%	3.54%

Fuente: Elaboración Propia

Según los datos presentados en la Tabla N° 5.4 la densidad de muros varía en función del número de pisos: 0.88% para viviendas de un piso, 1.77% para dos pisos, 2.65% para tres pisos y 3.54 % para cuatro pisos. Estos valores representan el límite superior para los cuatro tipos de suelos considerados.

Además, se calculó la densidad promedio de muros en 38 viviendas de albañilería confinada de dos y tres pisos, como se muestra en la Figura N° 5.8 . Estas viviendas están ubicadas en distintos distritos de la Lima Metropolitana y el Callao, tales como como: San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, El Rímac, Independencia, Los Olivos y la Punta. Estas zonas presentan una alta densidad poblacional, de aproximadamente 200

Habitantes por hectárea, lo cual incrementa la vulnerabilidad y la exposición al riesgo sísmico.

Los resultados obtenidos indican que el 87% de las viviendas no cumplen con los requisitos mínimos de densidad de muros en la dirección paralela a la calle (o la dirección más corta del terreno), Sin embargo, en la dirección más larga del área de terreno o perpendicular a la fachada, el 100% las viviendas cumplen con la densidad mínima requerida de muros.

En la Figura N° 5.8 se observa que la densidad promedio de muros en las viviendas de albañilería confinada en Lima Metropolitana y el Callao varía entre un 2.2% y un 2.5%

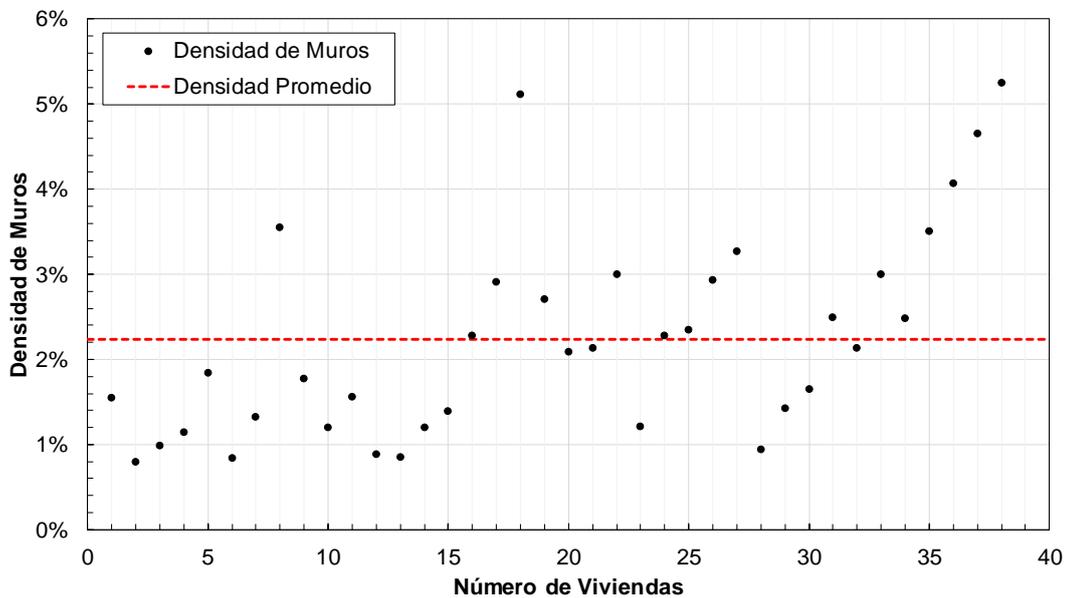


Figura N° 5.8. Densidad promedio de viviendas de albañilería confinada

5.4 Propuesta de tipología de viviendas

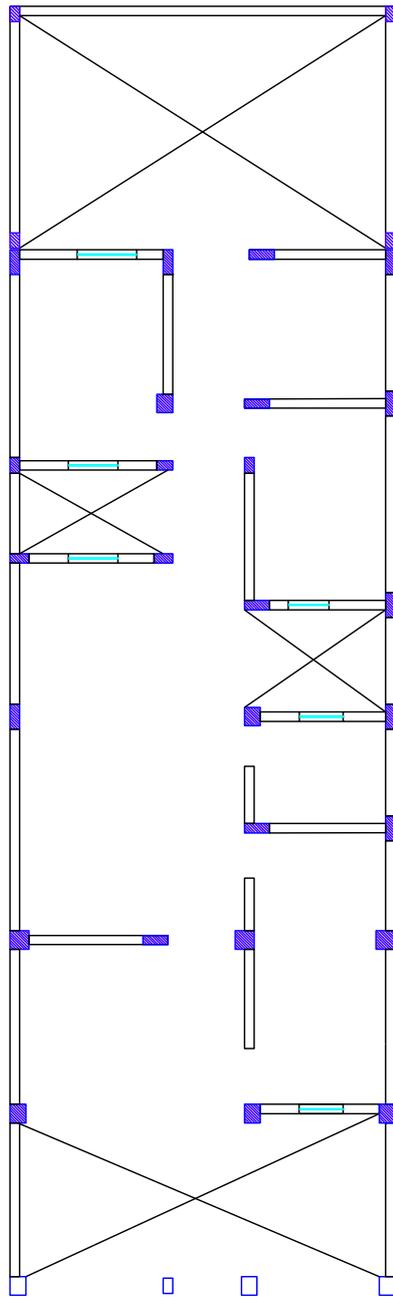
En Lima Metropolitana y el Callao, las tipologías de viviendas son predominantemente rectangulares, con un área en planta que oscila entre 90 m² y 120 m². El 83% de estas viviendas está construido principalmente con muros de albañilería, utilizando dos tipos de unidades: ladrillo artesanal sólido (macizo) y ladrillo industrial tubular (pandereta). El sistema estructural empleado es la albañilería confinada, con alturas que varían entre 1 a 4 pisos y cinco niveles de densidades de densidad de muros: 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%. En base a estas características, se proponen 40 tipologías de viviendas de albañilería confinada.

La propuesta de tipologías en esta investigación se sustenta en los resultados obtenidos en el presente capítulo y en la experiencia obtenida de las salidas de campo en 49 distritos de Lima Metropolitana y el Callao, llevadas a cabo por el CISMID.

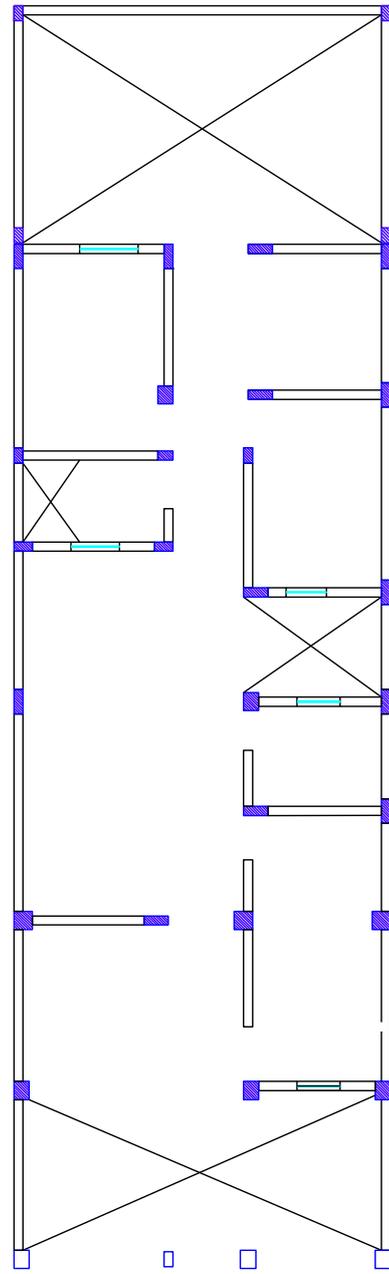
En la Figura N° 5.9. se presenta una vista panorámica de viviendas construidas predominantemente con materiales de albañilería. Los estudios estadísticos, muestran que la vivienda promedio en estas zonas tienen dos pisos.



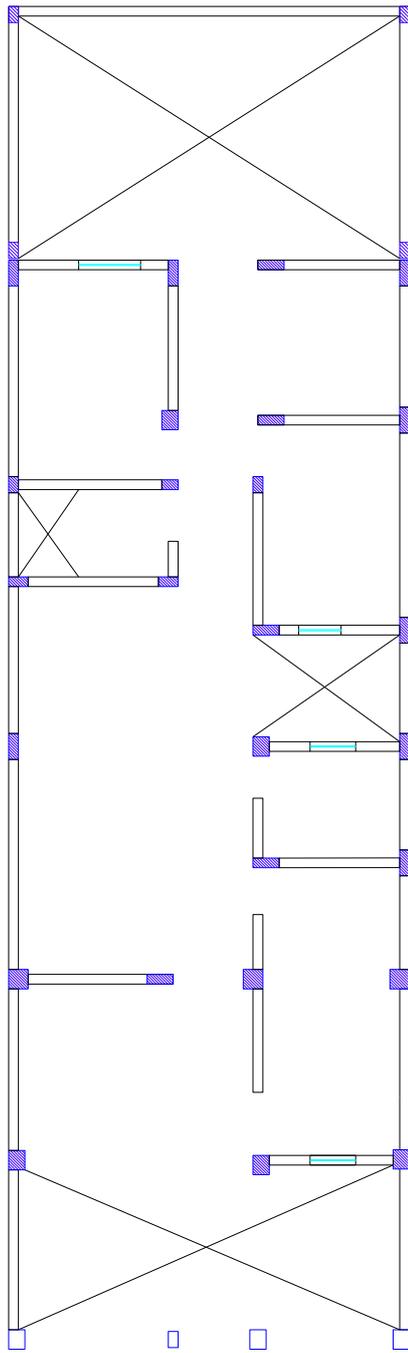
Figura N° 5.9. Vivienda promedio de 02 pisos de albañilería confinada.



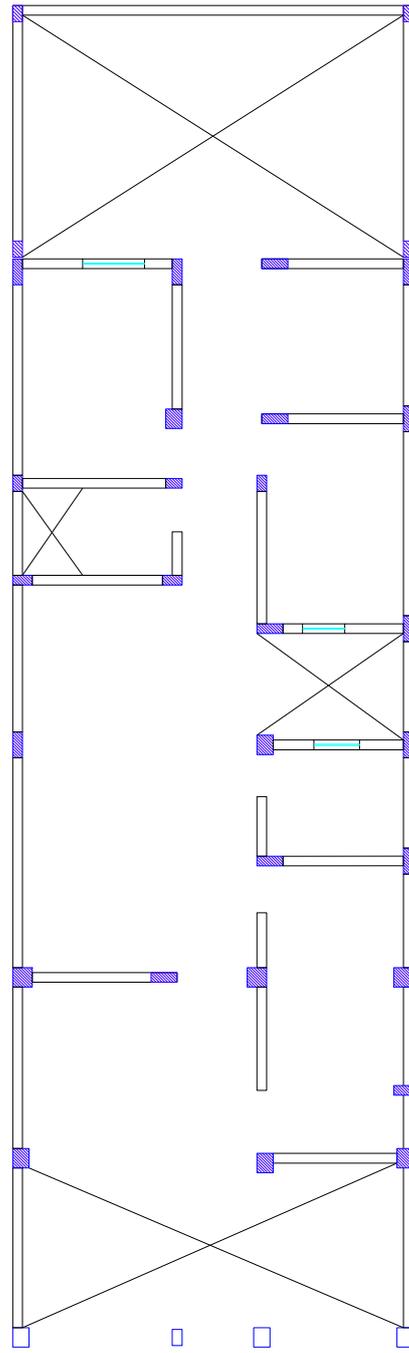
(1)



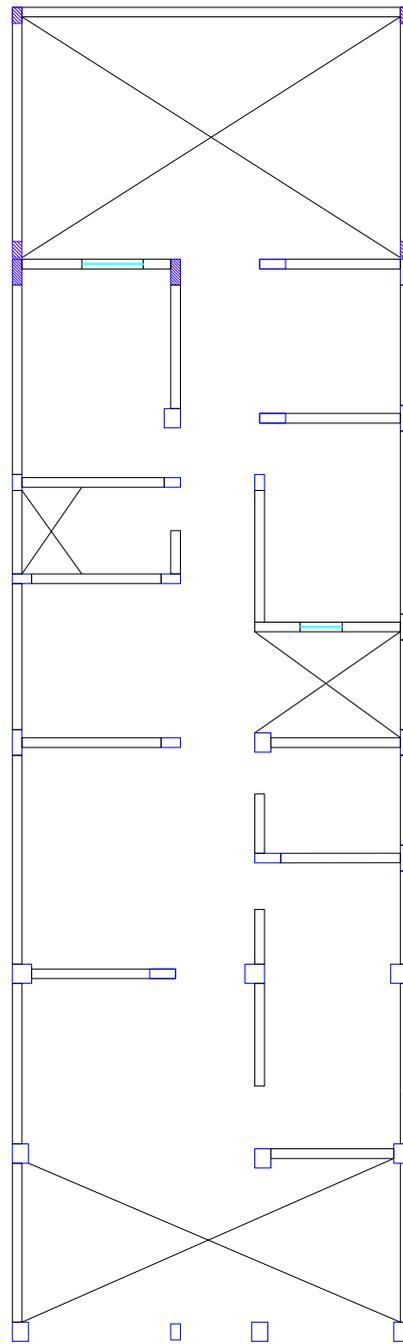
(2)



(3)



(4)



(5)

Figura N° 5.10 Vista en planta típica de viviendas de albañilería confinada con cinco densidades de muros de (1) 1.5%, (2) 2%, (3) 2.5%, (4) 3% y (5) 3.5%

A continuación, se presenta 40 tipologías de viviendas, clasificadas según el número de piso, que varía de 01 a 04 pisos, así como cinco niveles de densidad de muros y dos tipos de unidades de albañilería (ladrillo). Estas tipologías se detallan en la Tabla N° 5.5

Tabla N° 5.5 Código de 40 tipologías de viviendas propuestas

N°	Código	N°	Código	N°	Código	N°	Código
1	001M1.5L1	21	001M1.5L1	1	001M1.5L2	21	001M1.5L2
2	002M1.5L1	22	002M1.5L1	2	002M1.5L2	22	002M1.5L2
3	003M1.5L1	23	003M1.5L1	3	003M1.5L2	23	003M1.5L2
4	004M1.5L1	24	004M1.5L1	4	004M1.5L2	24	004M1.5L2
5	001M2.0L1	25	001M2.0L1	5	001M2.0L2	25	001M2.0L2
6	002M2.0L1	26	002M2.0L1	6	002M2.0L2	26	002M2.0L2
7	003M2.0L1	27	003M2.0L1	7	003M2.0L2	27	003M2.0L2
8	004M2.0L1	28	004M2.0L1	8	004M2.0L2	28	004M2.0L2
9	001M2.5L1	29	001M2.5L1	9	001M2.5L2	29	001M2.5L2
10	002M2.5L1	30	002M2.5L1	10	002M2.5L2	30	002M2.5L2
11	003M2.5L1	31	003M2.5L1	11	003M2.5L2	31	003M2.5L2
12	004M2.5L1	32	004M2.5L1	12	004M2.5L2	32	004M2.5L2
13	001M3.0L1	33	001M3.0L1	13	001M3.0L2	33	001M3.0L2
14	002M3.0L1	34	002M3.0L1	14	002M3.0L2	34	002M3.0L2
15	003M3.0L1	35	003M3.0L1	15	003M3.0L2	35	003M3.0L2
16	004M3.0L1	36	004M3.0L1	16	004M3.0L2	36	004M3.0L2
17	001M3.5L1	37	001M3.5L1	17	001M3.5L2	37	001M3.5L2
18	002M3.5L1	38	002M3.5L1	18	002M3.5L2	38	002M3.5L2
19	003M3.5L1	39	003M3.5L1	19	003M3.5L2	39	003M3.5L2
20	004M3.5L1	40	004M3.5L1	20	004M3.5L2	40	004M3.5L2

Fuente: Elaboración Propia

Nota

00#: Número de Pisos

L1 : Ladrillo artesanal solido

M: Muro de albañilería confinada

L2: Ladrillo industrial tubular

M#. # %L1: Porcentaje de densidad de Muros (DM:1.5%, 2.0%, 2.5% ,3.0% y 3.5%)

5.5 Características de la muestra de ensayos experimentales

La albañilería es un material altamente utilizado en Latinoamérica para la construcción de viviendas. En Perú, desde los años 70, este material sigue siendo empleado debido a que las estructuras de albañilería han resistido durante eventos sísmicos pasados por lo que se le considera estructuras sismo resistentes. Estudios numéricos y experimentales han mostrado que los muros de albañilería confinada cumplen con los procedimientos de diseño descritos en la Norma Técnica Peruana sismo resistente E0.30 (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, 2018). Sin embargo, existe unidades de albañilería que no están contempladas para su uso en muros portantes en la norma de Albañilería E.070, el cual se estudia en esta investigación.

Por otro lado, a partir de la base de datos obtenida de los ensayos experimentales realizados en muros de albañilería en el laboratorio de Estructuras, se han identificado características principales, tales como: la geometría del muro, sus propiedades mecánicas y los mecanismos de falla. Asimismo, se utilizaron ecuaciones empíricas formuladas mediante regresiones lineales múltiples (Díaz et al., 2019), para aplicar al modelo Tetra-lineal propuesto.

5.5.1 Base de datos en muros de albañilería confinada.

El laboratorio de estructuras del CISMID viene realizando ensayos experimentales desde la década de los 80. Como resultados del proyecto SATREPS, (Cardenas et al., 2014) recopiló investigaciones y tesis realizadas en CISMID generando una base de datos de ensayos de muros de albañilería del laboratorio clasificando la geometría de los muros con los tipos de unidades de albañilería, muros con y sin abertura y sus propiedades físicas, obteniendo un total de 30 ensayos experimentales en muros de albañilería

Además, debido al Programa presupuestal PP0068 del Ministerio de Economía y Finanzas, junto con proyectos de investigación llevado a cabo con SENCICO y la Universidad Nacional de Ingeniería, se ha continuado investigando el comportamiento de los muros de albañilería teniendo hasta el año 2019 un total de 34 muros de albañilería entre muros reforzados y sin reforzar, con abertura y sin abertura, es decir Muros con ventana y sin ventana.

La base de datos del laboratorio cuenta con un total de 26 muros de albañilería, construidos en orientación de soga o cabeza según la posición de los ladrillos.

En la Tabla N° 5.6 se presenta 19 especímenes seleccionados, indicando sus respectivas geometrías, tipo de unidad de albañilería y propiedades mecánicas para unidades de tipo artesanal solido e industrial tubular.

Tabla N° 5.6 Características de los muros de albañilería confinada

Author	Año	ID	Tipo de Unidad	Axial force (tnf)	Wall Geometry				Mechanical Properties		
					L muro mamp (m)	L.eff.wall : lmuro+lc (cm)	h (cm)	thickness (cm)	f'b (kgf/cm2)	f'm (kg/cm2)	v'm (kg/cm2)
M. Salinas, F. Lazares (T)	2007	M-ART	ART-TUB	11.9	2.0	225	237	11.0	40.4	33.2	9.6
M. Salinas, F. Lazares ((T)	2007	M-IND	IND-TUB	11.9	2.0	225	237	12.0	43.3	22.1	6.7
CISMID -2017	2017	ML1SCA-1	ART-SÓL	15.7	2.2	260	250	11.5	39.29	16.95	4.27
CISMID -2017	2017	ML1SCA-2	ART-SÓL	15.7	2.2	260	250	11.5	39.29	16.95	4.27
CISMID -2017	2017	ML1SCA-3	ART-SÓL	15.7	2.2	260	250	11.5	39.29	16.95	4.27
CISMID -2017	2017	ML1CCA-1	ART-SÓL	15.7	2.2	260	250	11.5	39.29	16.95	4.27
CISMID -2017	2017	ML1CCA-2	ART-SÓL	15.7	2.2	260	250	11.5	39.29	16.95	4.27
CISMID -2017	2017	ML1CCA-3	ART-SÓL	15.7	2.2	260	250	11.5	39.29	16.95	4.27
CISMID -2017	2017	ML2SCA-1	IND-TUB	15.7	2.2	260	250	10.8	36.70	9.67	3.81
CISMID -2017	2017	ML2SCA-2	IND-TUB	15.7	2.2	260	250	10.8	36.70	9.67	3.81
CISMID -2017	2017	ML2SCA-3	IND-TUB	15.7	2.2	260	250	10.8	36.70	9.67	3.81
CISMID -2017	2017	ML2CCA-1	IND-TUB	15.7	2.2	260	250	10.8	36.70	9.67	3.81
CISMID -2017	2017	ML2CCA-2	IND-TUB	15.7	2.2	260	250	10.8	36.70	9.67	3.81
CISMID -2017	2017	ML2CCA-3	IND-TUB	15.7	2.2	260	250	10.8	36.70	9.67	3.81
CISMID -2019	2019	ML1R0	ART-SÓL	22.5	2.2	260	250	12.1		52.6	3.37
CISMID -2019	2019	ML1R1	ART-SÓL	22.5	2.2	2.60	250	12.1		41.5	11.43
CISMID -2019	2019	ML1R2	ART-SÓL	22.5	2.2	2.61	250	12.1		47.9	16.96
CISMID -2019	2019	ML2R0	ART-SÓL	22.5	2.2	2.61	250	11.0		30.8	1.63
CISMID -2019	2019	ML2R1	IND-TUB	22.5	2.2	2.6	250	11.0		20.3	7.65
CISMID -2019	2019	ML2R2	IND-TUB	22.5	2.2	2.6	250	11.0		36.4	12.24

A partir de la base de datos de ensayos experimentales en muros de albañilería, se obtuvieron las distorsiones representativas de las curvas de capacidad primaria Tetra Lineal de diferentes muros construidos con los tipos de ladrillos más comunes en Lima Metropolitana: Ladrillo industrial, Ladrillo solido artesanal y ladrillo industrial tubular. Estas curvas alcanzan los puntos característicos de agrietamiento, fluencia, resistencia máxima y resistencia última, esta último equivalente al 20% del punto máximo, formando así la curva completa de comportamiento. Estos resultados se detallan en la Tabla N° 5.7 (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2020)

Tabla N° 5.7 Distorsiones representativas ($\times 10^{-3}$)

Tipo de Ladrillo	Agrietamiento	Fluencia	Máximo	Ultimo
Industrial	0.6	1.9	7.6	11.7
Ladrillo artesanal solido	0.4	1.3	3.5	8.0
Ladrillo industrial tubular	0.4	0.6	1.9	3.7

5.5.2 Estados límites de daños y mecanismos de falla en muros de albañilería confinada

Los mecanismos o modos de falla se interpretan como la evolución de grietas que se va formando en el muro durante el ensayo cíclico del muro de albañilería sujetos a cargas de compresión y tensión diagonal. Estos mecanismos de falla dependen de la geometría del muro, la calidad de los materiales, así como de las restricciones de borde y las cargas que actúan en los muros según (Tomažević, 1999).

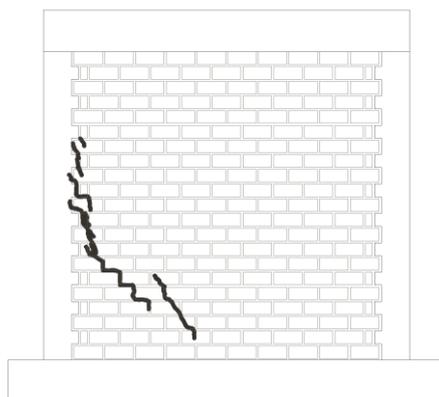
Existen cuatro (04) tipos de fallas en muros de albañilería confinada sujetos a carga sísmicas en el plano como se observa en la Figura N° 5.11 y Figura N° 5.12

En la Tabla N° 5.8 se muestra las diferentes fallas observadas de acuerdo con el tipo de unidad de ladrillo construido en el muro.

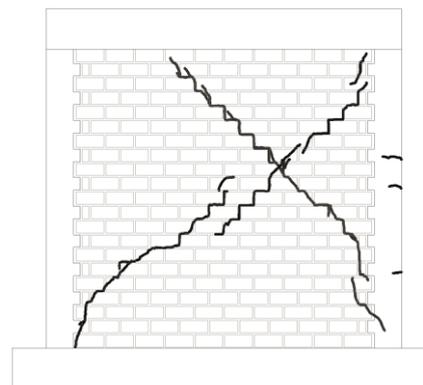
Tabla N° 5.8 Fallas observadas durante los ensayos de muros de albañilería confinada

Muros de ladrillo solido (ML1)	Muros de ladrillo tubular (ML2)
(a) Falla por corte,	(a) Falla por flexión,
(b) Falla por corte y deslizamiento	(b) Falla por flexión y corte
(c) Falla por flexión	(c) Falla por corte y deslizamiento de juntas
(d) Falla por corte y flexión	(d) Falla por corte y flexión

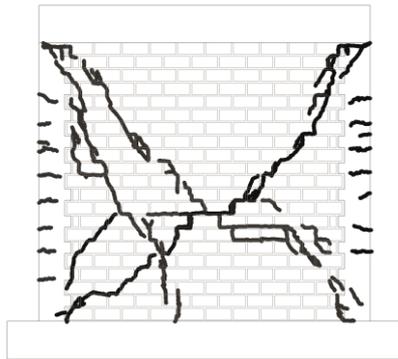
Fuente: Elaboración Propia



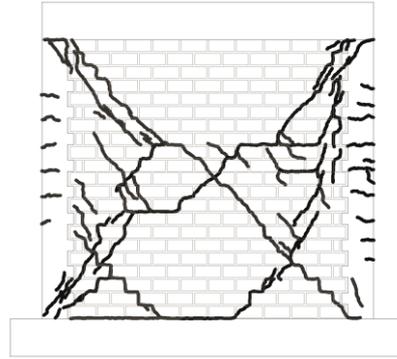
(a) Falla por corte



(b) Falla por corte y deslizamiento

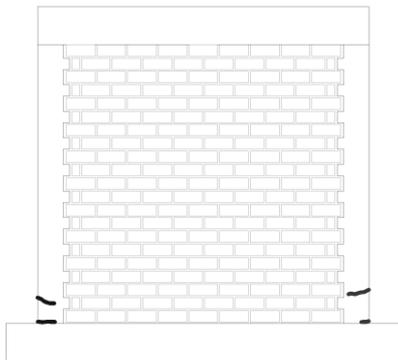


(c) Falla por flexión

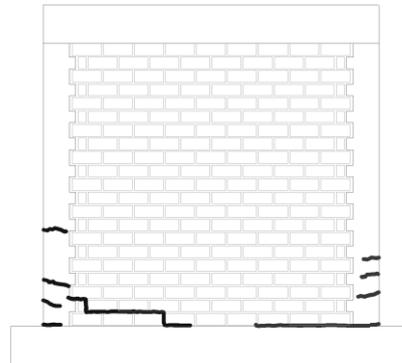


(d) Falla por corte y flexión

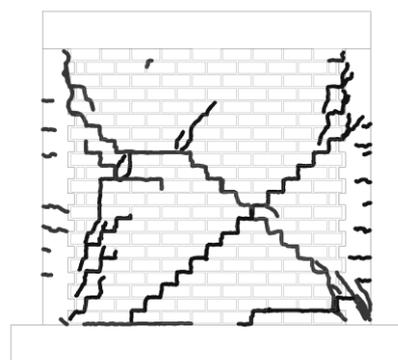
Figura N° 5.11. Fallas de Muros de ladrillo solido (ML1)



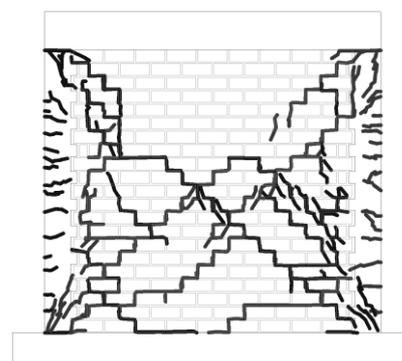
(a) Falla por corte



(b) Falla por corte y deslizamiento



(c) Falla por flexión



(d) Falla por corte y flexión

Figura N° 5.12. Falla de Muros ML2.

Los daños observados en cada muro ensayado con los dos tipos de unidades de ladrillo artesanal Solido (ML1) y ladrillo industrial Tubular (ML2), se delimito los límites de daños en base a distorsiones para cada nivel de estado de daños y niveles de desempeño como se observa en la Tabla N° 5.9, utilizando el criterio presentado (Zavala et al., 2019). se generaron los límites de niveles de daño para los estados limites correspondientes

Tabla N° 5.9. Niveles de Daño y Estados Límites de daño [Elaboración Propia]

Distorsión ($\times 10^{-3}$) ML1	Distorsión ($\times 10^{-3}$) ML2	Estado Limite de Daño	Nivel de Desempeño
$\gamma < 0.40$	$\gamma < 0.40$	No Daño	Operacional (O)
$0.40 \leq \gamma < 1.1$	$0.40 \leq \gamma < 0.80$	Leve	Ocupación Inmediata (IO)
$1.1 \leq \gamma < 2.78$	$0.80 \leq \gamma < 1.01$	Moderado	Seguridad de Vida (LS)
$2.78 \leq \gamma < 3.5$	$1.01 \leq \gamma < 1.50$	Extensivo	Prevención al Colapso (CP)
$\gamma \geq 3.5$	$\gamma \geq 1.50$	Colapso	Colapso (C)

Fuente: Elaboración Propia

5.5.3 Calibración de los muros de albañilería informal

El modelo matemático de histéresis seleccionado para el análisis numérico de estructuras de albañilería es el modelo tetra lineal propuesto por el Dr. Saito, ya que representa de manera precisa el comportamiento observado en los ensayos experimentales de muros de albañilería confinada.

La calibración del comportamiento histerético de un muro de albañilería mediante el modelo Tetra Lineal se determina mediante tres parámetros clave que controlan la respuesta del muro en el análisis: b_0 , parámetro que regula la degradación de rigidez; b_1 , parámetro que controla el estrangulamiento o ensanchamiento (Pinching or slip ratio) del lazo de histéresis en el origen del eje; y b_2 , que controla la degradación de resistencia. (Saito, 2024)

Los parámetros de control de histéresis fueron obtenidos mediante un simulador de histéresis, programa de cómputo desarrollado por el Dr. Diaz, usando la curva de capacidad primaria tetra lineal (Línea roja ver Figura N° 5.13) obtenida de los lazos de histéresis experimentales de los muros de albañilería y ajustado al modelo de histéresis tetra lineal con la historia de desplazamiento usados en el ensayo experimental de los muros.

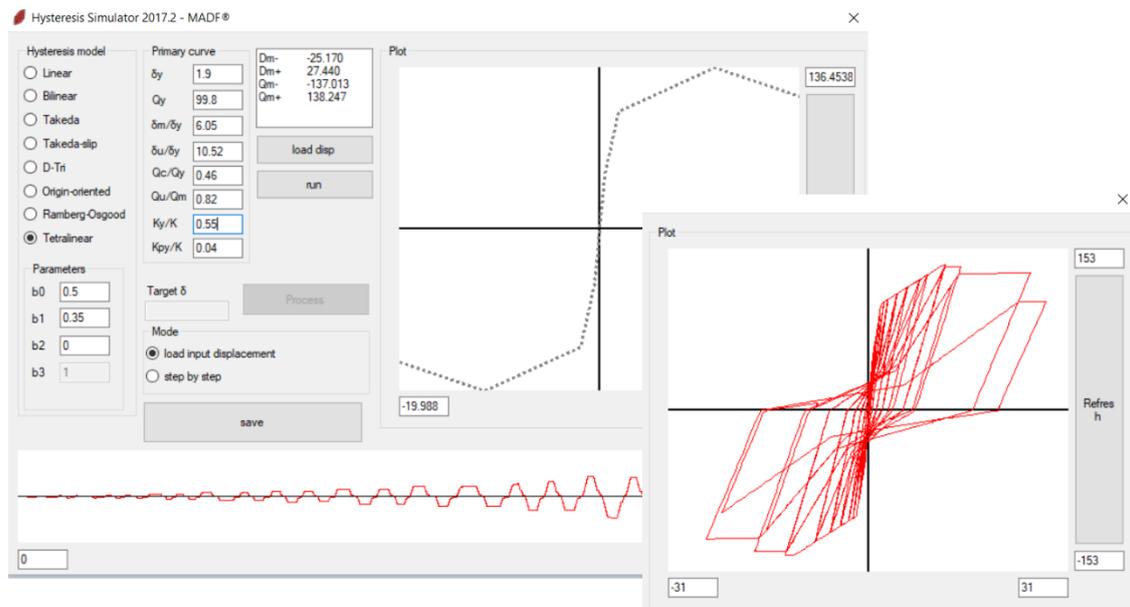
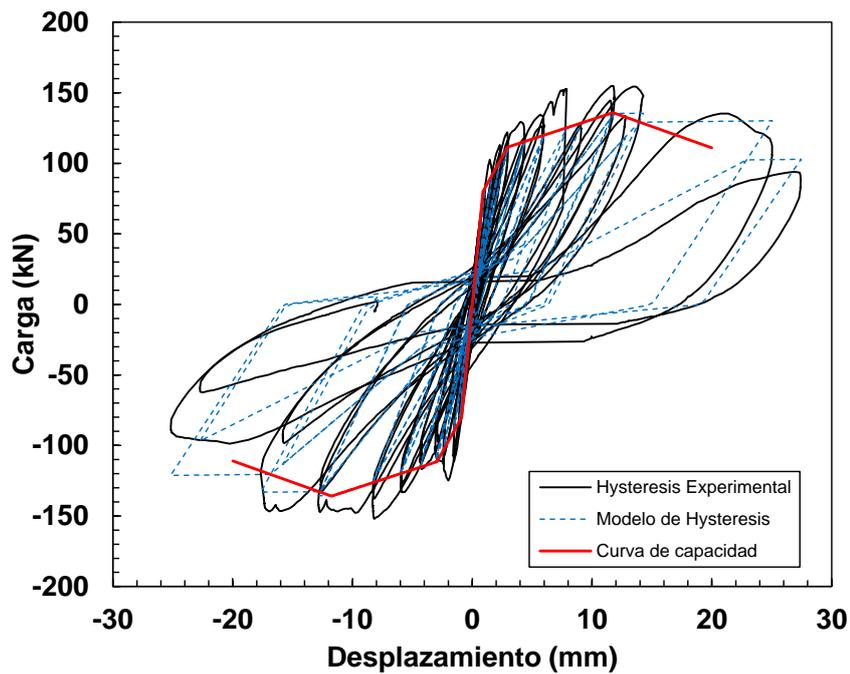
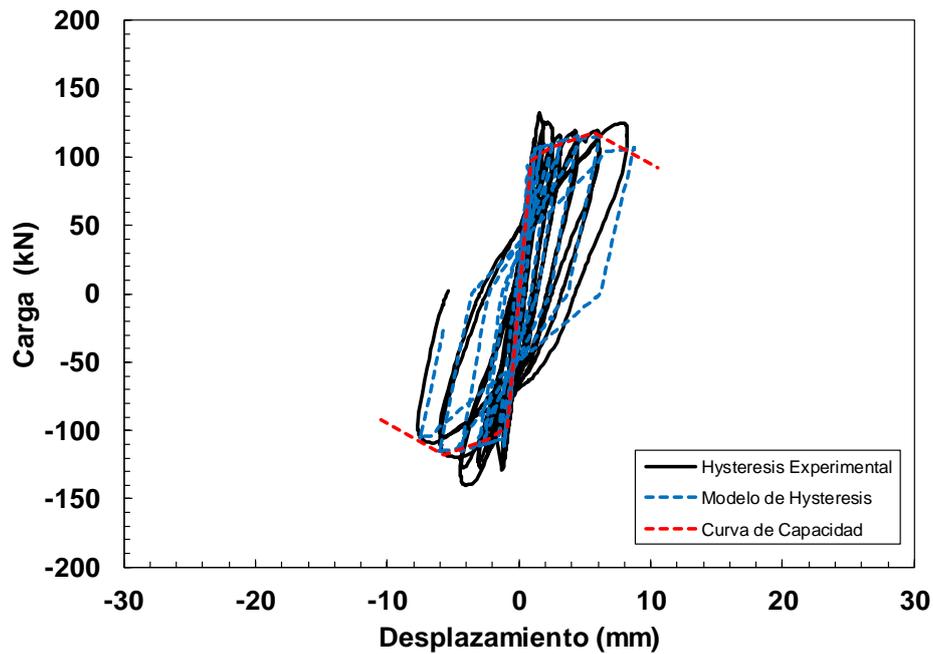


Figura N° 5.13. Simulador Programa de Histéresis (Diaz, 2017a)



(a) Modelo de histéresis calibrado con las curvas de histéresis experimental de muros de albañilería construidos con ladrillo artesanal sólido.



(b) Modelo de histéresis calibrado con las curvas de histéresis experimental de muros de albañilería
construidos con ladrillo industrial tubular.

Figura N° 5.14. Modelo de Histéresis Tetralineal (D-trilinear) calibrado

La Tabla N° 5.10 presenta los parámetros de control de histéresis obtenidos para el modelo tetra lineal de los muros confinados de ladrillo artesanal sólido y ladrillo industrial tubular, luego de haber simulado y calibrado con la respuesta experimental.

Tabla N° 5.10. Parámetros de control de histéresis

Tipo de Muro	Parámetros		
	b0	b1	b2
Muros de Ladrillo artesanal solido	0.50	0.35	0.00
Muros de Ladrillo industrial tubular	0.43	0.048	0.00

Fuente: Elaboración Propia

5.6 Análisis dinámico no lineal tiempo historia

5.6.1 Registros sísmicos

En el Perú, existen redes de estaciones acelerográficas como: la Red Acelerográfica de CISMID (REDACIS), la Red Acelerográfica de SENCICO (REDESEN), la Red del instituto Geofísico del Perú (IGP) y la Red Acelerográfica de UPG-FIC-UNI, que cuentan con varios equipos de medición llamados acelerómetros. Estos equipos monitorean en tiempo real las vibraciones del suelo y, en caso de eventos sísmicos, registran el paso de las ondas sísmicas a lo largo del evento.

Los acelerómetros se encuentran distribuidos en estaciones acelerográficas a lo largo de la costa peruana y en diversos tipos de suelos, lo que permite estudiar el comportamiento y la amplificación de las ondas sísmicas en distintos suelos. Los registros sísmicos obtenidos se miden en unidades de velocidad o aceleración del suelo y constan de tres componentes: 1. Norte-Sur (NS), 2. Este-Oeste (EW) y 3. Vertical (UD). Para el procesamiento del análisis dinámico no lineal, se utilizó 10 registros sísmicos: 07 eventos históricos y 03 sintéticos (Pulido et al., 2015). Estos registros son resultado del proyecto SATREPS (2010-2015). En la Tabla N° 5.11 se muestra una lista de los registros sísmicos utilizados.

Tabla N° 5.11 Información de los Registros Sísmicos

N°	Nombre	Fecha	Epicentro Sismo	Tipo	Estación	M	Figura
1	prq-6610171641	17/10/66	Lima	Registro	PQR	8.1Mw	Figura N° 5.16
2	prq-7005311523	31/05/70	Huaraz	Registro	PQR	6.6Mb	Figura N° 5.17
3	prq-7410030921	03/10/74	Lima	Registro	PQR	6.6Mb	Figura N° 5.18
4	sco-7410030921f	03/10/74	Lima	Registro	SCO	6.2Mb	Figura N° 5.19
5	mol7411090759	09/11/74	Lima	Registro	MOL	6.0Mb	Figura N° 5.20
6	Atico230601	23/06/01	Arequipa	Registro	MOQ001	6.9Mb	Figura N° 5.21
7	ICA15082007	15/08/07	Ica	Registro	ICA002	7.0ML	Figura N° 5.22
8	CMA_5_1	--		Sintético (SATREPS)	--	8.9Mw	Figura N° 5.23
9	CMA_7_1	--		Sintético (SATREPS)	--	8.9Mw	Figura N° 5.24
10	DHN_5_1	--		Sintético (SATREPS)	--	8.9Mw	Figura N° 5.25

Entre los registros históricos se incluyen siete terremotos significativos ocurridos en el Perú, cuyos registros sísmicos fueron obtenidos de la Red Acelerográfica de CISMID (REDACIS), como se muestra en la Figura N° 5.15. Los eventos considerados son los siguientes:

1. 17 de Octubre de 1966, Lima, componente: NS, Estación: PQR
2. 31 de Mayo de 1970, Huaraz, componente: EW, Estación: PQR
3. 3 de Octubre 1974, Lima, componente: EW, Estación: PQR,
4. 3 de Octubre 1974, Lima, componente: EW, Estación: SCO
5. 09 de Noviembre 1974, componente: EW, Estación: MOL
6. 23 de Junio de 2001. Moquegua, Tacna y Arequipa, componente: NS Estación: MOQ001
7. 15 de Agosto del 2007, componente: EW, Estaciones: UNICA

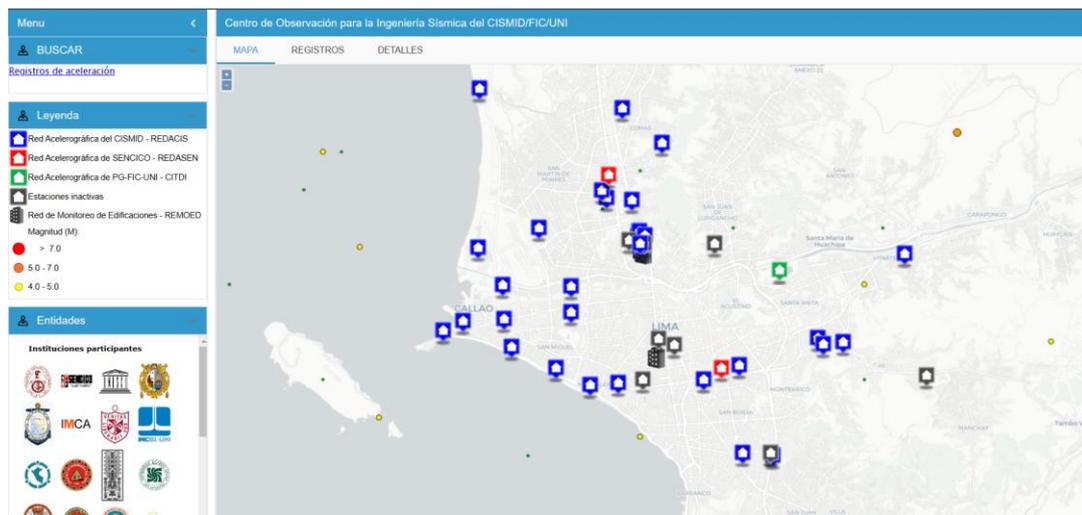


Figura N° 5.15. Red Acelerográfica de CISMID

Para el procesamiento del análisis dinámico no lineal en función del tiempo historia, se consideró la componente horizontal de mayor amplitud, ya sea Este (E) u Oeste (EW) de cada uno de los 10 registros sísmicos señalados. Posteriormente, cada registro fue normalizado y escalado en incrementos de 25 gals hasta alcanzar una aceleración máxima de 1000 gals.

En las siguientes figuras se presentan los 10 registros sísmicos normalizados, para el cálculo del análisis tiempo-historia.

