

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**ANÁLISIS DE LA EFICACIA DEL REFORZAMIENTO DE  
VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA USANDO  
MALLA DE ACERO Y MORTERO EN LIMA  
METROPOLITANA**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**LUIS FERNANDO LÓPEZ RAMIREZ**

**ASESOR**

**Dr. MIGUEL AUGUSTO DÍAZ FIGUEROA**

**Lima- Perú**

**2023**

© 2023, 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.”**

López Ramírez, Luis Fernando

lflopezr@uni.pe

958667099

## **DEDICATORIA**

A mi madre, Margarita Gladys Ramirez Rojas, por haberme hecho un hombre con valores y creyente en Dios. Por haber estado muy pendiente de este trabajo de investigación y haber sido una persona muy querida por su familia y amistades.

A mi padre Luis Fernando López Apaestegui, por cuidar siempre de su familia, a mi hermano Luis Leandro López Ramirez. Para ellos con mucho amor y cariño.

Luis Fernando López Ramirez

## **AGRADECIMIENTOS**

Especialmente a Dios y a su madre por haberme dado la sabiduría para poder culminar este trabajo de investigación. A mi asesor el Dr. Miguel Augusto Díaz Figueroa por sus valiosas contribuciones y exigencias para el desarrollo de esta tesis. A mi grupo de albañilería conformado por Erika Flores, Michel Amancio y Steven Roman por sus importantes aportes a este trabajo.

Finalmente, agradezco al Fondo Nacional de Desarrollo Científico Tecnológico y de innovación Tecnológica (FONDECYT) por financiar esta tesis, a los investigadores principales, asistentes de investigaciones y trabajadores de CISMID por la colaboración prestada, a todos ellos muchas gracias.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>15</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>31</b>
1.1. GENERALIDADES.....	31
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	31
1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	32
1.3.1. Objetivo general .....	32
1.3.2. Objetivos específicos.....	32
1.4. Antecedentes investigativos .....	33
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....</b>	<b>38</b>
2.1. ALBAÑILERÍA CONFINADA .....	38
2.2. REFORZAMIENTO DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CON MALLA ACERO Y MORTERO CEMENTO ARENA.....	38
2.3. ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO HISTORIA.....	39
2.4. MODELO SIMPLIFICADO DE MASAS CONCENTRADAS .....	39
2.5. REGISTROS SÍSMICOS.....	40
2.5.1. Espectro de respuesta.....	41
2.5.2. Escalamiento de registros sísmicos según norma E.030.....	41
2.6. CURVA DE CAPACIDAD TETRALINEAL .....	41
2.7. DISIPACIÓN DE ENERGÍA HISTERÉTICA .....	43
2.7.1. Lazo histerético .....	43
2.7.2. Modelo histerético tetra - lineal.....	44
2.8. FORMULACIONES PROPUESTAS PARA OBTENER LA CURVA DE CAPACIDAD DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA .....	45
2.8.1. Formulaciones para esfuerzo de corte promedio.....	46
2.8.2. Fuerza cortante de muros de albañilería confinada con reforzamiento de malla de acero y mortero cemento-arena. ....	48
2.8.3. Distorsiones representativas de los muros de albañilería confinada con reforzamiento y sin reforzamiento.....	49
2.9. NIVELES O ESTADOS DE DAÑO PROPUESTO .....	49

2.10.	PROGRAMA DE ANÁLISIS MDOF .....	50
2.11.	METRADOS, COSTOS Y PRESUPUESTO .....	52
2.11.1.	Metrados.....	52
2.11.2.	Costos .....	53
2.11.3.	Presupuesto.....	53
<b>CAPÍTULO III: DEMANDA SÍSMICA DEL ÁREA DE LIMA METROPOLITANA .....</b>		<b>54</b>
3.1.	DEMANDA SÍSMICA.....	54
3.1.1.	Escalamiento de registros .....	58
<b>CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS EXPUESTAS Y PROPUESTA PARA SU REFORZAMIENTO.....</b>		<b>61</b>
4.1.	SELECCIÓN DE VIVIENDAS REPRESENTATIVAS (TIPOLOGÍAS) .....	63
4.2.	CURVA DE CAPACIDAD DE LAS VIVIENDAS.....	65
4.2.1.	Dimensiones de los muros .....	66
4.2.2.	Propiedades de la albañilería .....	67
4.2.3.	Peso sísmico.....	68
4.2.4.	Curva de capacidad de viviendas sin reforzamiento .....	68
4.2.5.	Curva de capacidad de viviendas con reforzamiento.....	71
<b>CAPÍTULO V: COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA DE LAS VIVIENDAS EXPUESTAS .....</b>		<b>76</b>
5.1.	ÍNDICES DE DAÑO EN VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA... 76	
5.1.1.	Cálculo de índices de daño de una vivienda de albañilería. ....	77
5.2.	CÁLCULO DE ÍNDICES DE DAÑO DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA SIN REFORZAMIENTO.....	80
5.3.	CÁLCULO DE ÍNDICES DE DAÑO DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA CON REFORZAMIENTO.....	94
<b>CAPÍTULO VI: ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA Y COSTO DE REFORZAMIENTO .....</b>		<b>110</b>
6.1.	COSTO ACTUAL DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA ....	110
6.1.1.	Costo de la especialidad de estructuras .....	110
6.1.2.	Costo de la especialidad de arquitectura.....	113
6.2.	ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA .....	117
6.2.1.	Costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal.....	119
6.2.2.	Costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial .....	125

6.2.3. Costo de reparación de losas aligeradas y cimentación .....	130
6.3. PÉRDIDAS EN VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA.....	133
6.3.1. Pérdidas de una vivienda de albañilería confinada.....	133
6.3.2. Cálculo de pérdidas de la muestra representativa sin reforzamiento ....	145
6.4. COSTO DE REFORZAMIENTO CON MALLA DE ACERO Y MORTERO CEMENTO - ARENA.....	154
6.4.1. Costo de reforzamiento de una vivienda de albañilería confinada .....	158
6.4.2. Costo de reforzamiento de la muestra representativa con reforzamiento por ambas caras del muro .....	159
<b>CAPÍTULO VII: CURVAS DE DAÑO DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA.....</b>	<b>168</b>
7.1. CALIBRACIÓN DE CURVAS DE DAÑO .....	169
7.2. APLICACIÓN DE LAS CURVAS DE DAÑO .....	173
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>175</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>178</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>179</b>

## RESUMEN

Esta tesis se origina como resultado de los estudios de campo que viene realizando el CISMID – FIC – UNI, donde en el año 2019 determinan que el 83 % de las viviendas de Lima Metropolitana están construidos con albañilería. Siendo un gran porcentaje viviendas no ingenieriles que no fueron supervisados por un ingeniero durante su construcción, ni supervisadas en la calidad de materiales empleados, resultando viviendas muy vulnerables ante eventos sísmicos.

Se estudió la vulnerabilidad sísmica, la pérdida y la viabilidad de reforzamiento de catorce tipologías de viviendas de albañilería no ingenieriles de Lima Metropolitana con cinco diferentes densidades de muros. La tesis inicia con la búsqueda de investigaciones relacionadas al problema de estudio, la revisión del marco teórico y conceptual sobre el comportamiento no lineal de muros de albañilería confinada sin reforzamiento y con reforzamiento. Seguidamente, se realiza el escalamiento de registros sísmicos sobre suelo tipo S1 y S2. Cada registro fue escalado para seis demandas sísmicas de acuerdo con la tabla C2-1 del ASCE-41-13 y la norma E.030 Diseño Sismorresistente. Luego, se construyeron las curvas de capacidad de las viviendas de albañilería confinada sin reforzamiento y con reforzamiento por ambas caras de los muros de las tipologías en estudio, con formulaciones propuestas por Diaz et al (Diaz et al., 2019),(CISMID, 2020b),(Diaz et al., 2020). Observándose que la máxima resistencia cortante de muros construidos con ladrillos pandereta industrial se alcanza a menores deformaciones laterales respecto a los muros construidos con ladrillos sólido artesanal. Sin embargo, la diferencia de resistencias entre ellos no es significativa. Mientras que, los muros de las viviendas con el reforzamiento propuesto incrementan su resistencia cortante y capacidad de deformación lateral, tanto para las construidas con ladrillos sólido artesanal y pandereta industrial, pero en mayor medida los construidos con ladrillos sólido artesanal. Seguidamente, se define los índices de daño que es una normalización de la distorsión que transforma esta respuesta en números entre 0 y 5, permitiendo identificar rápidamente el piso más dañado en viviendas con diferente comportamiento no lineal en sus entrepisos. Luego, se realizan las simulaciones numéricas tiempo historia no lineal, sumando un total de 5880 simulaciones.



Además, se propone una metodología para la estimación de la pérdida y costo de reforzamiento de viviendas de albañilería, mediante análisis de costos unitarios, metrados, ecuaciones calibradas y los resultados de las simulaciones numéricas.

Así mismo, con los índices de daño obtenidos de las simulaciones numéricas y relaciones  $Q/W$  (capacidad – peso) de las tipologías sin reforzamiento y con reforzamiento analizadas, se obtienen curvas de daño que permiten determinar nivel de daño de viviendas ante diferentes demandas sísmicas.

Entre los principales resultados obtenidos se observan que las tipologías de viviendas de albañilería no ingenieriles sin reforzamiento analizadas no tienen la capacidad suficiente para soportar una demanda sísmica severo, mucho menos una demanda sísmica muy raro como el que se espera en Lima producto del silencio sísmico. Sin embargo, las viviendas con el reforzamiento propuesto disminuyen considerablemente su nivel de daño, evitando pérdidas materiales y humanas.

Además, los resultados de costo de reforzamiento de las tipologías en estudio varían entre un 13.78 % y 27.93 % del valor de la vivienda. Resultando una propuesta de reforzamiento estructural rápida y económicamente viable para viviendas de albañilería confinada.

Por último, se propone una metodología para estimar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada de forma rápida y masiva, mediante el uso de curvas de daño calibradas, conociendo solamente la geometría y propiedades de los materiales de la vivienda.

## ABSTRACT

This thesis appears due to field studies conducted by CISMID - FIC - UNI, which in 2019 determined that 83 % of dwellings in the Metropolitan Lima area are built with masonry. Being a significant percentage of non-engineered dwellings that were not supervised by an engineer during their construction and were not supervised in terms of the quality of materials used, resulting in dwellings that are very vulnerable to seismic events.

The seismic vulnerability, loss, and retrofitting feasibility of fourteen types of non-engineered masonry dwellings in the Metropolitan Lima area with five different wall densities were studied. The thesis begins with the search for investigations related to the study problem and the review of the theoretical and conceptual framework on the non-linear behavior of confined masonry walls without retrofitting and with retrofitting. Then, the amplifications of seismic records on soil types S1 and S2 are conducted. Each record was amplified for six seismic demands according to table C2-1 of ASCE-41-13 and the E.030 National Earthquake Resistant Standards. Then, the capacity curves of masonry confined dwellings without retrofitting and with retrofitting on both faces of the walls of the typologies under study were calculated, with formulations proposed by Diaz (Diaz et al., 2019),(CISMID, 2020b),(Diaz et al., 2020). Observing that the maximum shear resistance of walls built with industrial tubular bricks is reached at lower lateral deformations respect to walls built with handmade solid bricks. However, the resistance difference between then is not significant. While the walls of the dwellings with retrofitting increase their shear resistance and lateral deformation capacity, both for those built with handmade solid bricks and industrial tubular bricks, but greater in those built with handmade bricks. Then, the damage indices are defined, which is a normalization of the drift that transforms this response into numbers between 0 and 5, allowing one to quickly identify the most damaged floor in dwellings with different non-linear behaviors in their stories. Then, the numerical simulations of nonlinear history time are performed, conducting a total of 5880 simulations.

Then, a methodology is proposed for the estimation of the loss and retrofitting cost of masonry dwellings through the analysis of unit costs, quantities, calibrated equations, and the results of numerical simulations.

In addition, with the damage indices obtained from the numerical simulations and Q/W (capacity-weight) relationships of the studied typologies without retrofitting and with retrofitting, damage curves were obtained that allow determining the level of damage of dwellings under different seismic demands.

Among the main results obtained, it is observed that the non-engineering typologies of masonry dwellings studied do not have sufficient capacity to resist a severe seismic demand, much less a very rare seismic demand such as the one expected in Lima due to seismic silence. However, the level of damage of dwellings with the proposed retrofitting is reduced, preventing material and human losses.