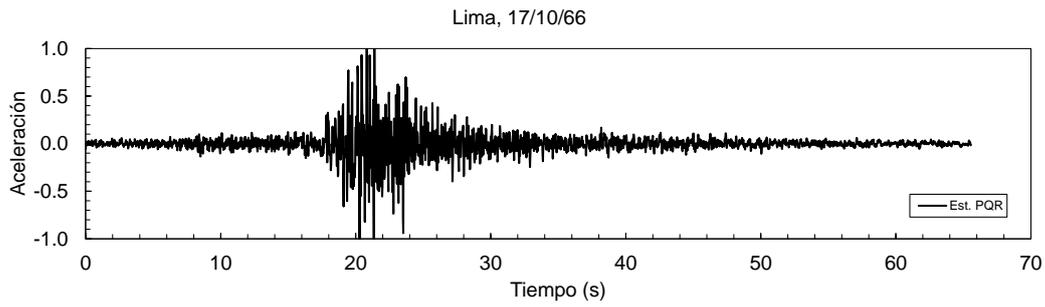


Figura N° 5.16 Registro normalizado del terremoto de Lima 1966 – Estación Parque de la Reserva

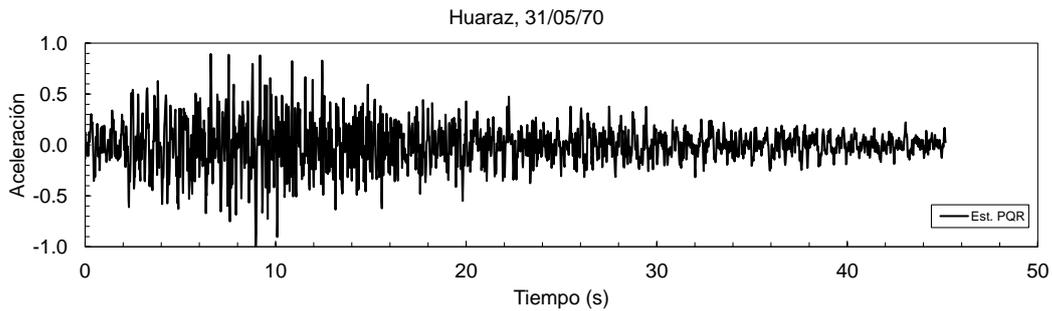


Figura N° 5.17 Registro normalizado del terremoto de Lima 1970 – Estación Parque de la Reserva

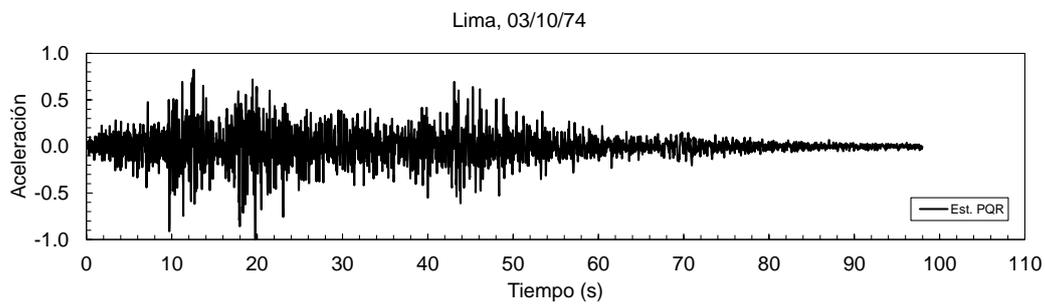


Figura N° 5.18 Registro normalizado del terremoto de Lima 1974 – Estación Parque de la Reserva

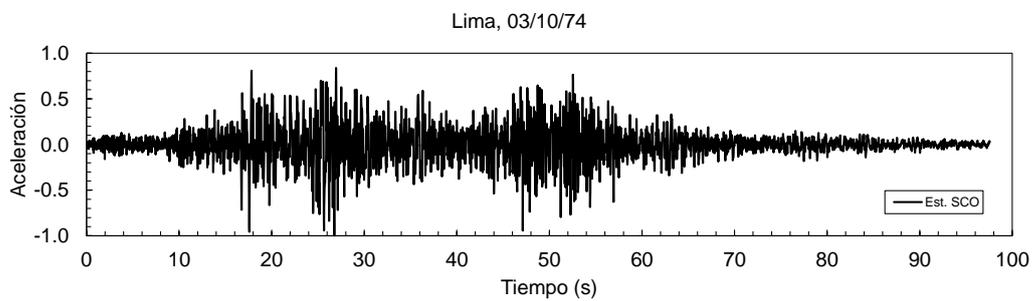


Figura N° 5.19 Registro normalizado del terremoto de Lima 1974 – Estación Surco

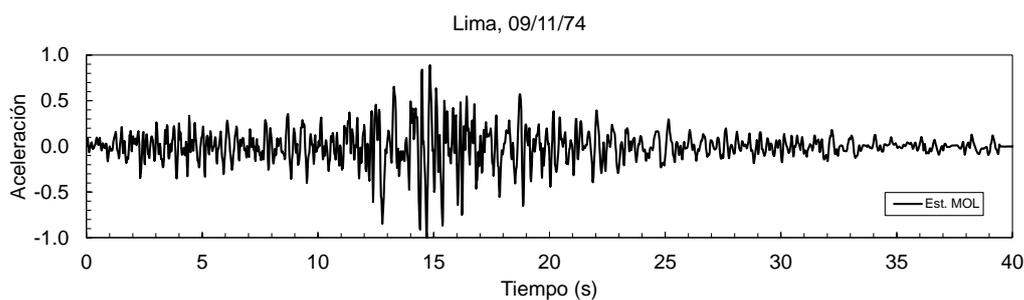


Figura N° 5.20 Registro normalizado del terremoto de Lima 1974 – Estación La Molina

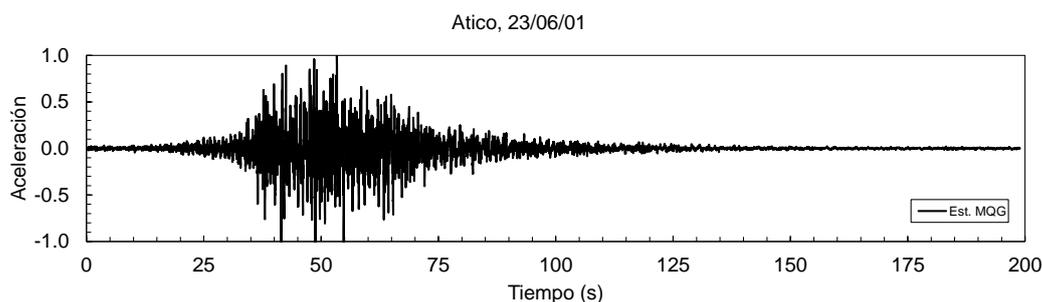


Figura N° 5.21 Registro normalizado del terremoto de Ático 2001 – Estación Moquegua

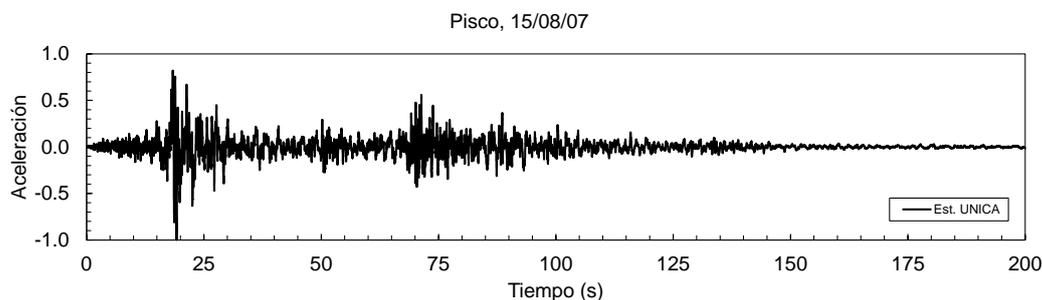


Figura N° 5.22 Registro normalizado del terremoto de Pisco 2007 – Estación UNICA

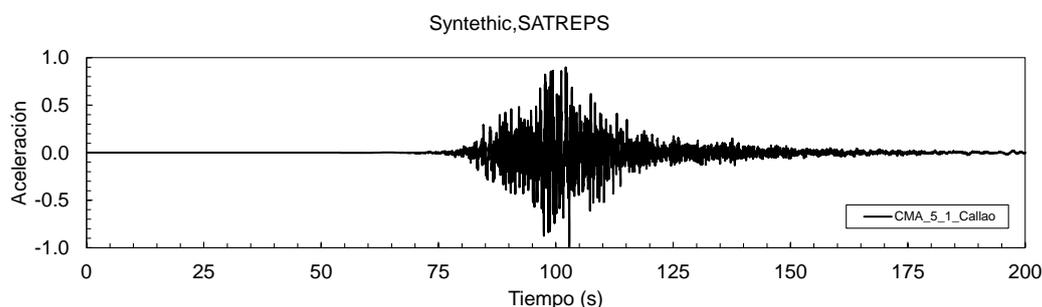


Figura N° 5.23 Registro normalizado del Proyecto SATREPS. Estación CMA_5_1 (Callao)

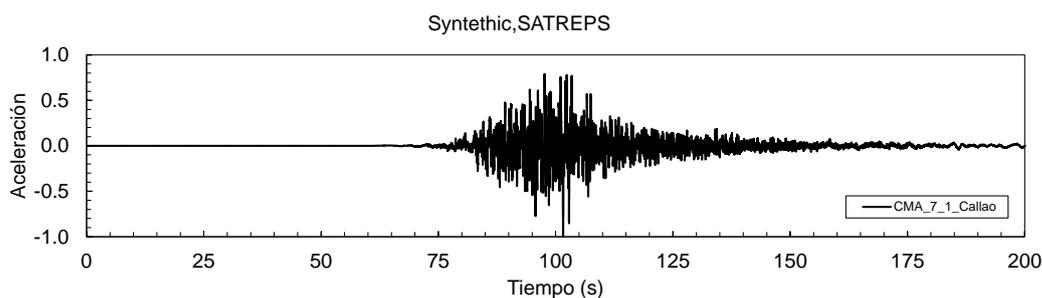


Figura N° 5.24 Registro normalizado del Proyecto SATREPS. Estación CMA_7_1 (Callao)

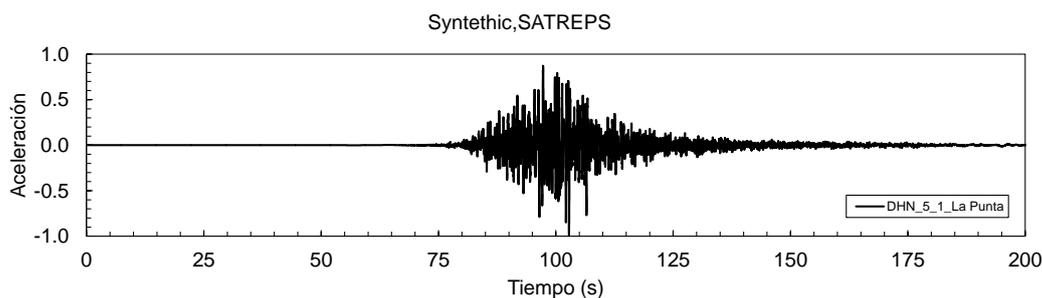


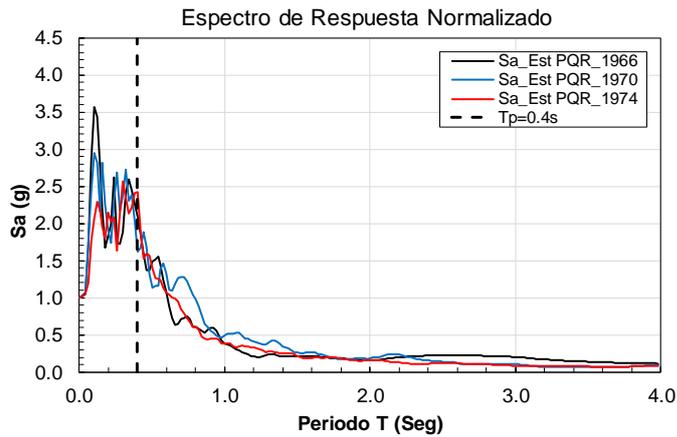
Figura N° 5.25 Registro normalizado del Proyecto SATREPS. Estación DHN_5_1 (La Punta)

Además, se calculó los espectros de respuesta de los 10 registros sísmicos y se normalizo y verifico la influencia en sus respuestas de aceleración en función del periodo de las estructuras, ver Figura N° 5.26. Posteriormente, estos registros se clasifico de acuerdo con los tipos de suelos Tipo S1, Tipo S2 y Tipo S3, como se detalla en la Tabla N° 5.12.

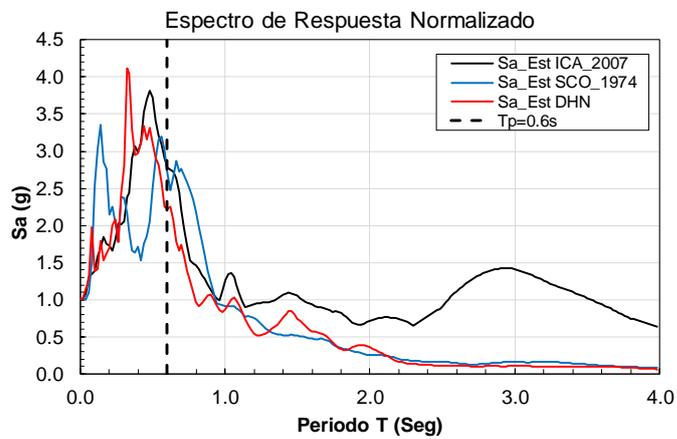
Tabla N° 5.12 Tipos de suelos de cada estación Acelerográfica

Sismo	Estación	Tipo de Suelo
Lima 17/10/1966	Parque de la Reserva (PQR)	S1
Huaraz 31/05/1970	Parque de la Reserva (PQR)	S1
Lima 3/10/1974	Parque de la Reserva (PQR)	S1
Pisco 15/08/2007	UNICA	S2
Lima 3/10/1974	Surco (SCO)	S2
DHN_5	*Artificial	S2
Lima 09/11/1974	La Molina (MOL)	S3
Moquegua, Tacna y Arequipa 23/06/2001.	Moquegua (MOQ)	S3
CMA_5_1	*Artificial	S3
CMA_7_1	*Artificial	S3

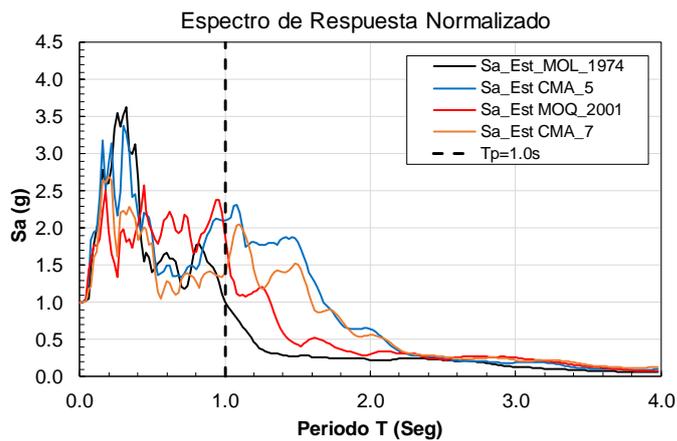
Elaboración Propia, Fuente: REDACIS -CISMID



(a) Tipo S1



(b) Tipo S2



(c) Tipo S3

Figura N° 5.26 Espectro de respuesta Normalizado de cada registro sísmico ubicado en diferentes tipos de suelo

5.6.2 Curvas de capacidad de las viviendas

Para determinar la curva de capacidad de las viviendas, inicialmente se estudió la curva de capacidad de los muros de albañilería en las edificaciones. Se empleó la ecuación obtenida de la base de datos de curvas de capacidad de los diferentes muros de albañilería de ladrillo sólido artesanal y ladrillo industrial tubular recopilada en el laboratorio de Estructuras. Mediante un análisis de regresión múltiple (Díaz et al., 2019) formularon una ecuación para hallar el esfuerzo de corte promedio, que depende de variables como la geometría y las propiedades físicas y mecánicas del muro. Esta ecuación genera valores de coeficientes β_0 , β_1 , β_2 y β_3 para los cuatro estados límites de daños: agrietamiento, fluencia, máximo y último como se muestra en la Tabla N° 5.13.

$$\frac{\tau}{F_m} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{P_t \cdot \sigma_y}{F_m} \right)^{0.7} + \beta_2 \frac{P_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} + \beta_3 \frac{\sigma_0}{F_m} \quad (2)$$

Donde:

- h : Altura del muro.
- L : Longitud del Muro.
- l : Longitud efectiva del muro ($\approx 0.9 \cdot L$).
- P_t : Relación de acero longitudinal ($a_t/t \cdot l$).
- P_{we} : Relación de acero transversal ($a_w/t \cdot sep \leq 0.0012$).
- a_t : Área de la sección de refuerzo de tensión de la columna en confinamiento.
- a_w : Área de la sección de refuerzo lateral de la columna en confinamiento.
- σ_y : Esfuerzo de fluencia de las varillas longitudinales de la columna.
- σ_{wy} : Esfuerzo de fluencia de los estribos transversales a la columna.
- σ_0 : Carga axial.
- F_m : Resistencia axial de la pila de albañilería.

Tabla N° 5.13. Coeficientes de las formulaciones propuestas

Coeficiente	Agrietamiento	Fluencia	Máximo	ultimo
β_0	0.000	0.000	0.000	0.000
β_1	0.000	0.000	0.054	0.221
β_2	0.249	0.426	0.432	0.077
β_3	0.221	0.175	0.290	0.503

Para el análisis numérico de las 40 tipologías de viviendas propuestas, se analizaron planos de viviendas representativas de la ciudad de Lima Metropolitana y se obtuvo estadísticamente la densidad de muros en las viviendas. Se definieron 05 tipos de densidad de muros (DM) (1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%) para la dirección corta de la vivienda (dirección eje x-x), es decir, paralelo al frente de la calle. Se halló las curvas de capacidad de todos los muros por cada nivel de piso y de acuerdo con sus características de las viviendas como: densidad de muros, número de pisos y tipo de unidad de ladrillo. Las curvas de capacidad por piso de cada vivienda se determinaron utilizando la ecuación (2) y los coeficientes betas (β) presentados en la Tabla N° 5.13.

La Figura N° 5.27 muestra las curvas de capacidad en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) para viviendas construidas de ladrillo artesanal sólido (L1) de 01 a 04 niveles de pisos con una densidad de muros de 1.5%.

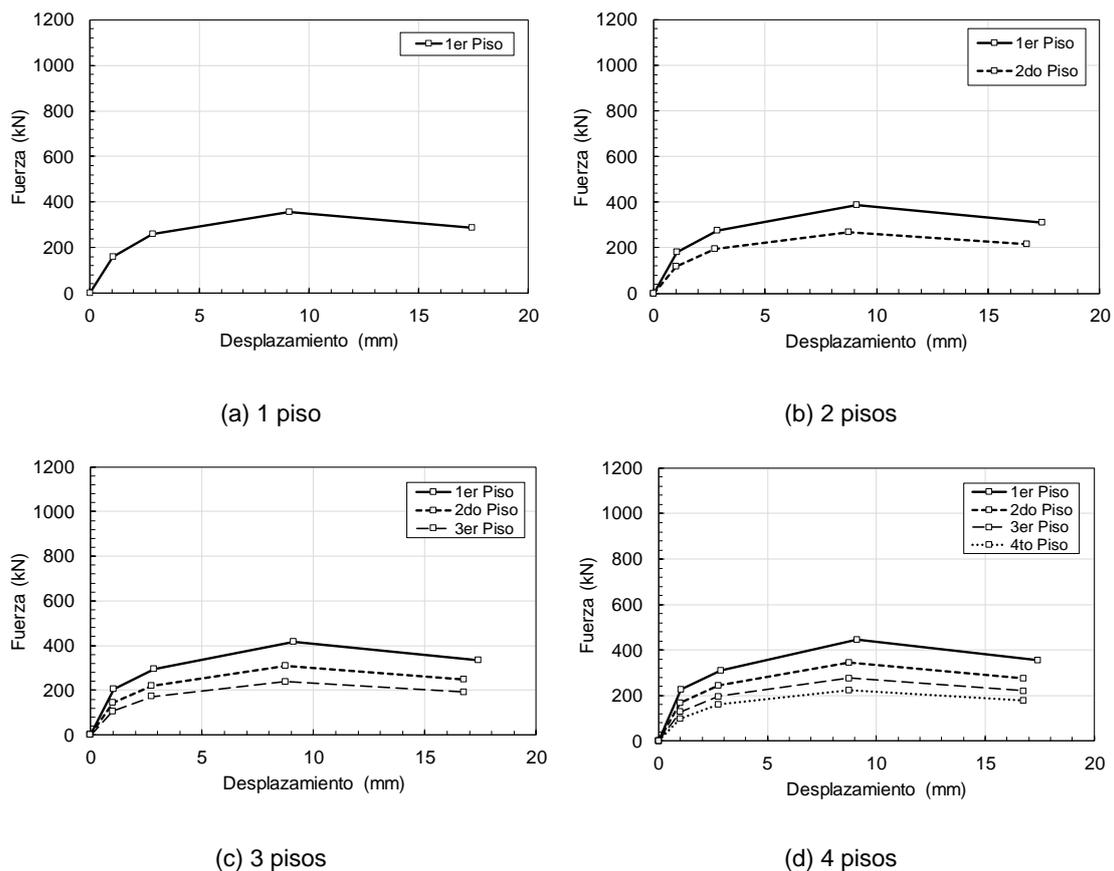


Figura N° 5.27 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal solido de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 1.5%

La Figura N° 5.28 muestra las curvas de capacidad en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) para viviendas construidas de ladrillo artesanal sólido (L1) de 01 A 04 niveles de pisos con densidad de muros del 2.0%.

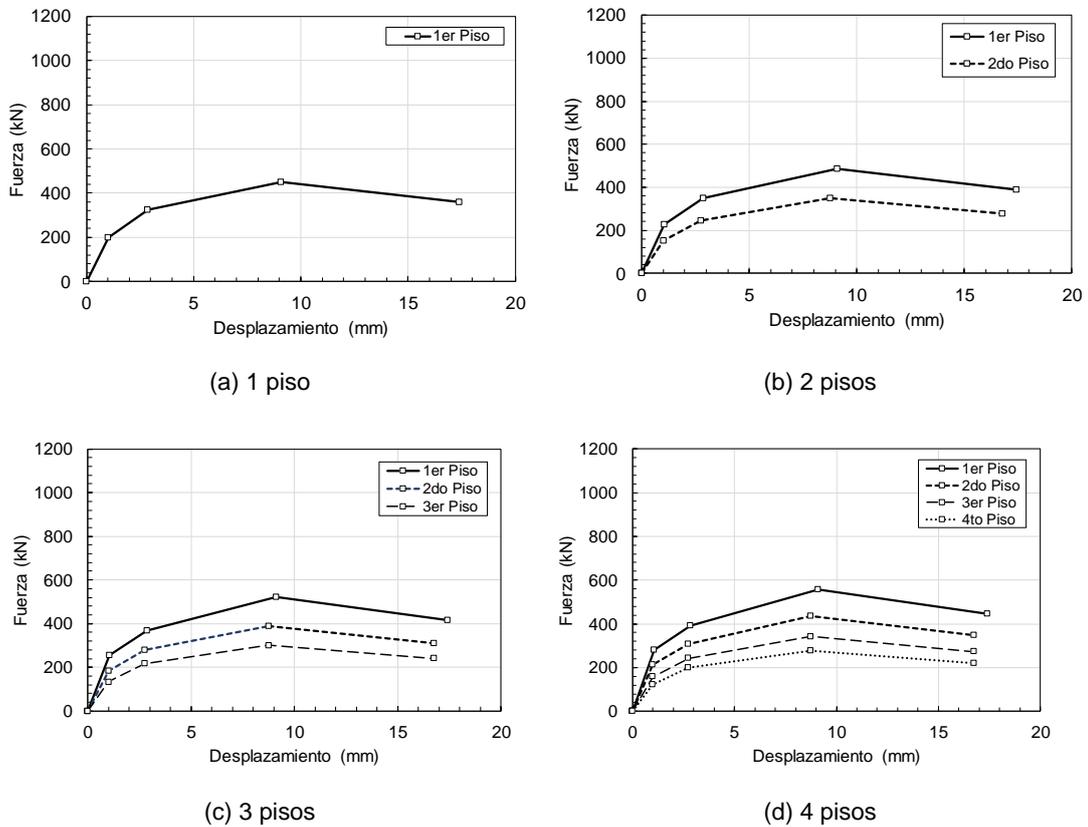
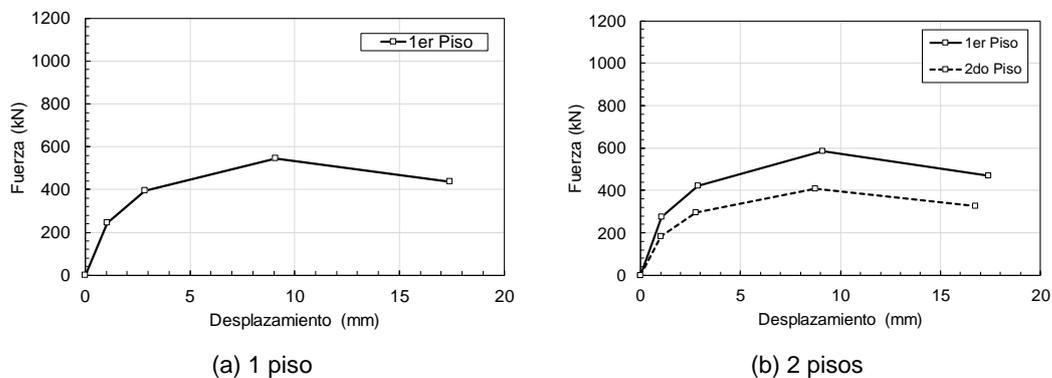
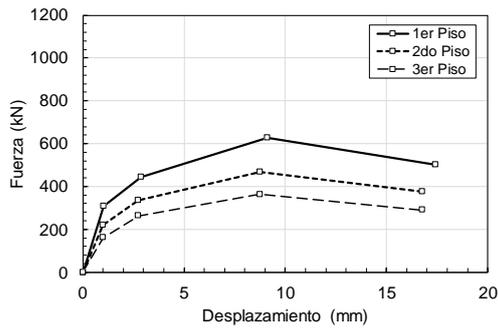


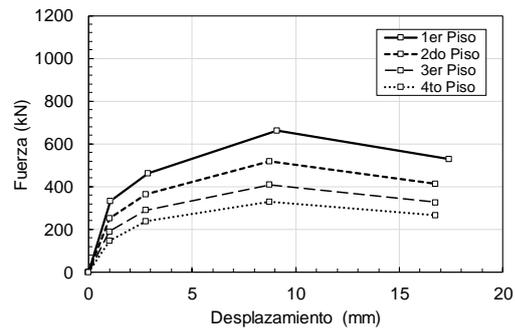
Figura N° 5.28 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal solido de 1 a 4 pisos con densidad de muros 2.0%

La Figura N° 5.29, presenta las curvas de capacidad expresadas en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) de viviendas construidas de ladrillo artesanal sólido (L1) de 01 A 04 niveles de pisos de densidad de Muros de 2.5%.





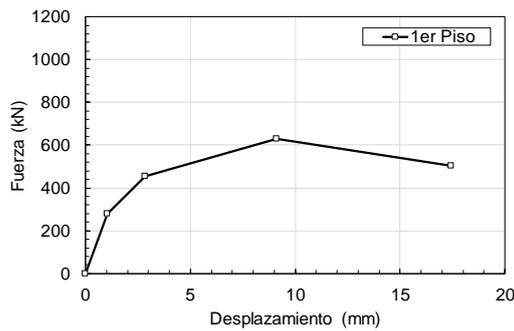
(c) 3 pisos



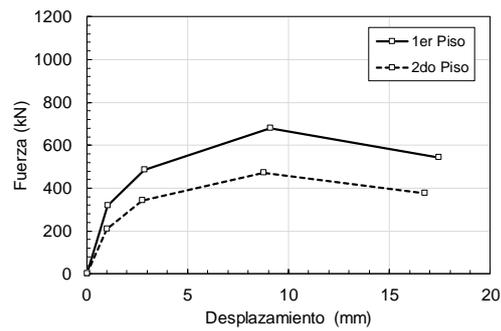
(d) 4 pisos

Figura N° 5.29 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal solido de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 2.5%

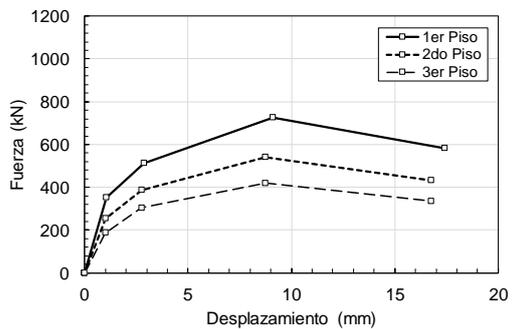
La Figura N° 5.30 presenta las curvas de capacidad expresadas en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) de viviendas construidas de ladrillo artesanal sólido (L1) de 01 A 04 niveles de pisos de densidad de Muros de 3.0%.



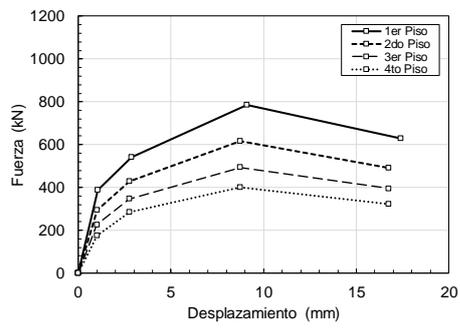
(a) 1 piso



(b) 2 pisos



(c) 3 pisos



(d) 4 pisos

Figura N° 5.30 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal solido de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 3.0%

En la Figura N° 5.31 presenta las curvas de capacidad expresadas en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) de viviendas construidas de ladrillo artesanal sólido (L1) de 01 A 04 niveles de pisos para una densidad de Muros de 3.5%.

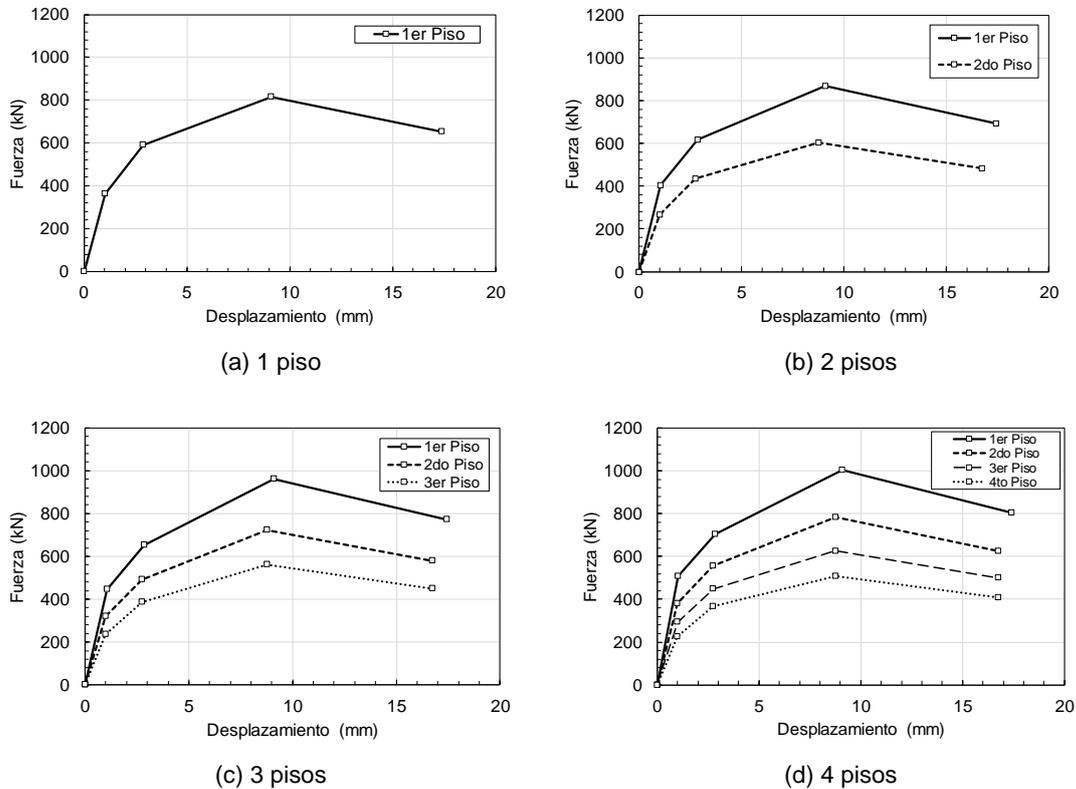
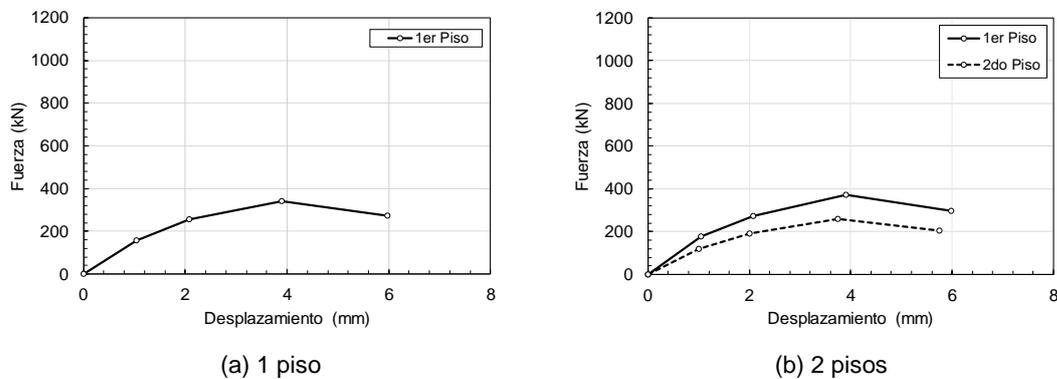
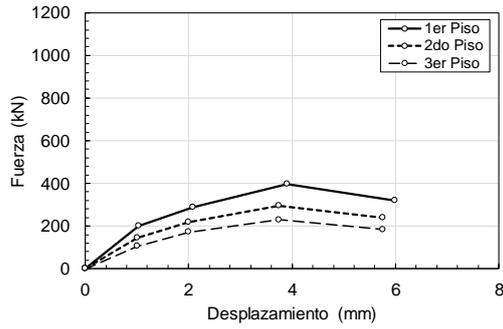


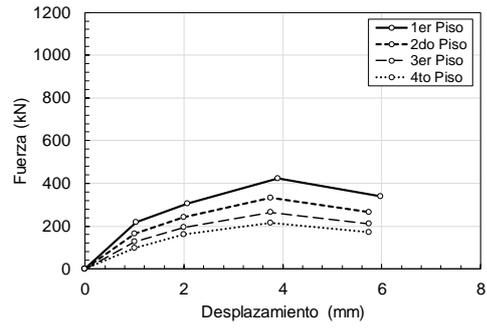
Figura N° 5.31 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo artesanal Solido de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 3.5%

La Figura N° 5.32 presenta las curvas de capacidad expresadas en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) de viviendas construidas de ladrillo industrial tubular (L2) de 01 A 04 niveles de pisos de densidad de Muros de 1.5%.





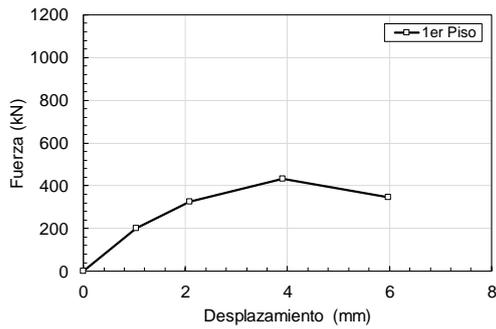
(c) 3 pisos



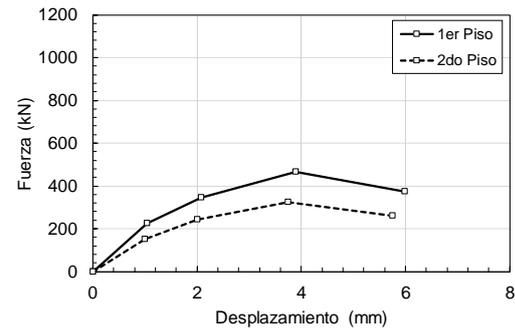
(d) 4 pisos

Figura N° 5.32 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 1.5%

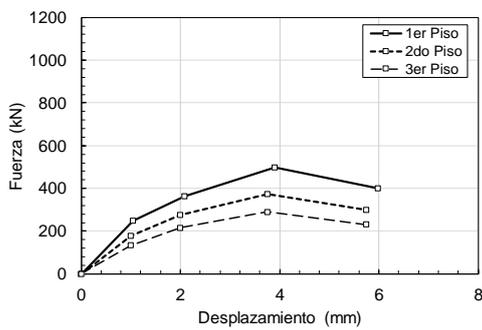
La Figura N° 5.33, presenta las curvas de capacidad expresadas en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) de viviendas construidas de ladrillo industrial tubular (L2) de 01 A 04 niveles de pisos de densidad de Muros de 2.0%.



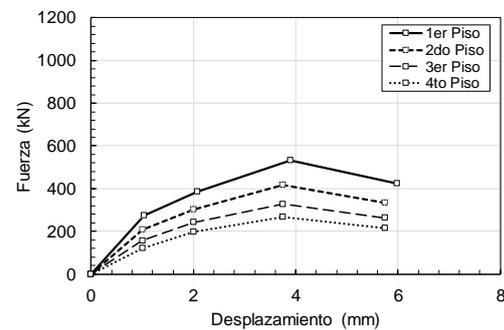
(a) 1 piso



(b) 2 pisos



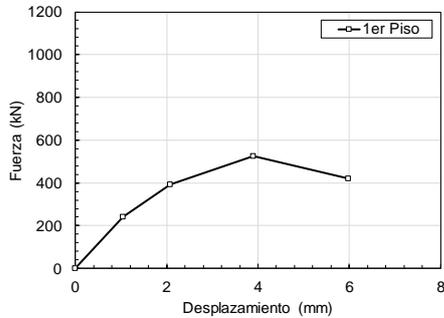
(c) 3 pisos



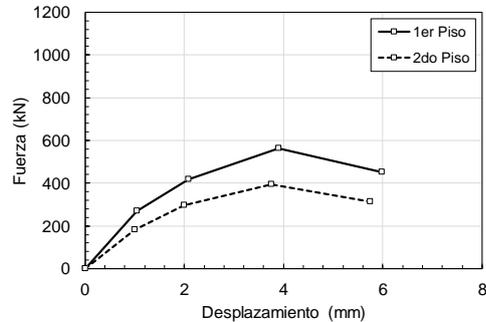
(d) 4 pisos

Figura N° 5.33 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 2.0%

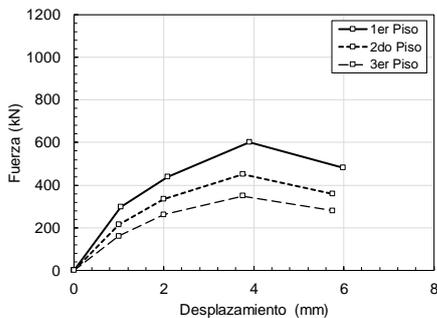
La Figura N° 5.34 presenta las curvas de capacidad expresadas en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) de viviendas construidas de ladrillo industrial tubular (L2) de 01 A 04 niveles de pisos para una densidad de Muros de 2.5%.



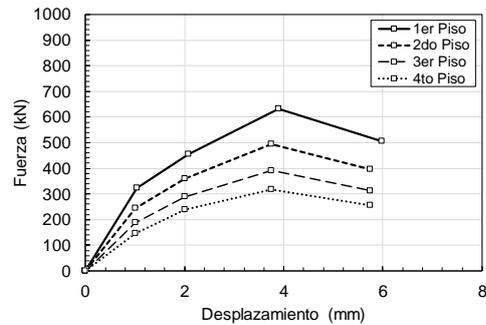
(a) 1 piso



(b) 2 pisos



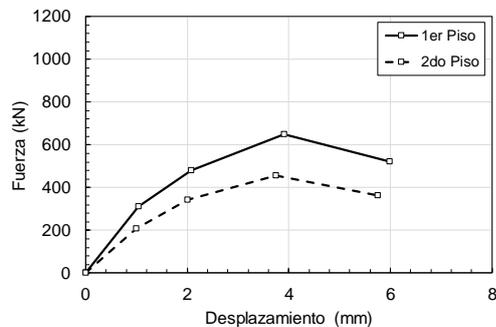
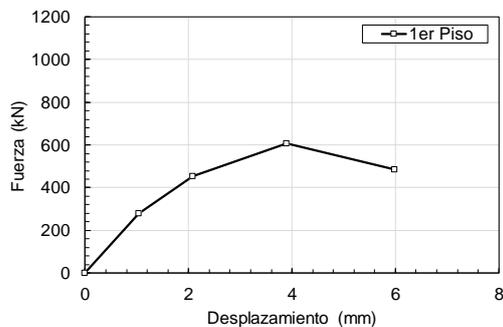
(c) 3 pisos



(d) 4 pisos

Figura N° 5.34 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 2.5%

La Figura N° 5.35 presenta las curvas de capacidad expresadas en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) de viviendas construidas de ladrillo industrial tubular (L2) de 01 A 04 niveles de pisos para una densidad de Muros de 3.0%.



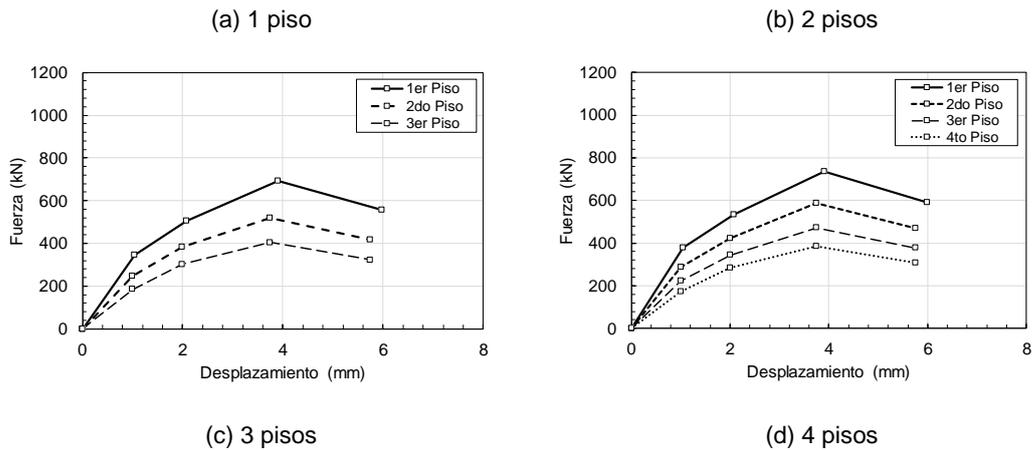


Figura N° 5.35 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 3.0%

La Figura N° 5.36 presenta las curvas de capacidad expresadas en términos de fuerza (kN) y desplazamiento (mm) de viviendas construidas de ladrillo industrial tubular (L2) de 01 A 04 niveles de pisos para una densidad de Muros de 3.5%.

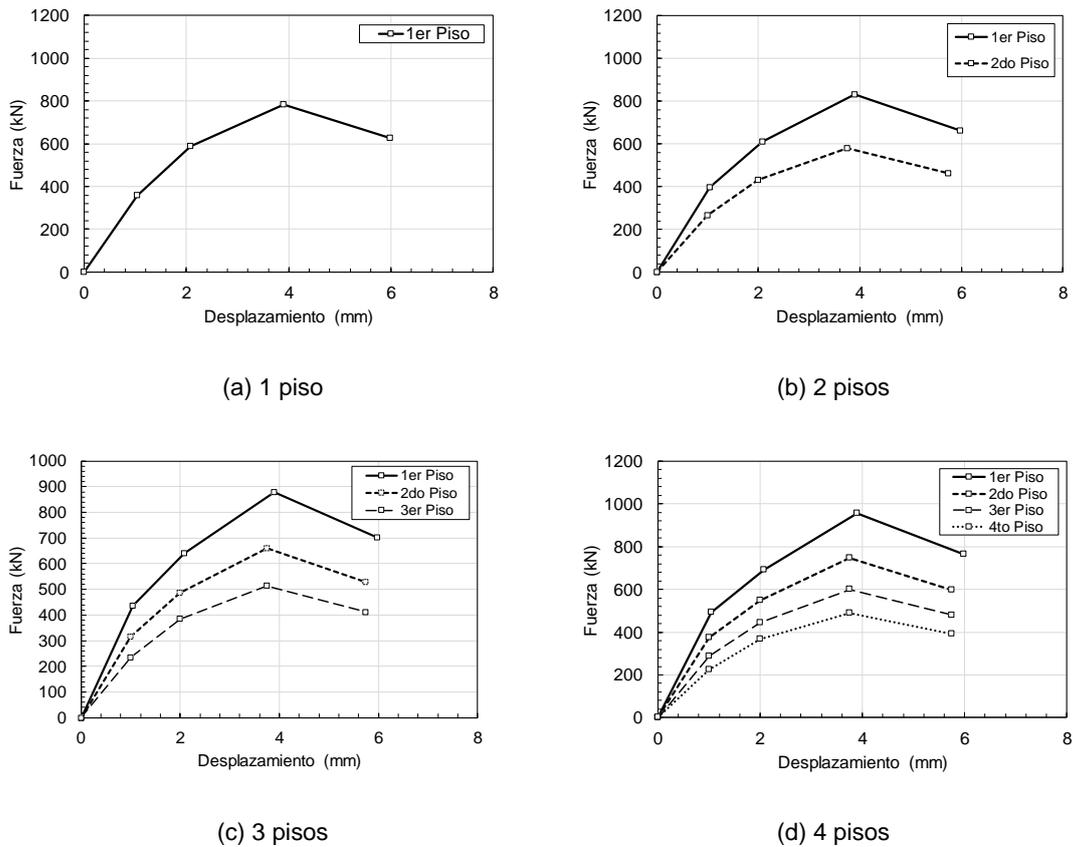


Figura N° 5.36 Curvas de capacidad de viviendas de ladrillo industrial tubular de 1 a 4 pisos de densidad de Muros 3.5%

5.6.3 Procesamiento del análisis dinámico no lineal

Una vez obtenidas las curvas de capacidad por piso para las 40 tipologías de viviendas de albañilería confinada y definidas las demandas sísmicas, se realizó el análisis dinámico no lineal utilizando un programa de cómputo realizado por el Dr. Díaz, como se muestra en la Figura N° 5.37. En este programa se definieron: el número de pisos, el modelo histerético D-Trilinear (Tetra Linear) para las tipologías de viviendas, los coeficientes de parámetros que controlan la curva de histéresis, los pesos por piso, y se construyó de la curva de capacidad mediante la ecuación (2), considerando variables clave como la fuerza de agrietamiento (Q_c), fuerza de fluencia (Q_y), rigidez elástica (K_{el}), relación de rigidez de agrietamiento y rigidez elástica (K_{pc}/K_{el}), la relación de rigidez post fluencia y rigidez elástica (K_{py}/K_{el}), la relación de desplazamiento máximo y desplazamiento de fluencia (d_m/d_y), relación desplazamiento ultimo y desplazamiento de fluencia (d_u/d_y) y la relación de fuerza ultima y fuerza máxima (Q_u/Q_m). Para procesar las respuestas máximas de las 40 tipologías de viviendas, se emplearon los 10 registros sísmicos escalados en incrementos de 25 gals previamente mencionados en el análisis dinámico no lineal tiempo historia.

```

data.txt - Notepad
File Edit Format View Help
TITLE: MDOF=rfloor=1ihyst=8idamp=2h1=0.05h2=0.05
Number of floors:
4
HYSTERETIC MODEL: [1:Linear, 2:Bilinear, 3:Takeda, 4:Takeda-slip, 5:Degrading, 6:origin-oriented, 7:Ramberg-0sgood, 8:Quadi.linear]
8
Coefficients
0.52 0.362 0.0017 0.0001
DAMPING MATRIX: [1:initial, 2:Instant, 3:Mass-stiffness, 4:Rayleigh, 5:Modal]
2
0.05
Floor weight Qc Qy kel Kpc/Kel Kpy/Kel
1 621.81 783.59 1089.79 2897.38 0.27 0.07 3.00 3.66 0.80
2 621.81 518.60 734.93 1785.18 0.29 0.09 3.00 3.66 0.80
3 621.81 356.83 518.30 1228.34 0.32 0.11 3.00 3.66 0.80
4 466.26 260.39 389.14 896.34 0.35 0.13 3.00 3.66 0.80

Getting started...
487 / 4879
974 / 4879
1461 / 4879
1948 / 4879
2435 / 4879
2922 / 4879
3409 / 4879
3896 / 4879
4383 / 4879
4870 / 4879

*** MAXIMUM RESPONSE:
F Acc rDisp rForce u(d
y)
1
89 2
90 3
90 4
89 Analys

Summary - Notepad
File Edit Format View Help
TITLE: MDOF=rfloor=1ihyst=8idamp=2h1=0.05h2=0.05
Number of floors: 4
Type of hysteresis model: Quadilinear
hysteresis parameters: b0: 0.520, b1: 0.362 b2: 0.002, b3: 0.000
Type of damping matrix: Instantaneous-stiffness proportional damping, h1: 0.0500, h2: 0.0500

*** STRUCTURE PROPERTIES:
F C Cc Qc Qy Fy Dy Dm Dm Su Su S1
1 0.63450 783.59000 0.29050 1089.79000 0.71004 1358.26297 2.13281 1086.61018 2.60203 2697.38000
2 0.63450 518.60000 0.29050 734.93000 0.70837 962.55179 2.12511 770.04143 2.59263 1785.18000
3 0.63450 356.83000 0.29050 518.30000 0.70119 707.81122 2.10387 566.29258 2.56672 1228.34000
4 0.47588 260.39000 0.29050 389.14000 0.70090 552.48426 2.10271 441.98741 2.56530 896.34000

*** WAVE DATA PROPERTIES:
File = datawavisco-741003021F ENL_NORM.TXT
dt 0.020
ncont 4879
Format: (F10.3)
Amplv *****
Amx = 1000.000 , Vmax = 103.480, Fe = 1.538

*** NATURAL PERIODS AND MODE SHAPES:
T=
1 0.275E+00 0.128E+00 0.088E+00
2 0.632E+00 0.431E+00 0.129E+00
3 0.107E+01 0.140E+00 0.283E+00
4 0.135E+01 0.497E+00 0.169E+00

*** MAXIMUM RESPONSE:
F Acc rDisp rForce u(dy) e(dy)
1 0.673+289 0.476+291 0.673+289 0.181+291 0.946+289 Infinity
2 -0.890+289 -0.630+291 -0.156+290 0.471+291 0.221+290 Infinity
3 -0.175+289 -0.124+291 0.715+289 0.878+290 0.102+290 Infinity
4 -0.381+288 -0.270+290 0.137+289 0.123+290 0.196+289
    
```

Figura N° 5.37 Programa de cómputo del programa MDOF (Diaz, 2019b)

5.7 Curvas de fragilidad de viviendas de albañilería

Las curvas de fragilidad, también llamadas funciones de fragilidad son una herramienta muy utilizada para estimar la vulnerabilidad sísmica en función de la probabilidad del daño esperado de una estructura bajo diferentes niveles de demandas sísmicas. Estas curvas son de gran utilidad para los investigadores, ingenieros, compañías de seguros, planificadores de ordenamiento territorial y los tomadores de decisiones, debido a que permiten estimar las pérdidas económicas y los daños en las estructurales.