In addition, the results of the retrofitting cost of the typologies under study vary between 13.78 % and 27.93 % of the dwelling value. Resulting in a fast and economically viable structural retrofitting proposal for confined masonry dwellings.

Finally, a methodology is proposed to estimate the seismic vulnerability of confined masonry dwellings quickly and massively through damage curves, knowing only the geometry and material properties of the dwelling.

## PRÓLOGO

Producto de la identificación de los diversos problemas en el área de albañilería, y como consecuencia de su predominancia como material empleado en la construcción de viviendas en Lima Metropolitana, surge este tema de investigación. En la cual se propone una técnica de reforzamiento de bajo costo y fácil implementación que permita salvaguardar las vidas de las personas ante un evento sísmico de gran intensidad.

En el presente trabajo, se estudia catorce tipologías de viviendas de albañilería no ingenieriles, con número de pisos entre uno y cinco niveles, variando la unidad de ladrillo en altura y con cinco diferentes densidades de muros 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4%, 4.0%. Para la obtención de la curva de capacidad de las viviendas sin reforzamiento y con reforzamiento, se emplearon ecuaciones calibradas con ensayos experimentales y modelos tetralineales. Observando que, las viviendas construidas con diferente unidad de ladrillos en la altura presentan una considerable reducción de la deformación lateral en el entrepiso donde ocurre el cambio de material. Mientras que, en las viviendas reforzadas desaparece este problema ya que las deformaciones laterales de los niveles son muy similares con el reforzamiento propuesto.

Se definió un indicador denominado índice de daño, que permite identificar el nivel de daño de una vivienda con diferente comportamiento no lineal en sus entresijos, mediante una conversión de la distorsión. Se realizaron un total de 5880 simulaciones con el análisis tiempo historia no lineal, para seis demandas sísmicas, y sobre dos tipos de suelo S1 y S2, con las respuestas se obtuvieron gráficos de las tipologías que indican como cambia el nivel de daño con la demanda sísmica y la densidad de muros, logrando observar la reducción del daño con el reforzamiento empleado.

Además, se propone una metodología para la estimación de pérdidas y costo de reforzamiento, obteniendo gráficos para las tipologías estudiadas que muestran como varían las pérdidas con la demanda sísmica y la densidad de muros y gráficos de variación del costo de reforzamiento respecto al valor de la vivienda.

Por último, se propone curvas de daño para determinar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería, así como también estimar la cantidad de reforzamiento necesario para alcanzar un nivel de daño objetivo.

Miguel Augusto Díaz Figueroa  
Asesor de la tesis

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla N° 1.</b> Parámetros histeréticos de muros de albañilería confinada sin reforzamiento y con reforzamiento con malla de acero y mortero cemento - arena 1:4. ....	45
<b>Tabla N° 2.</b> Coeficientes constantes de los puntos límites.....	47
<b>Tabla N° 3.</b> Valores de esfuerzo de corte promedio del reforzamiento con malla acero y mortero cemento - arena 1:4. ....	49
<b>Tabla N° 4.</b> Distorsiones representativas(x10-3). ....	49
<b>Tabla N° 5.</b> Demandas sísmicas para la zona 4. ....	54
<b>Tabla N° 6.</b> Registros sísmicos.....	54
<b>Tabla N° 7.</b> Magnitud y profundidad de los Sismos. ....	55
<b>Tabla N° 8.</b> PGA máximos de los registros sísmicos. ....	60
<b>Tabla N° 9.</b> Límites de distorsión de los niveles de daño.....	62
<b>Tabla N° 10.</b> Valor del índice de daño. ....	63
<b>Tabla N° 11.</b> Tipologías de viviendas de albañilería. ....	64
<b>Tabla N° 12.</b> Densidades de muros para cada tipología. ....	64
<b>Tabla N° 13.</b> Densidad de muros confinados en la dirección X.....	66
<b>Tabla N° 14.</b> Densidad de muros confinados en la dirección Y.....	66
<b>Tabla N° 15.</b> Altura de entrepiso.....	67
<b>Tabla N° 16.</b> Propiedades de la albañilería.....	67
<b>Tabla N° 17.</b> Propiedades de los materiales de los elementos de confinamiento.....	67
<b>Tabla N° 18.</b> Peso sísmico de cada nivel (ton/m2). ....	68
<b>Tabla N° 19.</b> Distorsión promedio ante un demanda sísmica leve y tipo de ladrillo de cada piso de la vivienda 003ML1.2L2_DM2.3%. ....	77
<b>Tabla N° 20.</b> Viviendas de Albañilería. ....	110
<b>Tabla N° 21.</b> Costo de los elementos de la especialidad de estructuras por m2 de Área Techada del primer piso.....	110
<b>Tabla N° 22.</b> Costo de los elementos de la especialidad de estructuras por m2 de área techada del piso típico.....	111
<b>Tabla N° 23.</b> Trabajos de acabados de la especialidad de arquitectura.....	113
<b>Tabla N° 24.</b> Costo de los elementos de la especialidad de arquitectura por m2 de área techada del primer piso. ....	113
<b>Tabla N° 25.</b> Costo de los elementos de la especialidad de arquitectura por m2 de área techada del piso típico.....	114

<b>Tabla N° 26.</b> Tipos de reparación en muros de albañilería confinada. ....	118
<b>Tabla N° 27.</b> Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE (I). ....	118
<b>Tabla N° 28.</b> Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE + ENCAMISADO (II).....	118
<b>Tabla N° 29.</b> Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE + ENCAMISADO ANCLADO (III).....	119
<b>Tabla N° 30.</b> Tipos de reparación para diferentes distorsiones en muros de albañilería confinada contruidos con ladrillos sólido artesanal...	120
<b>Tabla N° 31.</b> Costo de reparación por m2 para diferentes distorsiones de muros de albañilería confinada contruidos con ladrillos sólido artesanal. ....	124
<b>Tabla N° 32.</b> Parámetros $\epsilon, \lambda$ que definen la curva de costo de reparación de muros de albañilería confinada contruidos con ladrillos sólido artesanal. ....	125
<b>Tabla N° 33.</b> Tipo de reparación para diferentes distorsiones en muros de albañilería confinada contruidos con ladrillos pandereta industrial.....	126
<b>Tabla N° 34.</b> Costo de reparación por m2 para diferentes distorsiones de muros de albañilería confinada contruidos con ladrillos pandereta industrial.....	129
<b>Tabla N° 35.</b> Parámetros $\epsilon, \lambda$ que definen la curva de costo de reparación para muros de albañilería confinada contruidos con ladrillos pandereta industrial.....	130
<b>Tabla N° 36.</b> Tipos de reparación en losas aligeradas y cimentación. ....	130
<b>Tabla N° 37.</b> Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE EN LOSA DE TECHO (IV). ....	131
<b>Tabla N° 38.</b> Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE EN LA CIMENTACIÓN (V). ....	131
<b>Tabla N° 39.</b> Resumen de costos por m2 de área de techada de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3%. ....	135
<b>Tabla N° 40.</b> Distorsiones promedio de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para las seis demandas sísmicas. ....	135
<b>Tabla N° 41.</b> Cálculo de áreas de muros de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3%. ....	136

<b>Tabla N° 42.</b> Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica muy leve. ....	136
<b>Tabla N° 43.</b> Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica leve. ....	137
<b>Tabla N° 44.</b> Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica moderado. ....	137
<b>Tabla N° 45.</b> Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica severo. ....	137
<b>Tabla N° 46.</b> Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica raro. ....	138
<b>Tabla N° 47.</b> Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica muy raro. ....	138
<b>Tabla N° 48.</b> Longitudes de muros de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3%. ....	138
<b>Tabla N° 49.</b> Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para una demanda sísmica muy leve. ....	139
<b>Tabla N° 50.</b> Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para una demanda sísmica leve. ....	139
<b>Tabla N° 51.</b> Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para una demanda sísmica moderado. ....	139
<b>Tabla N° 52.</b> Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para una demanda sísmica severo. ....	140
<b>Tabla N° 53.</b> Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para una demanda sísmica raro. ....	140



<b>Tabla N° 54.</b> Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para una demanda sísmica muy raro.....	140
<b>Tabla N° 55.</b> Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica muy leve.....	141
<b>Tabla N° 56.</b> Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica leve. ....	141
<b>Tabla N° 57.</b> Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica moderado.....	141
<b>Tabla N° 58.</b> Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica severo. ....	142
<b>Tabla N° 59.</b> Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica raro. ....	142
<b>Tabla N° 60.</b> Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica muy raro.....	142
<b>Tabla N° 61.</b> Pérdidas de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica muy leve, leve y moderado. ....	143
<b>Tabla N° 62.</b> Pérdidas de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3% para la demanda sísmica severo, raro y muy raro. ....	144
<b>Tabla N° 63.</b> Costo de unitario reforzamiento con malla acero $\varnothing$ 4.7mm @0.20m y mortero cemento-arena 1:4 por ambas caras del muro.....	157
<b>Tabla N° 64.</b> Costo de reforzamiento con trabajos preliminares y de acabados. ....	158
<b>Tabla N° 65.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%....	159
<b>Tabla N° 66.</b> Parámetros que definen la curva de daño de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S1. ....	171
<b>Tabla N° 67.</b> Requerimientos de la relación Q/W para alcanzar un nivel de daño objetivo de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S1....	171

<b>Tabla N° 68.</b> Parámetros que definen la curva de daño de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S2. ....	171
<b>Tabla N° 69.</b> Requerimientos de la relación capacidad – peso mínimo para alcanzar un nivel de daño objetivo de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S2.....	172
<b>Tabla N° 70.</b> Estimación del nivel de daño de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6% con curvas de daño para una demanda sísmica muy raro sobre suelo tipo S1.....	173

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura N° 1.</b> Modelo simplificado de masas concentradas de una edificación de 3 pisos considerando un solo GDL de desplazamiento por piso. ....	40
<b>Figura N° 2.</b> Curva de Capacidad. ....	42
<b>Figura N° 3.</b> Lazo histerético de iguales amplitudes de desplazamiento. ....	43
<b>Figura N° 4.</b> Modelo histerético tetra-lineal.....	45
<b>Figura N° 5.</b> Modelo histerético tetra-lineal calibrado. ....	46
<b>Figura N° 6.</b> Muro de albañilería confinada reforzado por ambas caras con malla de acero y mortero cemento - arena. ....	48
<b>Figura N° 7.</b> Ingreso de propiedades no lineales de una vivienda en el programa MDOF. ....	50
<b>Figura N° 8.</b> Ingreso del registro sísmico en el programa MDOF2018.....	51
<b>Figura N° 9.</b> Ingreso de las características del registro en el programa MDOF2018.....	51
<b>Figura N° 10.</b> Archivo de salida resumen del programa MDOF. ....	52
<b>Figura N° 11.</b> Registro Normalizado Lima_17/Oct/1966, componente NS.....	55
<b>Figura N° 12.</b> Registro Normalizado Huaraz_31/May/1970, componente EO....	55
<b>Figura N° 13.</b> Registro Normalizado Lima_03/Oct/1974, componente EO. ....	55
<b>Figura N° 14.</b> Registro Normalizado Arequipa_23/Jun/2001, componente EO..	56
<b>Figura N° 15.</b> Registro Normalizado Pisco_15/Ago/2007, componente NS.....	56
<b>Figura N° 16.</b> Registro Normalizado Lagunas_26/May/2019, componente EO. 56	
<b>Figura N° 17.</b> Registro Normalizado Sintético, SATREPS, componente EO. ....	56
<b>Figura N° 18.</b> Espectros SRSS Normalizado de registros sobre suelo S1.....	57
<b>Figura N° 19.</b> Espectros SRSS Normalizado de registros sobre suelo S2.....	57
<b>Figura N° 20.</b> Escalamiento del registro para una demanda sísmica Muy Leve.59	
<b>Figura N° 21.</b> Escalamiento del registro para una demanda sísmica Leve. ....	59
<b>Figura N° 22.</b> Escalamiento del registro para una demanda sísmica Moderado. ....	59
<b>Figura N° 23.</b> Escalamiento del registro para una demanda sísmica Severo. ...	59
<b>Figura N° 24.</b> Escalamiento del registro para una demanda sísmica Raro. ....	59
<b>Figura N° 25.</b> Escalamiento del registro para una demanda sísmica Muy Raro.59	
<b>Figura N° 26.</b> Niveles de daño e índices de daño.....	61
<b>Figura N° 27.</b> Vista en planta de viviendas de albañilería no ingenieriles (CISMID 2019).....	64

<b>Figura N° 28.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 001ML1_DMX1.6%.....	69
<b>Figura N° 29.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 001ML2_DMX1.6%.....	69
<b>Figura N° 30.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 002M2L1_DMX1.6%.....	69
<b>Figura N° 31.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 002ML1.L2_DMX1.6%.....	69
<b>Figura N° 32.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 002M2L2_DMX1.6%.....	69
<b>Figura N° 33.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 003M2L1.L2_DMX1.6%.....	69
<b>Figura N° 34.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 003ML1.2L2_DMX1.6%.....	69
<b>Figura N° 35.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 003M3L2_DMX1.6%.....	69
<b>Figura N° 36.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 004M2L1.2L2_DMX1.6%.....	70
<b>Figura N° 37.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 004ML1.3L2_DMX1.6%.....	70
<b>Figura N° 38.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 004M4L2_DMX1.6%.....	70
<b>Figura N° 39.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 005M2L1.3L2_DMX1.6%.....	70
<b>Figura N° 40.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 005ML1.4L2_DMX1.6%.....	70
<b>Figura N° 41.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 005M5L2_DMX1.6%.....	70
<b>Figura N° 42.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 001ML1R2_DMX1.6%.....	71
<b>Figura N° 43.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 001ML2R2_DMX1.6%.....	71
<b>Figura N° 44.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 002M2L1R(2.2)_DMX1.6%..	71
<b>Figura N° 45.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 002ML1.L2R(2.2)_DMX1.6%.....	71
<b>Figura N° 46.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 002M2L2R(2.2)_DMX1.6%..	72
<b>Figura N° 47.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 003M2L1.L2R(2.2.2)_DMX1.6%.....	72
<b>Figura N° 48.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 003ML1.2L2R(2.2.2) _DMX1.6%.....	72
<b>Figura N° 49.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 003M3L2R(2.2.2)_DMX1.6%.....	72
<b>Figura N° 50.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 004M2L1.2L2R(2.2.2.2)_DMX1.6%.....	72
<b>Figura N° 51.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 004ML1.3L2R(2.2.2.2)_DMX1.6%.....	72
<b>Figura N° 52.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 004M4L2R(2.2.2.2)_DMX1.6%.....	72
<b>Figura N° 53.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 005M2L1.3L2R(2.2.2.2.2)_DMX1.6%.....	72

<b>Figura N° 54.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 005M1L1.4L2R(2.2.2.2.2)_DMX1.6%. .....	73
<b>Figura N° 55.</b> Curva de capacidad de la Vivienda 005M5L2R(2.2.2.2.2)_DMX1.6%. .....	73
<b>Figura N° 56.</b> Comparación de curvas de capacidad de una vivienda de un nivel construido con ladrillos sólido artesanal sin reforzamiento(001ML1) y con reforzamiento(001ML1R2). .....	74
<b>Figura N° 57.</b> Comparación de curvas de capacidad de una vivienda de un nivel construido con ladrillos pandereta industrial sin reforzamiento(001ML2) y con reforzamiento(001ML2R2). .....	74
<b>Figura N° 58.</b> Comparación de curvas de capacidad de una vivienda reforzada de un nivel construido con ladrillos pandereta industrial (001ML2R2) y ladrillos sólido artesanal (001ML2R2). .....	75
<b>Figura N° 59.</b> Distorsiones promedio de la vivienda 003ML1.2L2_DM2.3% ante una demanda sísmica leve.....	79
<b>Figura N° 60.</b> Índice de daño de la vivienda 003ML1.2L2_DM2.3% ante diferentes demandas sísmicas.....	79
<b>Figura N° 61.</b> Índices de daño de la vivienda 001ML1 sobre suelo S1.....	80
<b>Figura N° 62.</b> Índices de daño de la vivienda 001ML1 sobre suelo S2.....	81
<b>Figura N° 63.</b> Índices de daño de la vivienda 001ML2 sobre suelo S1.....	81
<b>Figura N° 64.</b> Índices de daño de la vivienda 001ML2 sobre suelo S2.....	82
<b>Figura N° 65.</b> Índices de daño de la vivienda 002M2L1 sobre Suelo S1.....	82
<b>Figura N° 66.</b> Índices de daño de la vivienda 002M2L1 sobre Suelo S2.....	83
<b>Figura N° 67.</b> Índices de daño de la vivienda 002M2L2 sobre suelo S1.....	83
<b>Figura N° 68.</b> Índices de daño de la vivienda 002M2L2 sobre Suelo S2.....	84
<b>Figura N° 69.</b> Índices de daño de la vivienda 002ML1.L2 sobre suelo S1.....	84
<b>Figura N° 70.</b> Índices de daño de la vivienda 002ML1.L2 sobre suelo S2.....	85
<b>Figura N° 71.</b> Índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2 sobre suelo S1.....	85
<b>Figura N° 72.</b> Índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2 sobre suelo S2.....	86
<b>Figura N° 73.</b> Índices de daño de la vivienda 003M3L2 sobre suelo S1.....	86
<b>Figura N° 74.</b> Índices de daño de la vivienda 003M3L2 sobre Suelo S2.....	87
<b>Figura N° 75.</b> Índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2 sobre suelo S1.....	87
<b>Figura N° 76.</b> Índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2 sobre suelo S2.....	88
<b>Figura N° 77.</b> Índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2 sobre suelo S1.....	88
<b>Figura N° 78.</b> Índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2 sobre suelo S2.....	89

<b>Figura N° 79.</b> Índices de daño de la vivienda 004M4L2 sobre Suelo S1. ....	89
<b>Figura N° 80.</b> Índices de la vivienda 004M4L2 sobre Suelo S2. ....	90
<b>Figura N° 81.</b> Índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2 sobre suelo S1. ....	90
<b>Figura N° 82.</b> Índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2 sobre suelo S2. ....	91
<b>Figura N° 83.</b> Índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2 sobre suelo S1. ....	91
<b>Figura N° 84.</b> Índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2 sobre suelo S2. ....	92
<b>Figura N° 85.</b> Índices de daño de la vivienda 005M5L2 sobre suelo S1. ....	92
<b>Figura N° 86.</b> Índices de daño de la vivienda 005M5L2 sobre suelo S2. ....	93
<b>Figura N° 87.</b> Índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2 sobre suelo S1. ....	93
<b>Figura N° 88.</b> Índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2 sobre suelo S2. ....	94
<b>Figura N° 89.</b> Índices de daño de la vivienda 001ML1R(2) sobre Suelo S1. ....	95
<b>Figura N° 90.</b> Índices de daño de la vivienda 001ML1R(2) sobre Suelo S2. ....	95
<b>Figura N° 91.</b> Índices de daño de la vivienda 001ML2R(2) sobre suelo S1. ....	96
<b>Figura N° 92.</b> Índices de daño de la vivienda 001ML2R(2) sobre Suelo S2. ....	96
<b>Figura N° 93.</b> Índices de daño de la vivienda 002M2L1R(2.2) sobre Suelo S1. ....	97
<b>Figura N° 94.</b> Índices de daño la vivienda 002M2L1R(2.2) sobre suelo S2. ....	97
<b>Figura N° 95.</b> Índices de daño de la vivienda 002M2L2R(2.2) sobre suelo S1. ....	98
<b>Figura N° 96.</b> Índices de daño de la vivienda 002M2L2R(2.2) sobre suelo S2. ....	98
<b>Figura N° 97.</b> Índices de daño de la vivienda 002ML1.L2R(2.2) sobre Suelo S1. ....	99
<b>Figura N° 98.</b> Índices de daño de la vivienda 002ML1.L2R(2.2) sobre suelo S2. ....	99
<b>Figura N° 99.</b> Índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2R(2.2.2) sobre suelo S1. ....	100
<b>Figura N° 100.</b> Índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2R(2.2.2) sobre suelo S2. ....	100
<b>Figura N° 101.</b> Índices de daño de la vivienda 003M3L2R(2.2.2) sobre suelo S1. ....	101
<b>Figura N° 102.</b> Índices de daño de la vivienda 003M3L2R(2.2.2) sobre suelo S2. ....	101
<b>Figura N° 103.</b> Índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2R(2.2.2) sobre suelo S1. ....	102
<b>Figura N° 104.</b> Índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2R(2.2.2) sobre suelo S2. ....	102

<b>Figura N° 105.</b> Índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1. ....	103
<b>Figura N° 106.</b> Índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2R(2.2.2.2) sobre suelo S2. ....	103
<b>Figura N° 107.</b> Índices de daño de la vivienda 004M4L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1. ....	104
<b>Figura N° 108.</b> Índices de daño de la vivienda 004M4L2R(2.2.2.2) sobre suelo S2. ....	104
<b>Figura N° 109.</b> Índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1. ....	105
<b>Figura N° 110.</b> Índices de la vivienda 004ML1.3L2R(2.2.2.2) sobre Suelo S2.	105
<b>Figura N° 111.</b> Índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S1.....	106
<b>Figura N° 112.</b> Índices de la vivienda 005M2L1.3L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S2.....	106
<b>Figura N° 113.</b> Índices de daño de la vivienda 005M5L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S1. ....	107
<b>Figura N° 114.</b> Índices de daño de la vivienda 005M5L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S2. ....	107
<b>Figura N° 115.</b> Índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S1. ....	108
<b>Figura N° 116.</b> Índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S2. ....	108
<b>Figura N° 117.</b> Respuestas de las tipologías sin reforzamiento sobre suelo tipo S1. ....	109
<b>Figura N° 118.</b> Respuestas de las tipologías con reforzamiento sobre suelo tipo S1. ....	109
<b>Figura N° 119.</b> Respuestas de las tipologías sin reforzamiento sobre suelo tipo S2. ....	109
<b>Figura N° 120.</b> Respuestas de las tipologías con reforzamiento sobre suelo tipo S2. ....	109
<b>Figura N° 121.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/4200. ....	120
<b>Figura N° 122.</b> Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/4200. ....	120

<b>Figura N° 123.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/3000. ....	121
<b>Figura N° 124.</b> Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/3000. ....	121
<b>Figura N° 125.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/2150. ....	121
<b>Figura N° 126.</b> Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/2150. ....	121
<b>Figura N° 127.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/1500. ....	121
<b>Figura N° 128.</b> Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/1500. ....	121
<b>Figura N° 129.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/1000. ....	122
<b>Figura N° 130.</b> Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/1000. ....	122
<b>Figura N° 131.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/800. ....	122
<b>Figura N° 132.</b> Reparación Tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/800. ....	122
<b>Figura N° 133.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/550. ....	122
<b>Figura N° 134.</b> Reparación tipo II en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/550. ....	122
<b>Figura N° 135.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/400. ....	123
<b>Figura N° 136.</b> Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/400. ....	123
<b>Figura N° 137.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/300. ....	123
<b>Figura N° 138.</b> Reparación tipo III en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/300. ....	123
<b>Figura N° 139.</b> Curva de costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal. ....	125



<b>Figura N° 140.</b> Ningún agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/4200.....	126
<b>Figura N° 141.</b> Ninguna reparación en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/4200.....	126
<b>Figura N° 142.</b> Ningún agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/3000.....	127
<b>Figura N° 143.</b> Ninguna reparación en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/3000.....	127
<b>Figura N° 144.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/2150.....	127
<b>Figura N° 145.</b> Reparación Tipo II en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/2150.....	127
<b>Figura N° 146.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/1500.....	127
<b>Figura N° 147.</b> Reparación Tipo II en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/1500.....	127
<b>Figura N° 148.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/1000.....	128
<b>Figura N° 149.</b> Reparación Tipo III en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/1000.....	128
<b>Figura N° 150.</b> Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/800.....	128
<b>Figura N° 151.</b> Reparación Tipo III en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/800.....	128
<b>Figura N° 152.</b> Curva de costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial. ....	130
<b>Figura N° 153.</b> Curva de pérdidas de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%_DMY3.3%.....	145
<b>Figura N° 154.</b> Pérdidas de la vivienda 001ML1 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. ....	146
<b>Figura N° 155.</b> Pérdidas de la vivienda 001ML2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. ....	146
<b>Figura N° 156.</b> Pérdidas de la vivienda 002M2L1 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. ....	147