En este capítulo se desarrollaron las curvas de fragilidad mediante una metodología específica, utilizando datos obtenidos de ensayos experimentales, observaciones de campo y simulaciones numérica para las 40 tipologías de viviendas de la ciudad de Lima Metropolitana. Las curvas de fragilidad presentan una distribución log normal acumulada, y permite calcular la probabilidad de alcanzar o superar un estado de daño, dado un nivel específico de respuesta estructural (distorsión) ante frente a diversos niveles de demanda sísmica. Las distorsiones máximas se determinaron a partir de las respuestas sísmicas obtenidas en el análisis dinámico no lineal tiempo historia.

Las curvas de fragilidad se construyeron con la ecuación (3) para los siguientes cuatro estados de daño: Sin Daño, Leve, Moderado, Extensivo y Colapso definidos en el subcapítulo 5.5.2, En esta ecuación, ϕ representa la función de distribución normal estándar acumulada (Gaussiana), PGA es la aceleración pico del suelo, y μ y σ son el valor medio y la desviación estándar del logaritmo natural de las aceleraciones pico del suelo, respectivamente.

$$P[ED_i/PGA] = \phi \left[\frac{1}{\sigma} (\ln(PGA) - \mu) \right] \quad (3)$$

Donde:

- ED_i : Estado de daño i
- PGA : Aceleración máximo del Suelo
- ϕ : Función de distribución normal estándar acumulada (Gaussiana)
- μ : Valor medio del logaritmo natural de las aceleraciones pico del suelo
- σ : Desviación estándar del logaritmo natural de las aceleraciones pico del suelo
- $P[ED_i/PGA]$: Probabilidad de alcanzar el ED_i para una aceleración pico del suelo.

Se presentan las curvas de fragilidad para las 40 tipologías de viviendas construidas con dos tipos de unidades de albañilería informal: Muros confinados de ladrillo sólido artesanal (ML1) y muros confinados de ladrillo tubular industrial (ML2) para viviendas de 01 a 04 pisos y cinco niveles de densidad de muros (DM): 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%. Adicionalmente, se analizaron las respuestas de las tipologías de viviendas propuestas cimentadas en los tres tipos de suelo definidos por la Norma Sísmica E.030 (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, 2018): Suelos Rígidos (S1), Suelos Intermedios (S2) y Suelos Blandos (S3). Sin embargo, se observó que la densidad promedio de muros en las viviendas estudiadas oscila entre 2.0% y 2.5%.

Los parámetros estadísticos definidos de las curvas de fragilidad, definidos por cada modelo numérico de vivienda propuesto, fueron calculados. La Tabla N° 5.14 presenta los valores de la media (μ) y desviación estándar (σ) en viviendas de 1, 2, 3 y 4 pisos, construidos con ladrillo solido artesanal (L1), densidad de muros de 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5% y cimentados en tipo de suelo S1.

Tabla N° 5.14 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L1 cimentado S1

Tipo de Suelo	Estado de Daño							
	Leve		Moderado		Severo		Colapso	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
S1								
tipología	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
001M1.5L1	4.44	0.66	5.00	0.76	5.09	0.78	5.24	0.79
002M1.5L1	3.90	0.52	4.23	0.61	4.27	0.62	4.44	0.65
003M1.5L1	3.75	0.47	4.18	0.59	4.32	0.63	4.54	0.67
004M1.5L1	3.67	0.45	4.27	0.66	4.38	0.66	4.64	0.69
001M2.0L1	4.67	0.70	5.14	0.78	5.25	0.79	5.38	0.80
002M2.0L1	4.13	0.58	4.36	0.64	4.44	0.66	4.64	0.69
003M2.0L1	3.85	0.53	4.27	0.62	4.44	0.65	4.54	0.67
004M2.0L1	3.82	0.48	4.29	0.64	4.50	0.69	4.73	0.71
001M2.5L1	4.67	0.70	5.26	0.79	5.37	0.81	5.50	0.82
002M2.5L1	4.27	0.62	4.52	0.68	4.55	0.68	4.73	0.71
003M2.5L1	3.96	0.54	4.40	0.64	4.44	0.66	4.64	0.69
004M2.5L1	3.82	0.48	4.32	0.63	4.52	0.68	4.73	0.71
001M3.0L1	4.68	0.70	5.33	0.81	5.47	0.82	5.58	0.83
002M3.0L1	4.32	0.63	4.68	0.70	4.73	0.71	4.88	0.73
003M3.0L1	4.03	0.57	4.40	0.64	4.52	0.67	4.73	0.71
004M3.0L1	3.90	0.52	4.40	0.64	4.58	0.69	4.73	0.71
001M3.5L1	4.98	0.76	5.54	0.83	5.59	0.83	5.68	0.84
002M3.5L1	4.56	0.69	4.92	0.75	4.94	0.75	5.08	0.76
003M3.5L1	4.19	0.60	4.52	0.67	4.61	0.69	4.73	0.71
004M3.5L1	4.03	0.57	4.44	0.66	4.62	0.69	4.81	0.72

La Tabla N° 5.15 muestra los parámetros estadísticos de las curvas de fragilidad para viviendas de 1 a 4 pisos con densidad de muros de 1.5%,2.0%,2.5%, 3.0% y 3.5%, construidas con unidades de ladrillo industrial tubular (L2) y cimentados en tipo de suelo S1.

Tabla N° 5.15 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L2 cimentado S1

Tipo de Suelo	Estado de Daño							
	Leve		Moderado		Severo		Colapso	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
S1								
Tipología								
001M1.5L2	4.40	0.64	4.64	0.69	4.93	0.74	5.08	0.76
002M1.5L2	3.96	0.54	4.03	0.57	4.18	0.59	4.32	0.62
003M1.5L2	3.67	0.45	3.75	0.47	4.08	0.57	4.32	0.62
004M1.5L2	3.57	0.38	3.67	0.45	3.96	0.54	4.18	0.59
001M2.0L2	4.40	0.64	4.62	0.69	5.12	0.77	5.54	0.82
002M2.0L2	4.13	0.58	4.32	0.63	4.55	0.68	4.73	0.71
003M2.0L2	3.90	0.52	3.90	0.52	4.23	0.61	4.44	0.65
004M2.0L2	3.67	0.45	3.82	0.48	4.08	0.57	4.81	0.72
001M2.5L2	4.62	0.70	4.73	0.71	5.14	0.77	5.71	0.84
002M2.5L2	4.32	0.63	4.44	0.66	4.71	0.71	5.29	0.79
003M2.5L2	3.90	0.52	4.08	0.57	4.36	0.64	5.02	0.75
004M2.5L2	3.67	0.45	3.82	0.48	4.13	0.58	4.32	0.62
001M3.0L2	4.77	0.73	4.94	0.76	5.19	0.78	5.29	0.79
002M3.0L2	4.43	0.68	4.49	0.67	4.79	0.72	4.95	0.75
003M3.0L2	3.96	0.54	4.08	0.57	4.44	0.66	4.64	0.69
004M3.0L2	3.85	0.53	3.90	0.52	4.23	0.61	4.44	0.65
001M3.5L2	4.99	0.76	5.21	0.78	5.52	0.83	5.68	0.84
002M3.5L2	4.44	0.66	4.58	0.69	5.00	0.76	5.19	0.78
003M3.5L2	4.32	0.63	4.37	0.65	4.54	0.67	4.64	0.69
004M3.5L2	4.08	0.57	4.14	0.60	4.36	0.64	4.54	0.67

La Tabla N° 5.16 muestra los parámetros estadísticos de las curvas de fragilidad para viviendas de 1 a 4 pisos con densidad de muros de 1.5%,2.0%,2.5%, 3.0% y 3.5%, construidas con unidades de ladrillo solido artesanal (L1) y cimentados en tipo de suelo S2.

Tabla N° 5.16 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L1 cimentado S2

Tipo de Suelo S2	Estado de Daño							
	Leve		Moderado		Severo		Colapso	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
001M1.5L1	4.70	0.73	5.02	0.76	5.15	0.78	5.24	0.79
002M1.5L1	4.03	0.57	4.19	0.60	4.34	0.65	4.54	0.67
003M1.5L1	3.63	0.48	3.90	0.52	3.90	0.52	4.18	0.59
004M1.5L1	3.39	0.35	3.67	0.45	3.75	0.47	4.01	0.54
001M2.0L1	4.91	0.77	5.21	0.78	5.28	0.79	5.38	0.80
002M2.0L1	4.23	0.61	4.41	0.65	4.44	0.66	4.64	0.69
003M2.0L1	3.75	0.47	4.03	0.57	4.19	0.60	4.44	0.65
004M2.0L1	3.67	0.45	3.90	0.52	3.90	0.52	4.18	0.59
001M2.5L1	5.10	0.80	5.34	0.81	5.42	0.82	5.54	0.82
002M2.5L1	4.32	0.62	4.62	0.69	4.62	0.69	4.81	0.72
003M2.5L1	3.96	0.54	4.24	0.62	4.32	0.63	4.54	0.67
004M2.5L1	3.79	0.53	3.98	0.57	4.03	0.57	4.32	0.62
001M3.0L1	5.26	0.82	5.48	0.83	5.53	0.83	5.68	0.84
002M3.0L1	4.40	0.64	4.71	0.71	4.76	0.72	4.95	0.75
003M3.0L1	4.09	0.59	4.34	0.65	4.44	0.66	4.64	0.69
004M3.0L1	3.85	0.53	4.11	0.61	4.14	0.60	4.44	0.65
001M3.5L1	5.53	0.85	5.77	0.87	5.81	0.87	5.95	0.86
002M3.5L1	4.60	0.70	4.96	0.75	5.02	0.76	5.14	0.77
003M3.5L1	4.32	0.63	4.46	0.67	4.63	0.71	4.81	0.72
004M3.5L1	4.03	0.57	4.32	0.63	4.38	0.66	4.64	0.69

La Tabla N° 5.17 muestra los parámetros estadísticos de las curvas de fragilidad para viviendas de 1 a 4 pisos con densidad de muros de 1.5%,2.0%,2.5%, 3.0% y 3.5%, construidas con unidades de ladrillo industrial tubular (L2) y cimentados en tipo de suelo S2.

Tabla N° 5.17 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L2 cimentado S2

Tipo de Suelo S2	Estado de Daño							
	Leve		Moderado		Severo		Colapso	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
001M1.5L2	4.71	0.74	4.81	0.75	4.98	0.77	5.14	0.77
002M1.5L2	4.08	0.57	4.08	0.57	4.37	0.65	4.54	0.67
003M1.5L2	3.63	0.48	3.73	0.51	3.96	0.54	4.73	0.71
004M1.5L2	3.58	0.51	3.67	0.45	3.67	0.45	4.01	0.54
001M2.0L2	4.97	0.78	5.13	0.81	5.30	0.82	5.50	0.82
002M2.0L2	4.23	0.61	4.36	0.64	4.58	0.68	4.73	0.71
003M2.0L2	3.75	0.47	3.85	0.53	4.16	0.62	4.44	0.65
004M2.0L2	3.63	0.48	3.79	0.53	3.98	0.57	4.32	0.62

Tipo de Suelo	Estado de Daño							
	Leve		Moderado		Severo		Colapso	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
S2								
Tipología	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
001M2.5L2	5.15	0.81	5.24	0.81	5.53	0.83	5.64	0.83
002M2.5L2	4.32	0.63	4.51	0.67	4.70	0.70	4.81	0.72
003M2.5L2	4.08	0.57	4.13	0.58	4.29	0.64	4.54	0.67
004M2.5L2	3.73	0.51	3.84	0.56	4.11	0.61	4.44	0.65
001M3.0L2	5.31	0.83	5.44	0.84	5.66	0.85	5.82	0.85
002M3.0L2	4.38	0.66	4.52	0.68	4.78	0.72	4.88	0.73
003M3.0L2	4.13	0.58	4.27	0.62	4.44	0.66	4.64	0.69
004M3.0L2	3.85	0.53	3.92	0.55	4.16	0.62	4.44	0.65
001M3.5L2	5.58	0.84	5.71	0.85	5.89	0.87	5.98	0.87
002M3.5L2	4.62	0.73	4.74	0.74	4.98	0.75	5.14	0.77
003M3.5L2	4.36	0.64	4.48	0.66	4.62	0.69	4.81	0.72
004M3.5L2	4.08	0.57	4.13	0.58	4.34	0.65	4.54	0.67

La Tabla N° 5.18 muestra los parámetros estadísticos de las curvas de fragilidad para viviendas de 01 a 04 pisos de densidades de muros de 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%, construidas con unidades de ladrillo solido artesanal (L1), y cimentados en tipo de suelo S3.

Tabla N° 5.18 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L1 cimentado S3

Tipo de Suelo	Estado de Daño							
	Leve		Moderado		Severo		Colapso	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
S3								
Tipología	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
001M1.5L1	4.47	0.66	4.88	0.74	4.95	0.75	5.19	0.78
002M1.5L1	3.99	0.55	4.13	0.60	4.22	0.61	4.44	0.65
003M1.5L1	3.65	0.43	4.06	0.56	4.10	0.57	4.32	0.62
004M1.5L1	3.62	0.44	4.07	0.57	4.07	0.57	4.32	0.62
001M2.0L1	4.73	0.71	4.96	0.74	5.09	0.77	5.29	0.79
002M2.0L1	4.05	0.59	4.34	0.65	4.34	0.65	4.64	0.69
003M2.0L1	3.72	0.46	4.18	0.58	4.29	0.61	4.44	0.65
004M2.0L1	3.65	0.43	4.15	0.59	4.27	0.63	4.54	0.67
001M2.5L1	4.91	0.74	5.17	0.78	5.23	0.79	5.34	0.80
002M2.5L1	4.11	0.58	4.50	0.70	4.52	0.69	4.81	0.72
003M2.5L1	3.90	0.53	4.22	0.61	4.44	0.65	4.54	0.67
004M2.5L1	3.72	0.46	4.14	0.58	4.33	0.63	4.54	0.67
001M3.0L1	5.07	0.77	5.34	0.80	5.38	0.81	5.54	0.82
002M3.0L1	4.19	0.60	4.64	0.71	4.69	0.72	4.95	0.74
003M3.0L1	4.01	0.57	4.30	0.63	4.42	0.65	4.64	0.69
004M3.0L1	3.80	0.51	4.22	0.60	4.41	0.65	4.64	0.69
001M3.5L1	5.41	0.81	5.62	0.83	5.69	0.84	5.77	0.85

Tipo de Suelo	Estado de Daño							
	Leve		Moderado		Severo		Colapso	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
S3								
Tipología								
002M3.5L1	4.35	0.63	4.75	0.72	4.91	0.76	5.19	0.78
003M3.5L1	4.27	0.63	4.43	0.67	4.56	0.68	4.73	0.70
004M3.5L1	3.97	0.57	4.38	0.64	4.49	0.66	4.64	0.69

La Tabla N° 5.19 muestra los parámetros estadísticos de las curvas de fragilidad para viviendas de 01 a 04 pisos, densidad de muros de 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%, construidas con unidades de ladrillo solido artesanal (L2), y cimentadas en tipo de suelo S3.

Tabla N° 5.19 Parámetros de las curvas de fragilidad de viviendas L2 cimentado S3

Tipo de Suelo	Estado de Daño							
	Leve		Moderado		Severo		Colapso	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
S3								
Tipología								
001M1.5L2	4.54	0.67	4.67	0.69	4.92	0.74	5.08	0.76
002M1.5L2	3.84	0.51	4.02	0.59	4.35	0.66	4.64	0.69
003M1.5L2	3.57	0.46	3.72	0.46	3.97	0.57	4.32	0.62
004M1.5L2	3.52	0.37	3.57	0.37	3.93	0.52	4.18	0.58
001M2.0L2	4.83	0.73	4.96	0.75	5.22	0.78	5.34	0.80
002M2.0L2	3.99	0.55	4.17	0.62	4.41	0.67	4.73	0.70
003M2.0L2	3.84	0.51	3.84	0.51	4.13	0.60	4.44	0.65
004M2.0L2	3.65	0.43	3.72	0.46	4.01	0.54	4.18	0.58
001M2.5L2	4.99	0.75	5.10	0.77	5.43	0.81	5.58	0.83
002M2.5L2	4.10	0.57	4.25	0.61	4.53	0.68	4.81	0.72
003M2.5L2	4.01	0.57	4.12	0.61	4.25	0.64	4.54	0.67
004M2.5L2	3.62	0.44	3.84	0.51	4.07	0.57	4.32	0.62
001M3.0L2	5.23	0.78	5.34	0.80	5.55	0.83	5.71	0.84
002M3.0L2	4.06	0.56	4.29	0.61	4.60	0.68	4.81	0.72
003M3.0L2	4.13	0.60	4.25	0.64	4.37	0.66	4.64	0.69
004M3.0L2	3.80	0.51	3.80	0.51	4.22	0.64	4.54	0.67
001M3.5L2	5.54	0.83	5.66	0.84	5.83	0.85	5.90	0.86
002M3.5L2	4.48	0.67	4.54	0.68	4.71	0.71	4.88	0.73
003M3.5L2	4.20	0.62	4.28	0.64	4.73	0.74	5.02	0.75
004M3.5L2	4.01	0.57	4.13	0.60	4.37	0.66	4.64	0.69

A partir de los valores de media y desviación estándar, obtenidos en las tablas N°5.14 a tabla N° 5.19, se generaron las curvas de fragilidad para viviendas de albañilería representativas con una densidad de muros del 2.0%, una característica común en las viviendas de Lima Metropolitana. En la Figura N° 5.38 se presentan las curvas de fragilidad

para viviendas de 01 piso con una densidad de muros del 2.0%, construidas sobre tres tipos de suelos: S1, S2, y S3.

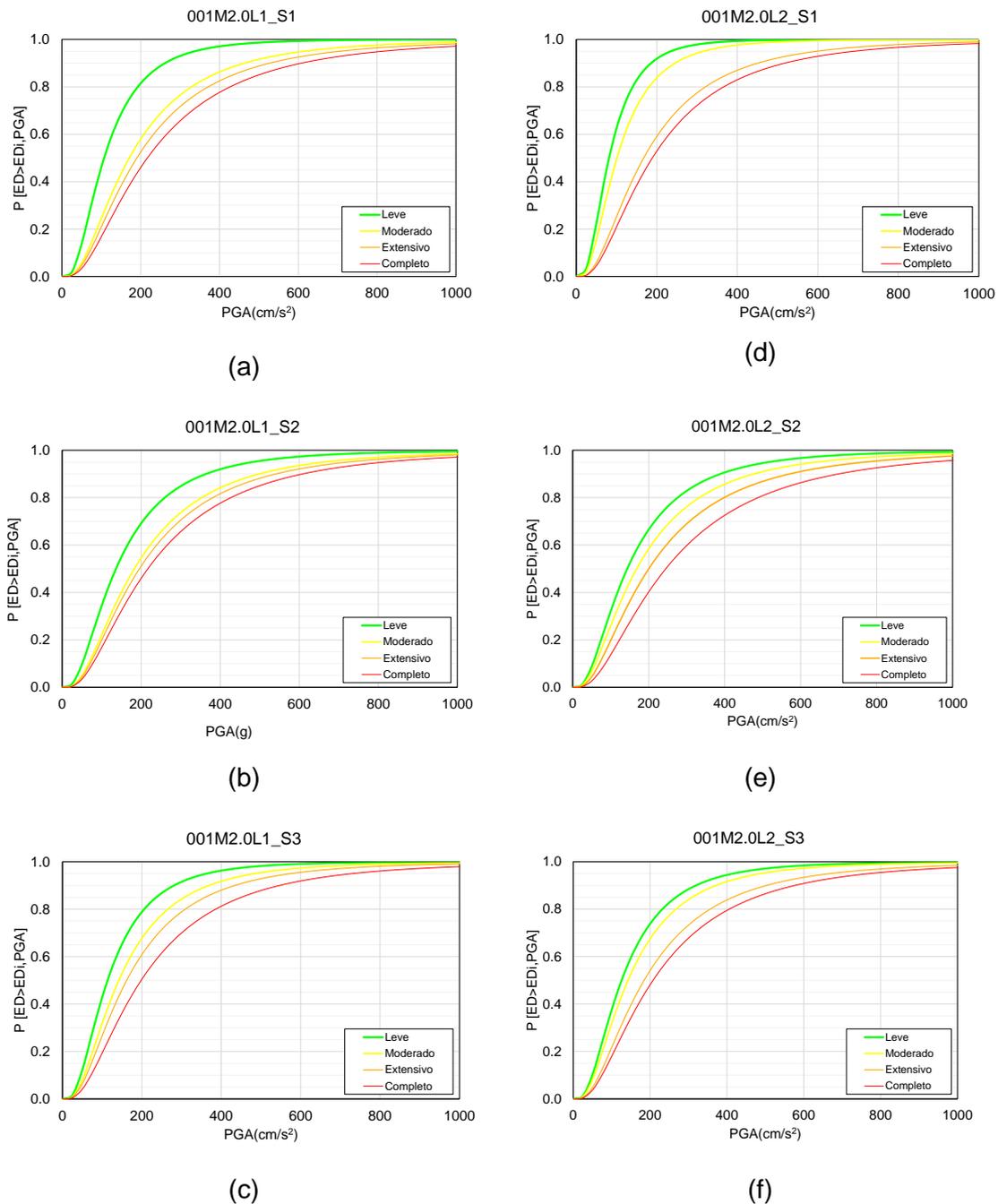


Figura N° 5.38 Curvas de fragilidad analítica para viviendas de 01 piso con densidad de muro de 2% construidos con ladrillo sólido artesanal (a, b, c), ladrillo Tubular industrial (d, e, f) y cimentadas en tipo de suelos S1, S2, y S3.

En la Figura N° 5.39 presenta las curvas de fragilidad de viviendas de 02 pisos con densidad de muros de 2.0% y construidas sobre tres tipos de suelos S1, S2, y S3.

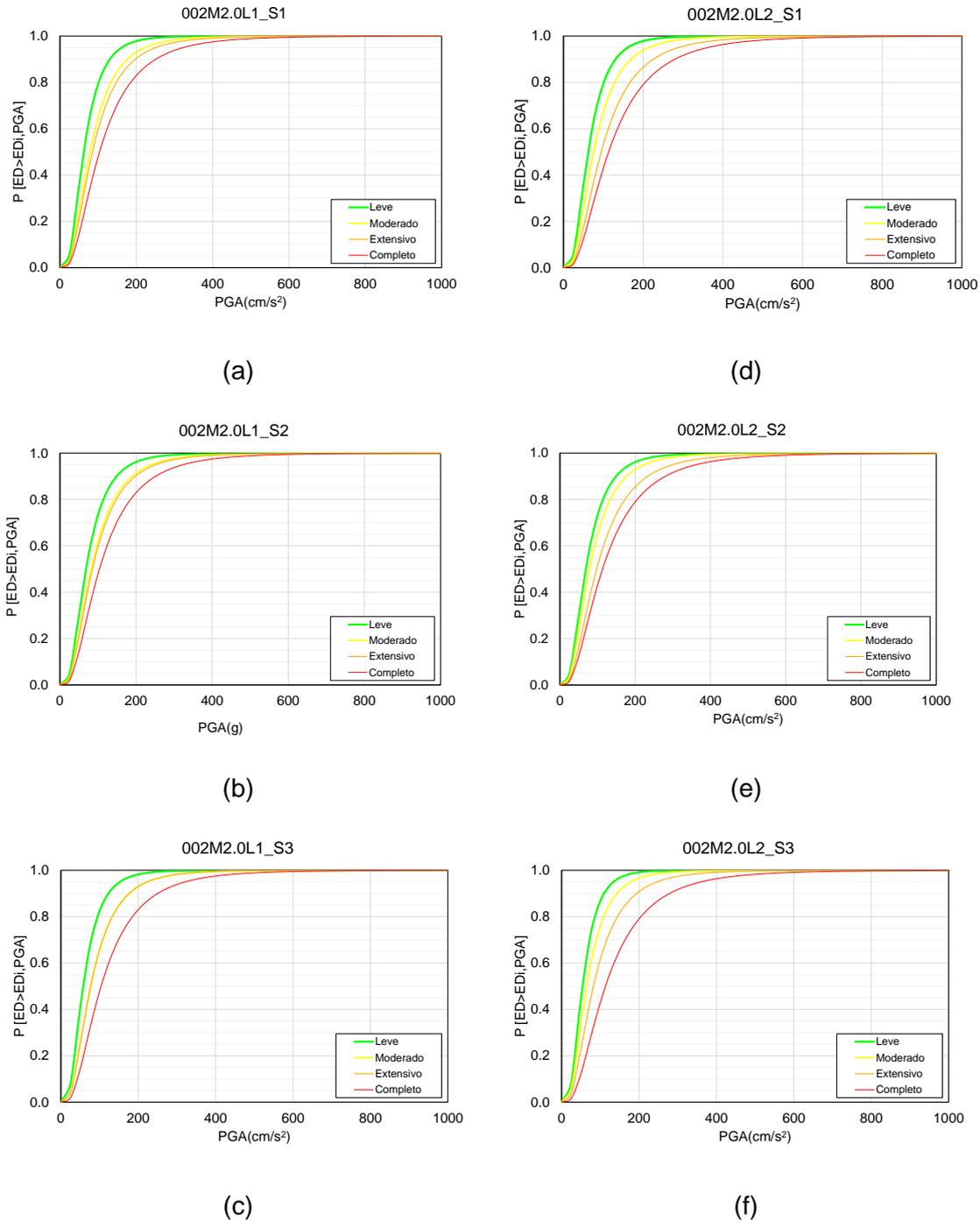


Figura N° 5.39 Curvas de fragilidad analítica para viviendas de 02 pisos con densidad de muro de 2% construidos con ladrillo solido artesanal (a, b, c), ladrillo Tubular industrial (d, e, f) y cimentadas en tipo de suelos S1, S2, y S3.

En la Figura N° 5.40 presenta las curvas de fragilidad de viviendas de 03 pisos con densidad de muros de 2.0% y construidas sobre tres tipos de suelos S1, S2, y S3.

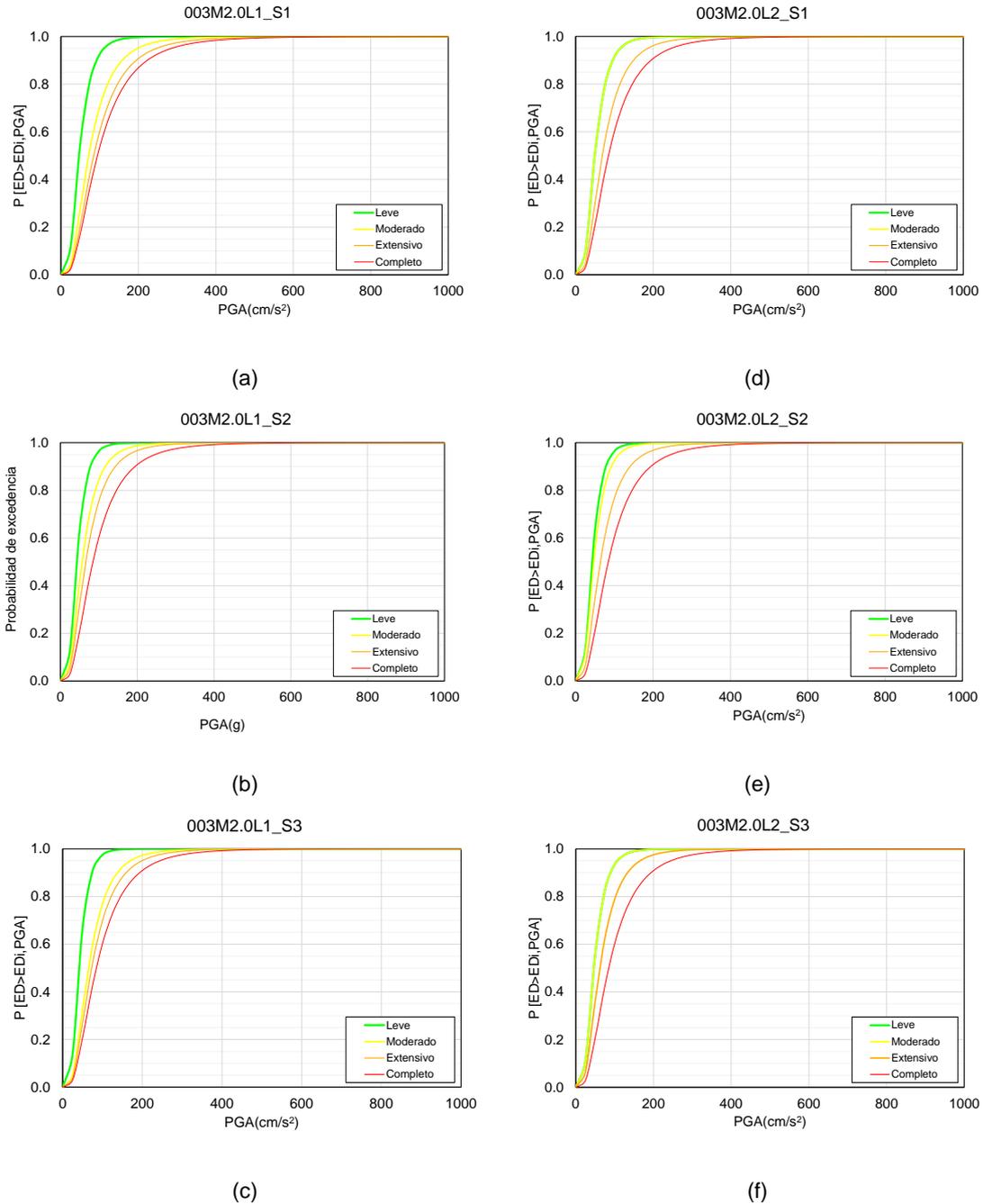


Figura N° 5.40 Curvas de fragilidad analítica para viviendas de 03 pisos con densidad de muro de 2% construidos con ladrillo solido artesanal (a, b, c), ladrillo Tubular industrial (d, e, f) y cimentadas en tipo de suelos S1, S2, y S3.

En la Figura N° 5.41 presenta las curvas de fragilidad de viviendas de 04 pisos con densidad de muros de 2.0% y construidas sobre tres tipos de suelos S1, S2, y S3.

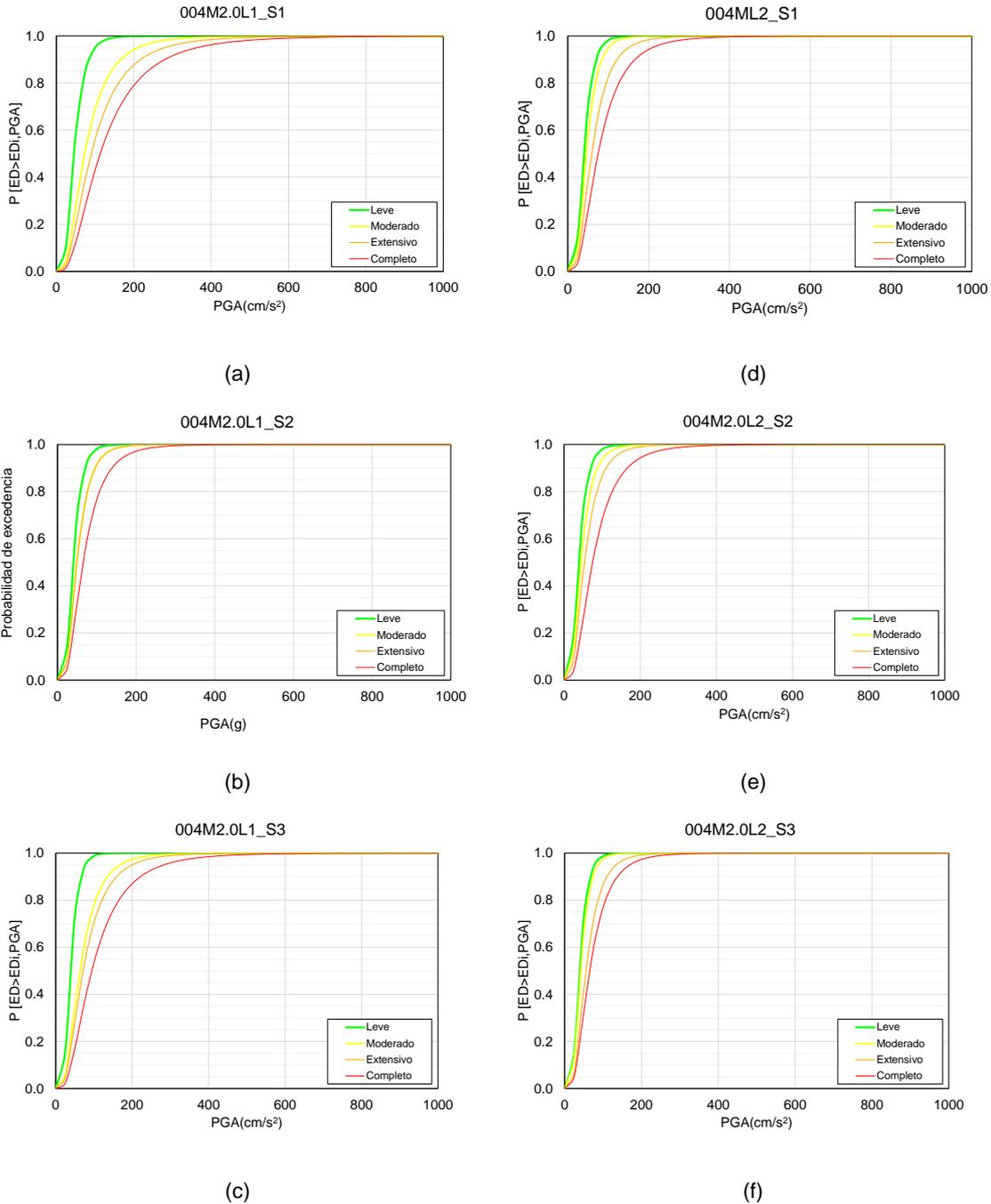


Figura N° 5.41 Curvas de fragilidad analítica para viviendas de 03 pisos con densidad de muro de 2% construidos con ladrillo solido artesanal (a, b, c), ladrillo Tubular industrial (d, e, f) y cimentadas en tipo de suelos S1, S2, y S3.

En resumen, las curvas de fragilidad obtenidas se presentan en las Figura N° 5.42, Figura N° 5.43 y Figura N° 5.44.

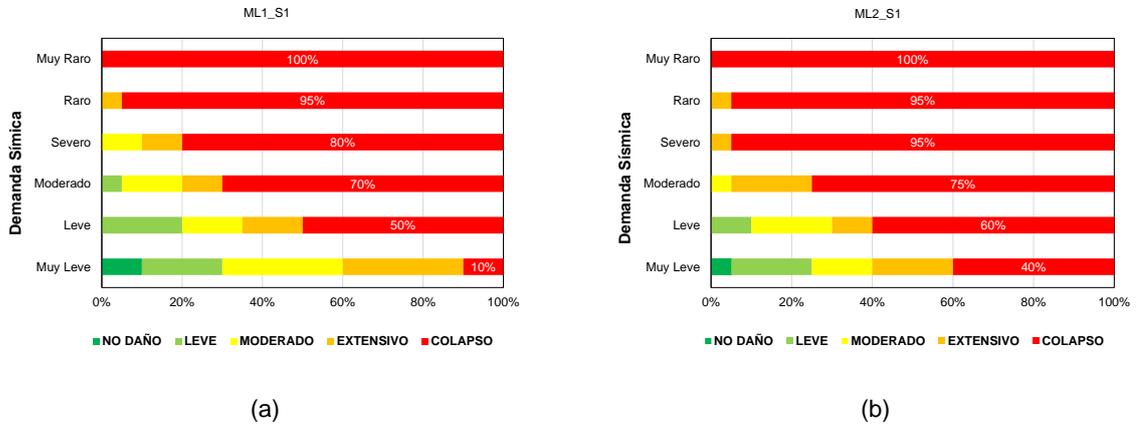


Figura N° 5.42. Probabilidad de daño para las viviendas de tipología a) L1 y b) L2 sobre tipo de suelo S1

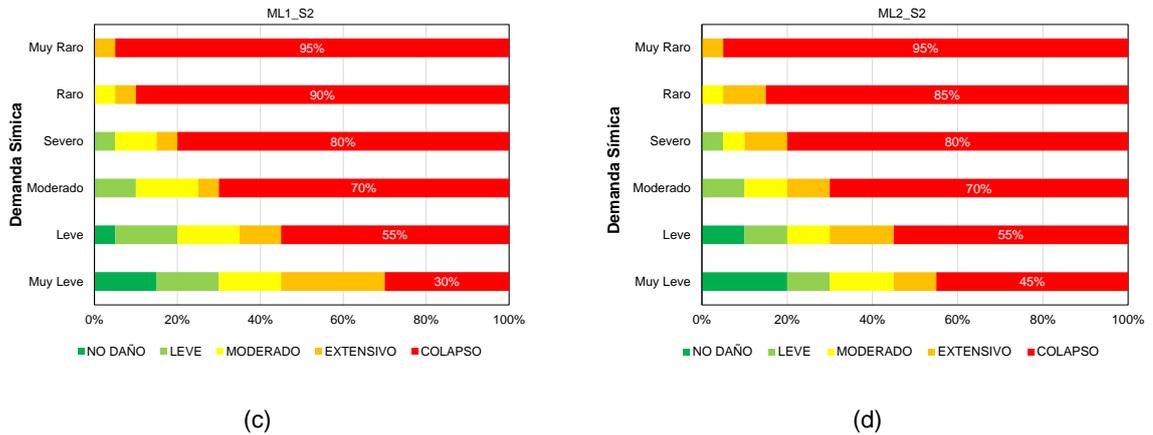


Figura N° 5.43. Probabilidad de daño para las viviendas de tipología c) L1 y d) L2 sobre tipo de suelo S2

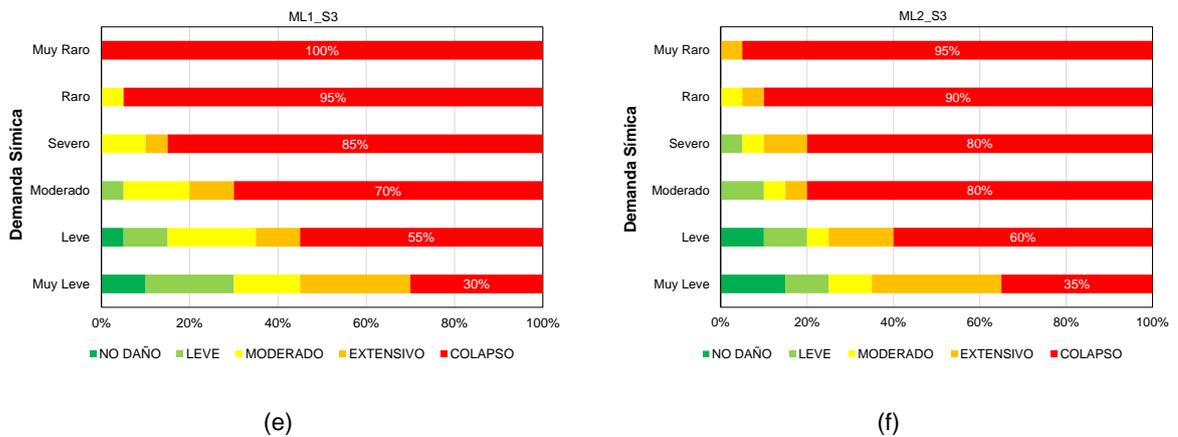


Figura N° 5.44. Probabilidad de daño para las viviendas de tipología e) L1 y f) L2 sobre tipo de suelo S3

5.8 Análisis de las curvas de fragilidad

Para el desarrollo de las curvas de fragilidad, se ha seleccionado la aceleración máxima del suelo (PGA), como indicador de la acción sísmica en Lima Metropolitana, dado que la amenaza sísmica, en todo el territorio peruano está definido en función de este parámetro, y el parámetro indicador del daño estructural, es la distorsión o deriva máxima de entrepiso, δ_{max} de las viviendas.

Una vez obtenida las curvas de fragilidad, se puede construir matrices de probabilidad de daño y calcular un parámetro que indique el daño global de la estructura. Estos resultados pueden emplearse para evaluar el riesgo sísmico en una zona específica, construir escenarios de daño sísmico y estimar el nivel de daño que podría sufrir una estructura, según el tipo de suelo donde este cimentada (Moreno González et al., 2006)

5.8.1 Escenarios de demanda sísmica.

Perú es un país con alta actividad sísmica, y en un escenario de sísmico severo, el peligro sísmico podría ser catastrófico, ocasionando pérdidas humanas y materiales significativas. Por lo tanto, existe dos métodos principales para cuantificar la amenaza sísmica: métodos deterministas y el método probabilístico. para Lima metropolitana desarrollado por (Aguilar et al., 2017), quienes propusieron 4 pasos. El primer paso, es reconocer el catálogo de registros sísmicos del Perú y las características tectónicas de la región. El segundo paso, es identificar y caracterizar las fuentes sismo génicas. El tercer paso, determinar la ecuación para la predicción del movimiento del suelo (GMPE) adecuada para cada fuente sísmica. Finalmente, el cuarto paso es estimar la curva de probabilidad anual de excedencia para la aceleración en roca en la zona del litoral peruano. Ver Figura N° 5.45.

A partir del modelo PSHA desarrollado por (Aguilar et al., 2017) y de acuerdo con la Tabla C2-1 de ASCE41-13 "Evaluación sísmica y rehabilitación de edificios existentes" se elaboró la Tabla N° 5.20 , que presenta seis escenarios de probabilidades de excedencia.