<b>Figura N° 157.</b> Pérdidas de la vivienda 002M2L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	147
<b>Figura N° 158.</b> Pérdidas de la vivienda 002ML1.L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%. .....	148
<b>Figura N° 159.</b> Pérdidas de la vivienda 003M2L1.L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	148
<b>Figura N° 160.</b> Pérdidas de la vivienda 003M3L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	149
<b>Figura N° 161.</b> Pérdidas de la vivienda 003ML1.2L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%. .....	149
<b>Figura N° 162.</b> Pérdidas de la vivienda 004M2L1.L2 con densidad de muros en la dirección X 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	150
<b>Figura N° 163.</b> Pérdidas de la vivienda 004M4L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	150
<b>Figura N° 164.</b> Pérdidas de la vivienda 004ML1.3L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%. .....	151
<b>Figura N° 165.</b> Pérdidas de la vivienda 005M2L1.3L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%. .....	151
<b>Figura N° 166.</b> Pérdidas de la vivienda 005M5L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	152
<b>Figura N° 167.</b> Pérdidas de la vivienda 005ML1.4L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	152
<b>Figura N° 168.</b> Porcentaje de viviendas sin reforzamiento con 100% de pérdidas.....	153
<b>Figura N° 169.</b> Corte y habilitación de varillas acero $\varnothing$ 4.7mm. ....	154
<b>Figura N° 170.</b> Tejido de la malla de acero $\varnothing$ 4.7mm con alambre N°16. ....	154
<b>Figura N° 171.</b> Perforación de base con broca 5/16" para instalación de dowels de $\varnothing$ 6mm.....	154
<b>Figura N° 172.</b> Colocación de epóxico para anclaje de dowels de $\varnothing$ 6mm a base.....	154
<b>Figura N° 173.</b> Instalación de dowels de $\varnothing$ 6mm en base del muro. ....	155
<b>Figura N° 174.</b> Instalación de dowels de $\varnothing$ 6mm en viga de concreto. ....	155
<b>Figura N° 175.</b> Perforación de columnas de concreto con broca 5/32" para instalación de alcayatas de $\varnothing$ 2 1/2".....	155

<b>Figura N° 176.</b> Instalación de alcayatas de $\varnothing 2 \frac{1}{2}$ " a presión en columnas de columnas de concreto.....	155
<b>Figura N° 177.</b> Perforación de muro de albañilería con broca 3/16" para instalación de alambre N°8.....	155
<b>Figura N° 178.</b> Orificio en muro de albañilería con broca 3/16" para instalación de alambre N°8.....	155
<b>Figura N° 179.</b> Instalación de alambre N°8 para fijación de malla de acero al muro de albañilería.....	156
<b>Figura N° 180.</b> Fijación de malla de acero al muro de albañilería con Alambre N°8 y crucetas de 10mm.....	156
<b>Figura N° 181.</b> Verificación de espesor de reforzamiento con reglas de aluminio.....	156
<b>Figura N° 182.</b> Humedecimiento de muro de albañilería con agua para tarrajeo.....	156
<b>Figura N° 183.</b> Tarrajeo de muro de albañilería confinada con mortero de reforzamiento cemento- arena 1:4.....	156
<b>Figura N° 184.</b> Acabado del reforzamiento de muro de albañilería confinada.	156
<b>Figura N° 185.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 001ML1R(2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.....	160
<b>Figura N° 186.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 001ML2R(2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.....	160
<b>Figura N° 187.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 002M2L1R(2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.....	161
<b>Figura N° 188.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 002M2L2R(2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.....	161
<b>Figura N° 189.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 002ML1.L2R(2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.....	162
<b>Figura N° 190.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 003M2L1.L2R(2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.....	162

<b>Figura N° 191.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 003M3L2R(2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	163
<b>Figura N° 192.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 003ML1.2L2R(2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	163
<b>Figura N° 193.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 004M2L1.2L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%. .....	164
<b>Figura N° 194.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 004M4L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	164
<b>Figura N° 195.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 004ML1.3L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	165
<b>Figura N° 196.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 005M2L1.3L2R(2,2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	165
<b>Figura N° 197.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 005M5L2R(2,2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	166
<b>Figura N° 198.</b> Costo de reforzamiento de la vivienda 005ML1.4L2R(2,2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. .....	166
<b>Figura N° 199.</b> Costo de reforzamiento promedio de las tipologías sin reforzamiento.....	167
<b>Figura N° 200.</b> Tendencia de las respuestas mediante la correlación del índice de daño y la relación Q/W de la vivienda sobre suelo tipo S1. ....	168
<b>Figura N° 201.</b> Tendencia de las respuestas mediante la correlación del índice de daño y la relación Q/W de la vivienda sobre suelo tipo S2. ....	169
<b>Figura N° 202.</b> Curvas de ajuste de las repuestas de todas las viviendas para seis demandas sísmicas sobre suelo tipo S1.....	170

<b>Figura N° 203.</b> Curvas de ajuste de las repuestas de todas las viviendas para seis demandas sísmicas sobre suelo tipo S2.....	170
<b>Figura N° 204.</b> Curvas de daño de las tipologías estudiadas para seis demandas sísmicas sobre suelo tipo S1 y S2.....	172
<b>Figura N° 205.</b> Estimación del nivel de daño de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6% con las curvas de daño propuestas. ....	174

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### LISTA DE SÍMBOLOS

- $a_t$  : Área transversal del refuerzo en tensión de la columna de confinamiento.
- $a_w$  : Área transversal del refuerzo lateral de la columna de confinamiento.
- $A$  : Punto de agrietamiento.
- $Acim$  : Área en planta de cimentación
- $ART$  : Ladrillo sólido artesanal.
- $b_0$  : Parámetro de control de la degradación de rigidez.
- $b_1$  : Parámetro de control de la degradación de rigidez por el efecto pinching.
- $b_2$  : Parámetro de control del incremento de rigidez por endurecimiento.
- $c_i$  : Coeficiente de amortiguamiento viscoso del nivel  $i$ .
- $C$  : Factor de amplificación sísmica.
- $C.A.T$  : Costo de la especialidad de arquitectura del piso típico por m<sup>2</sup> de área techada.
- $C.A.1$  : Costo de la especialidad de arquitectura del primer piso por m<sup>2</sup> de área techada.
- $C.D$  : Curva de daño.
- $C.E.1$  : Costo de la especialidad de estructuras del primer piso por m<sup>2</sup> de área techada.
- $CO$  : Límite de distorsión para el nivel de daño COLAPSO.
- $C.R$  : Costo de reparación.
- $CRC$  : Costo de reparación en cimentación.
- $CRF$  : Costo de reforzamiento
- $CRL$  : Costo de reparación en losas aligeradas.
- $C.E.T$  : Costo de la especialidad de estructuras del piso típico por m<sup>2</sup> de área techada.
- $C_D$  : Matriz de coeficientes de amortiguamiento.
- $C_i$  : Degradación de resistencia del nivel  $i$ .
- $d_A$  : Desplazamiento en el punto de agrietamiento.
- $d_{max}$  : Desplazamiento en el punto Máximo.

- $d_{Ult}$  : Desplazamiento en el punto Último.
- $d_Y$  : Desplazamiento en el punto de fluencia.
- $Dindex$**  : Índice de daño.
- $Dx$  : Densidad de muros en la dirección X.
- $Dy$  : Densidad de muros en la dirección Y.
- $E$  : Energía potencial máxima disipada en un ciclo.
- $f'c$  : Esfuerzo de compresión del concreto.
- $f'm$  : Esfuerzo de compresión axial de pilas de albañilería.
- $fy$  : Esfuerzo de fluencia del refuerzo.
- $F$  : Fuerza cortante del muro reforzado.
- $F_s(V)$  : Vector de fuerzas restauradoras dependientes de los desplazamientos relativos.
- $EX$**  : Límite de distorsión para el nivel de daño EXTENSIVO.
- $h$  : Razón de amortiguamiento equivalente en el estado estacionario.
- $st h_{eq}$  : Razón de amortiguamiento equivalente en el estado estacionario resonante.
- $H_t$  : Altura de entrepiso del piso típico.
- $H_{1er}$  : Altura de entrepiso del primer piso.
- $J$  : Vector unitario dependiente de la dirección de análisis.
- $k_i$  : Rigidez lateral del nivel i.
- $K_0$  : Rigidez elástica.
- $K_1$  : Rigidez entre el punto de agrietamiento y fluencia.
- $K_2$  : Rigidez luego de la fluencia.
- $K_3$  : Rigidez luego de la fuerza máxima.
- $K_{eq}$  : Rigidez equivalente.
- $L$  : Longitud del muro.
- $L1$**  : Nivel construido con ladrillos sólido artesanal.
- $L2$**  : Nivel construido con ladrillos pandereta industrial.
- $Le$**  : Longitud efectiva del muro.
- $LV$**  : Límite de distorsión para el nivel de daño LEVE.
- $L_x$  : Longitud de muros en la dirección X en metros del nivel.
- $L_y$  : Longitud de muros en la dirección Y en metros del nivel.

- $m_i$  : Masas sísmicas del nivel i.
- $M$  : Matriz de masa sísmica.
- $Max$  : Punto máximo.
- $MD$  : Límite de distorsión para el nivel de daño MODERADO.
- $ND$  : Límite de distorsión para el nivel NO DAÑO.
- $n$  : Número de pisos.
- $n_R$  : Número de caras reforzadas.
- $p$  : Frecuencia de la excitación externa.
- $P_t$  : Cuantía de acero longitudinal.
- $P_{we}$  : Cuantía de acero transversal.
- $Q_A$  : Fuerza restauradora en el punto de agrietamiento.
- $Q_{max}$  : Fuerza restauradora en el punto Máximo.
- $Q_{Ult}$  : Fuerza restauradora en el punto Último.
- $Q_Y$  : Fuerza restauradora en el punto de fluencia.
- $Q_{max}$  : Fuerza restauradora en la amplitud pico máxima de desplazamiento del lazo.
- $Q_{min}$  : Fuerza restauradora en la amplitud pico mínima de desplazamiento del lazo.
- $R$  : Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas.
- $R2$  : Reforzamiento por ambas caras del muro.
- $S$  : Factor de amplificación del suelo.
- $S1$  : Roca o Suelos Muy Rígidos.
- $S2$  : Suelos Intermedios.
- $sep$  : Espaciamiento entre estribos.
- $t$  : Espesor del muro del muro sin reforzamiento.
- $t_R$  : Espesor del reforzamiento.
- $T$  : Periodo fundamental de la estructura.
- $TUB$  : Ladrillo pandereta industrial.
- $U$  : Factor de uso o importancia.
- $\ddot{U}_g(t)$  : Vector de aceleraciones del terreno.
- $Ult$  : Punto último.
- $v'm$  : Esfuerzo de corte característico de la albañilería.



- $v_i$  : Desplazamiento horizontal del nivel  $i$ .
- $\dot{V}$  : Vector de velocidades relativas de los pisos.
- $\ddot{V}$  : Vector de aceleraciones relativas de los pisos.
- $W$  : Peso de la estructura.
- $Y$  : Punto de fluencia.
- $Z$  : Factor de zona.
- $\beta_i$  : Coeficientes constantes cuyos valores dependen del punto límite.
- $\delta_{max}$  : Amplitud pico máxima de desplazamiento del lazo.
- $\delta_{min}$  : Amplitud pico mínima de desplazamiento del lazo.
- $\Delta E$  : Energía histerética disipada en un ciclo.
- $\varepsilon$  : Constante adimensional que define la curva de costo de reparación.
- $\lambda$  : Constante adimensional que define la curva de costo de reparación.
- $\mu$  : Factor de ductilidad.
- $\sigma_0$  : Esfuerzo axial de compresión en el muro.
- $\sigma_{wy}$  : Esfuerzo de fluencia del refuerzo transversal de la columna de confinamiento.
- $\sigma_y$  : Esfuerzo de fluencia del acero longitudinal de la columna de confinamiento.
- $\tau$  : Esfuerzo de corte promedio del punto límite del muro sin reforzamiento.
- $\tau_R$  : Esfuerzo de corte promedio del reforzamiento.
- $\omega$  : Frecuencia natural.