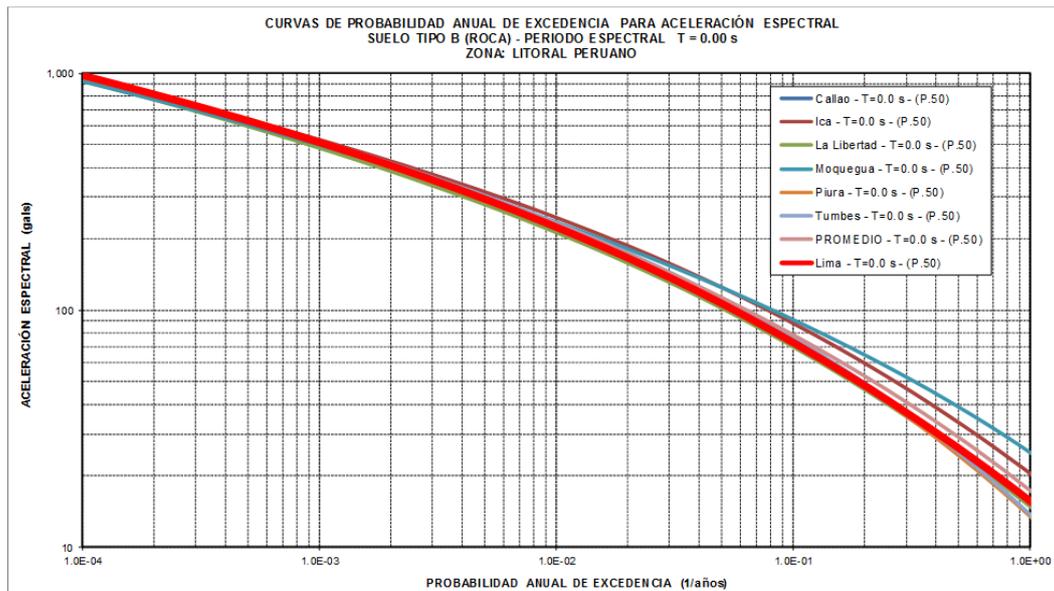


Figura N° 5.45 Curva de probabilidad anual de ausencia por aceleración espectral Aguilar et al (2017)

Tabla N° 5.20 Niveles de demanda sísmica asociado a la aceleración en roca del litoral Peruano Zona 4

Demanda Sísmica	Nivel de peligro Sísmico	Periodo de Retorno (Años)	Z (g)
I	50% de excedencia /30años	43	0.15
II	50% de excedencia /50años	72	0.20
III	20% de excedencia /50años	225	0.33
IV	10% de excedencia /50años	475	0.45
V	5% de excedencia /50años	975	0.58
VI	2% de excedencia /50años	2475	0.78

FUENTE: ASCE 41-13. * De los estudios de peligro sísmico de CISMID (ASCE), 2014), (SENCICO, 2018)

Donde:

Z: Aceleración máxima horizontal en suelo rígido (roca) para diferentes intensidades sísmicas en la Zona 4, expresado como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Para las seis demandas sísmicas, se han definido los valores promedio de la aceleración máxima del suelo (PGA), según el análisis de los resultados obtenidos de los diez registros sísmicos estudiados previamente en el capítulo 5.6.1. En este análisis, se escaló la aceleración espectral de acuerdo con la norma sísmica, obteniéndose los valores de PGA como se pueden observar en la Tabla N° 5.21.

Tabla N° 5.21 Niveles de demanda sísmica asociado a los escenarios de riesgos sísmicos del litoral peruano

Niveles de demanda Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
PGA (cm/s ²)	175	225	350	475	650	875
PGA (g)	0.18	0.23	0.36	0.48	0.66	0.89

5.8.2 Matrices de probabilidad de daño

Al determinar los escenarios sísmicos y las curvas de fragilidad podemos obtener las matrices de probabilidad de daño correspondiente al estado de daño (No Daños, Leve, Moderado, Extensivo y Colapso) por cada nivel de demanda sísmica y se define como:

$$P[ED_i/PGA] = P(ED_i/PGA) - P(ED_{i+1}/PGA) \quad (4)$$

Donde:

$P[ED_i/PGA]$ es la probabilidad de que ocurra el estado de daño ED_i cuando la estructura es afectada por una demanda sísmica (PGA).

Se analizaron las correspondientes curvas de fragilidad de 40 viviendas propuestas, es decir, viviendas de 1, 2, 3 y 4 pisos con densidades de muros de 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5% afectadas por 03 escenarios sísmicos: sismo Leve, severo y muy raro. A partir de estos análisis, se construyó una matriz de probabilidad de daño para viviendas con muros de albañilería de dos tipos de ladrillos no ingenieriles: ladrillo solido artesanal (L1) y ladrillo industrial tubular (L2), Tabla N° 5.22 presenta la matriz de probabilidad de daño para las tipologías de viviendas con una densidad de muros del 1.5% construidas con ladrillos L1 y L2, y cimentadas en tres tipos de suelo (S1, S2 y S3), bajo tres escenarios sísmicos: Leve, severo y muy raro.

Tabla N° 5.22. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 1.5%

Número de Pisos	Nivel de Daño	Tipo de Ladrillo	225gals			475gals			875gals		
			S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	No Daños	L1	7.0%	16.5%	7.6%	0.4%	2.3%	0.5%	0.0%	0.2%	0.0%
		L2	5.7%	16.8%	9.6%	0.3%	2.4%	0.8%	0.0%	0.2%	0.0%
	Leve	L1	22.2%	13.5%	15.9%	5.8%	4.2%	3.7%	0.9%	0.8%	0.5%
		L2	7.4%	4.4%	4.3%	1.1%	1.2%	0.8%	0.1%	0.2%	0.1%
	Moderado	L1	4.5%	6.8%	3.3%	2.1%	3.1%	1.2%	0.5%	0.8%	0.2%
		L2	12.7%	7.4%	11.3%	3.6%	2.6%	3.1%	0.6%	0.5%	0.5%
	Extensivo	L1	7.5%	4.4%	11.8%	3.7%	2.4%	5.2%	1.1%	0.7%	1.3%
		L2	7.1%	7.3%	7.7%	2.9%	3.0%	3.1%	0.7%	0.7%	0.7%
	Colapso	L1	58.8%	58.8%	61.4%	88.0%	88.0%	89.5%	97.4%	97.4%	97.9%
		L2	67.1%	64.2%	67.1%	92.2%	90.8%	92.3%	98.7%	98.3%	98.7%
2	No Daños	L1	0.2%	0.8%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.3%	0.9%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	2.3%	1.4%	1.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.4%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	0.7%	2.9%	0.9%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	1.0%	4.3%	4.3%	0.0%	0.3%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	3.4%	4.7%	4.0%	0.3%	0.5%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	2.1%	4.5%	7.8%	0.1%	0.5%	1.1%	0.0%	0.0%	0.1%
	Colapso	L1	93.4%	90.3%	93.5%	99.6%	99.2%	99.6%	100.0%	100.0%	100.0%
		L2	96.1%	90.3%	87.0%	99.9%	99.2%	98.7%	100.0%	100.0%	99.9%
3	No Daños	L1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	1.7%	0.2%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	2.5%	0.0%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.9%	0.3%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	5.5%	1.6%	2.7%	0.6%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	19.1%	16.2%	16.1%	3.0%	2.1%	2.1%	0.3%	0.2%	0.2%
	Colapso	L1	90.3%	98.2%	96.3%	99.2%	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%
		L2	80.0%	83.4%	83.4%	97.0%	97.9%	97.9%	99.7%	99.8%	99.8%
4	No Daños	L1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	4.1%	0.0%	1.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	1.5%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.3%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	7.5%	0.5%	2.8%	1.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
		L2	1.4%	0.5%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Colapso	L1	86.9%	99.5%	96.3%	98.6%	100.0%	99.9%	99.9%	100.0%	100.0%
		L2	98.2%	99.5%	98.3%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabla N° 5.23. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 2.0%

Número de Pisos	Nivel de Daño	Tipo de Ladrillo	225gals			475gals			875gals		
			S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	No Daños	L1	14.4%	25.7%	16.7%	1.6%	5.2%	2.1%	0.1%	0.8%	0.2%
		L2	5.7%	28.2%	21.2%	0.3%	6.2%	3.4%	0.0%	1.0%	0.4%
	Leve	L1	21.8%	13.9%	10.1%	7.8%	6.0%	3.1%	1.7%	1.5%	0.5%
		L2	6.6%	7.9%	5.8%	1.0%	3.9%	2.0%	0.1%	1.1%	0.4%
	Moderado	L1	5.4%	3.4%	6.6%	3.0%	2.0%	2.9%	0.9%	0.7%	0.7%
		L2	22.7%	8.3%	12.9%	7.6%	4.5%	6.0%	1.5%	1.4%	1.6%
	Extensivo	L1	6.6%	5.2%	10.2%	4.0%	3.3%	5.4%	1.4%	1.2%	1.6%
		L2	6.1%	9.8%	6.0%	3.2%	6.4%	3.6%	0.9%	2.4%	1.2%
	Colapso	L1	51.8%	51.8%	56.4%	83.5%	83.5%	86.5%	95.9%	95.9%	97.0%
		L2	58.8%	45.8%	54.0%	88.0%	79.1%	85.0%	97.4%	94.0%	96.4%
2	No Daños	L1	1.3%	2.5%	1.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	1.3%	2.5%	0.5%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	3.5%	3.6%	3.8%	0.2%	0.3%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	2.9%	2.3%	1.7%	0.2%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	2.1%	0.8%	0.0%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	5.8%	6.1%	4.4%	0.7%	0.8%	0.4%	0.0%	0.1%	0.0%
	Extensivo	L1	6.2%	6.2%	8.1%	0.9%	0.9%	1.1%	0.1%	0.1%	0.1%
		L2	6.5%	5.6%	9.9%	1.3%	1.1%	1.6%	0.1%	0.1%	0.2%
	Colapso	L1	86.9%	86.9%	87.0%	98.6%	98.6%	98.7%	99.9%	99.9%	99.9%
		L2	83.4%	83.4%	83.5%	97.9%	97.9%	97.9%	99.8%	99.8%	99.8%
3	No Daños	L1	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	3.1%	0.7%	1.7%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	3.4%	1.4%	1.6%	0.3%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.9%	0.3%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	3.1%	4.5%	3.2%	0.4%	0.3%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	19.1%	16.2%	16.1%	3.0%	2.1%	2.1%	0.3%	0.2%	0.2%
	Colapso	L1	90.3%	93.4%	93.5%	99.2%	99.6%	99.6%	100.0%	100.0%	100.0%
		L2	80.0%	83.4%	83.4%	97.0%	97.9%	97.9%	99.7%	99.8%	99.8%
4	No Daños	L1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	3.9%	0.2%	1.6%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	5.2%	0.0%	1.7%	0.6%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.9%	0.5%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	7.4%	1.6%	6.3%	1.3%	0.0%	0.7%	0.1%	0.0%	0.0%
		L2	2.9%	3.3%	1.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Colapso	L1	83.4%	98.2%	90.4%	97.9%	100.0%	99.2%	99.8%	100.0%	100.0%
		L2	96.1%	96.1%	98.3%	99.9%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabla N° 5.24. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 2.5%

Número de Pisos	Nivel de Daño	Tipo de Ladrillo	225gals			475gals			875gals		
			S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	No Daños	L1	14.4%	34.6%	24.5%	1.6%	9.2%	4.4%	0.1%	1.8%	0.6%
		L2	12.7%	37.3%	28.5%	1.3%	10.6%	5.9%	0.1%	2.2%	0.9%
	Leve	L1	27.8%	11.5%	13.2%	11.0%	6.3%	5.8%	2.6%	2.0%	1.5%
		L2	4.1%	3.9%	5.4%	0.9%	2.1%	2.4%	0.1%	0.7%	0.6%
	Moderado	L1	5.6%	4.0%	3.0%	3.6%	2.6%	1.5%	1.3%	1.0%	0.5%
		L2	19.0%	14.1%	16.5%	7.0%	9.6%	9.9%	1.5%	3.8%	3.4%
	Extensivo	L1	6.4%	5.9%	5.3%	4.6%	4.3%	3.2%	1.9%	1.8%	1.1%
		L2	2.7%	5.5%	7.2%	1.4%	4.4%	5.6%	0.4%	2.1%	2.5%
	Colapso	L1	45.8%	44.1%	54.0%	79.1%	77.6%	85.0%	94.0%	93.3%	96.4%
		L2	61.4%	39.3%	42.4%	89.4%	73.3%	76.2%	97.9%	91.2%	92.7%
2	No Daños	L1	3.2%	3.9%	1.3%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	4.2%	4.2%	1.1%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	6.3%	8.5%	8.2%	0.7%	1.1%	0.8%	0.0%	0.1%	0.1%
		L2	2.7%	4.5%	1.7%	0.3%	0.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	0.6%	0.0%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	9.1%	6.7%	6.9%	1.6%	1.2%	0.7%	0.2%	0.1%	0.0%
	Extensivo	L1	6.5%	7.7%	10.3%	1.3%	1.8%	2.1%	0.1%	0.2%	0.3%
		L2	7.4%	4.5%	10.3%	2.0%	1.1%	2.2%	0.3%	0.2%	0.3%
	Colapso	L1	83.4%	80.0%	80.0%	97.9%	97.0%	97.0%	99.8%	99.7%	99.7%
		L2	76.6%	80.0%	80.0%	95.9%	97.0%	97.0%	99.5%	99.7%	99.7%
3	No Daños	L1	0.3%	0.3%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	5.4%	2.5%	2.3%	0.3%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	1.2%	1.4%	4.0%	0.1%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.9%	0.3%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	6.2%	5.5%	3.1%	0.9%	0.6%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%
		L2	19.1%	16.2%	16.1%	3.0%	2.1%	2.1%	0.3%	0.2%	0.2%
	Colapso	L1	86.9%	90.3%	90.4%	98.6%	99.2%	99.2%	99.9%	100.0%	100.0%
		L2	80.0%	83.4%	83.4%	97.0%	97.9%	97.9%	99.7%	99.8%	99.8%
4	No Daños	L1	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	4.2%	0.5%	1.4%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	5.2%	0.2%	2.9%	0.6%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	1.3%	1.3%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	7.1%	3.1%	5.3%	1.3%	0.1%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%
		L2	2.5%	5.0%	2.8%	0.1%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	Colapso	L1	83.4%	96.1%	90.4%	97.9%	99.9%	99.2%	99.8%	100.0%	100.0%
		L2	96.1%	93.4%	96.3%	99.9%	99.6%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabla N° 5.25. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 3.0%.

Número de Pisos	Nivel de Daño	Tipo de Ladrillo	225gals			475gals			875gals		
			S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	No Daños	L1	14.6%	42.5%	32.6%	1.7%	13.6%	7.7%	0.1%	3.3%	1.3%
		L2	18.7%	44.8%	40.6%	2.8%	15.0%	11.7%	0.3%	3.8%	2.4%
	Leve	L1	31.0%	10.5%	13.7%	13.3%	7.0%	7.6%	3.5%	2.7%	2.4%
		L2	7.9%	6.5%	5.5%	2.6%	4.6%	3.4%	0.5%	1.9%	1.2%
	Moderado	L1	6.7%	2.2%	1.8%	4.6%	1.6%	1.3%	1.8%	0.7%	0.5%
		L2	12.2%	10.0%	10.4%	5.4%	8.1%	7.9%	1.4%	3.9%	3.4%
	Extensivo	L1	5.2%	6.9%	7.9%	4.2%	5.8%	5.8%	1.9%	2.8%	2.4%
		L2	4.8%	7.1%	7.0%	2.7%	6.8%	6.4%	0.9%	3.7%	3.2%
	Colapso	L1	42.4%	37.8%	44.1%	76.2%	72.0%	77.6%	92.6%	90.5%	93.4%
		L2	56.3%	31.6%	36.4%	86.5%	65.5%	70.6%	96.9%	86.8%	89.8%
2	No Daños	L1	4.2%	5.7%	1.9%	0.2%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	7.3%	5.6%	0.7%	0.5%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	10.4%	10.0%	11.8%	1.5%	1.7%	1.6%	0.1%	0.2%	0.1%
		L2	1.2%	3.9%	2.5%	0.1%	0.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	2.2%	2.5%	2.0%	0.5%	0.6%	0.5%	0.1%	0.1%	0.1%
		L2	11.0%	9.5%	8.4%	2.3%	1.9%	1.0%	0.3%	0.2%	0.1%
	Extensivo	L1	6.6%	8.5%	10.9%	1.9%	2.6%	3.1%	0.3%	0.5%	0.5%
		L2	7.3%	4.5%	8.3%	2.3%	1.3%	1.9%	0.4%	0.2%	0.2%
	Colapso	L1	76.6%	73.3%	73.3%	95.9%	94.8%	94.8%	99.5%	99.3%	99.3%
		L2	73.3%	76.6%	80.0%	94.8%	95.9%	97.0%	99.3%	99.5%	99.7%
3	No Daños	L1	0.8%	1.2%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	5.0%	3.8%	3.2%	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	3.4%	1.9%	4.5%	0.4%	0.2%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.9%	0.3%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	7.5%	6.2%	4.7%	1.4%	0.9%	0.7%	0.2%	0.1%	0.1%
		L2	19.1%	16.2%	16.1%	3.0%	2.1%	2.1%	0.3%	0.2%	0.2%
	Colapso	L1	83.4%	86.9%	87.0%	97.9%	98.6%	98.7%	99.8%	99.9%	99.9%
		L2	80.0%	83.4%	83.4%	97.0%	97.9%	97.9%	99.7%	99.8%	99.8%
4	No Daños	L1	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	5.6%	1.4%	2.1%	0.3%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	5.5%	0.1%	3.9%	0.8%	0.0%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
		L2	2.3%	1.7%	3.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	5.3%	4.9%	6.9%	1.1%	0.4%	1.0%	0.1%	0.0%	0.1%
		L2	4.1%	4.5%	6.5%	0.3%	0.3%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%
	Colapso	L1	83.4%	93.4%	87.0%	97.9%	99.6%	98.7%	99.8%	100.0%	99.9%
		L2	93.4%	93.4%	90.4%	99.6%	99.6%	99.2%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabla N° 5.26. Matriz de probabilidad de daño en viviendas con densidad de muros de 3.5%.

Número de Pisos	Nivel de Daño	Tipo de Ladrillo	225gals			650gals			875gals		
			S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	No Daños	L1	28.4%	55.5%	49.9%	6.0%	22.9%	17.7%	0.9%	7.2%	4.6%
		L2	28.5%	57.9%	56.1%	6.0%	24.4%	22.6%	0.9%	7.7%	6.8%
	Leve	L1	27.7%	10.4%	9.8%	16.7%	9.7%	8.0%	5.9%	5.2%	3.6%
		L2	11.1%	5.6%	5.4%	5.2%	5.5%	4.8%	1.4%	3.0%	2.4%
	Moderado	L1	2.1%	1.4%	3.3%	1.8%	1.4%	3.1%	0.8%	0.8%	1.6%
		L2	15.5%	7.2%	6.9%	10.8%	7.8%	7.2%	4.3%	4.8%	4.1%
	Extensivo	L1	3.9%	6.0%	3.2%	3.6%	6.4%	3.2%	1.8%	3.9%	1.8%
		L2	7.0%	3.4%	3.0%	6.0%	3.8%	3.5%	2.9%	2.4%	2.2%
	Colapso	L1	37.8%	26.7%	33.9%	72.0%	59.6%	68.0%	90.5%	82.9%	88.3%
		L2	37.8%	25.9%	28.5%	72.0%	58.5%	61.9%	90.5%	82.1%	84.5%
2	No Daños	L1	10.7%	12.2%	4.5%	1.0%	1.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%
		L2	7.0%	13.8%	7.9%	0.4%	1.7%	0.6%	0.0%	0.2%	0.0%
	Leve	L1	14.6%	14.7%	13.2%	3.8%	4.0%	2.3%	0.6%	0.6%	0.2%
		L2	4.3%	4.3%	2.0%	0.6%	1.0%	0.3%	0.1%	0.1%	0.0%
	Moderado	L1	0.7%	3.1%	7.8%	0.2%	1.2%	2.6%	0.0%	0.3%	0.5%
		L2	18.2%	10.1%	6.2%	5.3%	3.1%	1.2%	0.9%	0.6%	0.1%
	Extensivo	L1	6.9%	5.8%	13.0%	2.8%	2.6%	5.5%	0.6%	0.7%	1.3%
		L2	9.2%	7.7%	7.3%	4.2%	3.4%	2.0%	1.1%	0.8%	0.3%
	Colapso	L1	67.1%	64.2%	61.4%	92.2%	90.8%	89.5%	98.7%	98.3%	97.9%
		L2	61.4%	64.2%	76.6%	89.4%	90.8%	96.0%	97.9%	98.3%	99.5%
3	No Daños	L1	2.1%	4.2%	3.3%	0.1%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	7.0%	3.5%	3.6%	0.7%	0.4%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	3.0%	5.9%	3.4%	0.5%	1.0%	0.5%	0.0%	0.1%	0.0%
		L2	0.9%	0.3%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	4.5%	6.5%	6.1%	0.9%	1.5%	1.2%	0.1%	0.2%	0.1%
		L2	19.1%	16.2%	16.1%	3.0%	2.1%	2.1%	0.3%	0.2%	0.2%
	Colapso	L1	83.4%	80.0%	83.5%	97.9%	97.0%	97.9%	99.8%	99.7%	99.8%
		L2	80.0%	83.4%	83.4%	97.0%	97.9%	97.9%	99.7%	99.8%	99.8%
4	No Daños	L1	0.8%	0.8%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.9%	0.9%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	L1	6.2%	3.5%	4.7%	0.4%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
		L2	0.8%	0.4%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	L1	5.4%	1.4%	3.0%	0.8%	0.1%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
		L2	3.1%	3.7%	4.1%	0.2%	0.2%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	L1	7.7%	7.5%	4.9%	1.8%	1.1%	0.8%	0.2%	0.1%	0.1%
		L2	4.9%	4.7%	7.4%	0.6%	0.5%	1.0%	0.0%	0.0%	0.1%
	Colapso	L1	80.0%	86.9%	87.0%	97.0%	98.6%	98.7%	99.7%	99.9%	99.9%
		L2	90.3%	90.3%	87.0%	99.2%	99.2%	98.7%	100.0%	100.0%	99.9%

5.8.3 Estado o grado de daño medio

El grado de daño medio indica el estado o grado de daño que tiene una mayor probabilidad de ocurrencia. Es una herramienta útil que permite visualizar el nivel de daño global y su distribución geográfica en un solo mapa. (Lantada et al., 2007) indica que un parámetro altamente eficiente para establecer comparaciones entre diferentes escenarios sísmicos y se define mediante la siguiente expresión

$$D_m = \sum_{i=0}^N iP[DS_i]$$

Donde N es el número de estados de daños considerados, *i* es el número correspondiente al estado de daño: sin daño (*i*=0), leve (*i*=1), moderado (*i*=2), severo (*i*=3) y colapso (*i*=4), *DS_i*, es decir toma valores de 0 a N para cada estado de daño considerado en el análisis: de 0 a 4, *P[DS_i]* es la probabilidad de ocurrencia de estado de daño *i*, *D_m* representa el estado de daño más probable.

Este parámetro de Daño medio tiene intervalos de variación para cada estado de Daño y se puede utilizar para representar escenarios de riesgo sísmico en un área determinada (Moreno et al,2010). La Tabla N° 5.27 ,muestran los intervalos de variación de *D_m* para viviendas de albañilería construidas con unidades de ladrillo tipo L1 y L2 respectivamente. Los intervalos de variación fueron obtenidos a partir de las matrices de probabilidad de daño para el escenario y viviendas típicas propuestas.

Tabla N° 5.27 intervalo de variación del parámetro de Dm para viviendas con muros ML1 y MI2

Intervalo de Variación – L1	Intervalo de Variación-L2	Estado de Daño
$0.0 \leq D_m \leq 1.85$	$0.0 \leq D_m \leq 1.95$	No daño
$1.85 \leq D_m \leq 2.75$	$1.95 \leq D_m \leq 2.8$	Leve
$2.75 \leq D_m \leq 3.45$	$2.8 \leq D_m \leq 3.25$	Moderado
$3.45 \leq D_m \leq 3.65$	$3.25 \leq D_m \leq 3.65$	Extensivo
$3.65 \leq D_m \leq 4.0$	$3.65 \leq D_m \leq 4.0$	Colapso

Las siguientes figuras, muestran los resultados de daño medio en viviendas de 01 a 04 pisos, para las cinco densidades de muros, cimentados en el mismo tipo de suelo y bajo las demandas sísmicas establecidos. Asimismo, se analiza y compara la respuesta para 03 escenarios sísmicos como: sismo leve, sismo severo y sismo muy raro.

La Figura N°5.46 presenta el análisis de daño medio de viviendas de 01 piso construidas con muros de ladrillo solido artesanal (ML1), cimentadas sobre un tipo de suelo S1, bajo diferentes escenarios sísmicos. Para un sismo leve (225cm/s^2) las viviendas con densidad de muros (DM) 2.0%,2.5% 3.0% y 3.5% alcanzan un estado de daño leve y viviendas con DM 1.5% experimentan un nivel de daño moderado. Mientras que, para un sismo severo(475cm/s^2) alcanzan daño por colapso, viviendas de DM 1.5%, daño extensivo viviendas de 2.0%, y 2.5% y daño moderado viviendas con DM 3.0% y 3.5% y, Además, para un sismo muy raro (875cm/s^2), Todas las viviendas independientemente de la densidad de muros inician un estado de daño colapso.

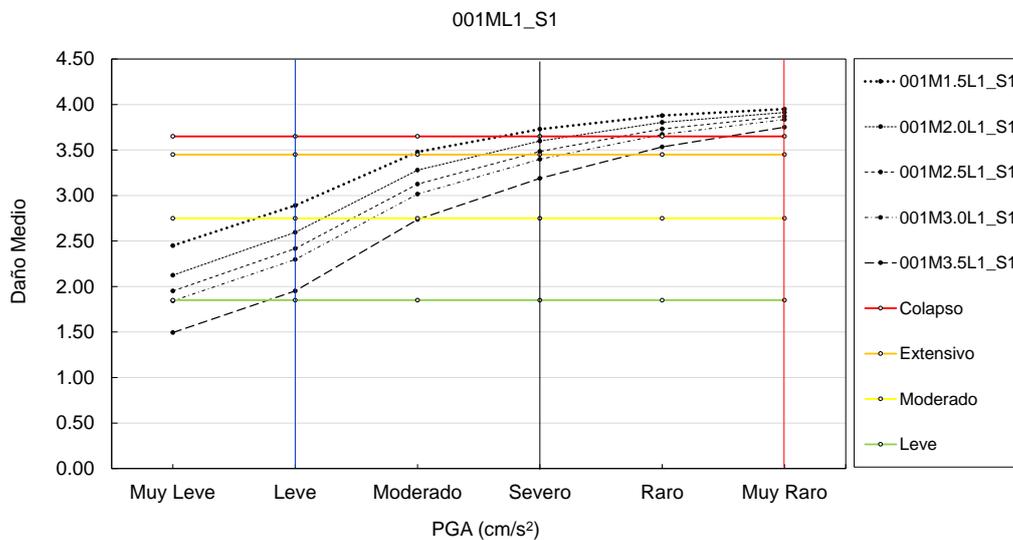


Figura N°5.46. Daño medio en viviendas 001ML1_S1

La Figura N°5.47 presenta el análisis del daño medio de viviendas de 01 piso construidas con muros de ladrillo (ML1) cimentadas sobre un suelo tipo S2, bajo diferentes escenarios sísmicos. Para un sismo leve, alcanza daño leve, viviendas con DM 2.0%,2.5% y 3.0% y sin daño viviendas con DM 3.5%. Mientras que, para un sismo severo inicia el daño por colapso en viviendas con DM 1.5%, daño extensivo viviendas de 2.0%, daño moderado viviendas de 2.5% y 3.0% y experimentan daño leve 3.5%. Además, para un sismo muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM excepto la de 3.5% y alcanzan daño extensivo.

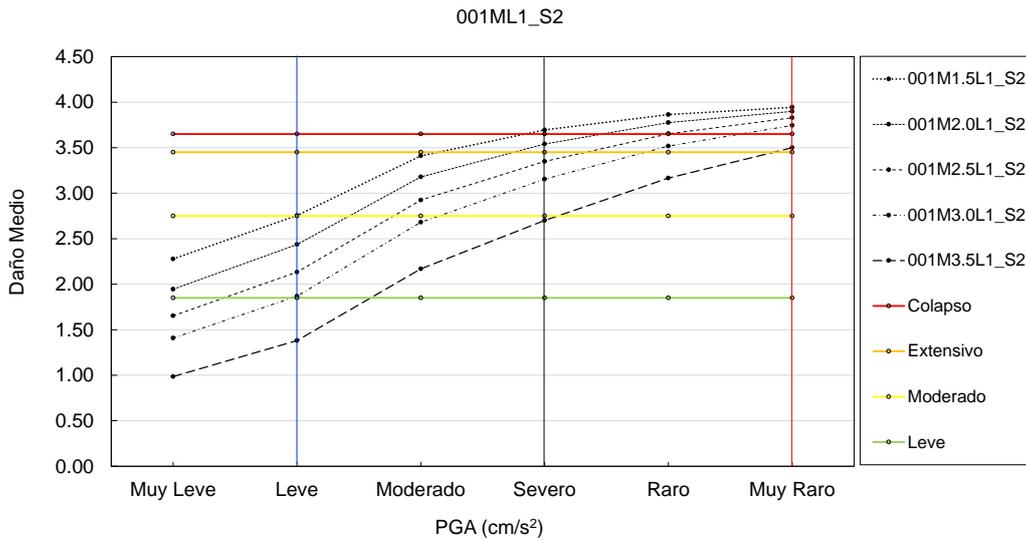


Figura N°5.47. Daño medio en viviendas 001ML1_S2

La Figura N°5.48 analiza el daño medio en viviendas de 01 piso construidas con muros de ladrillo (ML1), cimentadas sobre suelo tipo S3, bajo diferentes escenarios sísmicos. Para un sismo leve, viviendas con DM 3.5% permanecen en estado sin daño, alcanzan daño leve viviendas con DM 2.5% y 3.0% y daño moderado viviendas con DM 1.5% y 2.0%. Mientras que, para un sismo severo, inician daño por colapso viviendas con DM 1.5% y 2.0%, daño extensivo viviendas con DM 2.5% y daño moderado viviendas con DM 3.0% y 3.5%. Para un sismo muy raro, independientemente de la densidad de muros, colapsan.

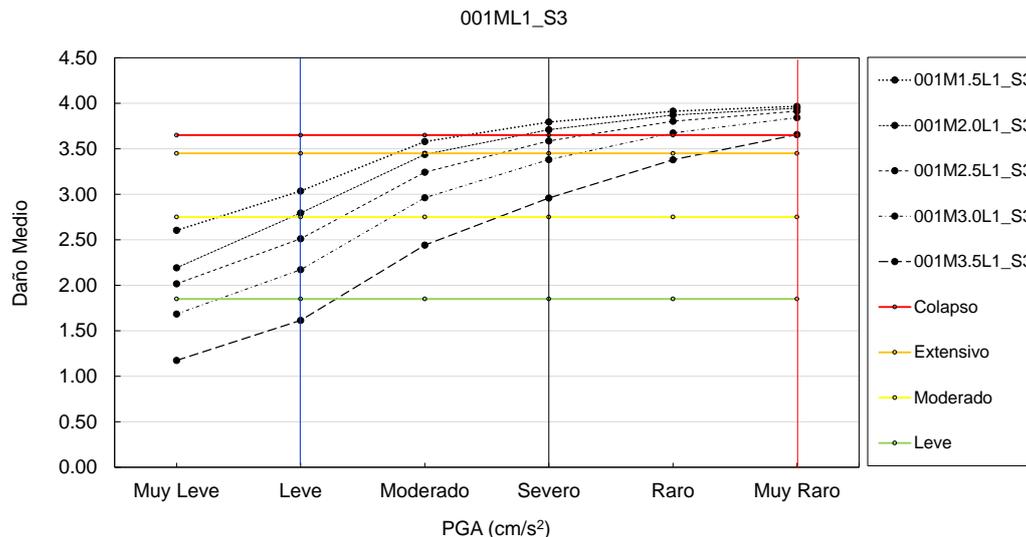


Figura N°5.48. Daño medio en viviendas 001ML1_S3

La Figura N°5.49 presenta el análisis del daño medio en viviendas de 02 pisos con muros de ladrillo solido artesanal (ML1), cimentadas sobre suelo tipo S1, bajo diferentes

escenarios sísmicos. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5% y 2%, daño extensivo viviendas con DM 2.5%, daño moderado viviendas con DM 3.0% y 3.5%. Mientras que, para un sismo severo y muy raro todas las viviendas independientemente de la densidad de muros (DM), alcanzan daños por colapso.

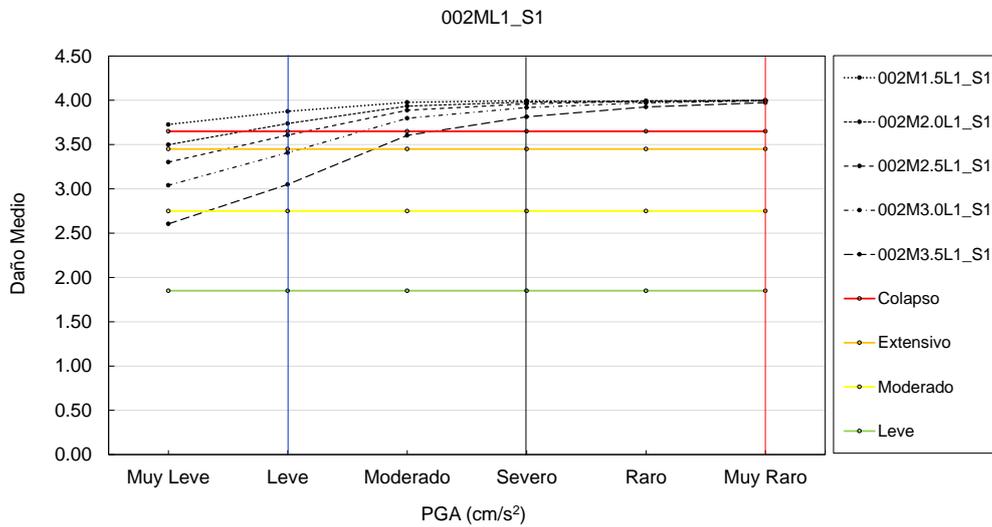


Figura N°5.49. Daño medio en viviendas 002ML1_S1

La Figura N°5.50 analiza el daño medio en viviendas de 02 pisos construidas con muros de ladrillo solido artesanal (ML1), cimentadas sobre tipo de suelo S2, bajo diferentes escenarios sísmicos. Para un sismo leve, alcanza un estado de daño por colapso viviendas de DM 1.5% y 2%, daño extensivo viviendas con DM 2.5%, daño moderado viviendas con DM 3.0% y 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro sin importar la DM alcanzan daños por colapso.

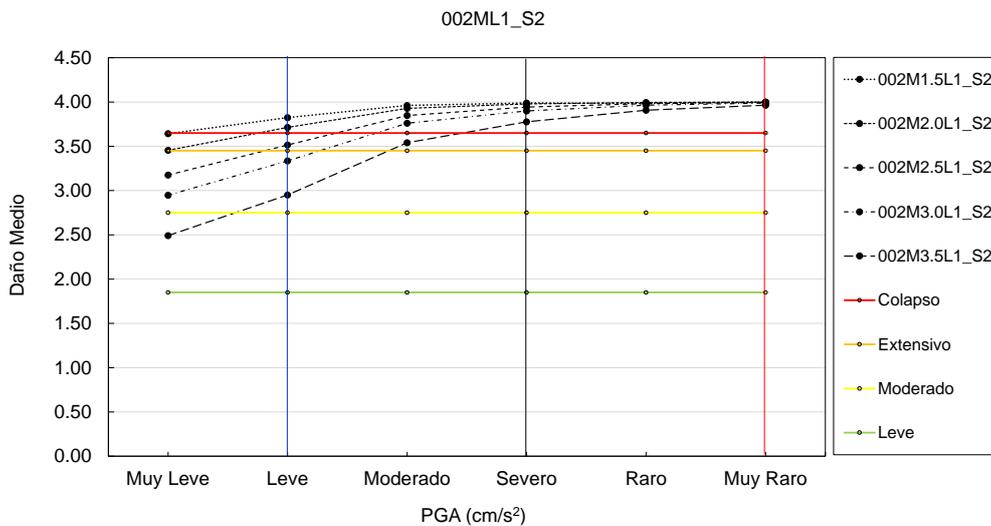


Figura N°5.50. Daño medio en viviendas 002ML1_S2

La Figura N°5.51 muestra el daño medio de viviendas de 02 pisos de ML1, cimentadas sobre suelo tipo S3, bajo diferentes escenarios sísmicos. Para un sismo leve, alcanza estado de daño colapso viviendas de DM 1.5% y 2.0%, daño extensivo 2.5%, daño moderado 3.0% y 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro todas las viviendas independientemente de la densidad de muros DM sufren daño por colapso.

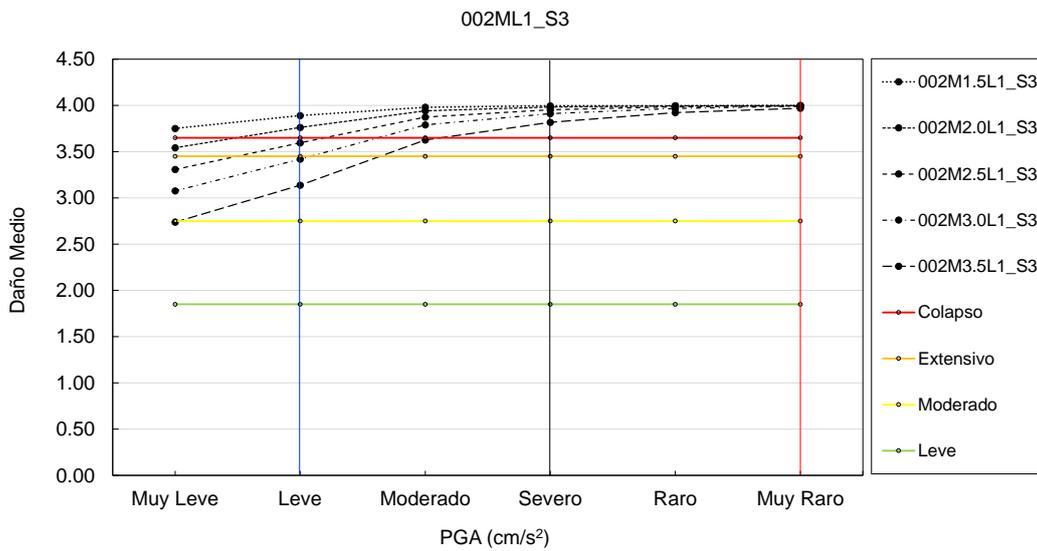


Figura N°5.51. Daño medio en viviendas 002ML1_S3

La Figura N°5.52 muestra el daño medio de viviendas de 03 pisos de ML1, cimentadas sobre tipo de suelo S1. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5%, 2.0%, 2.5%, daño moderado 3.0% y 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro alcanzan daños por colapso todas las viviendas de DM establecidos.

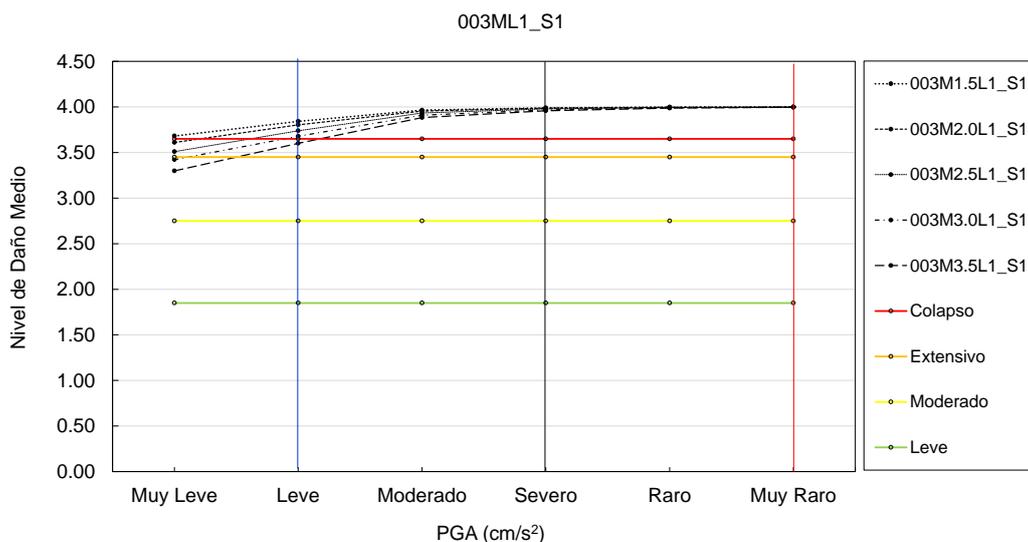


Figura N°5.52. Daño medio en viviendas 003ML1_S1

La Figura N°5.53 muestra el daño medio de viviendas de 03 pisos de ML1, cimentadas sobre tipo de suelo S2. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0% y daño extensivo 3.5%. mientras que, para un sismo severo y muy raro alcanzan daños por colapso todas las viviendas de DM establecidos.

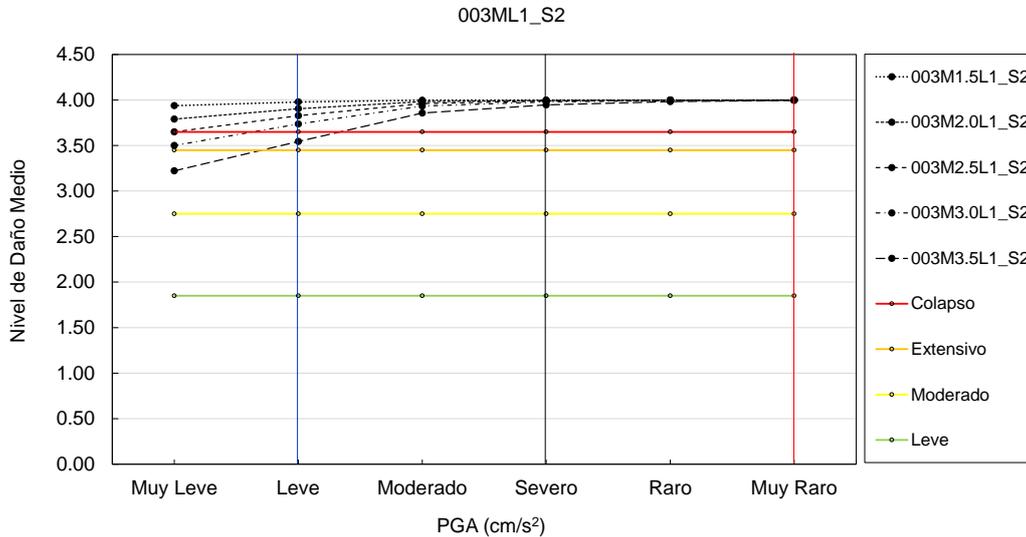


Figura N°5.53. Daño medio en viviendas 003ML1_S2

La Figura N°5.54 muestra el daño medio de viviendas de 03 pisos de ML1, cimentadas sobre tipo de suelo S3. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5% y 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro alcanzan daños por colapso todas las viviendas de DM establecidos.

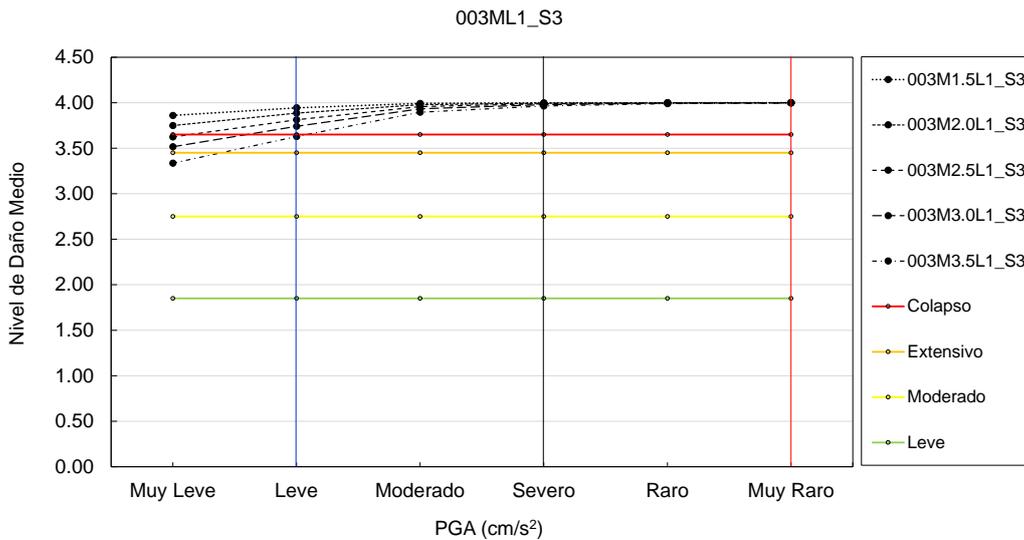


Figura N°5.54. Daño medio en viviendas 003ML1_S3

La Figura N°5.55 muestra el daño medio de viviendas de 04 pisos de ML1, cimentadas sobre tipo de suelo S1. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5%,2.0%, 2.5% y 3% y daño extensivo 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro alcanzan daños por colapso todas las viviendas de DM establecidos

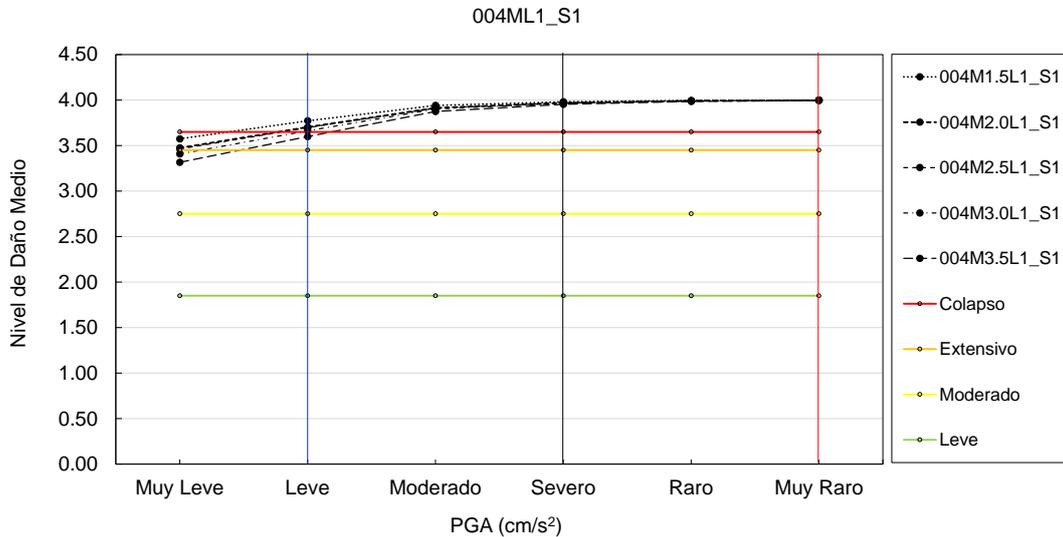


Figura N°5.55. Daño medio en viviendas 004ML1_S1

La Figura N°5.56 muestra el daño medio de viviendas de 04 pisos de ML1, cimentadas sobre tipo de suelo S2. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5%,2.0%,2.5%, 3.0% y daño extensivo 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro alcanzan daños por colapso todas las viviendas de DM establecidos.

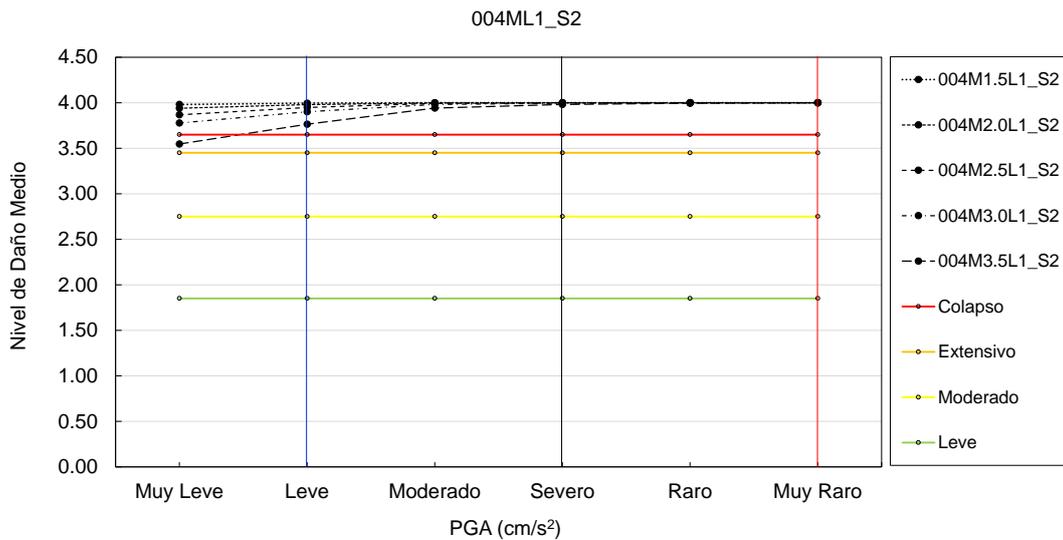


Figura N°5.56. Daño medio en viviendas 004ML1_S2

La Figura N°5.57 muestra el daño medio de viviendas de 04 pisos de ML1, cimentadas sobre tipo de suelo S3. Para un sismo leve, moderado y muy raro alcanzan daños por colapso todas las viviendas de DM establecidos.

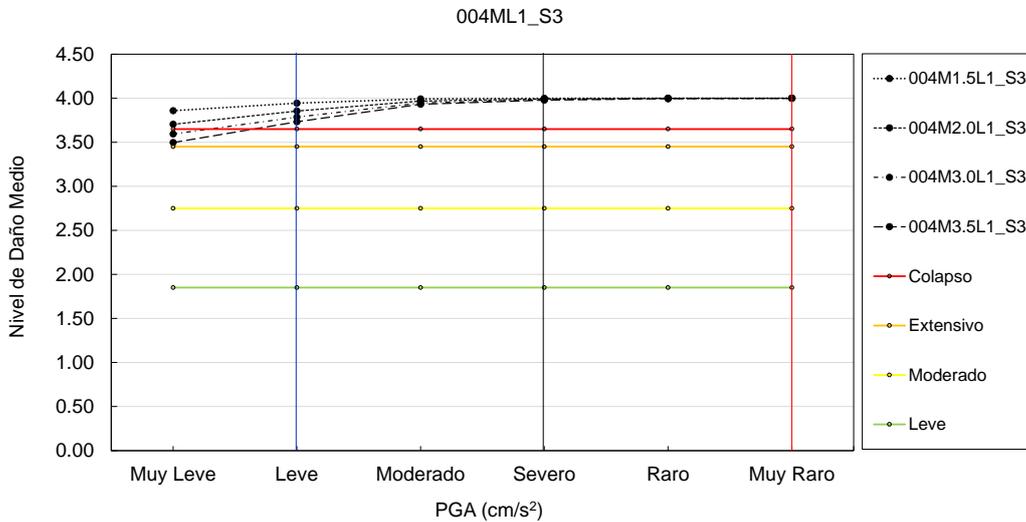


Figura N°5.57. Daño medio en viviendas 004ML1_S3

La Figura N°5.58 muestra el daño medio de viviendas de 01 piso construido con muros de ladrillo tubular industrial (ML2), cimentadas sobre tipo de suelo S1. Para un sismo leve 175cm/s², alcanza daño leve viviendas con DM 1.5%,2.0% y nivel daño moderado viviendas con DM 2.5%,3.0% y 3.5%, mientras que, para un sismo severo de 475cm/s² inicia daños por colapso viviendas con DM 1.5%, 2.0% 2.5% y 3.0%, daño extensivo viviendas de DM 3.5%. Además, para un sismo muy raro de 875cm/s², las viviendas colapsan para todas las DM establecidos.

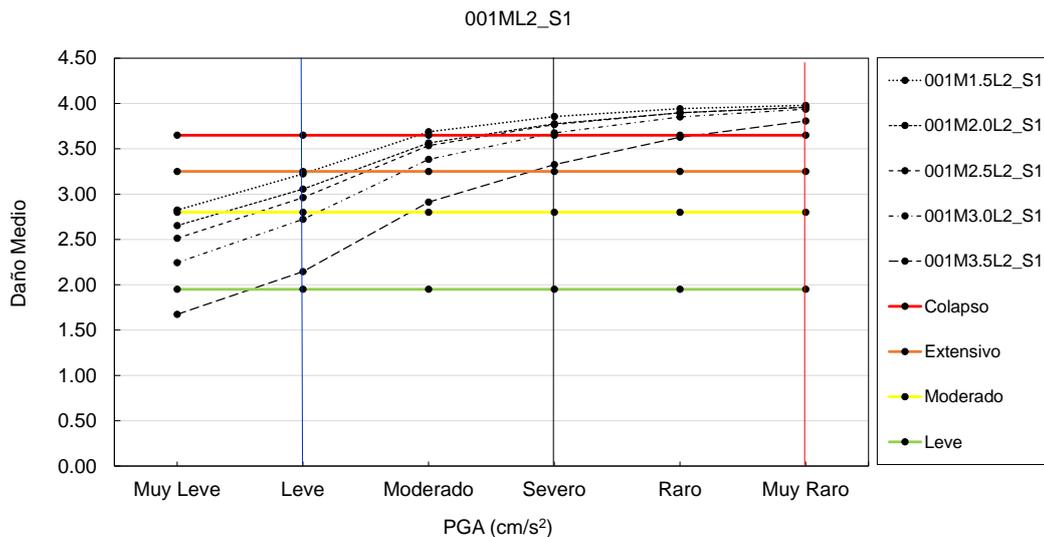


Figura N°5.58. Daño medio en viviendas 001ML2_S1

La Figura N°5.59 muestra el daño medio de viviendas de 01 piso de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S2. Para un sismo leve, alcanza nivel de no daños viviendas de DM 3.0% y 3.5%, nivel de daño leve viviendas con DM 2.0%, 2.5%, y nivel de daño moderado viviendas con DM 1.5% mientras que, para un sismo severo alcanza daños por colapso viviendas con DM 1.5%, daño extensivo viviendas de 2.0% y 2.5% y daño moderado y leve 3.0% y 3.5%. Además, para un sismo muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos menos la vivienda de DM 3.5% que alcanza daño extensivo.

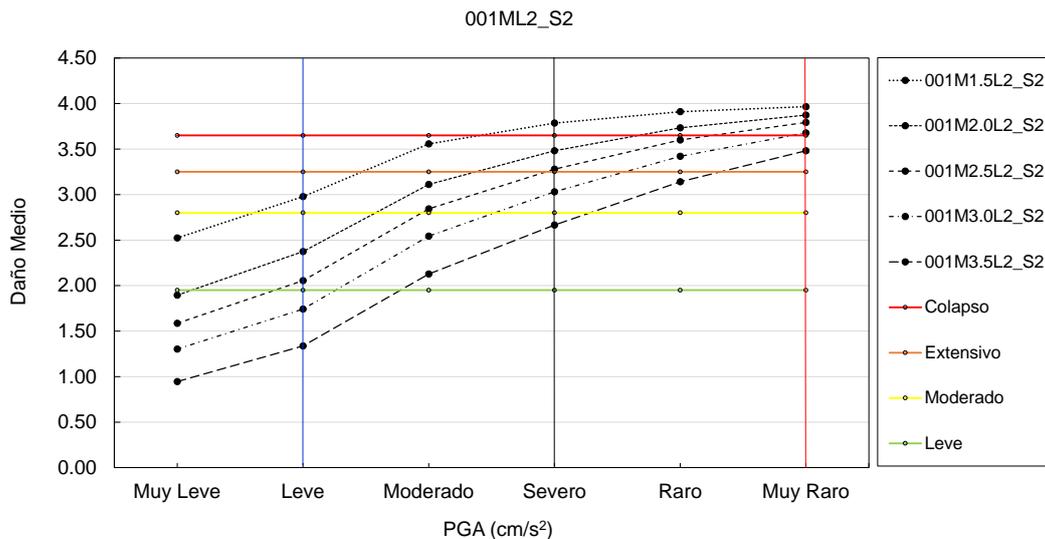


Figura N°5.59. Daño medio en viviendas 001ML2_S2

La Figura N°5.60 muestra el daño medio de viviendas de 01 piso de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S3. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño moderado viviendas con DM 1.5%, daño leve viviendas de DM 2.0% y 2.5% y nivel de no daños viviendas con DM 3.0% y 3.5%, mientras que, para un sismo severo alcanza daños por colapso viviendas con DM 1.5% y 2.0%, daño extensivo viviendas de 2.5% y daño moderado 3.0% y 3.5%. Además, para un sismo muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos menos las viviendas de DM 3.5% que alcanza daño extensivo.

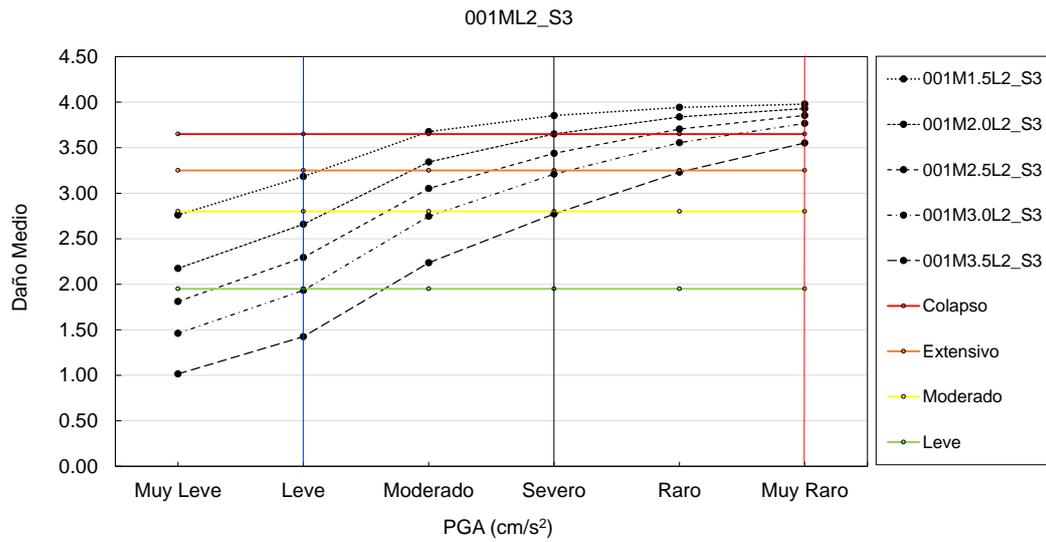


Figura N°5.60. Daño medio en viviendas 001ML2_S3

La Figura N°5.61 muestra el daño medio de viviendas de 02 pisos de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S1, para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5% y 2.0% daño extensivo 2.5%, y daño moderado 3.0% y 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos.

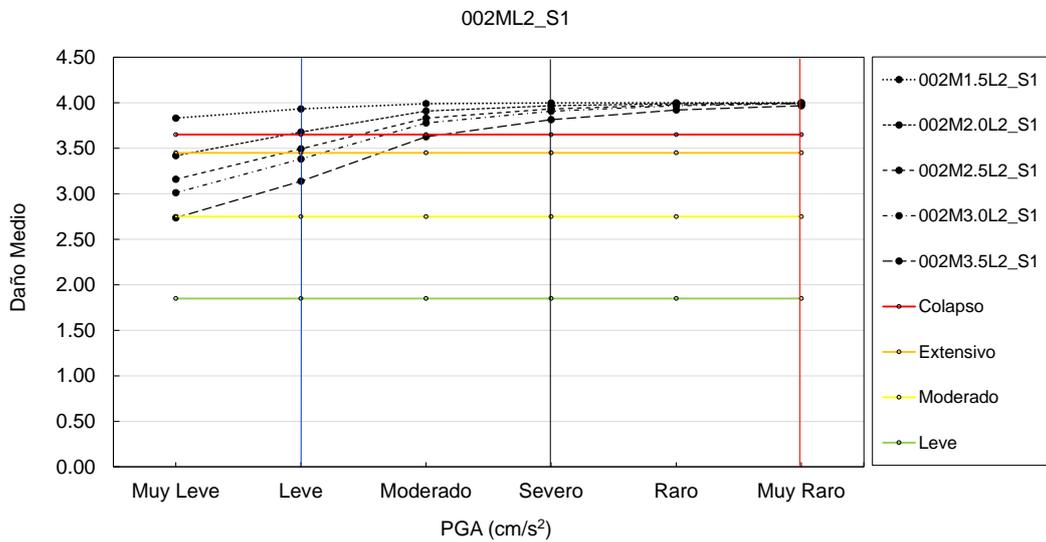


Figura N°5.61. Daño medio en viviendas 002ML2_S1

La Figura N°5.62 muestra el daño medio de viviendas de 02 pisos de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S2, para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5% y 2.0%, daño extensivo 2.5% y daño moderado 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos.

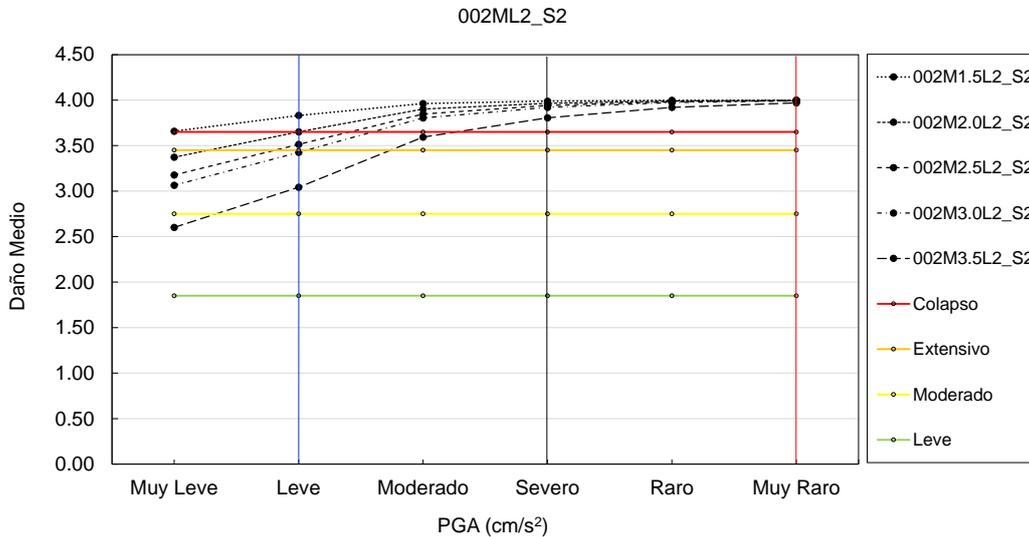


Figura N°5.62. Daño medio en viviendas 002ML2_S2

La Figura N°5.63 muestra el daño medio de viviendas de 02 pisos de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S3. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0%, daño moderado 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos.

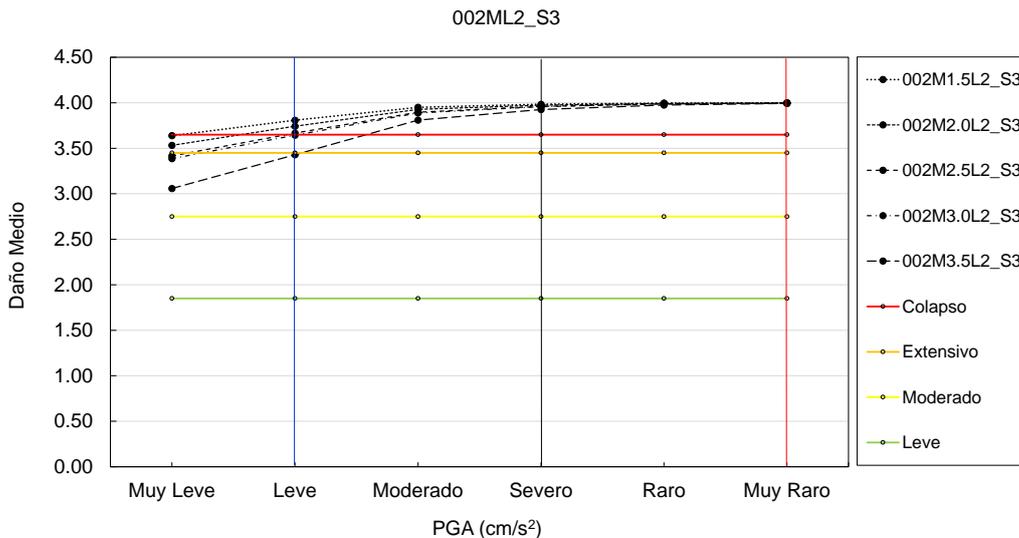


Figura N°5.63. Daño medio en viviendas 002ML2_S3

La Figura N°5.64 muestra el daño medio de viviendas de 03 pisos de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S1. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5%,2.0% y 2.5% y 3.0%, mientras que, para un sismo severo y muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos.

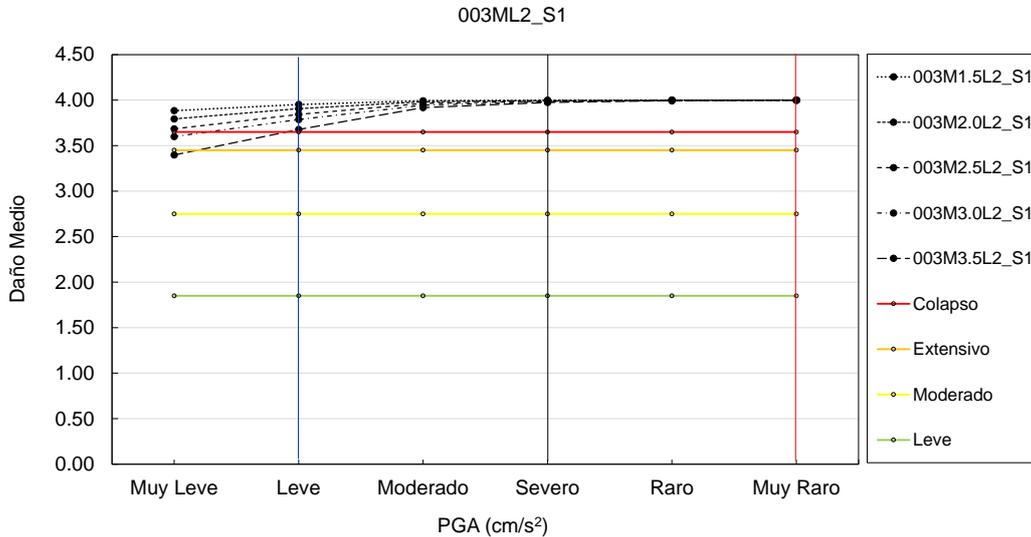


Figura N°5.64. Daño medio en viviendas 003ML2_S1

La Figura N°5.65 muestra el daño medio de viviendas de 03 pisos de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S2, Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5%,2.0% y 2.5% y daño extensivo viviendas de DM 3.0%, mientras que, para un sismo severo y muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos.

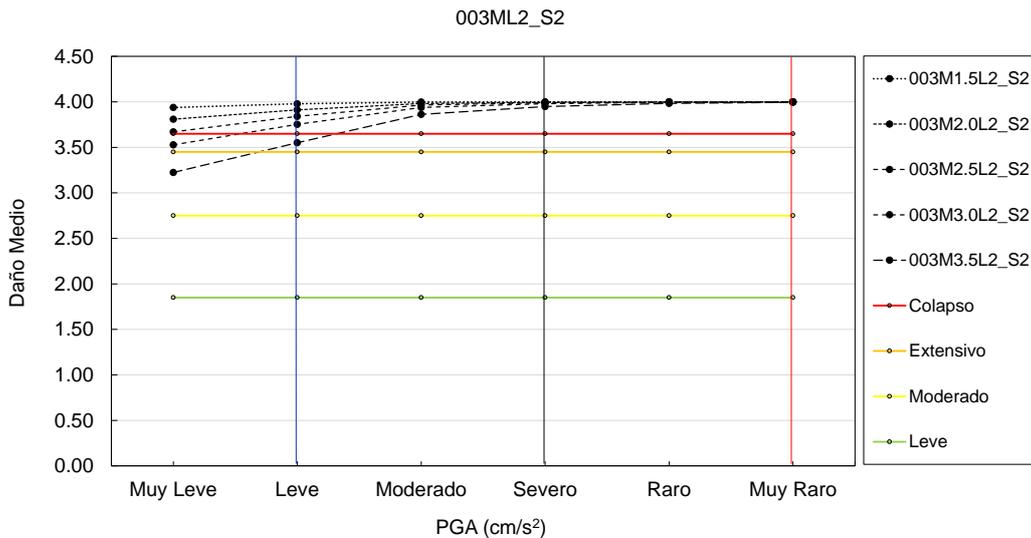


Figura N°5.65. Daño medio en viviendas 003ML2_S2

La Figura N°5.66 muestra el daño medio de viviendas de 03 pisos de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S3. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5%,2.0%, 2.5% y 3.0% y daño extensivo 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos.

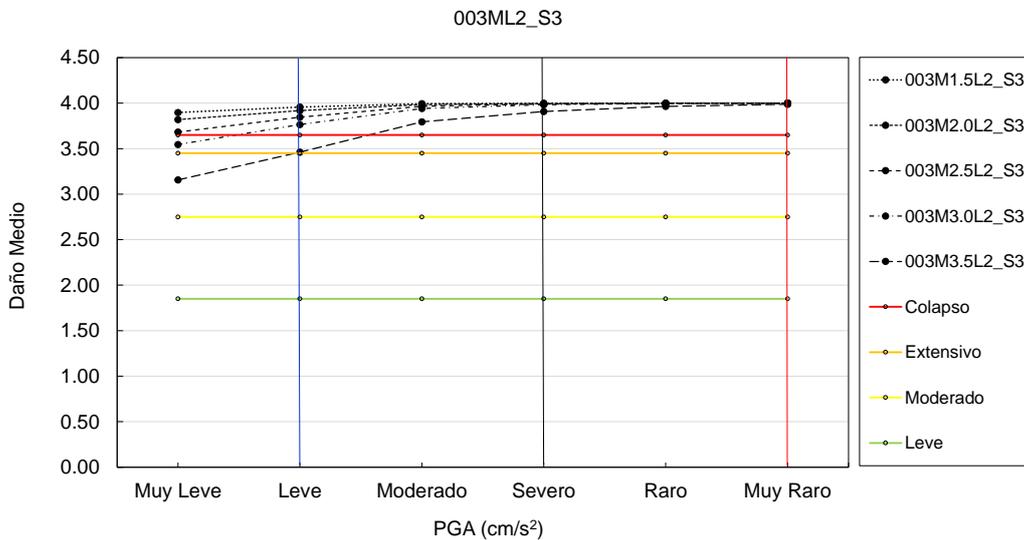


Figura N°5.66. Daño medio en viviendas 003ML2_S3

La Figura N°5.67 y Figura N°5.68 muestra el daño medio de viviendas de 04 pisos de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S1 y S2. Para un sismo leve, alcanza nivel de daño por colapso viviendas de DM 1.5%,2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%, mientras que, para un sismo severo y muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos.

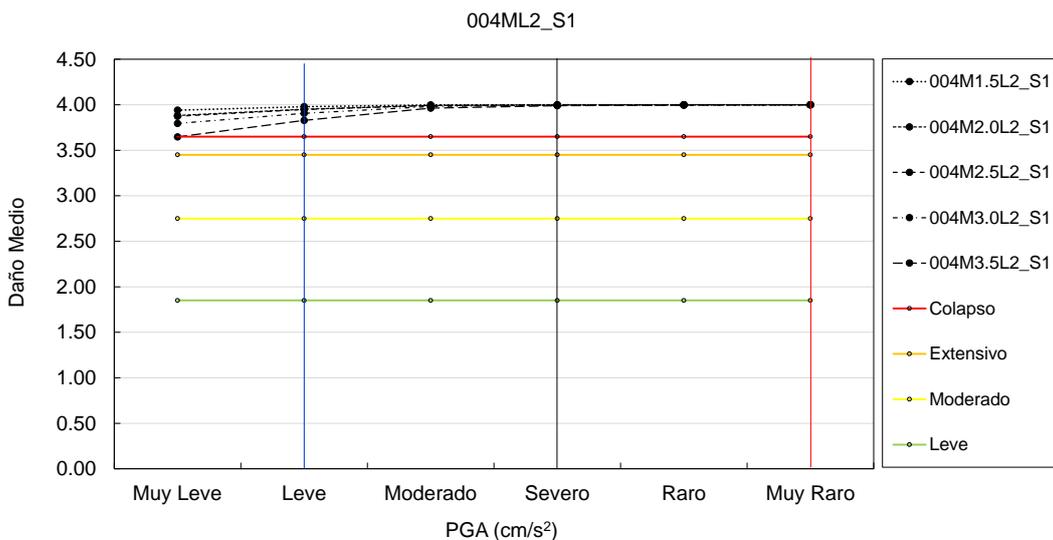


Figura N°5.67. Daño medio en viviendas 004ML2_S1

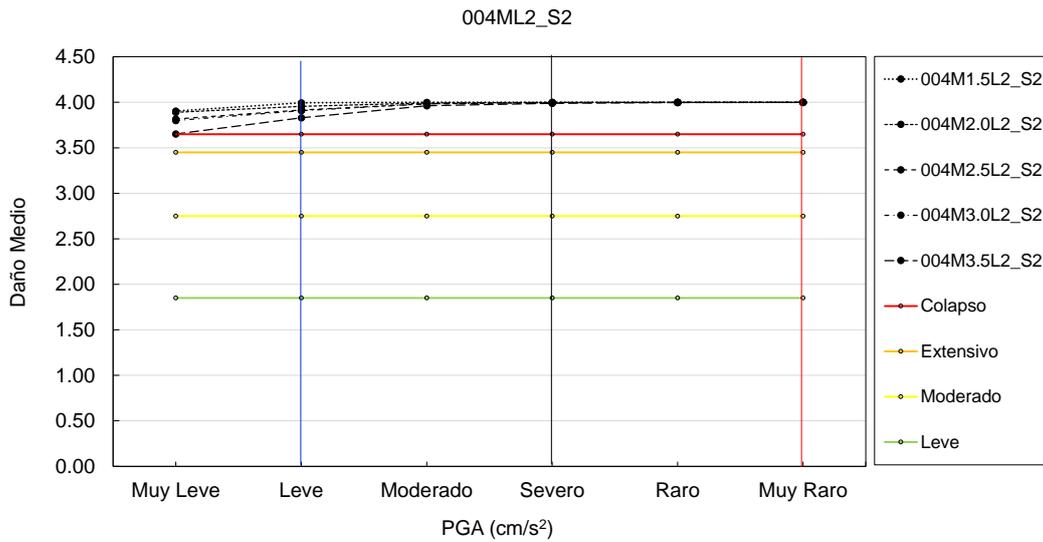


Figura N°5.68. Daño medio en viviendas 004ML2_S2

La Figura N°5.69 muestra el daño medio de viviendas de 04 pisos de ML2, cimentadas sobre tipo de suelo S3. Para un sismo muy leve, severo y muy raro, las viviendas colapsan para todas las DM establecidos.

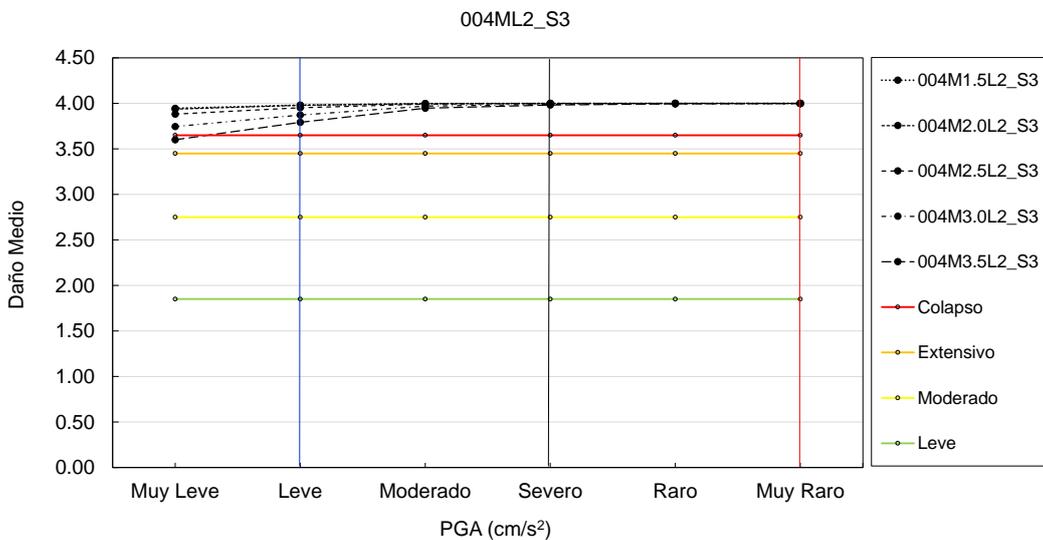


Figura N°5.69. Daño medio en viviendas 004ML2_S3

En las figuras se analiza la respuesta de daño medio para viviendas de una planta construidas con muros de ladrillo sólido artesanal (ML1) y cimentadas sobre suelos de tipo S1, S2 y S3. El análisis considera densidades de muros media (2.5%) y alta (3.5%), evaluando los cinco estados de daño (sin daño, leve, moderado, extensivo y colapso) en tres escenarios sísmicos: leve, severo y muy raro.

La Figura N°5.70 presenta el comportamiento de una vivienda etiquetada como 001M2.5L1 para los tres tipos de suelos. Para un escenario sísmico leve, todas las viviendas alcanzan estado de daño leve independientemente del tipo de suelo, mientras que para un sismo severo la vivienda 001M2.5L1_S1(cimentadas en suelo S1) y 001M2.5L1_S3(cimentadas en suelo S3) alcanzan estado de daño extensivo y para un sismo muy raro, las viviendas colapsan sin importar el tipo de suelo en el que estén cimentada.

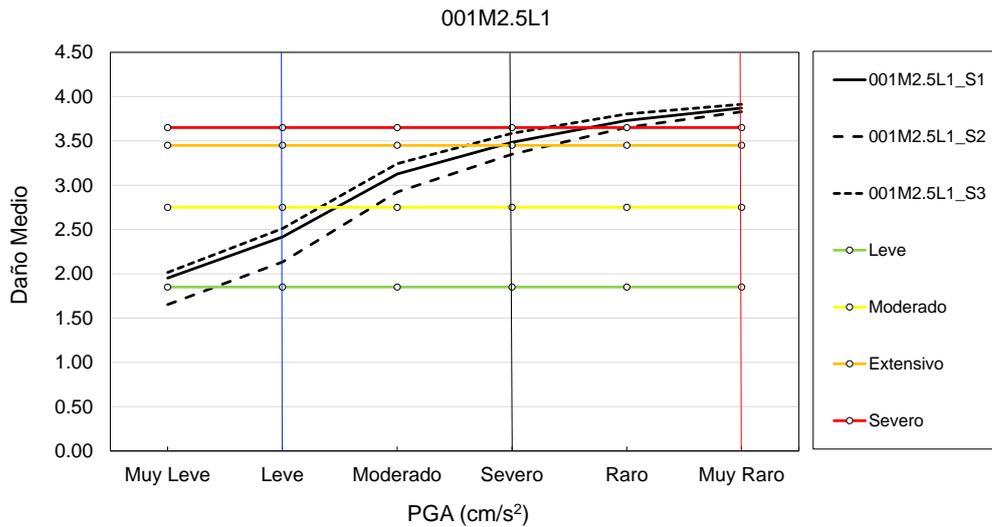


Figura N°5.70. Daño medio en viviendas 001M2.5L1

La Figura N°5.71 presenta el comportamiento de una vivienda de 02 pisos construida con muros de ladrillos solido artesanal (ML1) y cimentadas sobre los tres tipos de suelos (S1, S2 y S3). Para un sismo leve, todas las viviendas cimentadas en suelo S1, S2 y S3 alcanzan estado de daño extensivo, mientras que, para un sismo severo y muy raro, todas las viviendas colapsan independientemente del tipo de suelos en el que se encuentren cimentadas.

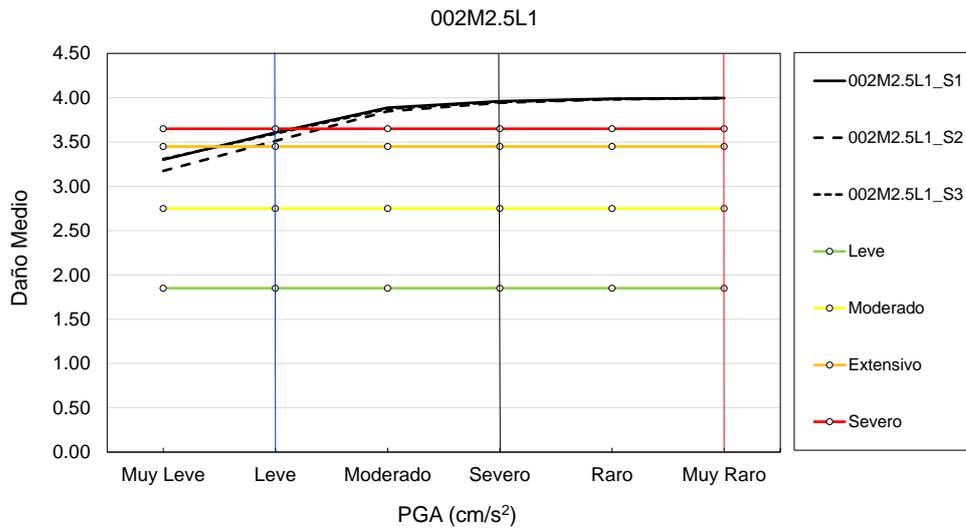


Figura N°5.71. Daño medio en viviendas 002M2.5L1

La Figura N°5.72 muestra la respuesta de viviendas de 03 pisos construidas con muros de ladrillo artesanal (ML1) y cimentadas sobre tres tipos de suelos (S1, S2, y S3). Para un sismo leve, severo y muy raro, todas las viviendas colapsan independientemente de la calidad del suelo.

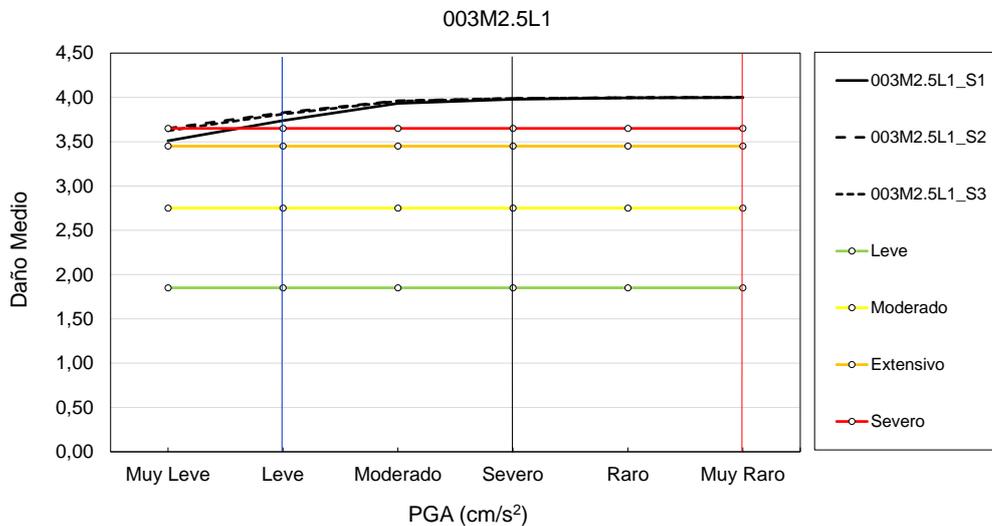


Figura N°5.72. Daño medio en viviendas 003M2.5L1

La Figura N°5.73 muestra la respuesta de las viviendas de 04 pisos construidas con muros de ladrillo solido artesanal (ML1) y cimentadas sobre tres tipos de suelos. Para los tres escenarios sísmicos analizados (leve, severo y muy raro), las viviendas colapsan en su totalidad.

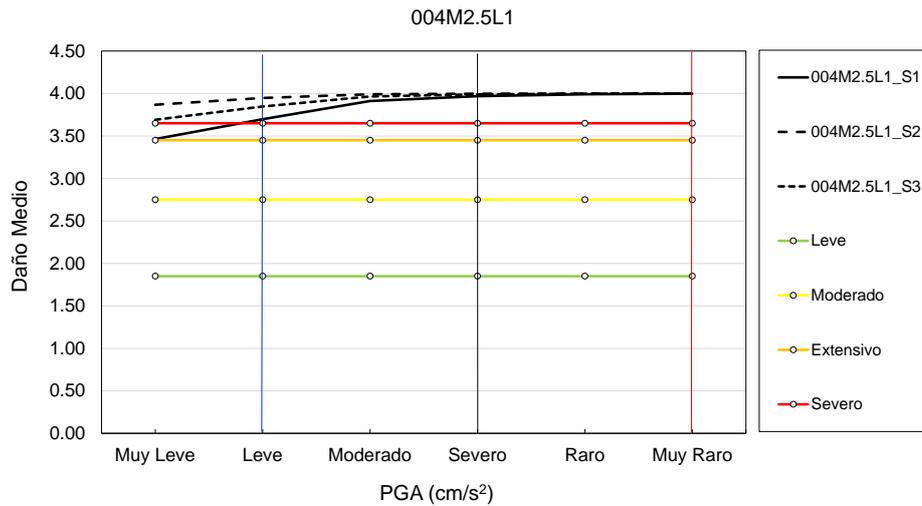


Figura N°5.73. Daño medio en viviendas 004M2.5L1

Se analiza el comportamiento de viviendas con DM 3.5% cimentadas sobre los 03 tipos de suelos. La Figura N°5.74 muestra la respuesta de la vivienda de 01 piso construidas con muros de ladrillo solido artesanal (ML1). Para un sismo leve las viviendas 001M3.5L1_S2 y 001M3.5L1_S3 permanecen en estado sin daño, y daño leve la vivienda 001M3.5L1_S1, mientras que, para un sismo severo, alcanzan daño moderado las viviendas 001M3.5L1_S1 y 001M3.5L1_S3 y daño leve la vivienda 001M3.5L1_S2. Para un sismo muy raro alcanzan estado de daño colapso viviendas tipo 001M3.5L1_S1 y 001M3.5L1_S3 y daño extensivo la vivienda 001M3.5L1_S2.

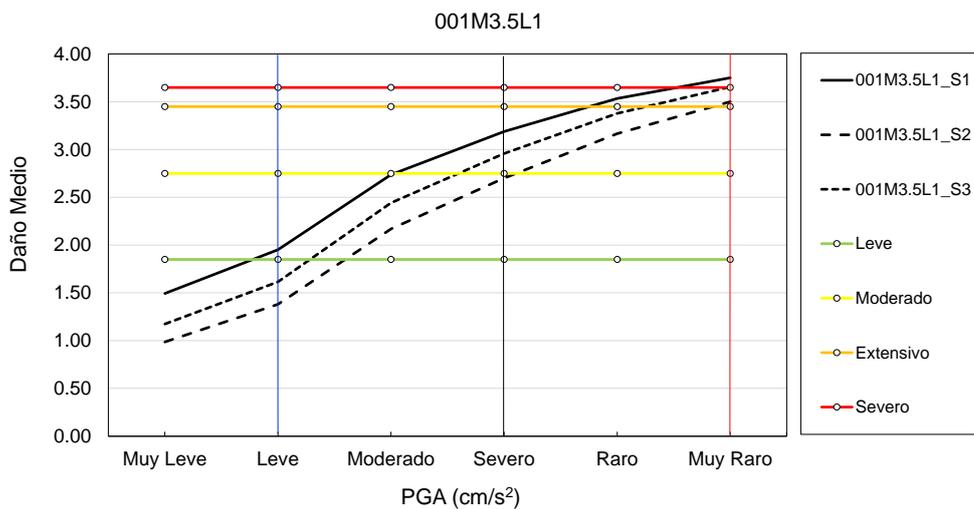


Figura N°5.74. Daño medio en viviendas 001M3.5L1

La Figura N°5.75 muestra la respuesta de viviendas de 02 pisos de ML1 cimentadas sobre los tres tipos de suelos. Para un sismo leve, alcanza daño moderado las viviendas 001M3.5L1_S1, 001M3.5L1_S2, y 001M3.5L1_S3, mientras que para un sismo severo y muy raro las viviendas cimentadas en los tres tipos de suelo alcanzan daño por colapso.

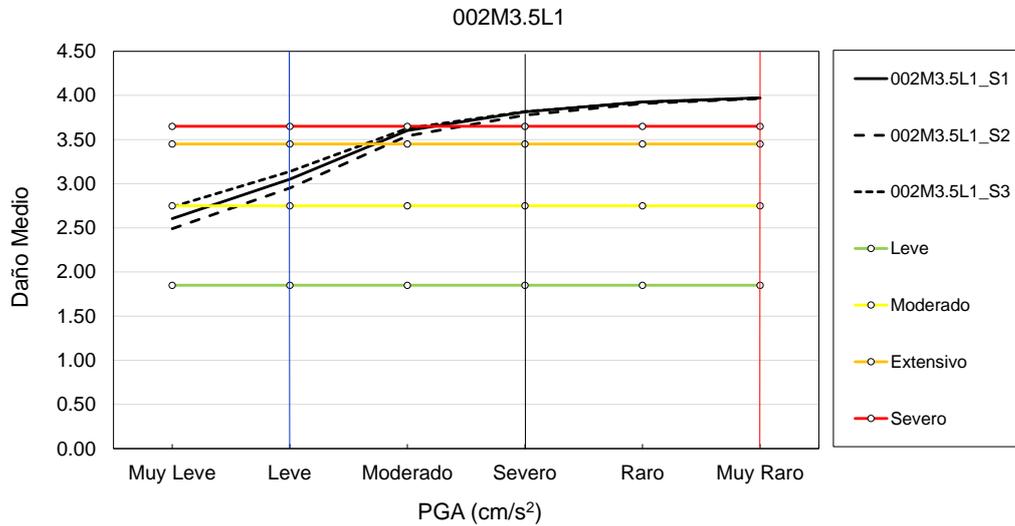


Figura N°5.75. Daño medio en viviendas 001M3.5L1

La Figura N°5.76 muestra la respuesta de viviendas de 03 pisos de ML1 cimentadas sobre los tres tipos de suelos. Para un sismo leve, alcanza daño extensivo 001M3.5L1_S1, 001M3.5L1_S2 y 001M3.5L1_S3. Mientras que para un sismo severo y muy raro las viviendas cimentadas en los tres tipos de suelo alcanzan daño por colapso.