## LISTA DE SIGLAS

<b>APU</b>	: Análisis de precios unitarios.
<b>ASCE</b>	: American Society of Civil Engineers.
<b>CISMID</b>	: Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
<b>FIC</b>	: Facultad de Ingeniería Civil.
<b>GDL</b>	: Grado de libertad.
<b>IGV</b>	: Impuesto General a las ventas.
<b>INEI</b>	: Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú.
<b>MDOF</b>	: Multiple degree of freedom.
<b>N.T.P</b>	: Norma Técnica Peruana.
<b>PGA</b>	: Peak ground acelerarían.
<b>REDACIS</b>	: Red Acelerográfica del CISMID.
<b>SDOF</b>	: Single degree of freedom.
<b>SRSS</b>	: Square Root of the Sum of the Squares Method.
<b>UNI</b>	: Universidad Nacional de Ingeniería.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. GENERALIDADES**

Los sismos son movimientos bruscos del suelo ocasionados principalmente por la liberación de energía acumulada producto del deslizamiento entre placas. Los sismos se originan en el interior de la tierra y se propagan en todas las direcciones, su origen puede ser tectónico (deslizamiento entre placas tectónicas), volcánico (erupción volcánica), por deslizamiento (activación de una falla geológica por deslizamiento de una masa de suelo) y por una explosión fuerte. Los sismos son recurrentes y suceden por los mismos lugares. Mientras más largo sea el periodo sin actividad sísmica del lugar, mayor será la cantidad de energía liberada produciendo mayores aceleraciones en la superficie.

La región del Cinturón del Pacífico es la zona que presenta la mayor cantidad de actividad sísmica en el mundo, los sismos de gran intensidad en esta región son frecuentes y muestran claramente que una estructura con diseño sísmico insuficiente puede provocar pérdidas de vidas humanas y económicas. Por lo tanto, cuando una estructura es vulnerable ante sismos, es necesario incrementar su capacidad sísmica con alguna técnica de reforzamiento para reducir su nivel de daño, salvaguardar la vida de las personas y su inversión monetaria.

Existen diversas técnicas de reforzamiento para incrementar la capacidad sísmica de una estructura, para el caso de viviendas de albañilería usualmente se refuerza con la inserción de muros concreto armado, columnas de concreto armado y nuevos muros confinados, resultando muchas veces muy costosos e impactando por mucho tiempo la funcionalidad de la vivienda. En cambio, esta tesis estudia el reforzamiento con malla de acero y mortero que ha venido siendo estudiado por el CISMID - FIC - UNI, tanto en el incremento de la capacidad sísmica como en su fácil implementación constructiva (Díaz et al., 2017).

### **1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El acelerado crecimiento poblacional en Lima Metropolitana producto de la migración campo ciudad, conlleva a la necesidad de más viviendas para los nuevos habitantes de Lima, siendo la mayoría de estas construcciones nuevas informales, no pertenecen a ningún ordenamiento territorial ni han sido supervisados por un profesional, tanto en su construcción como en la calidad de los materiales empleados, resultando viviendas con alta vulnerabilidad ante

sismos. Actualmente, la albañilería confinada es el sistema estructural predominante de las viviendas de Lima metropolitana y el Callao, según los últimos estudios de campo realizados por CISMID - FIC - UNI (Díaz, 2019).

Además, producto del avance en el análisis y diseño sismorresistente de las estructuras e investigaciones realizadas sobre las viviendas de albañilería confinada que muestran su alto grado de vulnerabilidad (R. Salinas & Lazares, 2008), (Díaz, 2020), (Flores, 2020). La necesidad de su reforzamiento y evaluación económica son de urgencia inmediata, ya que Lima está ubicado en una zona de alta intensidad sísmica (Zavala et al., 2012), (Zavala & Proaño, 2003).

La técnica de reforzamiento que estudia esta tesis está compuesta por malla de acero y mortero cemento - arena. La malla de acero es fijada a los elementos de borde del muro de albañilería con alcayatas colocadas a presión y bastones de transferencia, en el mortero de asentado de ladrillos con alcayatas colocadas a presión si el muro es reforzado por una sola cara y mediante alambre negro si el muro es reforzado por ambas caras. Esta técnica de reforzamiento ha venido siendo estudiada por CISMID - FIC - UNI, mostrando un gran incremento en la capacidad sísmica de los muros de albañilería tanto en resistencia, rigidez y ductilidad (Díaz et al., 2017). Además, por ser una técnica de fácil implementación y de bajo costo, es una alternativa de reforzamiento económicamente viable para las familias de bajos ingresos.

### **1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Analizar la eficacia del reforzamiento con malla de acero y mortero cemento arena en tipologías de viviendas de albañilería confinada en Lima Metropolitana.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la respuesta sísmica de tipologías de viviendas de albañilería confinada sin reforzamiento y con reforzamiento.
- Determinar índices para estandarizar el nivel de daño en términos de la distorsión por tipo de unidad de albañilería para cada entrepiso.
- Establecer la fragilidad de tipologías de viviendas de albañilería confinada sin y con reforzamiento.

- Determinar la relación del costo de reforzamiento en términos del nivel daño.
- Determinar la viabilidad económica de reforzamiento con malla de acero y mortero cemento arena de tipologías de viviendas de albañilería confinada.

#### 1.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

- (Zavala et al., 2004), en su publicación “Ensayo cíclico lateral a escala real de una vivienda de albañilería de dos niveles construidos con ladrillos sólidos artesanales”, menciona que las unidades de ladrillo más usado para la construcción de viviendas en las áreas en desarrollo del Perú son los ladrillos sólidos artesanales, los cuales no cumplen con los requisitos de resistencia establecidos por la norma E.070 Albañilería. Con la finalidad de evaluar este tipo de viviendas, Zavala realizó un ensayo a escala real de una vivienda de albañilería construida con ladrillos sólidos artesanales. Esta vivienda fue construida con los requerimientos de densidad mínima de muros y control del proceso constructivo, dentro de lo posible, establecido por la norma E.070, se emplearon tres actuadores hidráulicos, dos en el segundo piso de la vivienda y uno en el primer piso para reproducir el patrón de cargas laterales originadas por un sismo correspondiente al primer modo de vibración de la estructura.

Durante el ensayo la vivienda experimentó deslizamiento de la base y torsión en planta en el primer y segundo entrepiso, la corrección debido al deslizamiento fue mediante la obtención del coeficiente de fricción estático y la historia de los desplazamientos de la base medidos con transductores. Los efectos de torsión fueron evidenciados en las gráficas experimentales, mostrando amplitudes de desplazamiento muy diferentes para el sentido positivo y negativo correspondientes a una misma carga lateral objetivo, además el grado de agrietamiento del lado sur de la vivienda fue mayor al del lado norte. Sin embargo, la vivienda alcanzó una distorsión mayor a la distorsión límite establecida por la norma E.070, mostrando un buen comportamiento sísmico, a pesar de haber sido construido con ladrillos sólidos artesanales.

- (R. Salinas & Lazares, 2008), en su publicación “Comportamiento sísmico de viviendas de albañilería confinada con ladrillos pandereta en áreas en desarrollo”, mencionan que existen una gran cantidad de viviendas de

albañilería ubicadas en las afueras de las zonas urbanas de los distintos distritos de Lima Metropolitana construidas con ladrillos pandereta, principalmente debido a su bajo costo y a la falta de asesoramiento profesional a los pobladores que buscan construir una vivienda, por lo que este tipo de viviendas se extendió masivamente. Aunque este tipo de ladrillo originalmente fue destinado para usarse como muro divisorio, se usó como muro portante. Además, mencionan que siendo el Perú un país altamente propenso a sismos debido a su ubicación en el Cinturón Sísmico del Pacífico, es necesario el estudio de este tipo de viviendas frente a sismos.

Ellos realizaron el estudio de viviendas de albañilería confinada con dos tipos de ladrillos pandereta industrial y pandereta artesanal, mediante análisis no lineal tiempo historia de viviendas con diferentes números de pisos, densidades de muros, áreas en planta y considerando una configuración regular ante una demanda de sismo severo, con curvas de capacidad de muros obtenidos de la calibración de resultados experimentales realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID. Llegaron a obtener resultados para viviendas de 4 pisos con densidades de muros de 4% y 6% distorsiones mayores al umbral propuesto para el ladrillo pandereta, 0.0025 obtenido de resultados experimentales, mientras que para viviendas de 2 pisos con una densidad de muros de 2% la respuesta también supera este límite de distorsión y para viviendas de 2 pisos con una densidad de muros de 4% la respuesta es menor que límite por poco. Sin embargo, mencionan que, al no haberse considerado los efectos de irregularidades en el análisis, los resultados en los casos de viviendas irregulares podrían superar el límite de distorsión propuesto.

- (Zavala et al., 2014), en su artículo sobre “Comparación del comportamiento cíclico de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta y sólido”, menciona que en el Perú el sistema estructural más usado es la albañilería confinada ya que luego del sismo de Lima 1940 las estructuras construidas con este tipo de sistema no colapsaron, mientras que las de adobe colapsaron. Sin embargo, a partir de 1990 debido al alto costo de los ladrillos ingenieriles por parte de las industrias, la población comenzó a emplear masivamente los ladrillos

pandereta como muros portantes, cuando su función principal es la de muros divisorios. Con la finalidad de mostrar su bajo comportamiento sísmico ante la demanda sísmica de la norma E.030 Diseño Sismorresistente, realizaron un ensayo cíclico a escala real de estos muros y fueron comparados con resultados de ensayos anteriores de muros de albañilería no ingenieriles e ingenieriles realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID – FIC – UNI.

El muro albañilería confinada fue construido reproduciendo, en lo posible, la construcción de un muro en un sitio real, durante el ensayo se emplearon 4 gatas hidráulicas, dos gatas para la carga vertical y dos gatas para la carga horizontal. Los resultados experimentales mostraron que el espécimen construido con ladrillos pandereta desarrollo un esfuerzo máximo menor que el resto de los muros y una distorsión correspondiente al esfuerzo máximo menor al establecido por la norma E.030. En cambio, el muro construido con ladrillos sólido industrial es el que alcanzo el mayor esfuerzo cortante máximo de los muros analizados y una distorsión correspondiente al esfuerzo máximo similar al establecido por la norma E.030.

- (Díaz et al., 2017), en su artículo “Estudio experimental de muros de albañilería confinada no ingenieriles reforzadas con malla corrugada y mortero cemento – arena”, menciona que las viviendas no ingenieriles de albañilería confinada representa el 60% de las viviendas de Lima, según el instituto nacional de estadística e informática del Perú (INEI), además que estas viviendas son altamente vulnerables frente a sismos debido a que no fueron diseñados de acuerdo con criterios de diseño sismorresistente ni supervisados en su proceso constructivo por profesionales del área. Por lo tanto, es deseable brindar técnicas de reforzamiento de bajo costo las cuales requieren proceso constructivo de baja complejidad que mejoren la capacidad sísmica de las viviendas de albañilería confinada, especialmente para los sectores económicos de bajos recursos.

Asimismo, propone una técnica de reforzamiento que, mediante ensayos de carga cíclica lateral para el estudio del comportamiento inelástico de muros de albañilería confinada reforzadas con malla de acero y mortero

cemento-arena, muestran que la fuerza y ductilidad pueden ser significativamente incrementadas, mejorando el comportamiento sísmico de muros de albañilería confinada. Además, realizo simulaciones numéricas de una vivienda de dos pisos tanto para el caso sin reforzamiento como el caso con el reforzamiento propuesto ante una demanda de sismo severo, mostrando que para el primer caso la vivienda supera el límite de distorsión establecido por la norma E.030 Diseño Sismorresistente para sistemas estructurales de albañilería, mientras que, para el segundo caso, la misma vivienda reforzada no supera este límite. Señalando por último que el objetivo de desempeño de la vivienda paso al nivel de seguridad de vida, por lo que esta técnica es una muy buena alternativa de reforzamiento para el caso de las viviendas no ingenieriles ubicadas en los sectores económicos de bajos recursos.

- (Zavala et al., 2019), en su publicación “Estados límites de daño para muros de albañilería confinada basado en ensayos experimentales”, menciona que las viviendas de albañilería no ingenieriles representan el 83% de las viviendas de las áreas emergentes de la ciudad de Lima, de acuerdo con estudios de riesgo sísmico realizados por CISMID desde el año 2010, indicando que estas viviendas son altamente vulnerables debido a su ubicación, más aún, las ubicadas en laderas de cerros o suelos no competentes, y que además los muros de estas viviendas carecen de elementos de confinamiento.