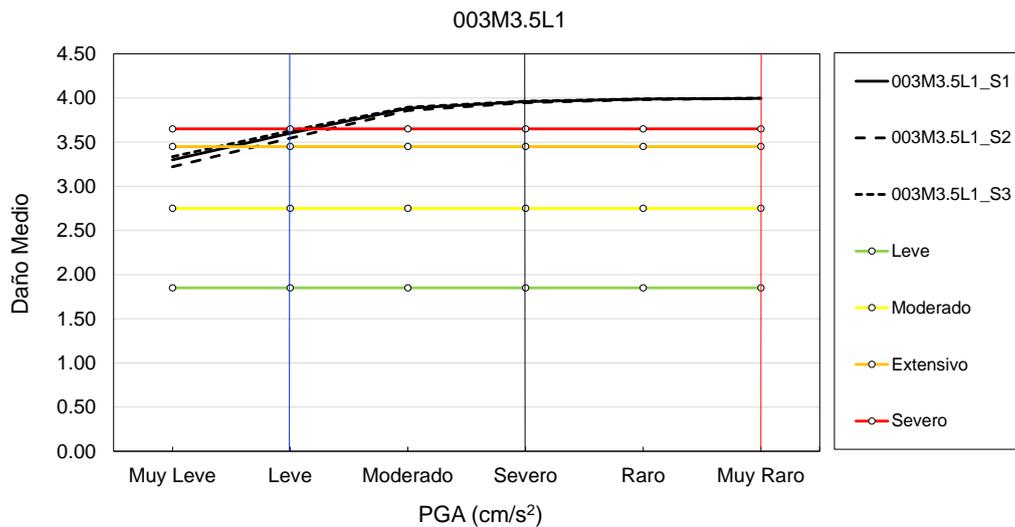


Figura N°5.76. Daño medio en viviendas 001M3.5L1

La Figura N°5.77 muestra la respuesta de las viviendas de 04 pisos de ML1 cimentadas sobre los tres tipos de suelo. Para un sismo leve, alcanza daño extensivo la vivienda 001M3.5L1_S1 y daño por colapso las viviendas 001M3.5L1_S2 y 001M3.5L1_S3, mientras que para un sismo severo y muy raro las viviendas alcanzan daño por colapso para los 03 tipos de suelos.

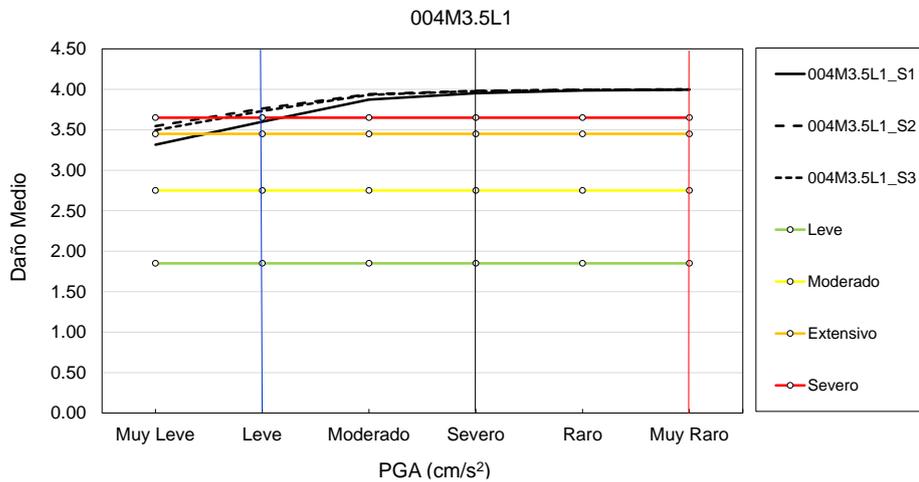


Figura N°5.77. Daño medio en viviendas 001M3.5L1

La Figura N°5.78 muestra la respuesta de viviendas de 01 piso de ML2 de DM 2.5% cimentadas sobre los tres tipos de suelos. Para un sismo leve, alcanzan estado de daño leve viviendas 001M2.5L2_S2 y 001M2.5L2_S3 y daño moderado, la vivienda 001M2.5L2_S1, mientras que para un sismo severo alcanza daño colapso la vivienda 001M2.5L1_S1 y daño extensivo viviendas 001M2.5L1_S2 y 001M2.5L1_S3. Para un sismo muy raro, las viviendas cimentadas en los tres tipos de suelo alcanzan daño por colapso.

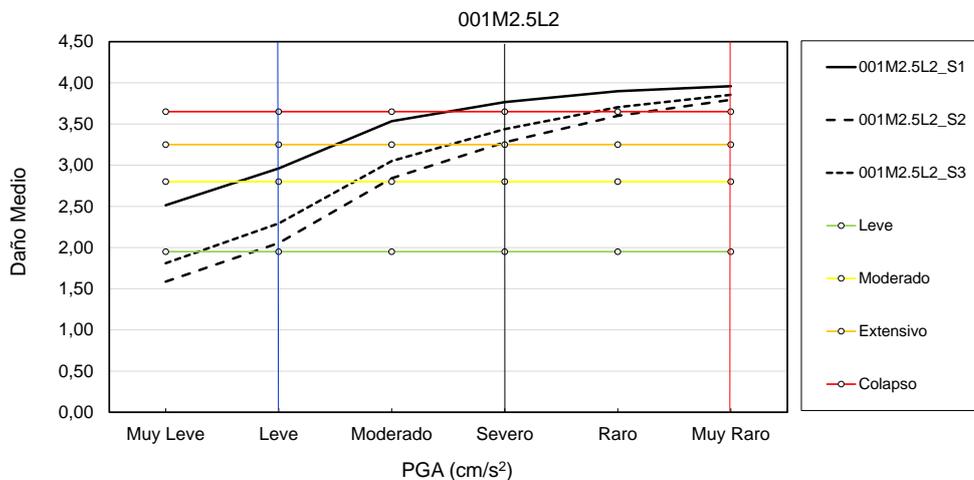


Figura N°5.78. Daño medio en viviendas 001M2.5L2

La Figura N°5.79 muestra la respuesta de viviendas de 02 pisos de ML2 cimentadas sobre los tres tipos de suelos. Para un sismo leve, alcanzan estado de daño extensivo 001M2.5L2_S1 y 001M2.5L2_S2 y daño por colapso la vivienda 001M2.5L2_S3, mientras que, para un sismo severo y muy raro, las viviendas cimentadas en los tres tipos de suelo alcanzan daño por colapso.

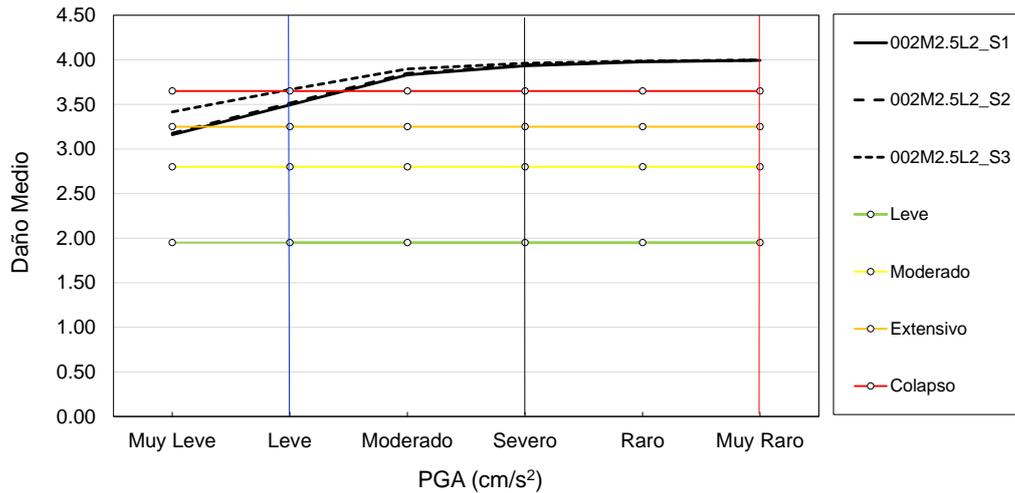


Figura N°5.79. Daño medio en viviendas 002M2.5L2

La Figura N°5.80 y Figura N°5.81 muestra la respuesta de viviendas de 03 y 04 pisos de M2.5L2 cimentadas sobre los tres tipos de suelos y para los sismos leve, severo y muy raro las viviendas colapsan.

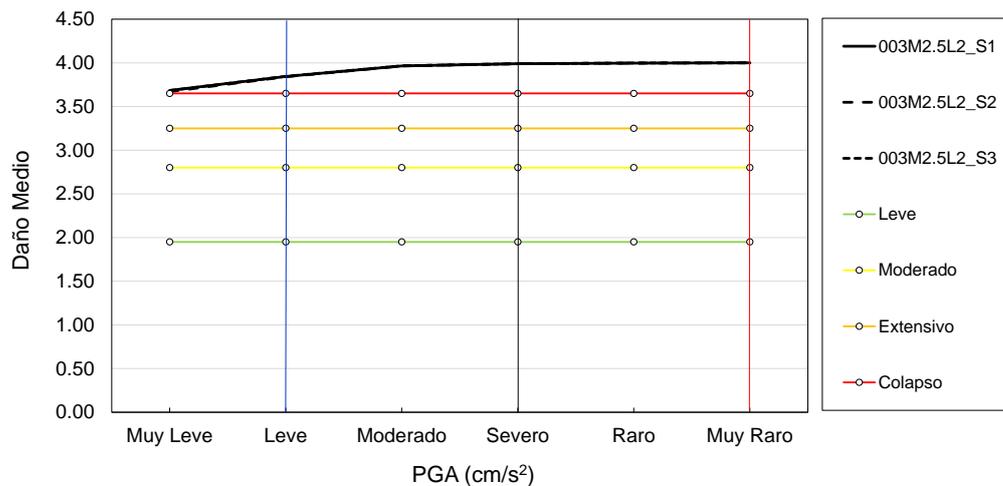


Figura N°5.80. Daño medio en viviendas 003M2.5L2

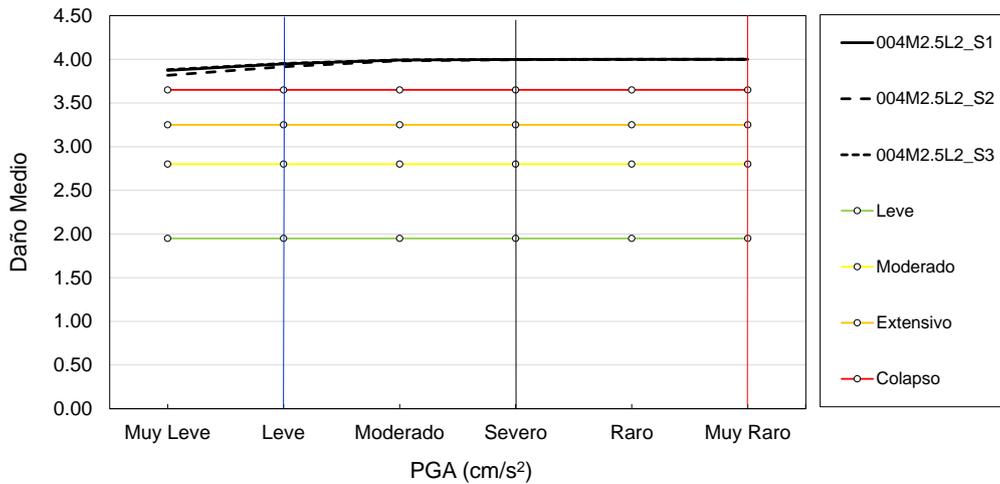


Figura N°5.81. Daño medio en viviendas 004M2.5L2

La Figura N°5.82 muestra la respuesta de viviendas de 01 piso de ML2 de DM 3.5% cimentadas sobre los tres tipos de suelos y para un sismo leve, las viviendas alcanzan estado de no daño 001M3.5L2_S2 y 001M3.5L2_S3 y daño leve 001M3.5L2_S1, mientras que para un sismo severo alcanzan daño leve 001M3.5L1_S2 y 001M3.5L1_S3 y daño extensivo la vivienda 001M3.5L1_S1. Para un sismo muy raro, las viviendas 001M3.5L1_S1 alcanza daño por colapso y daño extensivo 001M3.5L1_S2 y 001M3.5L1_S3.

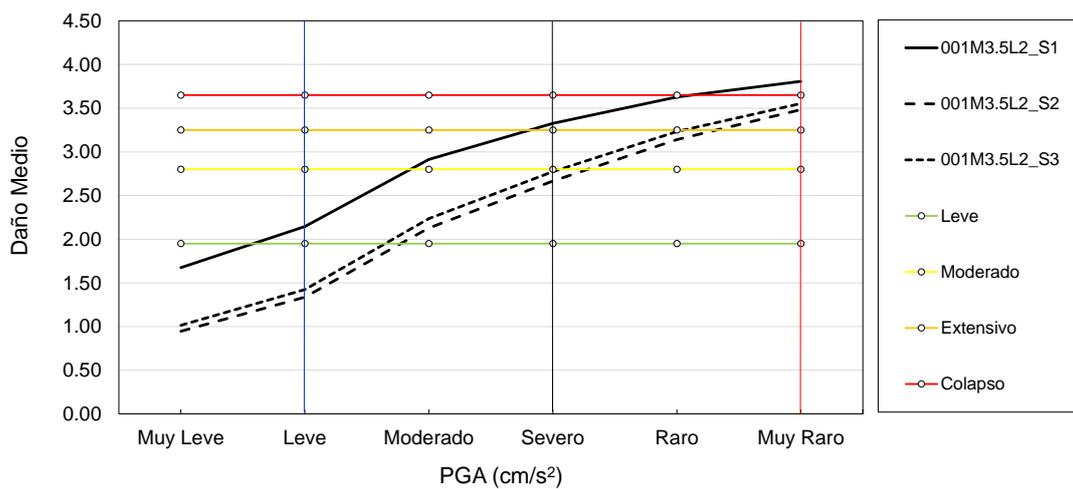


Figura N°5.82. Daño medio en viviendas 001M3.5L2

La Figura N°5.83 muestra la respuesta de viviendas de 02 pisos de ML2 cimentadas sobre los tres tipos de suelos y para un sismo leve, alcanzan estado de daño moderado 002M3.5L2_S1 y 002M3.5L2_S2 y daño extensivo viviendas 002M3.5L2_S3, mientras que para un sismo severo y muy raro las viviendas cimentadas en los tres tipos de suelo alcanzan daño por colapso.

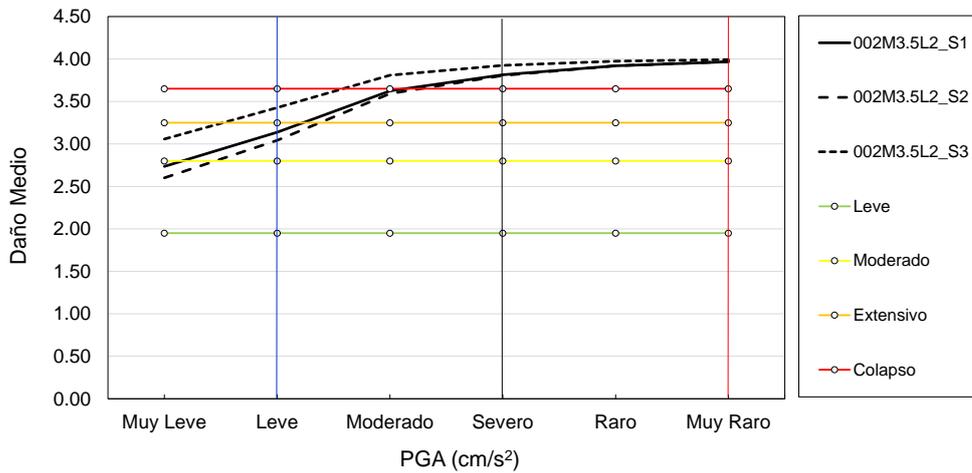


Figura N°5.83. Daño medio en viviendas 002M3.5L2

La Figura N°5.84 muestra la respuesta de viviendas de 03 pisos de ML2 cimentadas sobre los tres tipos de suelos y para un sismo leve, alcanzan estado de daño por colapso viviendas 003M3.5L2_S1 y daño extensivo 003M3.5L2_S2 y 003M3.5L2_S3, mientras que para un sismo severo y muy raro las viviendas cimentadas en los tres tipos de suelo alcanzan daño por colapso.

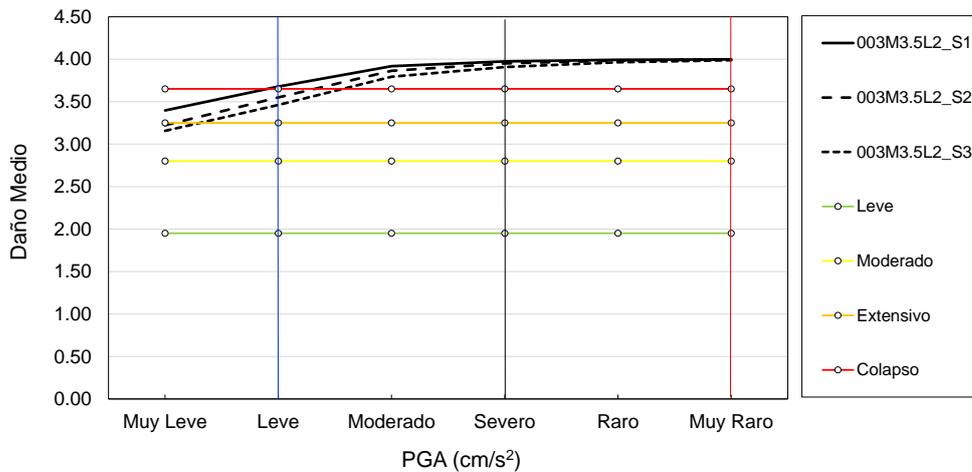


Figura N°5.84. Daño medio en viviendas 002M3.5L2

La Figura N°5.85 muestra la respuesta de viviendas de 04 pisos de ML2 cimentadas sobre los tres tipos de suelos y para un sismo leve, severo y muy raro las viviendas cimentadas en los tres tipos de suelo alcanzan daño por colapso.

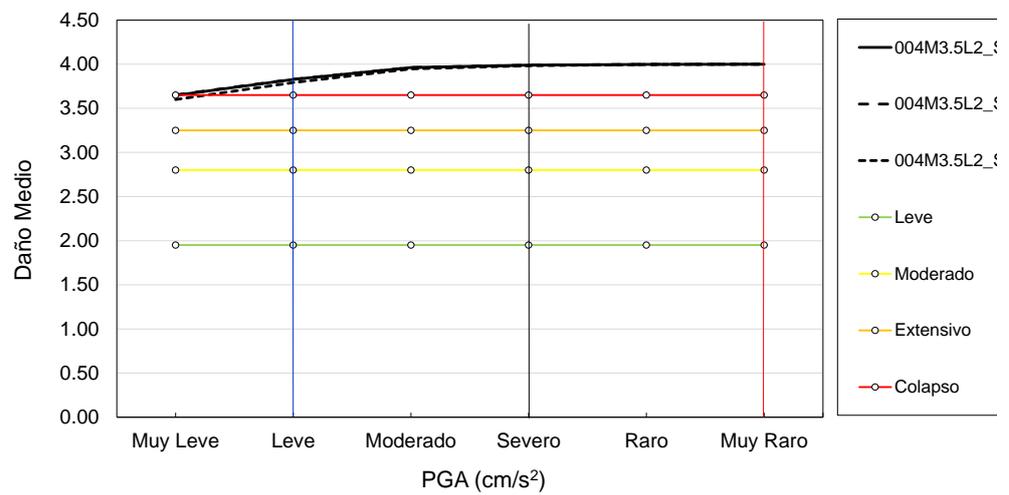


Figura N°5.85. Daño medio en viviendas 002M3.5L2

Tabla N° 5.28 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 1.5% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3

DM 1.5%	L1	Escenario Sísmico																	
		Muy Leve			Leve			Moderado			Severo			Raro			Muy Raro		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
N° de Pisos	PGA _v (Gals)																		
01	No Daños	13.6%	26.4%	14.6%	7.0%	16.5%	7.6%	1.6%	1.8%	0.4%	2.3%	0.5%	0.1%	0.8%	0.1%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%
	Leve	27.8%	16.0%	20.4%	22.2%	13.5%	15.9%	11.3%	7.6%	5.8%	4.2%	3.7%	2.5%	1.9%	1.5%	0.9%	0.8%	0.5%	0.5%
	Moderado	4.7%	7.1%	3.7%	4.5%	6.8%	3.3%	3.2%	2.0%	2.1%	3.1%	1.2%	1.1%	1.7%	0.6%	0.5%	0.8%	0.2%	0.2%
	Extensivo	24.3%	25.7%	25.5%	25.6%	28.1%	25.5%	22.2%	20.0%	17.0%	21.1%	14.1%	11.2%	14.7%	8.5%	6.6%	9.1%	4.6%	4.6%
	Collapse	29.6%	24.8%	35.7%	40.8%	35.1%	47.7%	61.7%	68.6%	74.7%	69.3%	80.5%	85.2%	80.9%	89.4%	91.9%	89.0%	94.6%	94.6%
	Dm	2.28	2.07	2.47	2.71	2.52	2.90	3.31	3.48	3.60	3.51	3.70	3.79	3.73	3.86	3.89	3.86	3.93	3.93
	%Dm	57%	52%	62%	68%	63%	72%	83%	87%	90%	88%	93%	95%	93%	96%	97%	96%	98%	98%
02	No Daños	0.7%	2.3%	1.7%	0.2%	0.8%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	5.4%	3.0%	2.4%	2.3%	1.4%	1.1%	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	1.3%	5.1%	2.0%	0.7%	2.9%	0.9%	0.2%	0.7%	0.2%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	31.4%	24.7%	16.3%	23.5%	18.4%	10.6%	10.7%	3.6%	5.1%	3.8%	1.3%	2.0%	1.4%	0.4%	0.7%	0.5%	0.1%	0.1%
	Collapse	61.2%	64.9%	77.6%	73.3%	76.6%	86.9%	88.8%	96.1%	94.8%	95.9%	98.6%	98.0%	98.5%	99.6%	99.3%	99.5%	99.9%	99.9%
	Dm	3.47	3.47	3.66	3.67	3.69	3.82	3.88	3.89	3.95	3.96	3.99	3.98	3.98	4.00	3.99	3.99	4.00	4.00
	%Dm	87%	87%	91%	92%	92%	96%	97%	97%	99%	99%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
03	No Daños	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	4.5%	0.6%	2.4%	1.7%	0.2%	0.7%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	4.6%	0.0%	0.8%	2.5%	0.0%	0.3%	0.6%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	25.9%	7.9%	19.3%	19.2%	3.7%	12.0%	8.5%	3.8%	3.9%	0.1%	1.4%	1.5%	0.0%	0.4%	0.5%	0.0%	0.1%	0.1%
	Collapse	64.9%	91.4%	77.6%	76.6%	96.1%	86.9%	90.8%	99.3%	96.1%	95.9%	98.6%	98.5%	100.0%	99.6%	99.5%	100.0%	99.9%	99.9%
	Dm	3.51	3.90	3.72	3.71	3.96	3.85	3.90	3.99	3.96	4.00	3.99	3.98	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00
	%Dm	88%	97%	93%	93%	99%	96%	97%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
04	No Daños	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	8.7%	0.0%	2.8%	4.1%	0.0%	1.0%	0.8%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	2.7%	0.1%	0.0%	1.5%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	19.7%	4.5%	15.0%	14.4%	1.7%	8.8%	6.1%	2.4%	2.7%	0.0%	0.8%	1.0%	0.0%	0.2%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	Collapse	68.9%	95.4%	82.2%	80.0%	98.2%	90.3%	92.7%	99.8%	97.5%	97.0%	100.0%	99.2%	100.0%	99.8%	99.7%	100.0%	100.0%	100.0%
	Dm	3.49	3.95	3.76	3.70	3.98	3.88	3.91	4.00	3.97	4.00	3.99	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	%Dm	87%	99%	94%	93%	100%	97%	98%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla N° 5.30 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 2.0% cimentados en tipo de suelo S1, S2 1y S3

DM 2.0%	L1	Escenario Sísmico																																			
		Muy Leve						Leve						Moderado						Severo						Raro						Muy Raro					
		175		225		350		475		650		875		175		225		350		475		650		875		175		225		350		475		650		875	
N° de Pisos	PGA _v (Gals)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3			
01	No Daños	24.0%	37.2%	27.0%	14.4%	25.7%	16.7%	4.5%	10.9%	5.6%	1.6%	5.2%	2.1%	0.5%	2.1%	0.7%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%			
	Leve	24.7%	15.0%	11.9%	21.8%	13.9%	10.1%	13.4%	9.4%	5.7%	7.8%	6.0%	3.1%	3.8%	3.2%	1.4%	1.7%	1.5%	0.7%	0.5%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%			
	Moderado	5.4%	3.3%	7.0%	5.4%	3.4%	6.6%	4.3%	2.8%	2.8%	4.6%	3.0%	2.0%	1.8%	1.2%	1.5%	0.9%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%			
	Extensivo	17.5%	23.3%	23.1%	19.1%	26.5%	24.2%	17.7%	26.5%	20.8%	14.2%	15.7%	22.6%	16.7%	9.8%	10.2%	6.0%	11.1%	5.9%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%		
	Collapse	28.3%	21.1%	31.0%	39.3%	30.5%	42.4%	60.1%	50.3%	63.4%	73.3%	64.2%	76.2%	84.1%	76.8%	86.2%	91.2%	86.0%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%	92.6%		
02	Dm	2.01	1.76	2.19	2.47	2.22	2.66	3.16	2.96	3.31	3.50	3.35	3.61	3.73	3.63	3.80	3.87	3.80	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90			
	%Dm	50%	44%	55%	62%	56%	66%	79%	74%	83%	87%	84%	90%	93%	91%	95%	97%	95%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%		
	No Daños	3.7%	6.1%	3.0%	1.3%	2.5%	1.1%	0.1%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
	Leve	6.5%	6.2%	7.2%	3.5%	3.6%	3.8%	0.8%	1.0%	0.9%	0.2%	0.3%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Moderado	3.4%	1.3%	0.0%	2.1%	0.8%	0.0%	0.7%	0.3%	0.3%	0.0%	0.2%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
03	Extensivo	31.9%	31.9%	20.9%	26.0%	26.0%	15.1%	13.8%	13.8%	6.3%	7.3%	7.3%	2.8%	3.3%	3.3%	1.0%	1.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%		
	Collapse	54.5%	54.5%	68.9%	67.1%	67.1%	80.0%	84.6%	84.6%	92.7%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%		
	Dm	3.27	3.22	3.45	3.54	3.51	3.69	3.82	3.81	3.81	3.91	3.92	3.91	3.96	3.96	3.96	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99		
	%Dm	82%	81%	86%	88%	88%	92%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%		
	No Daños	0.6%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
04	Leve	6.8%	2.2%	4.4%	3.1%	0.7%	1.7%	0.5%	0.1%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
	Moderado	5.7%	3.0%	3.1%	3.4%	1.4%	1.6%	0.9%	0.2%	0.3%	0.3%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
	Extensivo	29.2%	21.6%	19.3%	23.3%	14.5%	13.3%	11.9%	5.2%	5.0%	6.1%	2.1%	2.0%	2.6%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	
	Collapse	57.7%	73.1%	73.1%	70.1%	83.4%	83.4%	86.7%	86.7%	94.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	
	Dm	3.37	3.65	3.61	3.60	3.81	3.78	3.85	3.94	3.94	3.94	3.93	3.98	3.98	3.97	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	
%Dm	84%	91%	90%	90%	95%	95%	96%	99%	99%	99%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%		
No Daños	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
Leve	8.4%	0.7%	4.3%	3.9%	0.2%	1.6%	0.7%	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.0%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
Moderado	8.0%	0.0%	3.2%	5.2%	6.0%	1.7%	1.7%	0.0%	0.0%	0.4%	0.6%	0.0%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Extensivo	10.2%	12.4%	14.9%	7.4%	6.4%	9.8%	3.1%	1.4%	3.4%	3.4%	1.3%	0.4%	1.3%	0.5%	0.1%	0.4%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	
Collapse	73.1%	86.9%	77.6%	83.4%	93.4%	86.9%	94.5%	98.6%	98.6%	96.1%	97.9%	98.6%	98.6%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%	99.3%		
Dm	3.47	3.85	3.66	3.70	3.93	3.82	3.91	3.99	3.99	3.95	3.97	4.00	3.98	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00		
%Dm	87%	96%	91%	93%	98%	95%	98%	100%	100%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		

Tabla N° 5.31 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 2.0% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3

DM 2.0%	N° de Pisos	L2	Escenario Sísmico																		
			Muy Leve			Leve			Moderado			Severo			Raro			Muy Raro			
			S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	
		PGA _v (Gals)	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875	
01		No Daños	11.8%	32.4%	32.4%	5.7%	28.2%	21.2%	1.2%	12.6%	8.0%	0.3%	6.2%	3.4%	1.2%	0.1%	2.6%	1.2%	0.0%	1.0%	0.4%
		Leve	9.6%	8.2%	6.7%	6.6%	7.9%	5.8%	2.4%	5.8%	3.5%	1.0%	3.9%	2.0%	0.9%	0.3%	2.2%	0.9%	0.1%	1.1%	0.4%
		Moderado	26.3%	8.4%	13.5%	22.7%	8.3%	12.9%	13.4%	6.4%	6.4%	9.2%	7.6%	4.5%	6.0%	3.6%	2.7%	3.3%	1.5%	1.4%	1.6%
		Extensivo	19.8%	12.5%	16.4%	20.8%	13.3%	17.7%	17.9%	17.9%	11.9%	16.0%	13.5%	9.3%	12.5%	8.8%	6.3%	8.4%	5.0%	3.8%	5.0%
		Colapso	32.5%	31.0%	31.0%	44.1%	42.4%	42.4%	65.1%	63.4%	63.4%	77.6%	76.2%	87.3%	86.2%	86.2%	86.2%	86.2%	93.3%	92.6%	92.6%
		Dm	2.52	1.86	2.07	2.91	2.34	2.54	3.43	3.08	3.23	3.67	3.45	3.56	3.83	3.71	3.78	3.92	3.86	3.89	
		%Dm	63%	47%	52%	73%	58%	64%	86%	77%	81%	92%	86%	89%	96%	93%	94%	98%	96%	97%	
02		No Daños	3.7%	6.1%	1.7%	1.3%	2.5%	0.5%	0.1%	0.4%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Leve	5.5%	4.2%	3.7%	2.9%	2.3%	1.7%	0.6%	0.6%	0.3%	0.2%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Moderado	9.0%	9.2%	7.6%	5.8%	6.1%	4.4%	1.9%	2.1%	1.2%	0.7%	0.8%	0.4%	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%
		Extensivo	24.1%	29.0%	18.2%	19.8%	24.9%	13.4%	10.6%	14.5%	5.8%	5.6%	8.2%	2.6%	3.9%	2.4%	3.9%	0.9%	0.9%	1.6%	0.3%
		Colapso	57.7%	51.5%	68.9%	70.1%	64.2%	80.0%	86.7%	82.5%	92.7%	93.5%	90.8%	97.0%	95.9%	99.0%	99.0%	99.0%	99.0%	98.3%	99.7%
		Dm	3.27	3.16	3.49	3.54	3.46	3.71	3.83	3.78	3.91	3.92	3.90	3.96	3.97	3.96	3.99	3.99	3.98	4.00	
		%Dm	82%	79%	87%	89%	86%	93%	96%	95%	98%	98%	97%	99%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	
03		No Daños	0.0%	0.1%	0.5%	0.2%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Leve	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Moderado	5.4%	4.5%	3.7%	2.3%	1.9%	1.5%	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Extensivo	32.7%	30.0%	27.0%	24.2%	21.4%	18.5%	10.9%	8.9%	8.9%	7.1%	5.2%	4.0%	3.0%	2.0%	1.5%	1.0%	0.7%	0.5%	0.3%
		Colapso	61.2%	64.9%	68.9%	73.3%	76.6%	80.0%	88.8%	90.8%	90.8%	92.7%	94.8%	95.9%	97.0%	98.0%	98.5%	99.0%	99.3%	99.5%	99.7%
		Dm	3.54	3.59	3.64	3.70	3.74	3.78	3.88	3.90	3.92	3.95	3.96	3.97	3.98	3.98	3.99	3.99	3.99	4.00	
		%Dm	88%	90%	91%	93%	94%	95%	97%	98%	98%	99%	99%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	
04		No Daños	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Leve	0.2%	0.4%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Moderado	2.5%	1.3%	1.5%	0.9%	0.5%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Extensivo	28.4%	16.0%	25.3%	19.1%	16.1%	9.2%	7.2%	2.5%	5.5%	3.0%	0.8%	2.1%	1.0%	0.7%	0.5%	0.3%	0.2%	0.2%	0.2%
		Colapso	68.9%	82.2%	73.1%	80.0%	90.3%	83.4%	92.7%	97.5%	94.5%	97.0%	99.2%	97.9%	99.0%	99.3%	99.8%	99.8%	99.7%	100.0%	99.8%
		Dm	3.66	3.80	3.71	3.79	3.90	3.83	3.93	3.97	3.94	3.97	3.99	3.98	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
		%Dm	91%	95%	93%	95%	97%	96%	98%	99%	99%	99%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

Tabla N° 5.32 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 2.5% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3

DM 2.5%	L1	Escenario Sísmico																					
		Muy Leve			Leve			Moderado			Severo			Raro			Muy Raro						
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3				
01	PGA, (Gals)	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875				
	Estado de Daño	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	
	24.0%	36.3%	14.4%	34.6%	24.5%	17.2%	4.5%	4.5%	17.2%	9.9%	1.6%	9.2%	4.4%	0.5%	4.3%	1.7%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	0.6%	0.6%
	30.7%	11.6%	14.0%	27.8%	13.2%	18.0%	18.0%	18.0%	8.9%	9.1%	11.0%	6.3%	5.8%	5.7%	3.8%	3.1%	2.6%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	1.5%	1.5%
	5.3%	3.8%	3.0%	5.6%	3.0%	4.8%	4.8%	4.8%	3.5%	2.3%	3.6%	2.6%	1.5%	2.3%	1.7%	0.9%	1.3%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.5%	0.5%
	24.5%	23.0%	19.6%	29.0%	21.5%	31.5%	31.5%	31.5%	30.4%	20.1%	28.6%	28.0%	16.3%	22.8%	22.6%	11.3%	16.3%	16.4%	16.4%	16.4%	16.4%	7.0%	7.0%
	15.5%	14.9%	27.1%	23.3%	22.5%	37.8%	41.2%	41.2%	40.1%	58.6%	55.0%	53.9%	72.0%	68.7%	67.6%	83.1%	79.6%	78.7%	78.7%	78.7%	78.7%	90.5%	90.5%
	1.77	1.48	1.87	2.19	1.92	2.35	2.87	2.87	2.67	3.08	3.24	3.11	3.46	3.53	3.46	3.71	3.73	3.68	3.68	3.68	3.68	3.85	3.85
	44%	37%	47%	48%	59%	72%	72%	72%	67%	77%	81%	78%	86%	88%	86%	93%	93%	92%	92%	92%	92%	96%	96%
	7.4%	8.6%	3.6%	3.2%	3.9%	1.3%	0.5%	0.5%	0.7%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
9.8%	12.8%	13.5%	6.3%	8.5%	8.2%	2.0%	2.0%	3.0%	2.4%	0.7%	1.1%	0.8%	0.2%	0.3%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	
0.9%	0.0%	0.4%	0.6%	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
24.1%	32.5%	17.6%	19.8%	13.7%	10.6%	10.6%	10.6%	18.0%	6.6%	5.6%	10.8%	3.2%	2.4%	5.4%	1.3%	0.9%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	0.4%	0.4%	
57.7%	46.1%	64.9%	70.1%	58.8%	76.6%	86.7%	86.7%	78.4%	90.8%	93.5%	88.0%	95.9%	97.3%	94.2%	98.5%	99.0%	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	99.5%	99.5%	
3.15	2.95	3.27	3.47	3.30	3.56	3.81	3.81	3.70	3.85	3.92	3.85	3.94	3.97	3.93	3.98	3.99	3.97	3.97	3.97	3.97	3.99	3.99	
79%	74%	82%	87%	83%	89%	95%	95%	93%	96%	98%	96%	99%	99%	98%	100%	100%	99%	99%	99%	99%	100%	100%	
02	PGA, (Gals)	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875				
	Estado de Daño	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	
	24.0%	36.3%	14.4%	34.6%	24.5%	17.2%	4.5%	4.5%	17.2%	9.9%	1.6%	9.2%	4.4%	0.5%	4.3%	1.7%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	0.6%	0.6%
	30.7%	11.6%	14.0%	27.8%	13.2%	18.0%	18.0%	18.0%	8.9%	9.1%	11.0%	6.3%	5.8%	5.7%	3.8%	3.1%	2.6%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	1.5%	1.5%
	5.3%	3.8%	3.0%	5.6%	3.0%	4.8%	4.8%	4.8%	3.5%	2.3%	3.6%	2.6%	1.5%	2.3%	1.7%	0.9%	1.3%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.5%	0.5%
	24.5%	23.0%	19.6%	29.0%	21.5%	31.5%	31.5%	31.5%	30.4%	20.1%	28.6%	28.0%	16.3%	22.8%	22.6%	11.3%	16.3%	16.4%	16.4%	16.4%	16.4%	7.0%	7.0%
	15.5%	14.9%	27.1%	23.3%	22.5%	37.8%	41.2%	41.2%	40.1%	58.6%	55.0%	53.9%	72.0%	68.7%	67.6%	83.1%	79.6%	78.7%	78.7%	78.7%	78.7%	90.5%	90.5%
	1.77	1.48	1.87	2.19	1.92	2.35	2.87	2.87	2.67	3.08	3.24	3.11	3.46	3.53	3.46	3.71	3.73	3.68	3.68	3.68	3.68	3.85	3.85
	44%	37%	47%	48%	59%	72%	72%	72%	67%	77%	81%	78%	86%	88%	86%	93%	93%	92%	92%	92%	92%	96%	96%
	7.4%	8.6%	3.6%	3.2%	3.9%	1.3%	0.5%	0.5%	0.7%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
9.8%	12.8%	13.5%	6.3%	8.5%	8.2%	2.0%	2.0%	3.0%	2.4%	0.7%	1.1%	0.8%	0.2%	0.3%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	
0.9%	0.0%	0.4%	0.6%	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
24.1%	32.5%	17.6%	19.8%	13.7%	10.6%	10.6%	10.6%	18.0%	6.6%	5.6%	10.8%	3.2%	2.4%	5.4%	1.3%	0.9%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	0.4%	0.4%	
57.7%	46.1%	64.9%	70.1%	58.8%	76.6%	86.7%	86.7%	78.4%	90.8%	93.5%	88.0%	95.9%	97.3%	94.2%	98.5%	99.0%	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	99.5%	99.5%	
3.15	2.95	3.27	3.47	3.30	3.56	3.81	3.81	3.70	3.85	3.92	3.85	3.94	3.97	3.93	3.98	3.99	3.97	3.97	3.97	3.97	3.99	3.99	
79%	74%	82%	87%	83%	89%	95%	95%	93%	96%	98%	96%	99%	99%	98%	100%	100%	99%	99%	99%	99%	100%	100%	
03	PGA, (Gals)	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875				
	Estado de Daño	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	
	24.0%	36.3%	14.4%	34.6%	24.5%	17.2%	4.5%	4.5%	17.2%	9.9%	1.6%	9.2%	4.4%	0.5%	4.3%	1.7%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	0.6%	0.6%
	30.7%	11.6%	14.0%	27.8%	13.2%	18.0%	18.0%	18.0%	8.9%	9.1%	11.0%	6.3%	5.8%	5.7%	3.8%	3.1%	2.6%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	1.5%	1.5%
	5.3%	3.8%	3.0%	5.6%	3.0%	4.8%	4.8%	4.8%	3.5%	2.3%	3.6%	2.6%	1.5%	2.3%	1.7%	0.9%	1.3%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.5%	0.5%
	24.5%	23.0%	19.6%	29.0%	21.5%	31.5%	31.5%	31.5%	30.4%	20.1%	28.6%	28.0%	16.3%	22.8%	22.6%	11.3%	16.3%	16.4%	16.4%	16.4%	16.4%	7.0%	7.0%
	15.5%	14.9%	27.1%	23.3%	22.5%	37.8%	41.2%	41.2%	40.1%	58.6%	55.0%	53.9%	72.0%	68.7%	67.6%	83.1%	79.6%	78.7%	78.7%	78.7%	78.7%	90.5%	90.5%
	1.77	1.48	1.87	2.19	1.92	2.35	2.87	2.87	2.67	3.08	3.24	3.11	3.46	3.53	3.46	3.71	3.73	3.68	3.68	3.68	3.68	3.85	3.85
	44%	37%	47%	48%	59%	72%	72%	72%	67%	77%	81%	78%	86%	88%	86%	93%	93%	92%	92%	92%	92%	96%	96%
	7.4%	8.6%	3.6%	3.2%	3.9%	1.3%	0.5%	0.5%	0.7%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
9.8%	12.8%	13.5%	6.3%	8.5%	8.2%	2.0%	2.0%	3.0%	2.4%	0.7%	1.1%	0.8%	0.2%	0.3%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	
0.9%	0.0%	0.4%	0.6%	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
24.1%	32.5%	17.6%	19.8%	13.7%	10.6%	10.6%	10.6%	18.0%	6.6%	5.6%	10.8%	3.2%	2.4%	5.4%	1.3%	0.9%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	0.4%	0.4%	
57.7%	46.1%	64.9%	70.1%	58.8%	76.6%	86.7%	86.7%	78.4%	90.8%	93.5%	88.0%	95.9%	97.3%	94.2%	98.5%	99.0%	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	99.5%	99.5%	
3.15	2.95	3.27	3.47	3.30	3.56	3.81	3.81	3.70	3.85	3.92	3.85	3.94	3.97	3.93	3.98	3.99	3.97	3.97	3.97	3.97	3.99	3.99	
79%	74%	82%	87%	83%	89%	95%	95%	93%	96%	98%	96%	99%	99%	98%	100%	100%	99%	99%	99%	99%	100%	100%	
04	PGA, (Gals)	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875	175	225	350	475	650	875				
	Estado de Daño	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	No Daños	Leve	Moderado	Extensivo	Collapse	Dm	%Dm	
	24.0%	36.3%	14.4%	34.6%	24.5%	17.2%	4.5%	4.5%	17.2%	9.9%	1.6%	9.2%	4.4%	0.5%	4.3%	1.7%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	0.6%	0.6%
	30.7%	11.6%	14.0%	27.8%	13.2%	18.0%	18.0%	18.0%	8.9%	9.1%	11.0%	6.3%	5.8%	5.7%	3.8%	3.1%	2.6%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	1.5%	1.5%
	5.3%	3.8%	3.0%	5.6%	3.0%	4.8%	4.8%	4.8%	3.5%	2.3%	3.6%	2.6%	1.5%	2.3%	1.7%	0.9%	1.3%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.5%	0.5%
	24.5%	23.0%	19.6%	29.0%	21.5%	31.5%	31.5%	31.5%	30.4%	20.1%	28.6%	28.0%	16.3%	22.8%	22.6%	11.3%	16.3%	16.4%	16.4%	16.4%	16.4%	7.0%	7.0%
	15.5%	14.9%	27.1%	23.3%	22.5%	37.8%	41.2%	41.2%	40.1%	58.6%	55.0%	53.9%	72.0%	68.7%	67.6%	83.1%	79.6%	78.7%	78.7%	78.7%	78.7%	90.5%	90.5%
	1.77	1.48	1.87	2.19	1.92	2.35	2.87	2.87	2.67	3.08	3.24	3.11	3.46	3.53	3.46	3.71	3.73	3.68	3.68	3.68	3.68	3.85	3.85
	44%	37%	47%	48%	59%	72%	72%	72%	67%	77%	81%	78%	86%	88%	86%	93%	93%	92%	92%	92%	92%	96%	96%
	7.4%	8.6%	3.6%	3.2%	3.9%	1.3%	0.5%	0.5%	0.7%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
9.8%	12.8%	13.5%	6.3%	8.5%	8.2%	2.0%	2.0%	3.0%	2.4%	0.7%	1.1%	0.8%	0.2%	0.3%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	
0.9%	0.0%	0.4%	0.6%	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
24.1%	32.5%	17.6%	19.8%	13.7%	10.6%	10.6%	10.6%	18.0%	6.6%	5.6%	10.8%	3.2%	2.4%	5.4%	1.3%	0.9%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%			

Tabla N° 5.34 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 3.0% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3

DM 3.0%	L1	Escenario Sísmico																																			
		Muy Leve						Leve						Moderado						Severo						Rato						Muy Raro					
		175		225		350		475		650		875		175		225		350		475		650		875		175		225		350		475		650		875	
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3			
01	No Daños	24.4%	54.7%	45.1%	14.6%	42.5%	32.6%	4.6%	23.4%	15.2%	1.7%	13.6%	7.0%	0.5%	7.7%	3.3%	0.1%	3.3%	0.1%	3.3%	0.1%	3.3%	0.1%	3.3%	0.1%	3.3%	0.1%	3.3%	0.1%	3.3%	0.1%	3.3%	0.1%	3.3%			
	Leve	33.7%	10.1%	13.6%	31.0%	10.5%	13.7%	20.9%	9.1%	10.8%	10.8%	13.3%	7.0%	7.2%	7.6%	4.5%	3.5%	4.6%	4.5%	3.5%	4.6%	4.5%	3.5%	4.6%	4.5%	3.5%	4.6%	4.5%	3.5%	4.6%	4.5%	3.5%	4.6%				
	Moderado	6.3%	2.0%	1.6%	6.7%	2.2%	1.8%	6.0%	2.0%	2.0%	1.6%	4.6%	1.6%	3.1%	1.3%	0.8%	1.8%	0.7%	0.8%	1.8%	0.7%	0.8%	1.8%	0.7%	0.8%	1.8%	0.7%	0.8%	1.8%	0.7%	0.8%	1.8%	0.7%	0.8%			
	Extensivo	20.2%	18.3%	22.9%	24.3%	22.9%	27.0%	27.3%	25.3%	29.0%	25.3%	23.8%	26.1%	20.6%	19.7%	20.5%	15.0%	14.5%	15.0%	14.5%	15.0%	14.5%	15.0%	14.5%	15.0%	14.5%	15.0%	14.5%	15.0%	14.5%	15.0%	14.5%	15.0%	14.5%			
	Collapse	15.5%	14.9%	16.7%	23.3%	22.5%	25.0%	41.2%	40.1%	43.4%	55.0%	53.9%	57.3%	68.7%	70.8%	78.7%	81.3%	79.6%	78.7%	81.3%	79.6%	78.7%	81.3%	79.6%	78.7%	81.3%	79.6%	78.7%	81.3%	79.6%	78.7%	81.3%	79.6%	78.7%			
	Dm	1.69	1.29	1.53	2.11	1.72	1.98	2.79	2.50	2.75	3.19	2.97	3.18	3.50	3.36	3.51	3.70	3.51	3.36	3.51	3.70	3.51	3.36	3.51	3.70	3.51	3.36	3.51	3.70	3.51	3.36	3.51	3.70				
	%Dm	42%	32%	38%	53%	43%	50%	70%	62%	69%	80%	74%	79%	87%	84%	88%	93%	88%	84%	88%	93%	88%	84%	88%	93%	88%	84%	88%	93%	88%	84%	88%	93%				
	Leve	15.1%	14.0%	18.1%	10.4%	10.0%	11.8%	3.9%	4.0%	4.1%	1.5%	1.7%	1.6%	0.5%	0.6%	0.5%	0.1%	0.2%	0.6%	0.5%	0.1%	0.2%	0.6%	0.5%	0.1%	0.2%	0.6%	0.5%	0.1%	0.2%	0.6%	0.5%	0.1%				
	Moderado	2.8%	3.1%	2.5%	2.2%	2.5%	2.0%	1.0%	1.3%	1.0%	0.5%	0.6%	0.5%	0.2%	0.3%	0.2%	0.1%	0.2%	0.3%	0.2%	0.1%	0.2%	0.3%	0.2%	0.1%	0.2%	0.3%	0.2%	0.1%	0.2%	0.3%	0.2%	0.1%				
	Extensivo	29.1%	29.6%	13.2%	26.8%	27.7%	11.0%	18.0%	19.2%	5.9%	11.3%	12.4%	3.1%	6.0%	6.8%	9.3%	92.3%	96.9%	96.4%	96.9%	92.3%	96.9%	96.4%	96.9%	92.3%	96.9%	96.4%	96.9%	92.3%	96.9%	96.4%	96.9%	92.3%				
Collapse	43.8%	41.5%	61.2%	56.3%	54.0%	73.3%	76.3%	74.3%	88.8%	86.5%	85.0%	94.8%	93.3%	92.3%	98.0%	99.3%	99.3%	98.0%	99.3%	98.0%	99.3%	98.0%	99.3%	98.0%	99.3%	98.0%	99.3%	98.0%	99.3%	98.0%	99.3%	98.0%					
Dm	2.83	2.75	3.07	3.21	3.14	3.42	3.65	3.62	3.78	3.82	3.80	3.91	3.92	3.91	3.97	3.96	3.97	3.91	3.92	3.97	3.96	3.97	3.91	3.92	3.97	3.96	3.97	3.91	3.92	3.97	3.96	3.99					
%Dm	71%	69%	77%	80%	79%	85%	91%	90%	95%	96%	95%	98%	98%	98%	99%	99%	99%	98%	98%	99%	99%	99%	98%	98%	99%	99%	99%	98%	98%	99%	99%	100%					
Leve	9.4%	7.0%	6.4%	5.0%	3.8%	3.2%	1.1%	0.9%	0.6%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%					
Moderado	5.1%	3.2%	4.3%	3.4%	3.4%	2.6%	1.1%	0.5%	0.7%	0.4%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%					
Extensivo	31.7%	34.9%	38.5%	26.7%	28.9%	32.2%	15.2%	15.9%	18.2%	8.4%	8.7%	10.2%	3.9%	4.0%	4.9%	1.7%	1.7%	4.0%	3.9%	4.0%	4.9%	1.7%	1.7%	4.0%	3.9%	4.0%	4.9%	1.7%	1.7%	4.0%	3.9%	4.0%					
Collapse	51.5%	51.5%	48.7%	64.2%	64.2%	61.4%	82.5%	82.5%	80.4%	90.8%	90.8%	89.4%	95.9%	95.9%	95.1%	98.3%	98.3%	95.1%	95.9%	95.1%	98.3%	98.3%	95.1%	95.9%	95.1%	98.3%	98.3%	95.1%	95.9%	95.1%	98.3%	98.3%					
Dm	3.21	3.24	3.25	3.49	3.51	3.50	3.79	3.80	3.78	3.90	3.90	3.89	3.96	3.96	3.95	3.98	3.98	3.95	3.96	3.95	3.98	3.98	3.95	3.96	3.95	3.98	3.98	3.95	3.96	3.98	3.98						
%Dm	80%	81%	81%	87%	88%	88%	95%	95%	95%	97%	98%	97%	99%	99%	99%	100%	100%	99%	99%	99%	100%	100%	99%	99%	99%	100%	100%	99%	99%	100%	100%	100%					
No Daños	0.7%	0.6%	0.4%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%					
Leve	11.1%	3.5%	5.2%	5.6%	1.4%	2.1%	1.2%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%					
Moderado	8.1%	0.3%	6.8%	5.5%	0.1%	3.9%	2.0%	0.0%	1.0%	0.8%	0.0%	0.3%	0.2%	0.0%	0.3%	0.1%	0.2%	0.0%	0.3%	0.1%	0.2%	0.0%	0.3%	0.1%	0.2%	0.0%	0.3%	0.1%	0.2%	0.0%	0.3%	0.1%					
Extensivo	22.4%	18.0%	26.5%	18.6%	11.4%	20.6%	10.7%	3.7%	9.9%	5.4%	1.3%	4.9%	2.4%	2.0%	2.0%	0.9%	2.4%	2.0%	0.9%	2.4%	2.0%	0.9%	2.4%	2.0%	0.9%	2.4%	2.0%	0.9%	2.4%	2.0%	0.9%	2.4%					
Collapse	57.7%	77.6%	61.2%	70.1%	86.9%	73.3%	88.8%	88.8%	86.7%	94.8%	93.5%	98.6%	94.8%	94.8%	94.8%	99.0%	99.0%	94.8%	94.8%	94.8%	99.0%	99.0%	94.8%	94.8%	94.8%	99.0%	99.0%	94.8%	94.8%	94.8%	99.0%	99.0%					
Dm	3.25	3.68	3.43	3.53	3.83	3.65	3.82	3.96	3.87	3.92	3.99	3.94	3.97	4.00	3.98	4.00	3.99	4.00	3.98	4.00	3.99	4.00	3.98	4.00	3.99	4.00	3.98	4.00	3.99	4.00	3.99	4.00					
%Dm	81%	92%	86%	88%	96%	91%	96%	99%	97%	98%	100%	99%	99%	100%	100%	100%	99%	99%	100%	100%	99%	99%	100%	100%	99%	99%	100%	100%	99%	99%	100%	100%					

Tabla N° 5.35 Daño medio ponderado para viviendas de densidad de muros DM 3.0% cimentados en tipo de suelo S1, S2 y S3

DM 3.0%	L2	Escenario Sísmico																	
		Muy Leve			Leve			Moderado			Severo			Rato			Muy Raro		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
N° de Pisos	PGA _v (Gals)	29.4%	56.9%	53.3%	18.7%	44.8%	40.6%	6.7%	25.3%	21.1%	2.8%	15.0%	11.7%	0.9%	7.8%	5.6%	0.3%	3.8%	2.4%
01	No Daños	9.1%	6.0%	5.3%	7.9%	6.5%	5.5%	4.6%	5.8%	4.6%	2.6%	4.6%	3.4%	1.2%	3.1%	2.1%	0.5%	1.9%	1.2%
	Leve	12.9%	9.0%	9.5%	12.2%	10.0%	10.4%	8.5%	9.7%	9.8%	5.4%	8.1%	7.9%	2.9%	5.9%	5.5%	1.4%	3.9%	3.4%
	Moderado	23.7%	10.6%	14.6%	26.1%	12.8%	17.6%	24.5%	14.6%	19.9%	19.9%	13.7%	18.5%	14.0%	11.3%	15.0%	8.8%	8.3%	10.9%
	Extensivo	24.8%	17.4%	17.4%	35.1%	25.9%	25.9%	55.7%	44.5%	44.5%	69.3%	58.5%	58.5%	80.9%	71.8%	71.8%	89.0%	82.1%	82.1%
	Collapse	2.06	1.26	1.38	2.51	1.69	1.83	3.18	2.47	2.62	3.50	2.96	3.09	3.73	3.36	3.45	3.86	3.63	3.69
02	Dm	51%	31%	34%	63%	42%	46%	79%	62%	66%	88%	74%	77%	93%	84%	86%	96%	91%	92%
	%Dm	13.9%	11.4%	2.4%	7.3%	5.6%	0.7%	1.8%	1.2%	0.1%	0.5%	0.3%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	1.9%	5.9%	5.2%	1.2%	3.9%	2.5%	0.4%	1.3%	0.5%	0.1%	0.5%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	14.5%	12.6%	12.8%	11.0%	9.5%	8.4%	4.9%	4.3%	2.8%	2.3%	1.9%	1.0%	0.8%	0.7%	0.3%	0.3%	0.2%	0.1%
	Extensivo	30.3%	28.6%	30.9%	28.8%	27.0%	27.0%	20.6%	18.9%	16.3%	13.6%	12.3%	9.5%	7.6%	6.7%	4.6%	3.8%	3.3%	2.0%
03	Collapse	39.5%	41.5%	48.7%	51.8%	54.0%	61.4%	72.4%	74.3%	80.4%	83.5%	85.0%	89.4%	91.4%	92.3%	95.1%	95.9%	96.4%	97.9%
	Dm	2.80	2.83	3.18	3.17	3.20	3.46	3.61	3.64	3.77	3.79	3.81	3.88	3.90	3.91	3.95	3.95	3.96	3.98
	%Dm	70%	71%	80%	79%	80%	86%	90%	91%	94%	95%	95%	97%	98%	98%	99%	99%	99%	99%
	No Daños	1.2%	3.7%	4.1%	0.3%	1.3%	1.6%	0.0%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	1.5%	3.7%	3.4%	0.6%	1.9%	1.8%	0.1%	0.4%	0.4%	0.4%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
04	Moderado	10.9%	6.2%	3.9%	6.0%	3.8%	2.3%	1.5%	1.1%	0.6%	0.4%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	31.9%	28.7%	19.7%	26.0%	23.0%	14.4%	13.8%	11.7%	6.1%	7.3%	6.0%	2.7%	3.3%	2.6%	1.0%	1.3%	1.0%	0.3%
	Collapse	54.5%	57.7%	68.9%	67.1%	70.1%	80.0%	84.6%	86.7%	92.7%	92.2%	93.5%	97.0%	96.6%	97.3%	99.0%	98.7%	99.0%	99.7%
	Dm	3.37	3.33	3.46	3.59	3.59	3.69	3.83	3.84	3.91	3.92	3.93	3.96	3.97	3.97	3.99	3.99	3.99	4.00
	%Dm	84%	83%	86%	90%	90%	92%	96%	96%	98%	98%	98%	99%	99%	99%	100%	100%	100%	100%
04	No Daños	0.6%	0.6%	0.4%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Leve	0.1%	0.6%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Moderado	5.4%	3.9%	6.7%	2.3%	1.7%	3.0%	0.3%	0.3%	0.5%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Extensivo	32.7%	26.0%	28.1%	24.2%	18.0%	20.4%	10.9%	7.0%	7.7%	5.2%	3.0%	4.0%	2.0%	1.0%	1.5%	0.7%	0.3%	0.5%
	Collapse	61.2%	68.9%	64.9%	73.3%	80.0%	76.6%	88.8%	92.7%	90.8%	94.8%	97.0%	95.9%	98.0%	99.0%	98.5%	99.3%	99.7%	99.5%
04	Dm	3.54	3.62	3.57	3.70	3.77	3.73	3.88	3.92	3.90	3.95	3.97	3.96	3.98	3.99	3.98	3.99	4.00	3.99
	%Dm	88%	90%	89%	93%	94%	93%	97%	98%	98%	99%	99%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	100%

Conclusiones

1. Se llevaron a cabo ensayos de 06 muros de albañilería confinada no ingenieril, fabricados con unidades de albañilería solido artesanal e industrial tubular, Los muros fueron sometidos a cargas verticales y solicitaciones de carga lateral. Los muros son identificados como (ML1CCA-1, ML1CCA-2, ML1CCA-3) y (ML2CCA-1, ML2CCA-2, ML2CCA-3). Los ensayos se realizaron bajo condiciones de deformación lateral controlada y evaluar su comportamiento estructural ante dichas solicitaciones.
2. Los mecanismos de falla observados en los muros de albañilería no ingenieril incluyen falla por corte en los paneles y falla por flexión en columnas y vigas. Sin embargo, el comportamiento difiere según el tipo de material. En los muros de ladrillo solido artesanal, el agrietamiento por corte se observa primero en los paneles de los muros. En contraste, en los muros de ladrillo industrial tubular la falla por flexión se manifiesta inicialmente en las columnas y vigas, seguido por el agrietamiento por corte en los paneles.
3. La resistencia máxima alcanzada o la resistencia al agrietamiento diagonal es similar en ambos tipos de muros no ingenieriles. Tanto en aquellos muros de ladrillo solido artesanal como en los de ladrillo tubular industrial. Sin embargo, los muros de ladrillo tubular industrial exhiben un comportamiento de falla frágil en el rango inelástico, desarrollando aproximadamente la mitad de ductilidad alcanzada en los muros de ladrillo solido artesanal. Es decir, el nivel de deformación alcanzado en los muros de ladrillo industrial tubular es significativamente menor reduciéndose a la mitad en comparación con los muros de ladrillo solido artesanal.
4. El amortiguamiento viscoso equivalente, determinado a partir de los lazos de histéresis en los muros no ingenieriles, es constante en muros de ladrillo solido conforme va aumentado las distorsiones, mientras que los muros de ladrillo tubular van incrementándose.
5. El cálculo teórico en la resistencia al agrietamiento diagonal, según lo propuesto por la norma E070, presenta un error relativo del 30% en los muros de ladrillo solido artesanal y del 47% en los muros de ladrillo tubular industrial no ingenieriles.

6. En el Capítulo 8.2.2.c de la Norma E0.70 de albañilería establece que el límite máximo de distorsión angular ante un sismo severo es de $1/200$ (0.005), con el objetivo de que los muros sean reparables pasado el evento sísmico. Sin embargo, durante el ensayo experimental se observó en los muros de ladrillo industrial tubular (ML2CCA) que el límite considerado por la norma excede al valor de $1/528$ (0.0019) obtenido experimentalmente. Así también, para los muros de ladrillo solido artesanal con distorsión angular de $1/250$ (0.004).
7. Del análisis realizado para calcular las curvas de fragilidad, se observó que, durante un sismo moderado, la densidad mínima de muros requerida es del 2.0% para viviendas de un piso construidas con ladrillo sólido artesanal, y del 3.5% cuando se utilizan ladrillos tubulares industriales para mantener un nivel de daño moderado. A medida que la altura de la vivienda aumenta hasta cuatro pisos, la densidad mínima requerida se incrementa al 6%, tanto para ladrillos sólidos artesanales como para ladrillos tubulares industriales, con el fin de conservar un nivel de daño moderado. Estos valores difieren de los establecidos en la Norma E.070 de Albañilería, 2020, específicamente en el capítulo 7.1.2, donde la densidad mínima de muros se calcula en función del tipo de perfil de suelo, el número de pisos, el factor de zona sísmica, el uso de la edificación y se divide entre un factor de 56.
8. Se propuso 40 tipologías de viviendas en albañilería, de acuerdo con las características propias de la ciudad de Lima metropolitana y del análisis estadístico obtenido de los 49 distritos estudiados por CISMID realizados hasta el año 2021. Las viviendas establecidas son una combinación de 03 características principales: tipo de unidad de albañilería informal (Ladrillo solido artesanal y ladrillo tubular industrial), Numero de pisos (04 pisos) y 05 tipos de densidad de muros (1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%) y considerando solo en la dirección corta es decir la dirección paralela a la calle, se obtuvo un total de 20 viviendas construidas con ladrillo solido artesanal y 20 viviendas construidas con ladrillo industrial tubular. Además, cada vivienda fue evaluada con 10 registros sísmicos y analizadas para 06 demandas sísmicas. Realizando un total de 400 simulaciones no lineal tiempo historia.
9. Se propuso una metodología para desarrollar curvas de fragilidad analíticas en viviendas de albañilería de Lima Metropolitana formada por una muestra experimental de ensayos en muros que se caracterizan como viviendas de

albañilería no ingenieril en parámetros históricos, esfuerzo de corte, estado límite de daños y 10 registros sísmicos, incluidos los históricos peruanos y sintéticos.

10. De acuerdo con el tipo de material de construcción, sea utilizando ladrillo solido artesanal o ladrillo industrial tubular, las curvas de fragilidad y las matrices de daño de las viviendas analizadas, ante las seis niveles de demanda sísmicas estudiadas presentan las siguientes observaciones: para un sismo Leve, viviendas construidas sobre suelos tipo S1, el porcentaje de daño por inminente colapso es 10% menor en viviendas de ladrillo solido artesanal en comparación con las de ladrillo industrial tubular. Sin embargo, cuando las viviendas están expuestas sobre tipo de suelo S2, el porcentaje de alcanzar daño por colapso es muy similar para ambos tipos de tipos de unidades de albañilería. Para un sismo moderado, en suelos tipo S3, el porcentaje de viviendas, de ladrillo solido artesanal, de alcanzar daño por colapso es entre 5% y 10% menor que en viviendas de ladrillo industrial tubular, manteniéndose los valores hasta este nivel de demanda sísmica. A partir de un sismo severo, raro y muy raro, la situación cambia. Las viviendas construidas con ladrillo solido artesanal experimentan un 5% más de daño por colapso en comparación con las de ladrillo industrial tubular. En general, el 70% de viviendas analizadas independientemente del tipo de ladrillo utilizado, alcanzan daño por inminente colapso cuando se exponen a sismos de intensidad moderado, severo, raro y muy raro.
11. Para un escenario sísmico leve, las viviendas de dos pisos alcanzan daño por colapso inferior al 50%, mientras que, en aquellas viviendas de tres o cuatro pisos, el daño por colapso supera el 80% de viviendas, Además para un escenario sísmico severo, las viviendas de un piso presentan un daño por colapso menor al 40%, mientras que las de dos, tres y cuatro pisos alcanzan el 100% de inminente colapso. En cuanto a un escenario sísmico muy raro, como el que podría esperarse en Lima Metropolitana, las viviendas de un solo piso registran más del 80% de daño por colapso, mientras que las de dos, tres y cuatro pisos llegan al 100% de inminente colapso. Se observa una mayor vulnerabilidad estructural en las viviendas de mayor altura de dos a cuatro pisos en comparación con las de un piso, especialmente para demandas sísmicas de severos y muy raros.

Recomendaciones

1. Se utilizó una muestra de ensayos en muros de albañilería para observar y determinar sus características físicas. Sin embargo, se recomienda realizar más ensayos a lo largo del tiempo, ya que estudios previos indican que la resistencia axial y al corte de los ladrillos no ingenieriles, así como de los ladrillos industriales, tiende a disminuir con los años, afectando la resistencia y calidad del material.
2. Las viviendas analizadas se consideraron estructuras regulares, con forma rectangular en planta y una distribución uniforme en altura, utilizando el mismo material (ladrillo no ingenieril). Es importante considerar la evaluación de viviendas con formas irregulares en planta y altura, especialmente aquellas que combinan ladrillos de diferentes calidades. Estas edificaciones podrían presentar un comportamiento estructural distinto al de las estructuras regulares, y podría diferir significativamente.
3. Otra característica de las viviendas estudiadas es que el análisis se realizó considerando un sistema de losa rígida en cada nivel. Sin embargo, en Lima Metropolitana existen viviendas donde el techo del último nivel no es rígido, ya que se utilizan losas con techos flexibles. Por ello, sería conveniente ampliar el estudio para incluir este tipo de edificaciones y evaluar su comportamiento estructural.
4. Esta investigación puede complementarse ampliando el estudio a otras tipologías de viviendas presentes en Lima Metropolitana, con el objetivo de obtener más información sobre su comportamiento estructural. Esto contribuirá a fortalecer el análisis de la variable de exposición, proporcionando datos valiosos para reducir la vulnerabilidad y el riesgo sísmico en la región.
5. El análisis tiempo historia se realizó utilizando los registros sísmicos históricos ocurridos en Perú, donde se observó que la componente EW era la que mayor aceleración registraba, por lo que se analizó este registro sísmico en las tipologías de viviendas propuestas. Sin embargo, también se podría analizar el comportamiento de estas viviendas con el método de bidireccionalidad, debido a que no sabemos en qué sentido llegan las ondas sísmicas del sismo a la superficie y se podría considerar las dos direcciones de análisis.
6. Las viviendas no ingenieriles, construidas con muros de ladrillo pandereta o ladrillos tubulares, actúan como muros portantes, lo cual no está permitido según la Norma E.070. Estas estructuras evidencian una falta de rigidez y ductilidad, mostrando un

- comportamiento frágil. Se sugiere continuar investigando técnicas de reforzamiento para estas viviendas, ya que se ha demostrado que, con métodos adecuados, los muros pueden duplicar su resistencia y mejorar significativamente su ductilidad.
7. El Artículo 25 de la norma E.070 de albañilería establece el valor mínimo para el cálculo de la densidad de muros de albañilería en viviendas cimentadas sobre diferentes tipos de suelo, según la ecuación 7.1.2b. Esta ecuación aplica para unidades de ladrillo King Kong, tanto artesanal como industrial, y para rejilla industrial (panderetas). Por lo tanto, sería recomendable revisar el cuadro de densidad de muros por tipo de suelo, tal como se propone en la ecuación de la norma, para asegurar su aplicabilidad y precisión.
 8. La propuesta de curvas de fragilidad para esta tipología de viviendas, de acuerdo con la taxonomía establecida, fue desarrollada para viviendas con pendiente cero. Sin embargo, se podría ampliar esta investigación considerando viviendas construidas en laderas con pendientes, así como aquellas con formas irregulares en planta y en altura, que combinan ladrillos de distintas calidades. Además, sería pertinente incluir el análisis de viviendas con techos flexibles en el último nivel, ya que su comportamiento estructural podría diferir del de las viviendas con techos rígidos. Este enfoque más amplio permitiría obtener una evaluación más completa y representativa del comportamiento sísmico de diversas tipologías de viviendas en Lima Metropolitana.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, Z., Roncal, M., & Piedra, R. (2017). *Probabilistic Seismic Hazard Assessment in the Peruvian Territory*. 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago - Chile. <https://wcee.nicee.org/wcee/article/16WCEE/WCEE2017-3028.pdf>
- Akenori Shibata. (2010). *Dynamic Analysis of Earthquake Resistant Structures (I. Geadall, Trad.; 3.^a ed.)*. Tohoku University Press (Original work published 1981).
- American Society of Civil Engineers. (2014). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (41.^a ed.). ASCE. <https://doi.org/10.1061/9780784412855>
- Cardenas, L., Reyna, R., Estacio, L., Zavala, C., Japan Peru Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation, Montero Rosas Street 1476, Santa Beatriz, Lima 01, Peru, Toyohashi University of Technology, Japan, & National University of Engineering, Lima, Peru. (2014). Implementation of Database of Masonry Walls Test – Review of Existing Test Data in Peru. *Journal of Disaster Research*, 9(6), 993-1000. <https://doi.org/10.20965/jdr.2014.p0993>
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2017a). *Curvas de fragilidad y curvas de consecuencia para cada estado de daño de los muros estudiados* (Informe Técnico N°4). CISMID-FIC-UNI.
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2017b). *Ensayos de muros a escala real y la elaboración de las correspondientes Curvas de Fragilidad orientados a desarrollar conocimiento referido al comportamiento sísmico de muros de albañilería informal y posibilitar la estimación de pérdidas para un escenario sísmico*. (Informe Técnico N°2). CISMID-FIC-UNI.
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2020). *Propuesta de índice de daños para muros de albañilería confinada no ingenieril*.

- Programa Presupuestal 0068 – Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres. CISMID-FIC-UNI.*
- Diaz, M. (2017a). *Hysteresis Simulator tool for Non-Linear Behavior of Structural Elements* [Software].
- Diaz, M. (2017b). *Manual Program for Hysteresis Simulator tool For Non-Linear Behavior of Structural Elements. CISMID - FIC -UNI.*
- Diaz, M. (2019a). *Análisis Estadístico y Área de estudio seleccionada representativa de Lima y Callao* (Proyecto 115 – 2018 FONDECYT – SENCICO – CISMID – FIC – UNI. 1).
- Diaz, M. (2019b). *Manual Program for Hysteresis Simulator tool for Non-Linear Behavior of Structural Elements. CISMID - FIC -UNI.*
- Diaz, M., Zavala, C., Estrada, M., & Matsuoka, M. (2023). Characterization of the Structural Typologies of Buildings in the Lima Metropolitan Area. *Journal of Disaster Research*, 18(4), 329-337. <https://doi.org/10.20965/jdr.2023.p0329>
- Diaz, M., Zavala, C., Flores, E., & Cardenas, L. (2019). Development of analytical models for confined masonry walls based on experimental results in Lima city. *TECNIA*, 29(2), 23-29. <https://doi.org/10.21754/tecnica.v29i2.711>
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA356)*. Federal Emergency Management Agency. <https://www.nehrp.gov/pdf/fema356.pdf>
- Federal Emergency Management Agency. (2007). *Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components (FEMA 461)*. Federal Emergency Management Agency. <https://www.atcouncil.org/pdfs/FEMA461.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas: Perfil Sociodemográfico*

- del Perú. INEI.
https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf
- Lantada, N., Pujades Beneit, L., & Gili Ripoll, J. A. (2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona*. [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-93571>
- Moreno González, R., Pujades Beneit, L., & Aparicio Bengoechea, Á. C. (2006). *Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal: Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona* [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-93559>
- Porter, K. (2021). A Beginner's Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk. En M. Beer, I. A. Kougiumtzoglou, E. Patelli, & I. S.-K. Au (Eds.), *Encyclopedia of Earthquake Engineering* (pp. 1-29). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_256-1
- Pulido, N., Aguilar, Z., Tavera, H., Chlieh, M., Calderón, D., Sekiguchi, T., Nakai, S., & Yamazaki, F. (2015). Scenario Source Models and Strong Ground Motion for Future Mega-earthquakes: Application to Lima, Central Peru. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(1), 368-386. <https://doi.org/10.1785/0120140098>
- Saito, D. T. (2024). *STERA3D_technical_manual*. <https://rc.ace.tut.ac.jp/saito/software-e.html>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2018). *Diseño Sismorresistente (Norma E.030)*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO. <https://drive.google.com/file/d/1W14N6JldWPN8wUZSqWZnUphg6C559bi-/view>

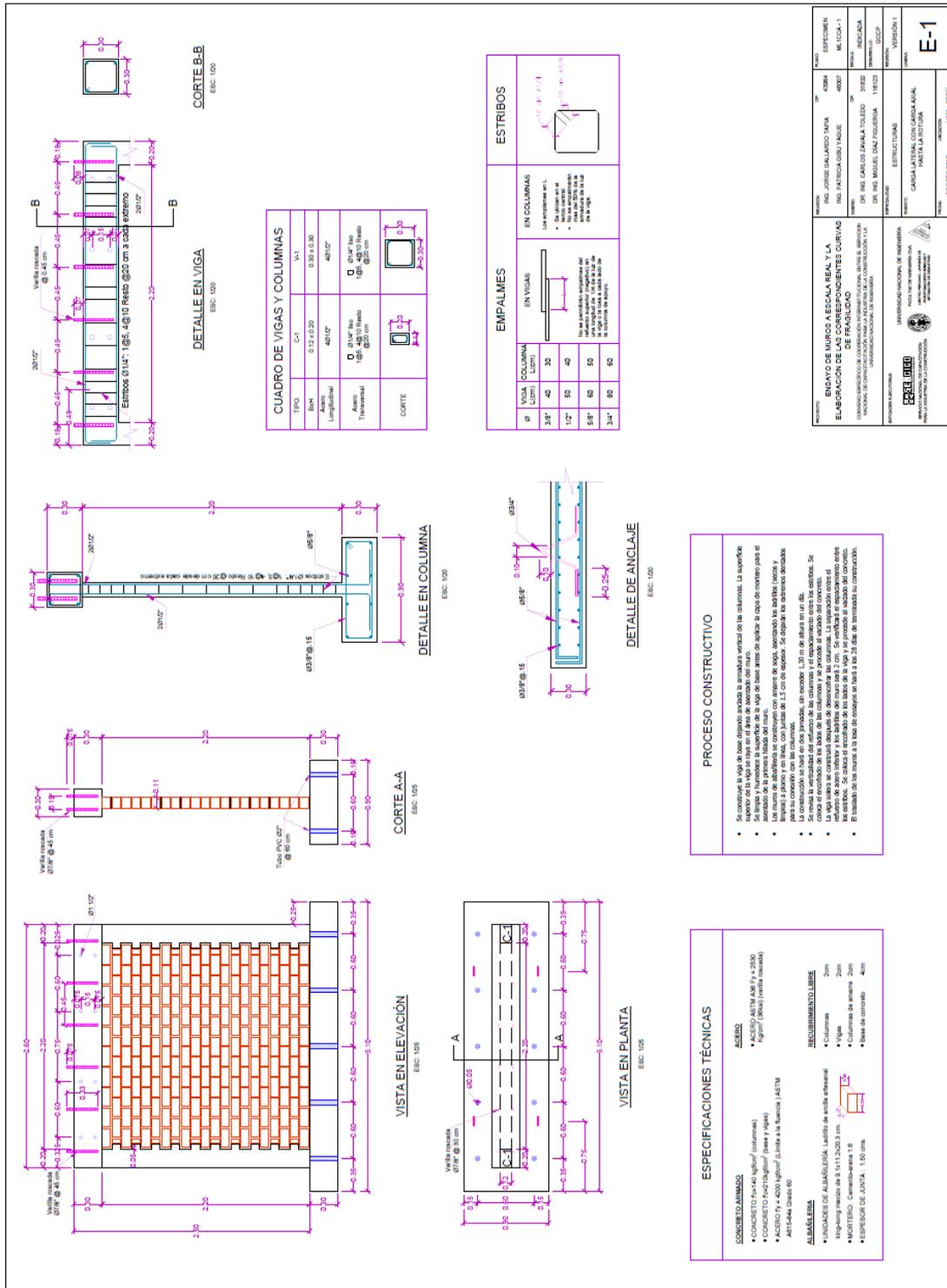
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2020). *albañilería (Norma E.070)*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO.
<https://drive.google.com/file/d/15N2ZQwZGegdoui4rrjTR6uq5bITu7uyv/view>
- Tomaževič, M. (1999). *Earthquake-resistant design of masonry buildings* (Vol. 1). Imperial College Press.
- Wakabayashi, M. (1986). *Design of earthquake-resistant buildings*. McGraw-Hill.
- Zavala, C., Diaz, M., Flores, E., & Cardenas, L. (2019). Damage limit states for confined masonry walls based on experimental test. *TECNIA*, 29(2).
<https://doi.org/10.21754/tecnica.v29i2.715>

Anexos

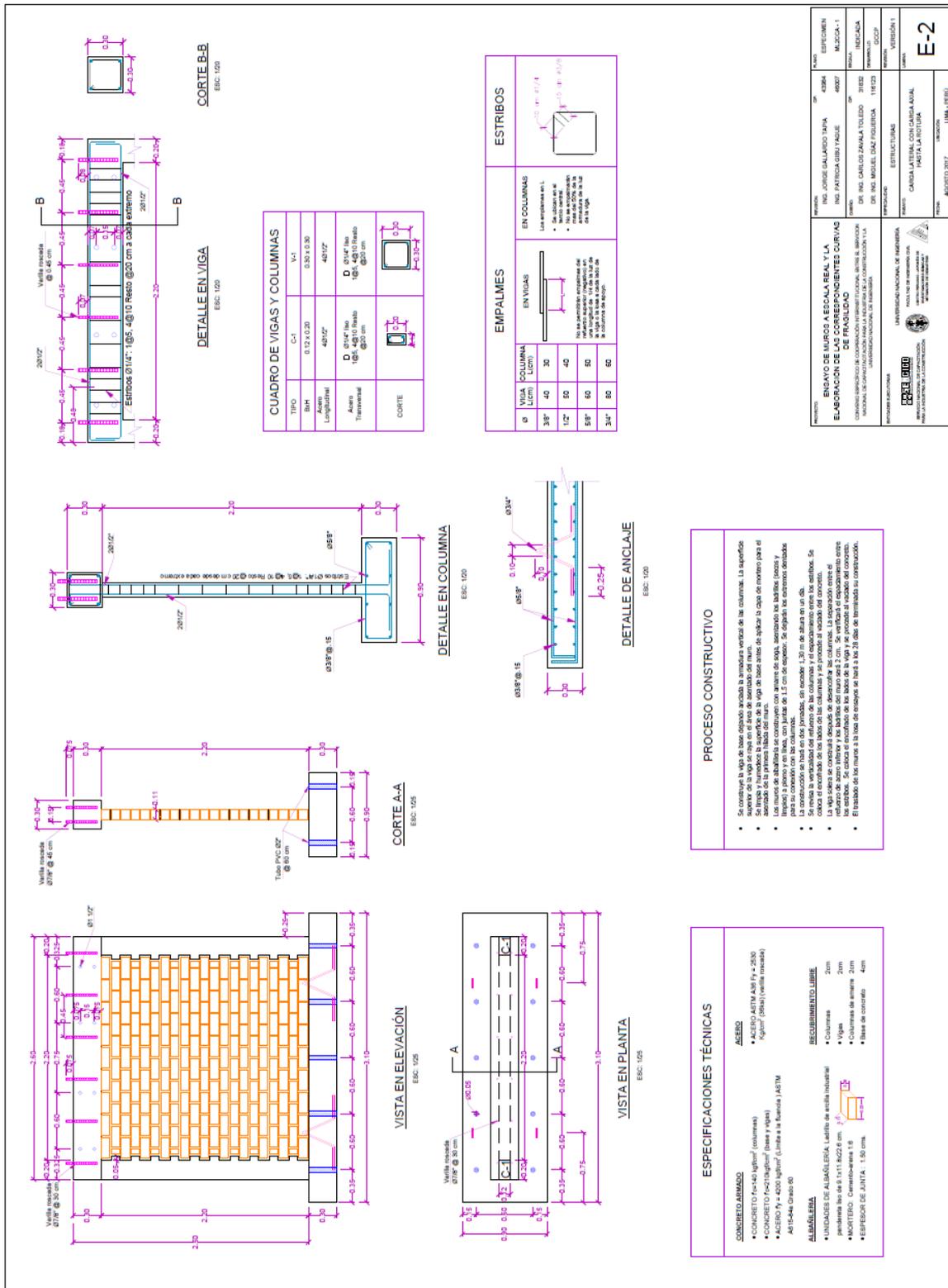
ANEXO A - Planos de Construcción de Muros de ladrillos	2
ANEXO B - Panel Fotográfico – Proceso constructivo	4
ANEXO C - Daños observados	8
ANEXO D – Espesores máximos de grietas	16
ANEXO E – Curvas de Fragilidad	18

ANEXO A - Planos de Construcción de Muros de ladrillos

Planos de muros de ladrillos solido artesanal



Planos de muros de ladrillo industrial tubular



ANEXO B - Panel Fotográfico – Proceso constructivo



Foto 1. Encofrado y armado de la base de cimentación.



Foto 2. Colocación final de los aceros longitudinales de las columnas en las vigas de base.



Foto 3. Colocación de los tubos de 2” en las bases de cimentación.



Foto 4. Vaciado y vibrado del concreto en las vigas de base.



Foto 5. Desencofrado de las bases de cimentación.



Foto 6. curado de las vigas de base.



Foto 7. Colocación de los estribos en las columnas.



Foto 8. Humectación de los ladrillos.



Foto 9. Vista de la primera hilada del muro de ladrillos sólido.



Foto 10. Mitad del paño del muro.



Foto 11. Paño completo del muro.



Foto 12. Muros completos de ladrillo sólido y ladrillo tubular.



Foto 13. Encofrado de las columnas.



Foto 14. Vaciado de concreto y vibrado de la columna.



Foto 15. Desencofrado de la columna.



Foto 16. Curado de las columnas.



Foto 17. Armado de las vigas.



Foto 18. Encofrado de las vigas.



Foto 19. Colocación de tubos en las vigas.



Foto 20. Vaciado y vibrado de las vigas.



Foto 21. Desencofrado de la viga.



Foto 22. Curado de las vigas.



Foto 23. Seis muros de albañilería de ladrillo sólido artesanal y ladrillo tubular industrial.

ANEXO C - Daños observados

Daños Observados en ML1CCA-2

Daños Observados en ML1CCA-2	
Distorsión	Descripción
4200	No se observaron daños
3000	No se observaron daños
2150	Segunda grieta diagonal en la mitad inferior del muro Grietas diagonales en zona del endentado
1500	1°Grieta diagonal principal Nuevas Grietas diagonales en zona del endentado
1000	Continuación de 1° grieta diagonal principal Nuevas grietas diagonales en zona del endentado 2° grieta diagonal principal
800	Continuación 1° grieta diagonal principal Continuación 2° grieta diagonal principal 1° grieta horizontal en columna
550	Continuación 1° grieta diagonal principal Continuación 2° grieta diagonal principal Nuevas grietas horizontales en columna 1° Grieta diagonal en talón columna
400	Continuación de 1° grieta diagonal principal. Nuevas grietas horizontales en columna 1° grieta diagonal en talón columna Continuación de grieta horizontal en columna. Nueva de grieta diagonal paralelo a la 2° diagonal principal Continuación de 2° grieta diagonal principal
300	Nuevas grietas horizontales en columnas Continuación de grietas horizontales en columnas Nuevas grietas diagonales en talón de columna Continuación de grietas diagonales en talón de columna Continuación grietas diagonal en viga columna Nuevas grietas diagonal en viga columna
200	Nuevas grietas diagonales en talón columna Nuevas grietas diagonales en viga columna Desprendimiento de ladrillo Nuevas grietas diagonales en muro

Daños Observados en ML1CCA-2	
Distorsión	Descripción
150	Continuación de grieta diagonal en talón de columna Desprendimiento de ladrillo. Ensanchamiento de grieta diagonal principal Nuevas grietas horizontales en columna
100	Desprendimiento de Ladrillo Nuevas grietas diagonales cerca de la diagonal principal Mayor ensanchamiento de grieta diagonal Inicio trituración de talón de columna

Fuente: Elaboración Propia

Daños Observados en ML1CCA-3

Daños Observados en ML1CCA-3	
Distorsión	Descripción
4200	No se observaron daños
3000	No se observaron daños
2150	No se observaron daños
1500	1° Grieta diagonal principal Segunda grieta diagonal paralelo a la diagonal Principal
1000	Continuación de 1° grieta diagonal principal Nuevas grietas diagonales en zona del endentado 2° grieta diagonal principal
800	Continuación 1° grieta diagonal principal Continuación 2° grieta diagonal principal 1° grieta horizontal en columna
550	Nuevas grietas horizontales en columna Continuación de grieta horizontal en columna. Continuación de grietas diagonales zona endentado 2° Grieta diagonal principal 1° Grieta diagonal en viga columna
400	Continuación de 1° grieta diagonal principal. Nuevas grietas horizontales en columna. 1° grieta diagonal en talón columna Continuación de grieta horizontal en columna. Nueva de grieta diagonal paralelo a la 2° diagonal principal Continuación de 2° grieta diagonal principal
300	Continuación de grietas horizontales en columna Continuación de grieta diagonal en columna viga Continuación de grietas diagonales en talón de columna Nuevas grietas horizontales en columna Completo 2° grieta diagonal principal
200	Continuación de grieta horizontal en columnas. Nuevas grietas horizontales en columna. Nuevas grietas diagonales en talón columna. Nuevas grietas diagonales cerca de la diagonal principal

Daños Observados en ML1CCA-3	
Distorsión	Descripción
150	Desprendimiento de mortero y ladrillo. Continuación de grieta horizontal en columna Continuación de grieta diagonal en talón de columna Continuación de grieta diagonal en viga columna Nuevas grietas horizontales en columna Desprendimiento de ladrillo Ensanchamiento de grieta diagonal principal
100	Desprendimiento de Ladrillo Mayor ensanchamiento de grieta diagonal Inicio Trituración de talón de columna

Fuente: Elaboración Propia

Daños Observados en ML2CCA-2

Daños Observados en ML2CCA-2	
Distorsión	Descripción
4200	No se observaron daños
3000	No se observaron daños
2150	Primera grieta diagonal en muro en la parte inferior del muro (FALLA POR DESLIZAMIENTO) Segunda grieta (horizontal) en muro
1500	1° grieta Horizontal en columnas Continuación de segundas grietas diagonales en la mitad inferior del muro FALLA POR DESLIZAMIENTO
1000	1° grieta diagonal principal 2° grieta diagonal principal Nuevas grietas horizontales en columna
800	Nuevas grietas horizontales en columna Continuación de grietas horizontales en columna Continuación de 1° Grieta Diagonal principal Continuación de 2° Grieta Diagonal principal Continua grieta horizontal en muro cimiento Continua 2° grieta diagonal principal en muro 1°grieta diagonal en viga columna
550	Desprendimiento de ladrillo Nuevas grietas horizontales en columnas Continuación de grietas horizontales en columna Continuación de 1°grieta diagonal en muro Continuación de 2°grieta diagonal en muro Grieta horizontal en viga columna Nueva Grieta diagonal en viga columna
400	Continuación de 2° grieta diagonal principal Nuevas grietas horizontales en columna Nueva Grieta diagonal en viga columna Nuevas primeras grietas diagonales en mitad muro 1° grietas diagonales en talón de columna Desprendimiento de mortero ladrillo en muro
300	Desprendimiento de ladrillo Nuevas grietas diagonales en talón columna Nuevas grietas horizontales en columna

Daños Observados en ML2CCA-2	
Distorsión	Descripción
	Nuevas grietas en zona de endentado Nuevas grietas diagonales en viga columna
200	Desprendimiento de ladrillo Ensanchamiento de grieta diagonal principal en muro Nuevas grietas horizontales en columna Continuación de grietas horizontales en columna Nuevas grietas en zona del endentado Nueva grieta diagonal en talón columna
150	Desprendimiento de ladrillo. Ensanchamiento de grieta diagonal principal Continuación de 1° grieta diagonal principal en muro
100	Mayor desprendimiento de ladrillo en diagonal principal Ensanchamiento de grieta diagonal principal Nuevas grietas diagonales en muro

Fuente: Elaboración Propia

Daños Observados en ML2CCA-3

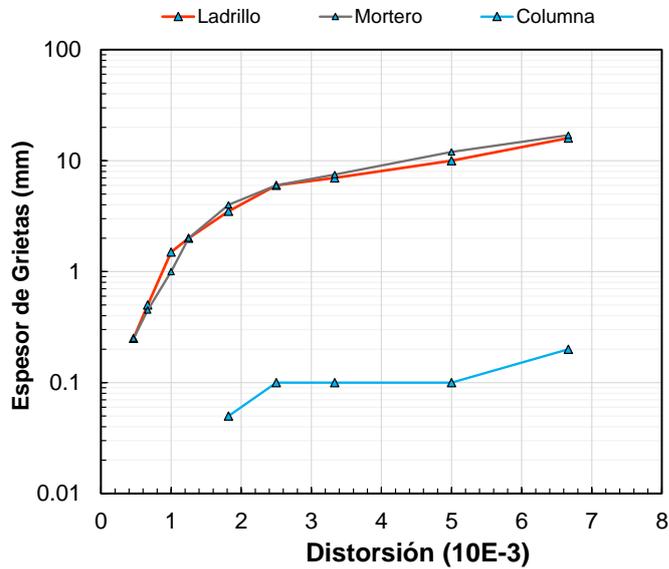
Daños Observados en ML2CCA-3	
Distorsión	Descripción
4200	No se observaron daños
3000	No se observaron daños
2150	Continuación de grieta horizontal muro cimiento Nueva grieta horizontal en muro cimiento 1° Grieta horizontal en columna(base)
1500	Primera grieta diagonal paralelo a la diagonal principal 2° Grieta diagonal principal Nueva Grieta horizontal en columna
1000	Continuación de primera grieta diagonal 1° grieta diagonal viga columna Nuevas grietas horizontales en columna 1° grieta diagonal en talón de columna. Continuación de 2° grieta diagonal principal
800	Continuación de primera grieta diagonal Nueva grieta horizontal en columna Nueva grieta diagonal viga columna Continuación de grieta horizontal en columna Nuevas grietas diagonales en talón de columna
550	Nuevas grietas diagonales en talón columna Nuevas grietas Horizontales en columna Continuación de grietas horizontales en columna Continuación de primera grieta diagonal Continuación de 2° grieta diagonal principal en muro
400	1° grieta diagonal principal Nueva de grieta diagonal viga columna Continuación de grieta horizontal en columna Nueva grieta horizontal en columna Desprendimiento de ladrillo Nueva grieta diagonal en talón columna
300	Nueva grieta diagonal en viga columna Nueva grietas horizontales en columna Nueva grieta diagonal en talón columna Continuación de grieta horizontal en columna Desprendimiento de ladrillo en diagonal principal Trituración de talón columna

Daños Observados en ML2CCA-3	
Distorsión	Descripción
200	Mayor Desprendimiento de ladrillo en diagonal principal Mayor trituración en talón columna Ensanchamiento de grieta diagonal principal Nueva grieta diagonal en talón columna Continuación de grieta horizontal en columna"
150	Continuo desprendimiento de ladrillo Trituración de talón de columna Mayor ensanchamiento de grieta diagonal

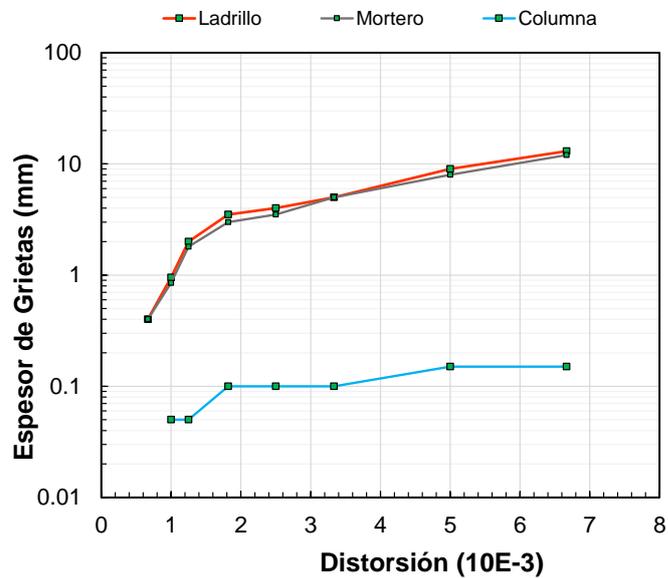
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO D – Espesores máximos de grietas

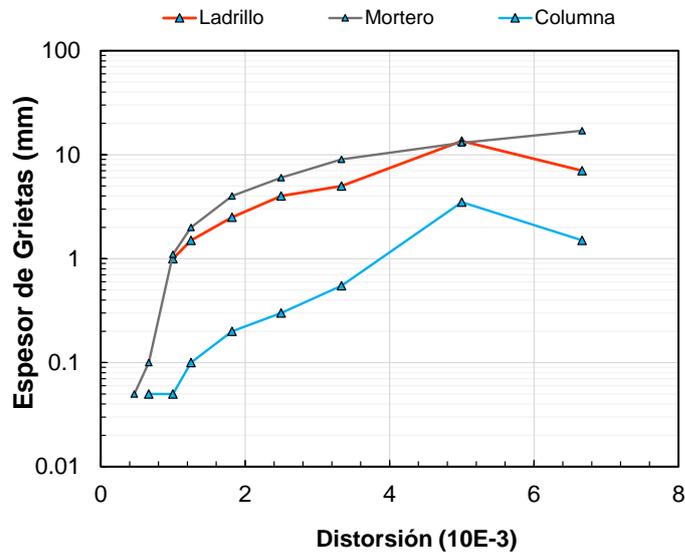
Espesores máximos de grietas del muro ML1CCA-2.