Asimismo, menciona que las viviendas son construidas con ladrillos no apropiados, que no pueden llegar a alcanzar la distorsión límite establecido por la norma E.030 Diseño Sismorresistente para sistemas estructurales de albañilería, esta afirmación está basada en el estudio de los resultados experimentales de 33 años de ensayos realizados en el Laboratorio de estructuras del CISMID – FIC - UNI. Propone nuevos límites de distorsión para muros construidos con ladrillos sólido industrial, sólido artesanal y pandereta industrial, los cuales son menores a la distorsión límite establecido por la norma E.030. Por último, establece umbrales de distorsión para los diferentes estados límites de muros de albañilería confinada mediante el estudio del comportamiento inelástico y curvas de capacidad respectivas, obtenidas del procesamiento de data de los



resultados experimentales. Estos umbrales indican el grado de fisuraron y nivel de desempeño de las viviendas.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1. ALBAÑILERÍA CONFINADA**

Es un sistema de construcción donde las fuerzas de gravedad y sísmicas son resistidas por muros compuestos por unidades de ladrillos, unidos con mortero de cemento - arena, confinados verticalmente por columnas de concreto y horizontalmente por vigas de concreto. Este sistema tiene la ventaja de ser más económico y rápido constructivamente que un muro de concreto armado. Sin embargo, su resistencia, rigidez y ductilidad es mucho menor. Existen diversos tipos de muros de albañilería confinada cuyas propiedades sismorresistentes dependen de la unidad de ladrillo, mortero, refuerzo y resistencia de los elementos de empleados. Entre las unidades actualmente más usadas están el ladrillo sólido artesanal, pandereta industrial y sólido industrial (SENCICO, 2006).

### **2.2. REFORZAMIENTO DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CON MALLA ACERO Y MORTERO CEMENTO ARENA**

El reforzamiento con malla de acero y mortero cemento – arena en viviendas de albañilería confinada es una alternativa de solución económica, rápida y sin complejidad constructiva. Se ha observado a través de los resultados experimentales que los muros de albañilería confinada, con este reforzamiento incrementan su capacidad sísmica tanto en rigidez, resistencia y ductilidad. Así como también, la capacidad de disipar energía de histerética.

La condición para su implementación es que exista una suficiente longitud de muros en la dirección a reforzar, los muros pueden tener aberturas de ventanas y puertas, pero el incremento de la capacidad será menor a la de un muro sin aberturas. El reforzamiento puede ser por ambas caras del muro o por una sola cara, cuando el reforzamiento es por ambas caras, se fijará horizontalmente la malla de acero al muro con alambre negro N°8 (4.20mm) atravesando la junta de mortero del asentado, con alcayatas 2 ½” colocadas a presión en las columnas de confinamiento y verticalmente con varillas de acero de 6mm embebidas en la cimentación y viga de concreto. Para el recubrimiento entre la malla de acero y el muro, se utilizará crucetas de 10mm de espesor. Finalmente, el muro será tarrajado con un mortero de cemento - arena de relación 1:4 (12.5 MPa). En cambio, cuando el reforzamiento del muro es por una sola cara, el procedimiento será el mismo excepto que la fijación horizontal de la malla acero al muro será con

alcayatas de 3" colocadas a presión en las juntas de mortero (Diaz et al., 2017), (CISMID, 2020b),(Diaz et al., 2020).

### 2.3. ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO HISTORIA

Es un análisis que considera diferentes aspectos importantes de la estructura y de la demanda sísmica, tales como la no linealidad entre la fuerza restauradora y el desplazamiento, la disipación de energía de los elementos estructurales y la historia de aceleraciones del terreno. Este tipo de análisis permite estudiar el comportamiento de las estructuras más allá de su rango lineal considerando diferentes efectos dinámicos que tienen gran influencia en el cálculo de la respuesta inelástica de la estructura. La ecuación ( 1 ), es la ecuación de movimiento que considera todos estos aspectos, se resuelve paso a paso comenzando en el tiempo cero. El registro de aceleraciones se divide en intervalos de tiempo discretos, conociendo las condiciones iniciales del movimiento se obtienen progresivamente las condiciones iniciales de los siguientes intervalos.

$$M \ddot{V} + C_D \dot{V} + F_s(V) = -M J \ddot{U}_g(t) \quad (1)$$

Donde :

$M$  : Matriz de masa sísmica.

$C_D$  : Matriz de amortiguamiento.

$F_s(V)$  : Vector de fuerzas restauradoras dependientes de los desplazamientos relativos.

$\dot{V}$  : Vector de velocidades relativas de los pisos.

$\ddot{V}$  : Vector de aceleraciones relativas de los pisos.

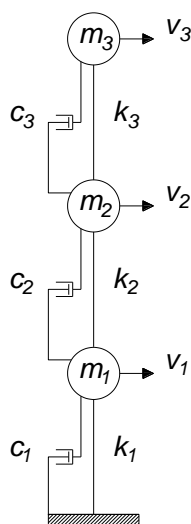
$\ddot{U}_g(t)$  : Vector de aceleraciones del terreno.

$J$  : Vector unitario dependiente de la dirección de análisis.

### 2.4. MODELO SIMPLIFICADO DE MASAS CONCENTRADAS

Es un modelo que disminuye los grados de libertad de una estructura, asumiendo que las losas de techo son diafragmas rígidos y que la estructura tiene un comportamiento regular ante movimientos laterales, predominante el comportamiento es de corte. El modelo considera únicamente un grado de libertad

de desplazamiento por piso (en la dirección de análisis), la masa de la estructura se concentra en las losas de techo y están conectadas por resortes y amortiguadores viscosos, que representan las rigideces laterales y la disipación de energía, respectivamente. Este modelo se usa para estudiar el comportamiento sísmico de estructuras donde las fuerzas sísmicas se concentran en las losas de techo y los desplazamientos laterales son principalmente por corte.



**Figura N° 1. Modelo simplificado de masas concentradas de una edificación de 3 pisos considerando un solo GDL de desplazamiento por piso.**

Donde :

$m_1, m_2, m_3$  : Masas sísmicas de cada piso.

$k_1, k_2, k_3$  : Rigidez lateral de cada piso.

$c_1, c_2, c_3$  : Coeficiente de amortiguamiento viscoso de cada piso.

$v_1, v_2, v_3$  : Desplazamiento horizontal de cada piso.

## 2.5. REGISTROS SÍSMICOS

Los registros sísmicos, contienen la historia de aceleraciones que sucedieron en el suelo durante un sismo. Se caracterizan por tener una aceleración pico (PGA), un contenido de frecuencias y un tiempo de duración. Estas características dependerán del tipo de sismo, de la profundidad del sismo y de las condiciones de sitio donde fue medido.

### **2.5.1. Espectro de Respuesta**

Son las respuestas máximas de un sistema de un grado de libertad debido a un movimiento del suelo para diferentes periodos de vibración de la estructura y amortiguamiento específico. Son usados en el análisis modal espectral para determinar la respuesta máxima de cada modo de vibración. Así como también, para el escalamiento de registros sísmicos usados en el análisis dinámico tiempo historia no lineal.

### **2.5.2. Escalamiento de registros sísmicos según norma E.030**

Los registros sísmicos utilizados en el análisis sísmico tiempo historia son escalados usando el espectro de diseño de la norma E.030 Diseño Sismorresistente. La cual menciona que entre el rango  $0.2T$  y  $1.5T$  ( $T$  periodo fundamental de la estructura), el promedio de los valores espectrales obtenidos mediante la suma de cuadrados (SRSS) de los espectros de respuesta elásticos con 5% de amortiguamiento de las dos componentes horizontales de un registro, no sea menor que la ordenada correspondiente al espectro de diseño de la norma, calculada con  $R = 1$  ( $R$  Coeficiente de reducción de fuerzas sísmica) (SENCICO, 2018).

## **2.6. CURVA DE CAPACIDAD TETRALINEAL**

Es una curva que muestra la relación entre la fuerza restauradora y el desplazamiento lateral de un elemento estructural. Esta curva está definida para el caso de muros de albañilería confinada por los puntos de agrietamiento, fluencia, máximo y último, que indican los cambios de rigidez debido al agrietamiento del muro y fluencia del acero. Asimismo, esta curva también muestra el comportamiento inelástico y el grado de ductilidad, como se muestra en la Figura N° 2.

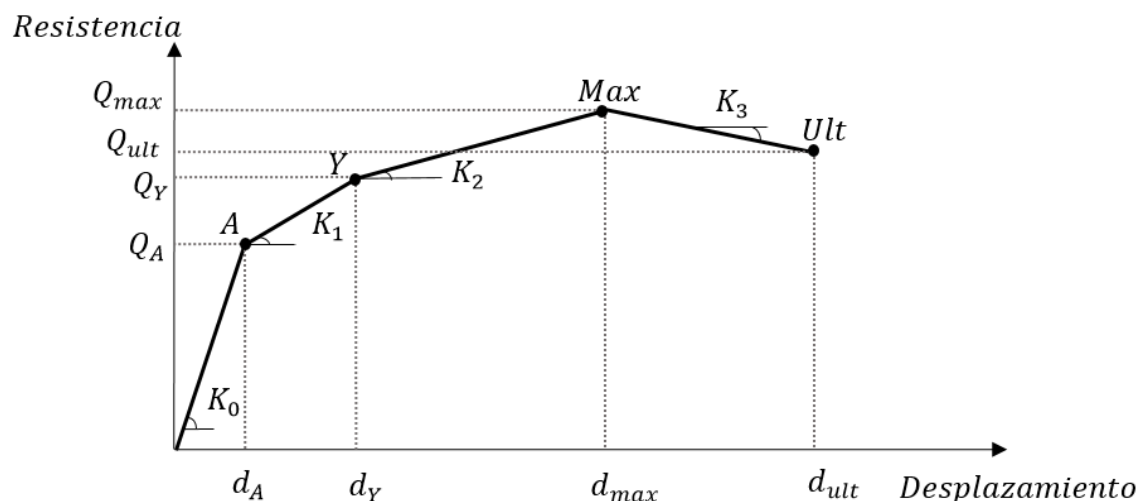


Figura N° 2. Curva de Capacidad.

Donde:

$$K_0 = \frac{Q_A}{d_A} \quad ; \quad K_1 = \frac{Q_Y - Q_A}{d_Y - d_A} \quad ; \quad K_2 = \frac{Q_{max} - Q_Y}{d_{max} - d_Y} \quad ; \quad K_3 = \frac{Q_{ult} - Q_{max}}{d_{ult} - d_{max}}$$

A : Punto de agrietamiento.

Y : Punto de fluencia.

Max : Punto máximo.

Ult : Punto último.

$Q_A$  : Fuerza restauradora en el punto de agrietamiento.

$Q_Y$  : Fuerza restauradora en el punto de fluencia.

$Q_{max}$  : Fuerza restauradora en el punto Máximo.

$Q_{ult}$  : Fuerza restauradora en el punto Último.

$d_A$  : Desplazamiento en el punto de agrietamiento.

$d_Y$  : Desplazamiento en el punto de fluencia.

$d_{max}$  : Desplazamiento en el punto Máximo.

$d_{ult}$  : Desplazamiento en el punto Último.

$K_0$  : Rigidez elástica.

$K_1$  : Rigidez entre el punto de agrietamiento y fluencia.

$K_2$  : Rigidez luego de alcanzar la fluencia.

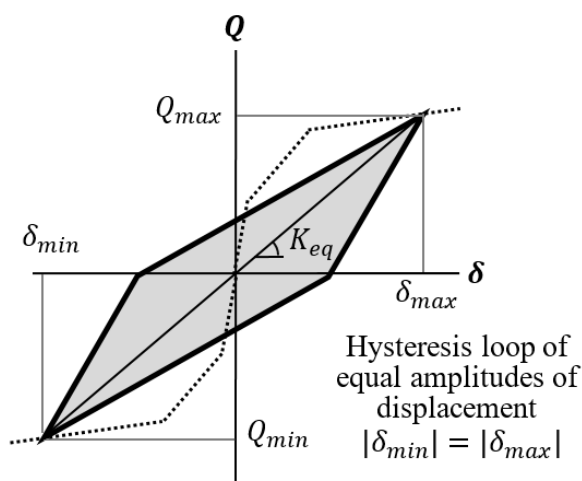
$K_3$  : Rigidez luego de alcanzar la fuerza máxima.

## 2.7. DISIPACIÓN DE ENERGÍA HISTERÉTICA

### 2.7.1. Lazo histerético

Los edificios están supuestamente diseñados para comportarse elásticamente en un rango de deformación pequeño, pero cuando la amplitud de deformación es más grande, diferentes fenómenos tal como el agrietamiento, fluencia y deslizamiento ocurren, y la relación entre la fuerza restauradora y el desplazamiento muestran lazos histeréticos que tienen propiedades inelásticas.

Los sismos pueden producir en los elementos estructurales de un edificio deformaciones plásticas a causa de la fluencia cíclica. La capacidad de desarrollar deformaciones inelásticas y de absorber energía histerética, son factores importantes para la seguridad estructural de los edificios durante sismos severos (Diaz, 2017).



**Figura N° 3. Lazo histerético de iguales amplitudes de desplazamiento.**  
**Nota: Diaz M. (2017).**

donde:

$\delta_{max}$  : Amplitud máxima de desplazamiento del lazo.

$Q_{max}$  : Fuerza restauradora correspondiente a la amplitud máxima de desplazamiento del lazo.

$\delta_{min}$  : Amplitud mínima de desplazamiento del lazo.

$Q_{min}$  : Fuerza restauradora correspondiente a la amplitud mínima de desplazamiento del lazo.

$K_{eq}$  : Rigidez equivalente.

La Figura N° 3 muestra un lazo histérico de iguales amplitudes de desplazamiento, en la dirección positiva y negativa. Esta es la condición para establecer la fórmula de la razón de amortiguamiento equivalente para el estado estacionario.

$$h = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\omega}{p} \cdot \frac{\Delta E}{E} \quad (2)$$

Donde:

$\omega$  : Frecuencia natural

$p$  : Frecuencia de la excitación externa

$E$  : Energía potencial máxima disipada en un ciclo

$\Delta E$  : Energía histérica disipada en un ciclo

En el caso de resonancia ( $\omega = p$ ), la ecuación (2) se convierte en la ecuación (3), donde  $st h_{eq}$  representando la razón de amortiguamiento equivalente de un sistema SDOF equivalente ante vibración estacionaria resonante, el cual fue introducido por primera vez por Jacobsen (1960). Esto fue la base para obtener ecuaciones de razón de amortiguamiento equivalente dependiendo del modelo histérico (Diaz, 2017).

$$st h_{eq} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta E}{E} \quad (3)$$

### 2.7.2. Modelo histérico tetra - lineal

La Figura N° 4 muestra el modelo histérico tetra – lineal, que fue adoptado por T. Saito, y fue usado para evitar inestabilidad con pendientes negativas.

El modelo tiene 3 parámetros histéricos que definen la histéresis:  $b_0$  para controlar la degradación de rigidez,  $b_1$  para degradar la rigidez causado por el efecto pinching y  $b_2$  para incrementar la rigidez causado por el efecto hardening debido al cerramiento de fisuras durante la carga (Diaz, 2017).



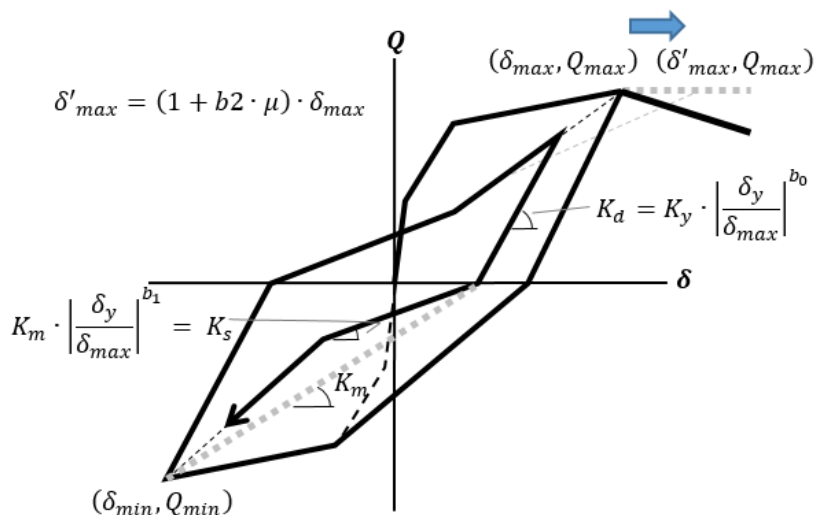


Figura N° 4. Modelo histérico tetra-lineal.  
Nota: Díaz M. (2017).

Dónde:

$\mu$  : Factor de ductilidad ( $\delta_{max}/\delta_y$ )

Tabla N° 1. Parámetros histéricos de muros de albañilería confinada sin reforzamiento y con reforzamiento con malla de acero y mortero cemento- arena 1:4.

Tipo de Ladrillo	b0	b1	b2
Sólido artesanal	0.55	0.04	0.01
Pandereta industrial	0.05	0.03	0.01
Sólido artesanal con reforzamiento por ambas caras del muro	0.36	0.39	0.01
Pandereta industrial con reforzamiento por ambas caras del muro	0.25	0.36	0.01

FUENTE: Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI (Díaz et al., 2020), (CISMID, 2020b).

La Tabla N° 1 muestra los parámetros histéricos para muros de albañilería confinada sin reforzamiento y con reforzamiento por ambas caras del muro que se emplearon en el análisis sísmico de esta tesis.

## 2.8. FORMULACIONES PROPUESTAS PARA OBTENER LA CURVA DE CAPACIDAD DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Las curvas de capacidad de los elementos estructurales pueden ser representados como curvas multi-lineales. Los muros de albañilería confinada presentan diferentes estados límites como el punto agrietamiento, fluencia, máximo y último, como se muestra en la Figura N° 2 . Las fuerzas restauradoras

de estos puntos son calculadas con las formulaciones propuestas por Diaz M. (Diaz et al., 2019), y los desplazamientos laterales respectivos son calculados con las distorsiones representativas propuestas por el laboratorio de estructuras del CISMID – FIC –UNI obtenidas con resultados de ensayos experimentales (Diaz et al., 2020), (CISMID, 2020b).

La Figura N° 5 muestra una de las curvas histeréticas experimentales y su correspondiente modelo analítico. Se observa que el comportamiento de muros de albañilería confinada ante cargas laterales puede ser no simétrico. Sin embargo, el modelamiento histerético es mejorado aplicando el modelo tetra-lineal (Diaz et al., 2019).

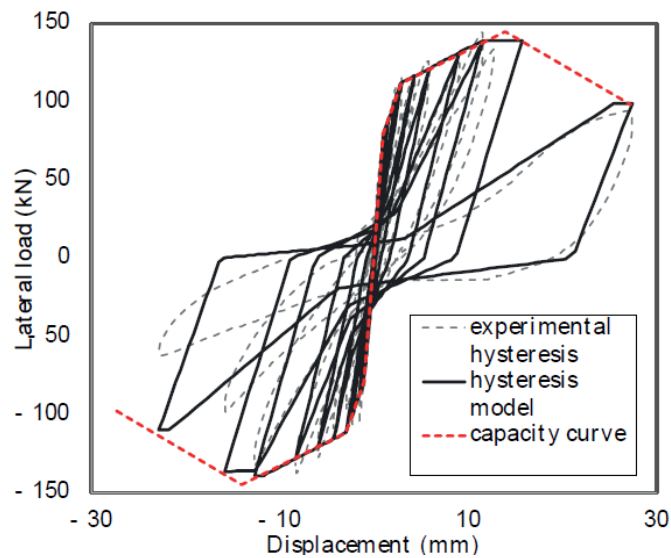


Figura N° 5. Modelo histerético tetra-lineal calibrado.  
Nota: Diaz M. (2019).

### 2.8.1. Formulaciones para esfuerzo de corte promedio

Diaz M. (2019), propone la ecuación (4) para obtener los esfuerzos de corte promedio de los puntos límites de la curva de capacidad de los muros de albañilería confinada. En la ecuación incluye el esfuerzo de fluencia del acero, la cuantía del acero longitudinal, la cuantía del acero transversal, el esfuerzo axial actuante, el esfuerzo de compresión de la albañilería y coeficientes constantes para cada estado límite, obtenidos mediante calibraciones con regresiones multi-lineales de resultados de ensayos experimentales (Diaz et al., 2019).

$$\frac{\tau}{f'm} = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{P_t \cdot \sigma_y}{f'm} \right)^{0.7} + \beta_2 \frac{P_{we} \cdot \sigma_{wy}}{f'm} + \beta_3 \frac{\sigma_0}{f'm} \quad (4)$$

Donde :

$L$  : Longitud del muro.

$L_e$  : Longitud efectiva del muro ( $\approx 0.9L$ ).

$t$  : Espesor del muro sin reforzamiento.

$sep$  : Espaciamiento entre estribos.

$a_t$  : Área del acero longitudinal en tensión de la columna de confinamiento.

$a_w$  : Área del acero transversal de la columna de confinamiento.

$P_t$  : Cuantía de acero longitudinal ( $a_t/(t \cdot L_e)$ ).

$P_{we}$  : Cuantía de acero transversal ( $a_w/(t \cdot sep) \leq 0.012$ ).

$\sigma_y$  : Esfuerzo de fluencia del acero longitudinal de la columna de confinamiento.

$\sigma_{wy}$  : Esfuerzo de fluencia del acero transversal de la columna de confinamiento.

$\sigma_0$  : Esfuerzo axial de compresión en el muro.

$f'm$  : Esfuerzo de compresión axial de la albañilería.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  : Coeficientes constantes cuyos valores dependen del punto límite (ver Tabla N° 2).

$\tau$  : Esfuerzo de corte promedio del punto límite.

**Tabla N° 2. Coeficientes constantes de los puntos límites.**

Coeficiente	Agrietamiento	Fluencia	Máximo	Último
$\beta_0$	0.000	0.000	0.000	0.000
$\beta_1$	0.000	0.000	0.054	0.221
$\beta_2$	0.249	0.426	0.432	0.077
$\beta_3$	0.221	0.175	0.290	0.503

Nota: Diaz M. (2019).

### 2.8.2. Fuerza cortante de muros de albañilería confinada con reforzamiento de malla de acero y mortero cemento-arena.

La Figura N° 6 muestra la sección transversal de un muro de albañilería confinada con reforzamiento de malla de acero y mortero cemento - arena. En este caso la resistencia cortante del muro se calcula con la ecuación (5), donde el primero sumando,  $\tau.L.t$ , representa el aporte del muro sin reforzamiento obtenido con la ecuación (4), mientras que el segundo sumando,  $\tau_R.n_R.t_R.L$ , representa el aporte del reforzamiento que depende del esfuerzo del punto límite (ver Tabla N° 3), numero de caras reforzadas, espesor del reforzamiento y la longitud del muro (CISMID, 2020b), (Diaz et al., 2020).

$$F = \tau.L.t + \tau_R.n_R.t_R.L \quad (5)$$

El diagrama ilustra un muro de albañilería confinada reforzado por ambas caras con malla de acero y mortero cemento-arena. El muro tiene una longitud  $L$  y un espesor total  $t$ . El reforzamiento tiene un espesor  $t_R$  y está aplicado en  $n_R$  caras. Se muestra la fuerza cortante  $F$  aplicada en la izquierda, el esfuerzo de corte promedio del muro sin reforzamiento  $\tau$ , y el esfuerzo de corte promedio del reforzamiento  $\tau_R$ .

Figura N° 6. Muro de albañilería confinada reforzado por ambas caras con malla de acero y mortero cemento - arena.

Donde :

- $F$  : Fuerza cortante del muro con reforzamiento.
- $\tau$  : Esfuerzo de corte promedio del punto límite del muro sin reforzamiento.
- $L$  : Longitud del muro.
- $t$  : Espesor del muro sin reforzamiento.
- $\tau_R$  : Esfuerzo de corte promedio del reforzamiento.
- $n_R$  : Número de caras reforzadas.
- $t_R$  : Espesor del reforzamiento.

**Tabla N° 3. Valores de esfuerzo de corte promedio del reforzamiento con malla acero y mortero cemento - arena 1:4.**

Punto Límite	$\tau_R$ (Mpa)	
	Sólido Artesanal	Pandereta industrial
Agrietamiento	0	0
Fluencia	1.3	0.7
Máximo	1.6	1.15
Ultimo	2.1	1.75

FUENTE: Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI (Diaz et al., 2020), (CISMID, 2020b).