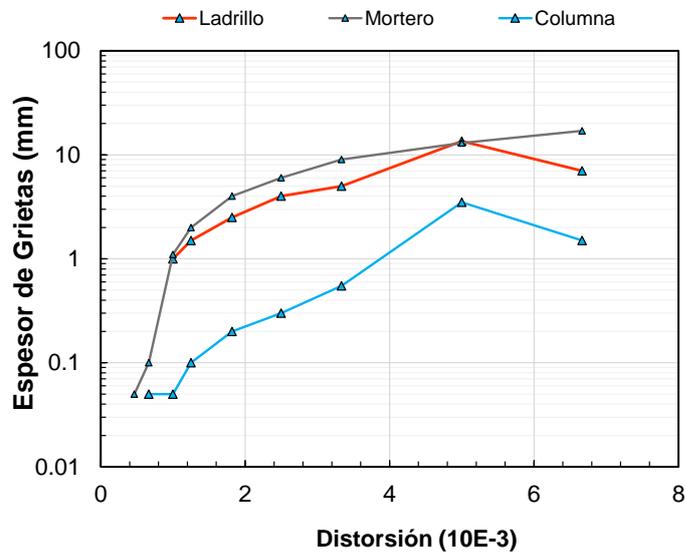
Espesores máximos de grietas del muro ML1CCA-3.



Espesores máximos de grietas del muro ML2CCA-2.

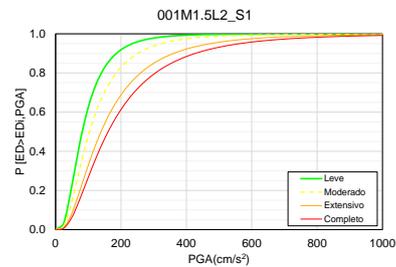
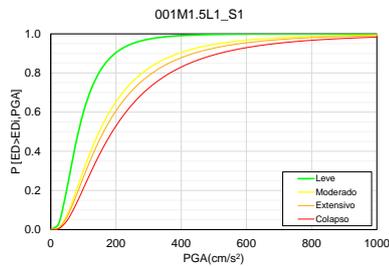


Espesores máximos de grietas del muro ML2CCA-3.

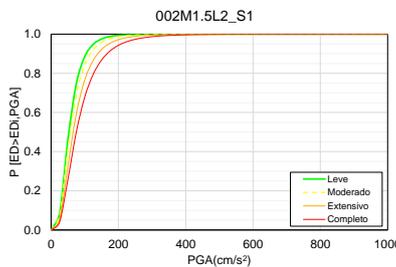
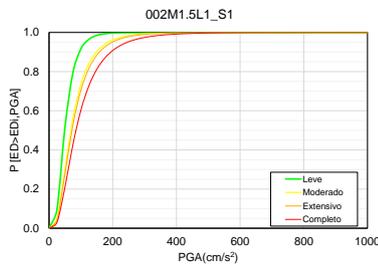


ANEXO E – Curvas de Fragilidad

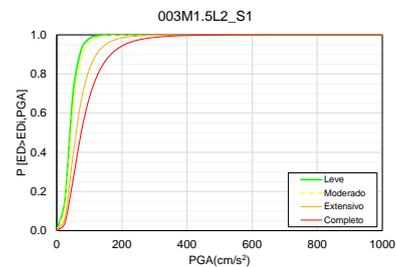
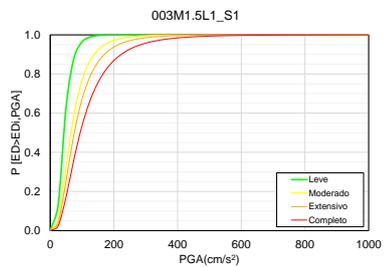
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 1.5%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S1.



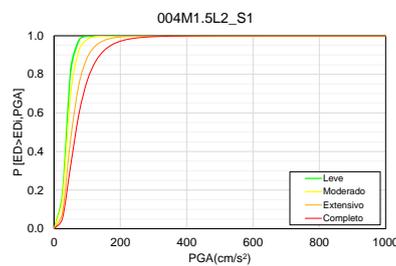
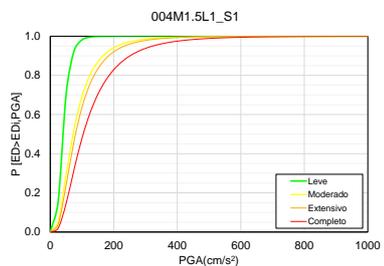
(a)



(b)

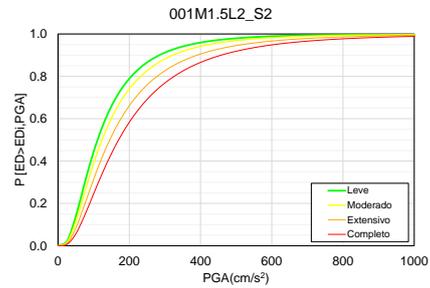
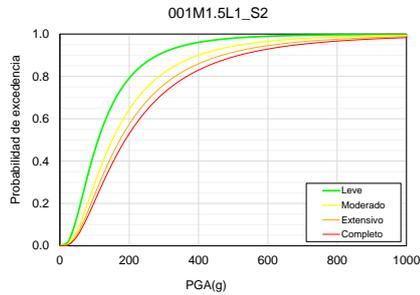


(c)

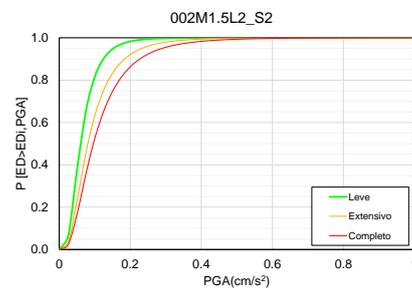
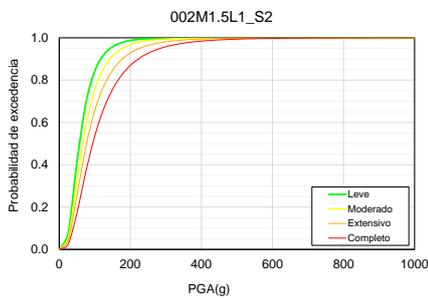


(d)

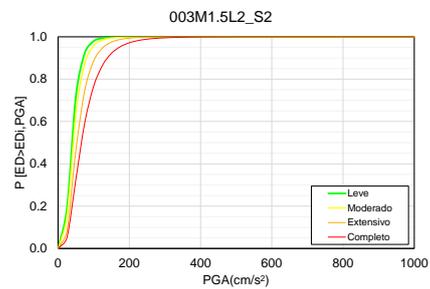
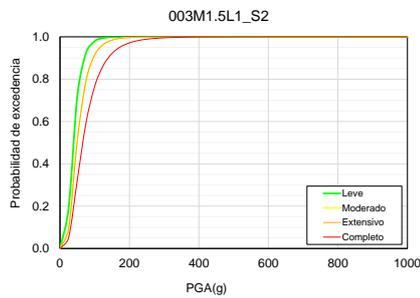
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 1.5%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S2.



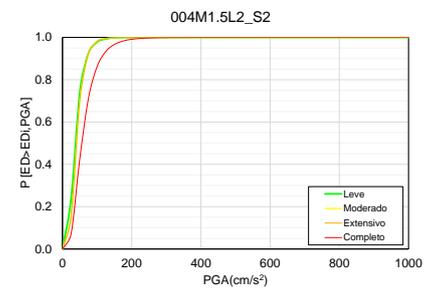
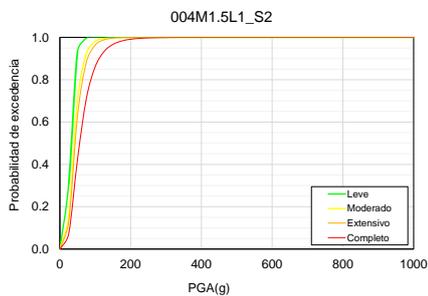
(a)



(b)

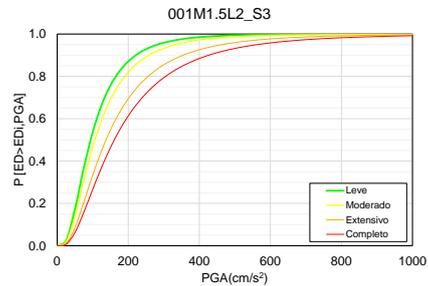
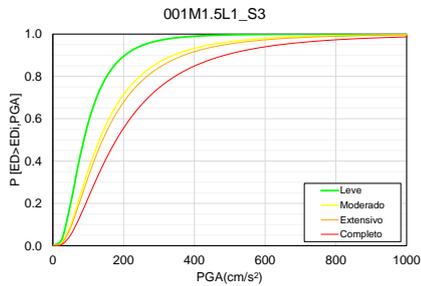


(c)

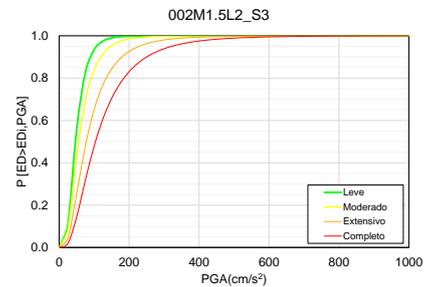
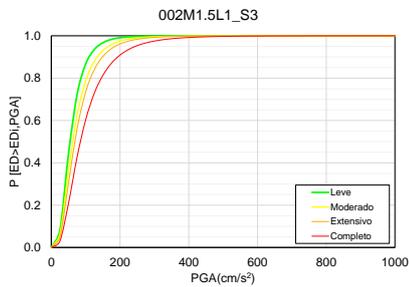


(d)

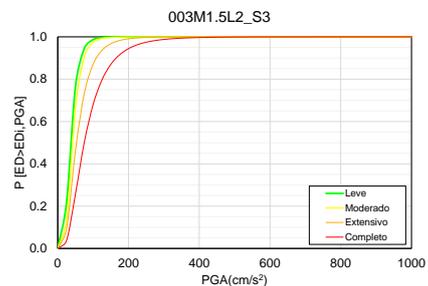
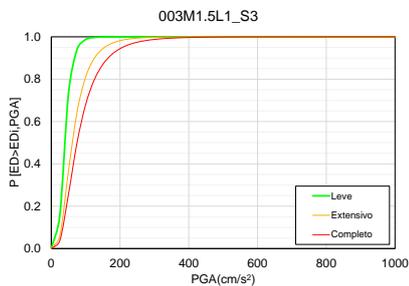
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 2.5%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S3.



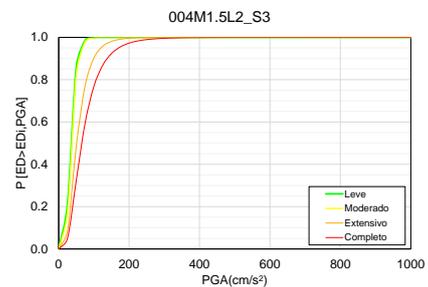
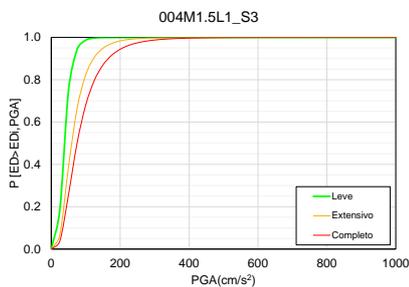
(a)



(b)

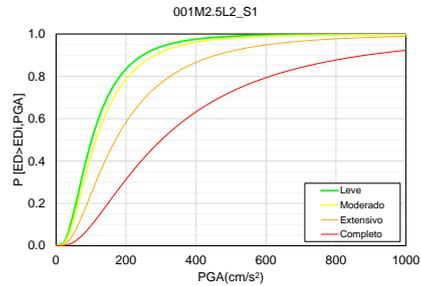
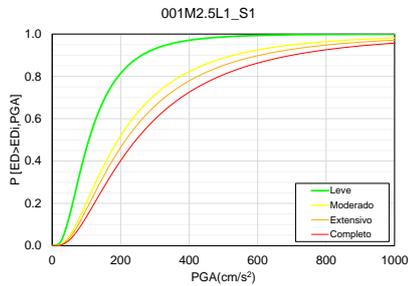


(c)

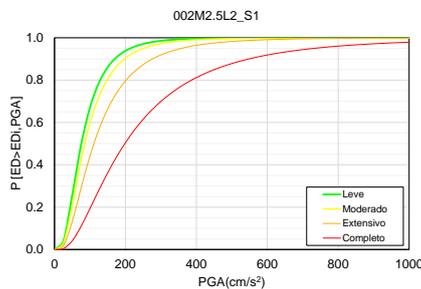
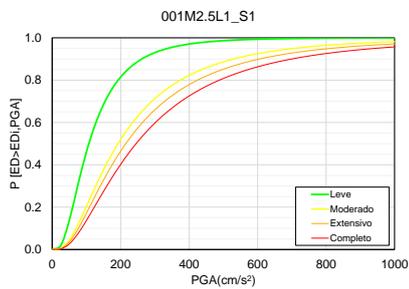


(d)

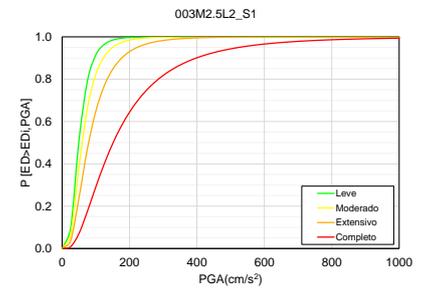
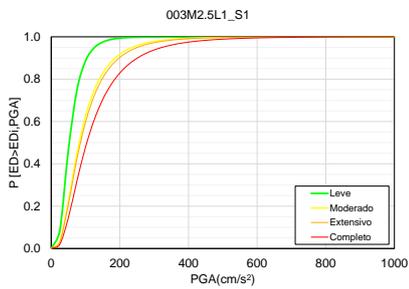
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 2.5%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S1.



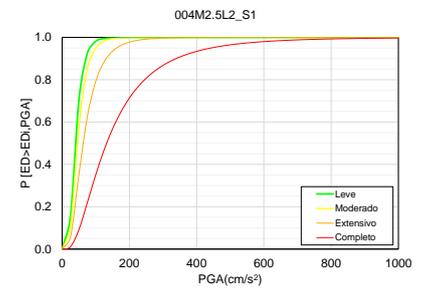
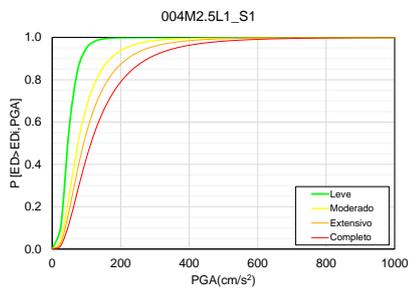
(a)



(b)

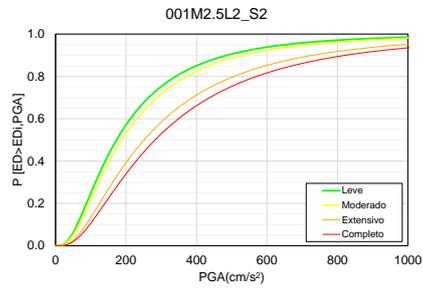
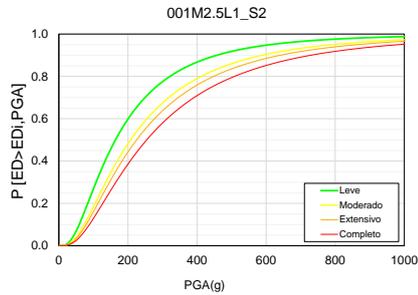


(c)

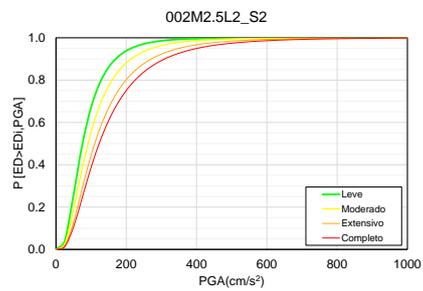
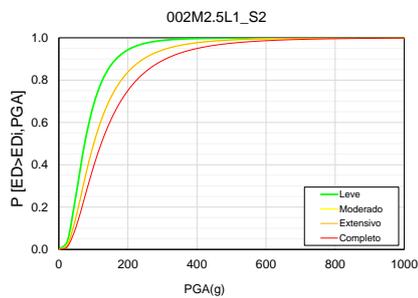


(d)

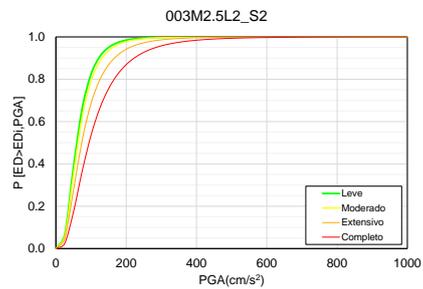
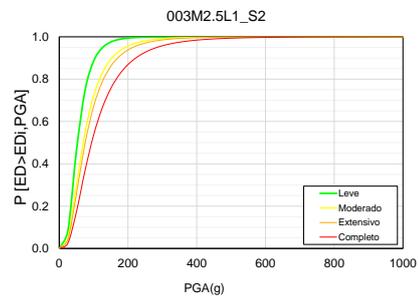
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 2.5%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S2.



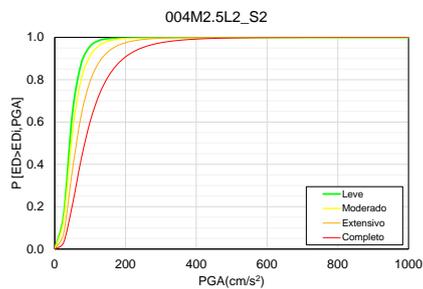
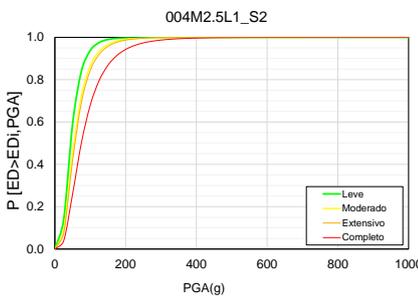
(a)



(b)

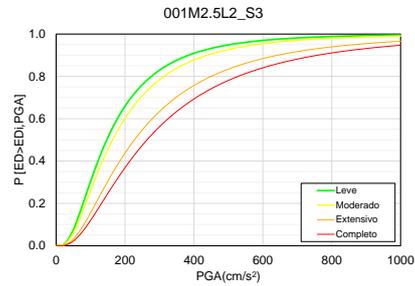
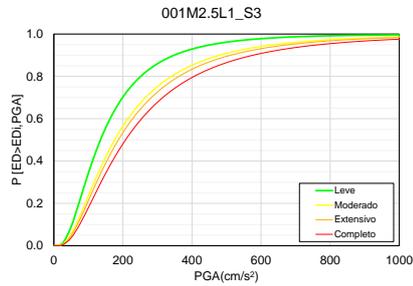


(c)

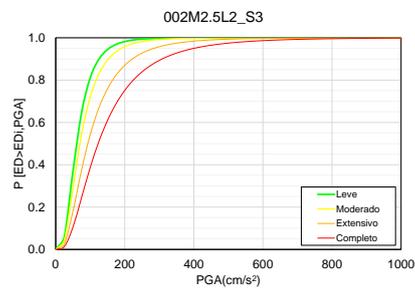
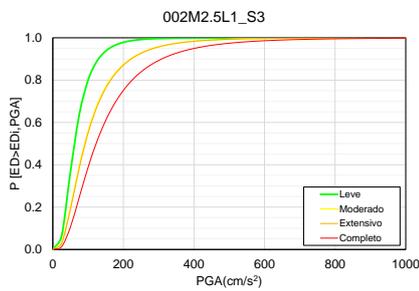


(d)

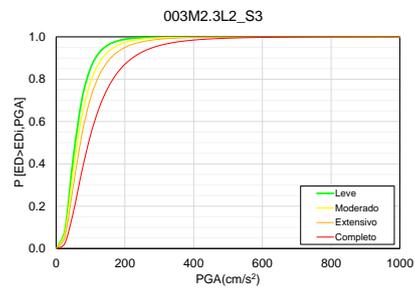
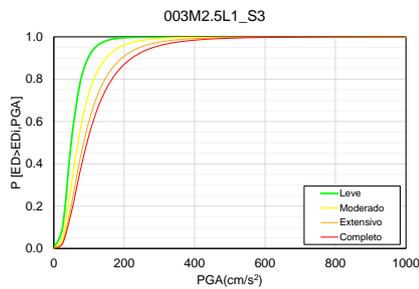
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 2.5%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S3.



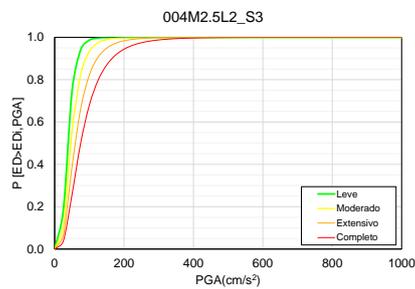
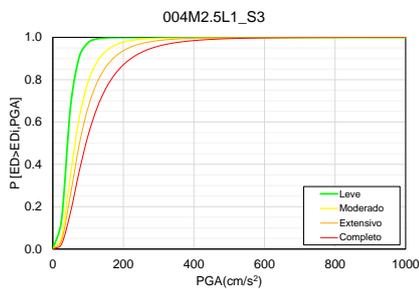
(a)



(b)

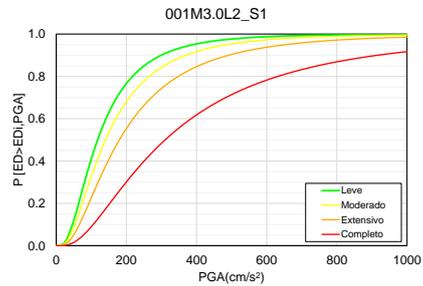
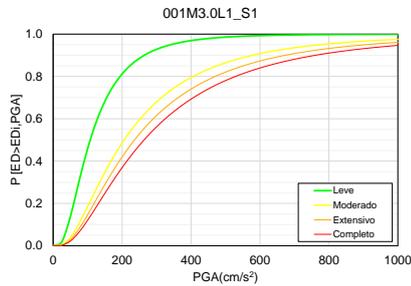


(c)

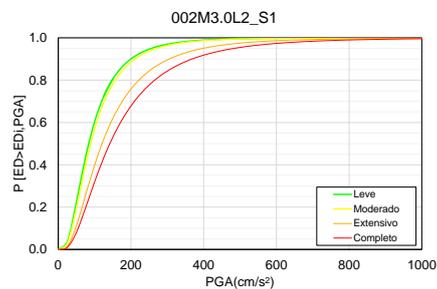
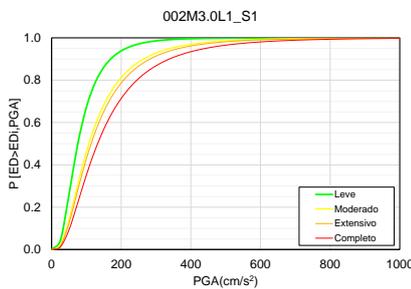


(d)

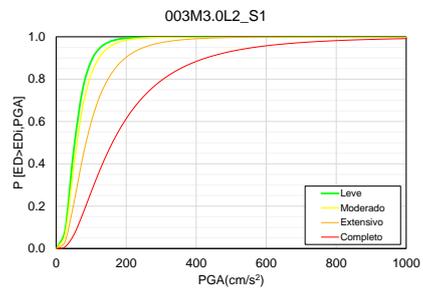
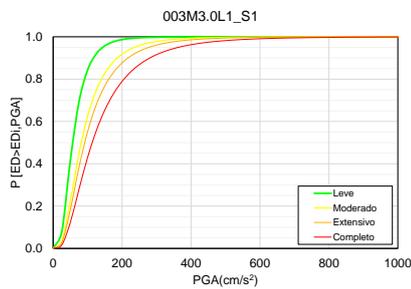
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 3.0%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S1.



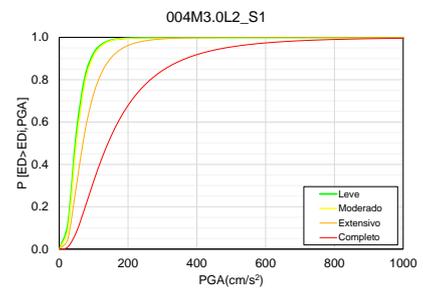
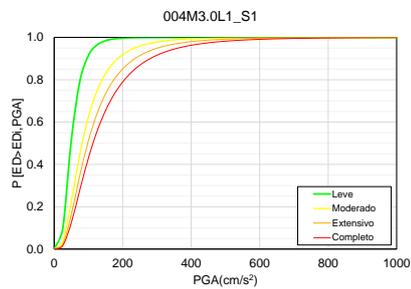
(a)



(b)

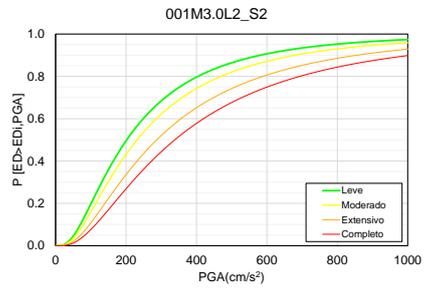
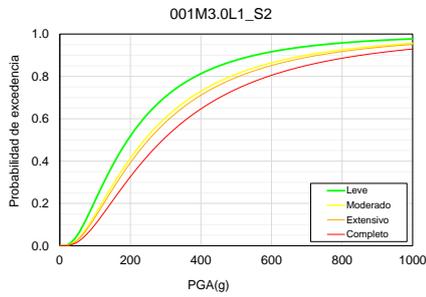


(c)

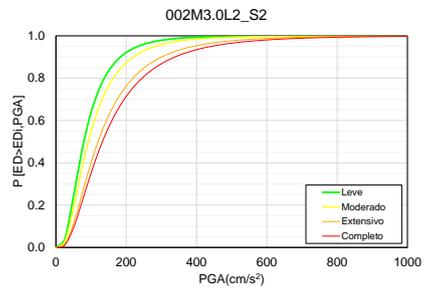
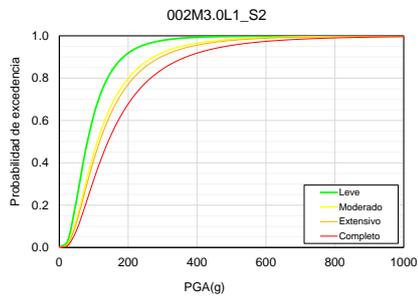


(d)

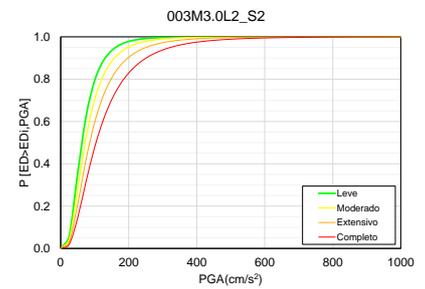
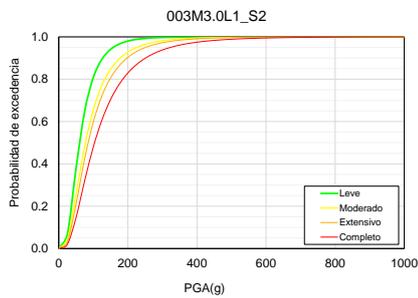
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 3.0%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S2.



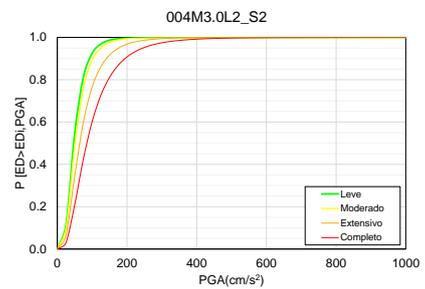
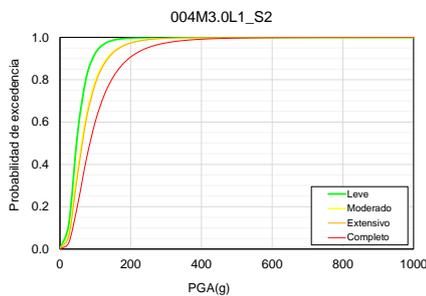
(a)



(b)

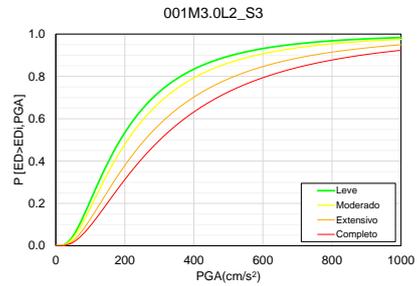
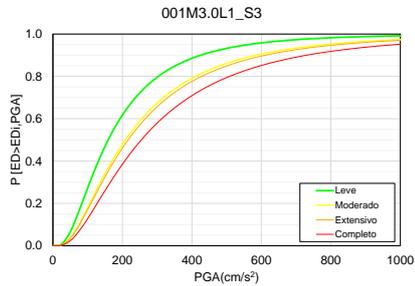


(c)

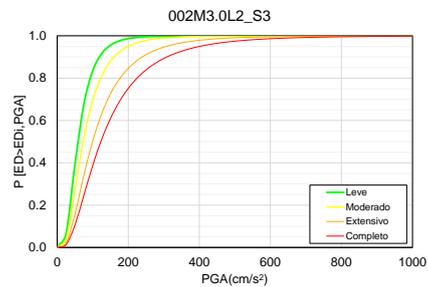
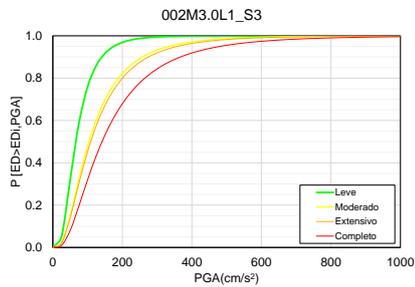


(d)

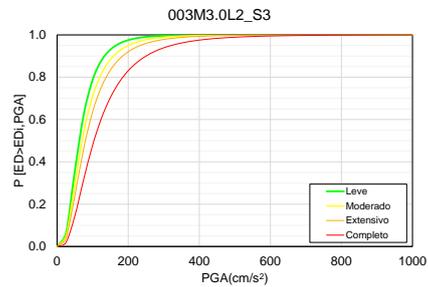
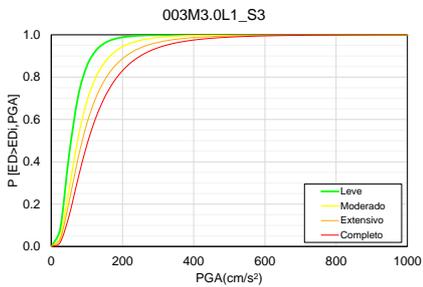
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 3.0%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S3.



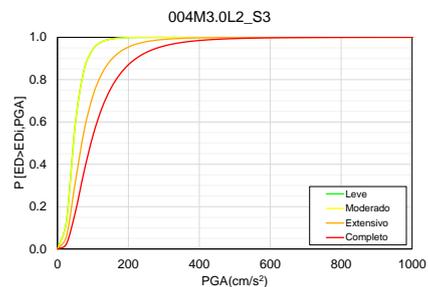
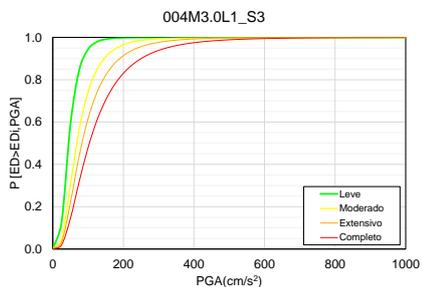
(a)



(b)

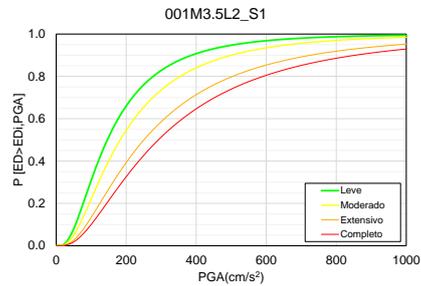
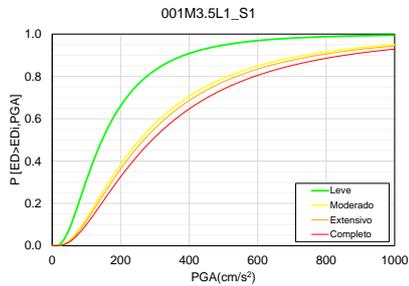


(c)

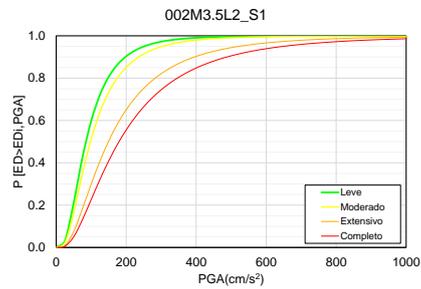
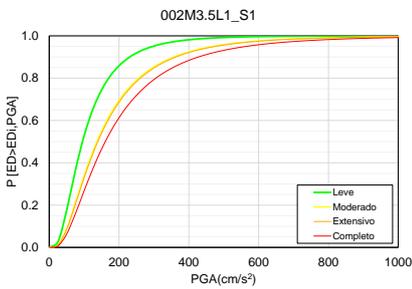


(d)

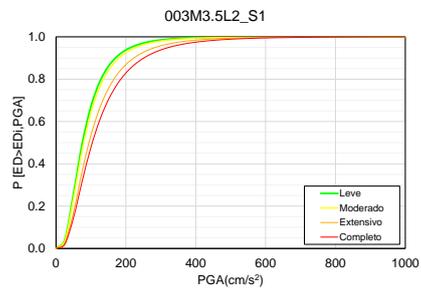
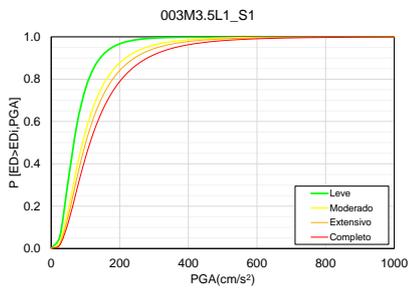
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 3.5%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S1.



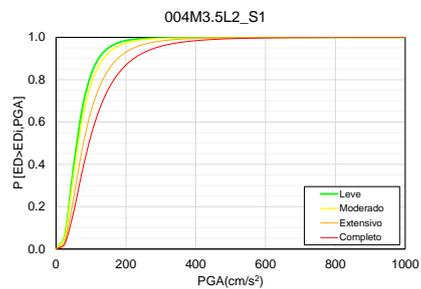
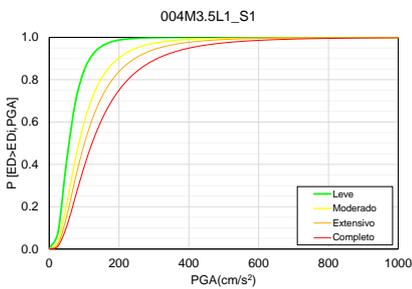
(a)



(b)

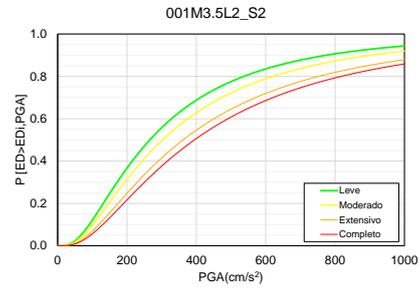
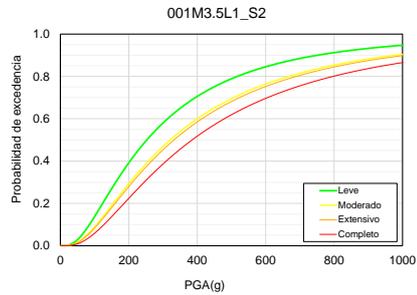


(c)

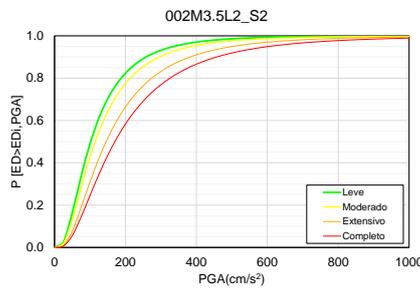
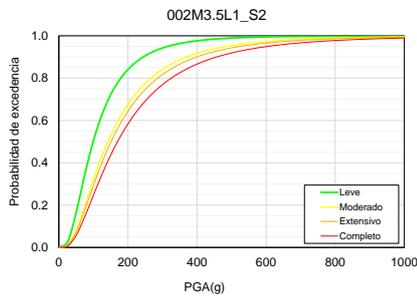


(d)

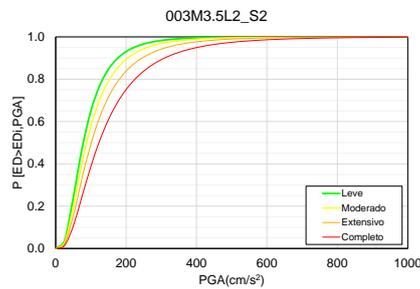
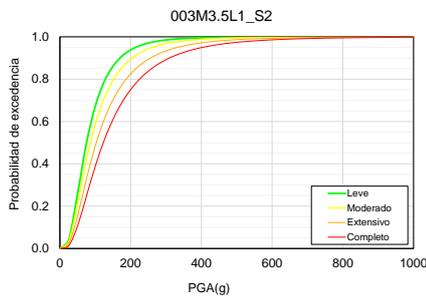
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 3.5%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S2.



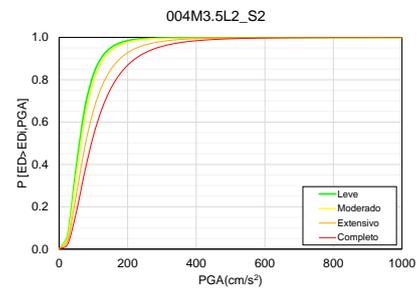
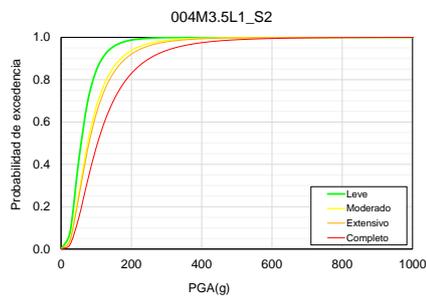
(a)



(b)

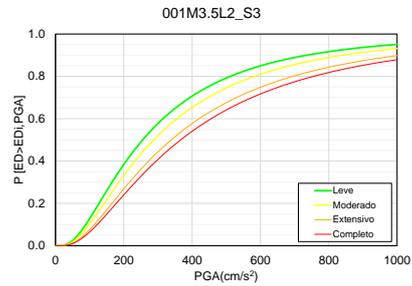
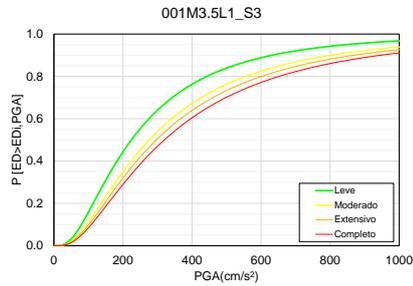


(c)

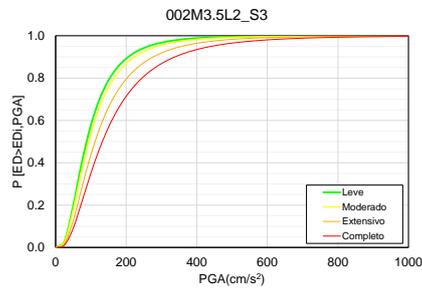
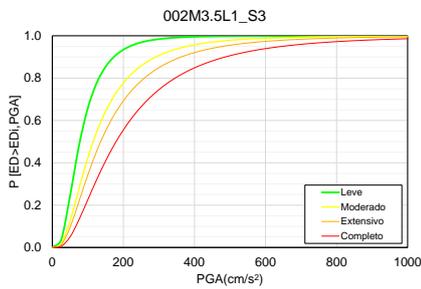


(d)

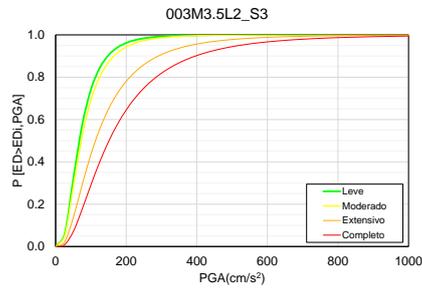
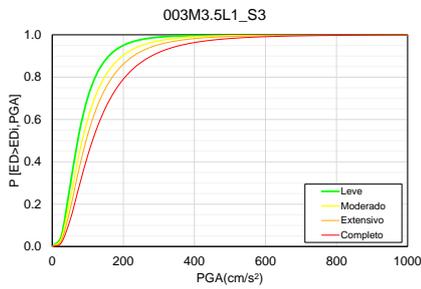
curvas de Fragilidad de viviendas de (a) 01 piso, (b) 02 pisos, (c) 03 pisos y (d) 04 pisos de densidad promedio de 3.5%, construidos con ladrillos solido (L1) y ladrillo Industrial tubular (L2) cimentado en suelo rígido S3.



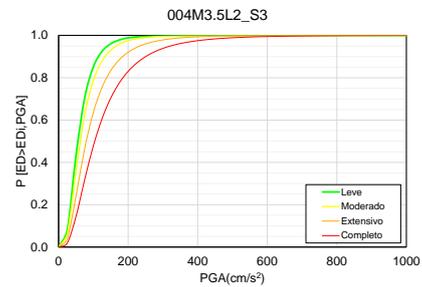
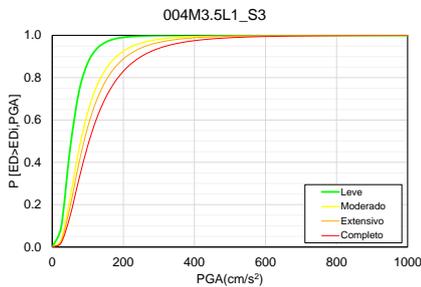
(a)



(b)



(c)



(d)