### 2.8.3. Distorsiones representativas de los muros de albañilería confinada con reforzamiento y sin reforzamiento.

La Tabla N° 4 muestra las distorsiones representativas de los muros de albañilería confinada de acuerdo con resultados de ensayos experimentales realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID – FIC - UNI, tanto para los muros sin reforzamiento como para los muros con reforzamiento de malla de acero y mortero cemento - arena 1:4 (Diaz et al., 2020), (CISMID, 2020b). Estos valores fueron utilizados en la construcción de las curvas de capacidad de las tipologías de viviendas de albañilería de la Tabla N° 11.

**Tabla N° 4. Distorsiones representativas(x10-3).**

Tipo de Ladrillo	Agrietamiento	Fluencia	Máximo	Último
<b>Sólido artesanal</b>	0.4	1.1	3.5	6.7
<b>Pandereta industrial</b>	0.4	0.8	1.5	2.3
<b>Sólido artesanal con reforzamiento por ambas caras</b>	0.7	2.0	5.1	7.5
<b>Pandereta industrial con reforzamiento por ambas caras</b>	0.5	1.3	3.9	6.3

FUENTE: Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI (Diaz et al., 2020), (CISMID, 2020b).

## 2.9. NIVELES O ESTADOS DE DAÑO PROPUESTO

Los niveles o estados de daño son rangos establecidos en la curva de capacidad que nos indican el nivel de operatividad o estado de daño de la estructura luego de ocurrido un sismo. Para los muros de albañilería confinada sin reforzamiento y con reforzamiento, los estados de daño a utilizar son No daño, Leve, Moderado, Extensivo, Colapso, como se muestra en la Figura N° 26. Estos estados de daño están relacionados con los índices de daño que se emplearan en esta tesis (CISMID, 2020a).

## 2.10. PROGRAMA DE ANÁLISIS MDOF

Es un programa que realiza análisis dinámico tiempo historia no lineal, fue elaborado en el lenguaje de programación Fortran. Considera un modelo tipo cortante de las estructuras, un grado de libertad de desplazamiento por piso, el comportamiento inelástico de los elementos estructurales, y las variaciones de las aceleraciones en el tiempo. Los archivos de salida son respuestas de desplazamientos, velocidades y aceleraciones, así como también un archivo resumen que muestra las repuestas máximas ocurridas en cada piso (Diaz, 2011).

Los datos de ingreso y salida son archivos de texto, como se muestra en la Figura N° 7, Figura N° 8, Figura N° 9 y Figura N° 10.

```
*data_st: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
TITLE: MDOF=nfloor=1ihyst=8idamp=2h1=0.05h2=0.05
Number of floors:
5
HYSTERETIC MODEL: [1:Linear, 2:Bilinear, 3:Takeda, 4:Takeda-slip, 5:Degrading, 6:Origin-oriented, 7:Ramberg-Osgood, 8:QuadLinear]
8
Coefficients
0.55 0.04 0.01 0
DAMPING MATRIX: [1:Initial, 2:Instant, 3:Mass-Stiffness, 4:Rayleigh, 5:Modal]
1 0.05 0.05
Floor weight Qc Qy Kel Kpc/Kel Kpy/Kel dm/dy du/dy Qu/Qm
1 1787.97 1244.53 1712.33 11966.68 0.21 0.09 3.18 6.09 0.80
2 1652.90 882.90 1259.83 8489.40 0.43 0.28 1.88 2.88 0.80
3 1652.90 708.29 1051.48 6810.47 0.48 0.27 1.88 2.88 0.80
4 1652.90 572.48 889.42 5504.64 0.55 0.27 1.88 2.88 0.80
5 1181.77 463.84 759.78 4459.97 0.64 0.27 1.88 2.88 0.80
```

Figura N° 7. Ingreso de propiedades no lineales de una vivienda en el programa MDOF.

La Figura N° 7 muestra el ingreso de las propiedades no lineales de una vivienda. Debajo de la línea “Number of floors” se ingresa el número de pisos, debajo de la línea “HYSTERETIC MODEL” se indica el modelo histerético, debajo de la línea “Coefficients” se coloca los parámetros histeréticos y debajo de la línea “DAMPING MATRIX” se indica la matriz de amortiguamiento.

Finalmente, se ingresa los pesos sísmicos y la curva de capacidad de cada piso. La unidad de los pesos sísmicos y fuerzas cortantes están kN, mientras que las rigidices en kN/cm.

```

7.5SintéticoSATREPS EW-Muy Raro: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
SinteticoSATREPS_EW
DT = 0.01, Number of Data = 9048
0.195
0.208
0.260
0.238
0.028
-0.397
-0.878
-1.187
-1.315
-1.455
-1.680
-1.880
-2.012
-2.204
-2.557
-3.020
-3.513
-4.070
-4.738
    
```

**Figura N° 8. Ingreso del registro sísmico en el programa MDOF2018.**

```

*data_wave: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
datawave\7.5SintéticoSATREPS EW-Muy Raro.txt
0.010 2 9048 5 1
(f10.3)
1
    
```

**Figura N° 9. Ingreso de las características del registro en el programa MDOF2018.**

La Figura N° 8 muestra el ingreso del registro sísmico en el programa MDOF. En la primera fila el nombre del registro, en la segunda fila el intervalo de tiempo y la cantidad de datos del registro, seguidamente las aceleraciones en gals (cm/s<sup>2</sup>). Mientras que la Figura N° 9 muestra también el ingreso de las características del registro, y adicionalmente se indica la cantidad de divisiones del intervalo de tiempo para obtener respuestas más precisas, pero con un costo de cómputo mayor, para esta tesis la cantidad de divisiones es cinco.

```

*1.0Lima66PrqNS-Muy Leve_1: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
TITLE: MDOF=nfloor=1ihyst=8idamp=2h1=0.05h2=0.05

Number of floors: 5
Type of Hysteresis model: QuadLinear
Hysteresis parameters: b0: 0.360, b1: 0.390 b2: 0.010, b3: 0.000
Type of damping matrix: Initial-stiffness proportional damping, h1: 0.0500, h2: 0.0500

*** STRUCTURE PROPERTIES:
F          M          FC          DC          FY          DY          FM
1      1.82446      4733.47000      0.18200      6006.41000      0.53160      8149.42428
2      1.68663      2591.28000      0.13000      4045.27000      0.33841      5934.02040
3      1.68663      2195.98000      0.13000      3483.08000      0.33593      5071.97602
4      1.68663      1888.53000      0.13000      3045.83000      0.33964      4427.36577
5      1.20589      1642.57000      0.13000      2696.03000      0.33844      3893.37160

*** WAVE DATA PROPERTIES:
File      : datawave\1.0Lima66PrqNS-Muy Leve.txt
dt        ncomt      nwave      ndivt      nskip
0.020     2          1073       5          1
Format   : (f10.3)
Ampfy    : 1.00
Amax     = 170.763 , Vmax = 11.486, Fe = 2.366

*** NATURAL PERIODS AND MODE SHAPES:
T=
1  0.193  0.072  0.047  0.038  0.032
2  0.272E+00  0.273E+00  0.205E+00  0.124E+00  0.126E+00
3  0.600E+00  0.438E+00  0.138E+00 -0.264E-01 -0.150E+00
4  0.924E+00  0.297E+00 -0.186E+00 -0.131E+00  0.959E-01
5  0.119E+01 -0.131E+00 -0.178E+00  0.166E+00 -0.429E-01
6  0.132E+01 -0.490E+00  0.255E+00 -0.102E+00  0.162E-01

*** MAXIMUM RESPONSE:
F          Disp          Acc          rDisp          rForce          u(dy)          e(dy)
1  0.846E-01  -0.200E+03  0.846E-01  0.220E+04  0.159E+00  0.584E-01
2  0.183E+00  0.253E+03  0.987E-01  0.197E+04  0.292E+00  0.142E+00
3  0.279E+00  0.303E+03  0.965E-01  0.163E+04  0.287E+00  0.134E+00
4  0.357E+00 -0.376E+03  0.783E-01  0.114E+04  0.231E+00  0.861E-01
5  0.397E+00 -0.422E+03  0.401E-01  0.507E+03  0.118E+00  0.223E-01
    
```

Figura N° 10. Archivo de salida resumen del programa MDOF.

La Figura N° 10 muestra el archivo de salida resumen del programa MDOF, el cual muestra las características de la vivienda, las propiedades no lineales, las características del registro, los periodos y modos de vibración de la estructura y las respuestas máximas del análisis en las unidades de centímetros y segundos.

## 2.11. METRADOS, COSTOS Y PRESUPUESTO

### 2.11.1. Metrados

Es la cuantificación del volumen de trabajo de las actividades necesarias para la construcción de un proyecto. Estas cantidades son obtenidas con los planos de construcción y su forma de medición dependerá de la actividad, generalmente del rendimiento de producción.



Los metrados son de gran importancia en los proyectos, ya que son utilizados en sus diferentes etapas. Antes de la ejecución del proyecto, para la elaboración del presupuesto de obra y su respectiva programación. Durante la ejecución del proyecto, para su control y seguimiento. Otra gran utilidad de los metrados es que sirven para determinar la cantidad de materiales que serán empleados en la obra.

### **2.11.2. Costos**

Es la cuantificación monetaria de las partidas de un proyecto. Los costos se dividen en costos directos e indirectos. Los costos directos, son aquellos que están relacionados directamente con la producción y miden los costos de todos los recursos necesarios, como recursos humanos, materiales, equipos y herramientas. Mientras que los costos indirectos, están relacionados con los gastos de dirección del proyecto, los profesionales que forman el staff de ingenieros de obra, así como también de todos los recursos y útiles para la dirección.

### **2.11.3. Presupuesto**

Es el costo aproximado de un proyecto, obtenido mediante la agrupación de los trabajos de similares características, partidas y subpartidas, el costo de cada partida y subpartida es determinado a partir de su metrado y costo unitario respectivo. Adicionalmente, el presupuesto nos muestra las principales actividades constructivas en un proyecto, así como también el orden de ejecución de estos (Ramos, 2003), (M. Salinas & Huerta, 2019).

**CAPÍTULO III: DEMANDA SÍSMICA DEL ÁREA DE LIMA METROPOLITANA****3.1. DEMANDA SÍSMICA**

Las viviendas de Lima Metropolitana se encuentran ubicadas en la zona sísmica 4 de la norma E.030 Diseño Sismorresistente y estarán expuestas a seis diferentes demandas sísmicas de acuerdo con la tabla C2-1 del ASCE 41-13 (Ver Tabla N° 5). Así mismo, se emplearán para el análisis no lineal seis registros sísmicos reales y un registro sísmico sintético (ver Tabla N° 6 y Tabla N° 7) (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2014), (SENCICO, 2018).

**Tabla N° 5. Demandas sísmicas para la zona 4.**

DEMANDA SÍSMICA	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	Z*
MUY LEVE	50%/30 años	43	0.15
LEVE	50%/50 años	72	0.20
MODERADO	20%/50 años	225	0.33
SEVERO	10%/50 años	475	0.45
RARO	5%/50 años	975	0.58
MUY RARO	2%/50 años	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 para diferentes intensidades sísmicas en la Zona 4, expresado como una fracción de la aceleración de la gravedad.

**Tabla N° 6. Registros sísmicos.**

N°	Sismo	Estación	Suelo	PGA	
				E-W	N-S
1	Lima_17/Oct/1966	Parque de la Reserva	S1	175.40	267.81
2	Huaraz_31/May/1970	Parque de la Reserva	S1	104.87	97.81
3	Lima_03/Oct/1974	Parque de la Reserva	S1	190.41	169.42
4	Arequipa_23/Jun/2001	Cesar Vizcarra	S2	289.40	228.57
5	Pisco_15/Ago/2007	UNICA	S2	292.93	367.29
6	Lagunas_26/May/2019	SCIQU	S2	82.31	74.36
7	sintético	-	S1	606.32	-

**FUENTE: REDACIS – CISMID.**

Tabla N° 7. Magnitud y profundidad de los Sismos.

N°	Sismo	Magnitud (Mb)	Profundidad (Km)
1	Lima_17/Oct/1966	8.1Mw	24
2	Huaraz_31/May/1970	6.6 Mb	64
3	Lima_03/Oct/1974	6.6 Mb	13
4	Arequipa_23/Jun/2001	8.4 Mw	33
5	Pisco_15/Ago/2007	7.9 Mw	40
6	Lagunas_26/May/2019	7.2 ML	141
7	Sintético, SATREPS	-	-

FUENTE: REDACIS – CISMID.

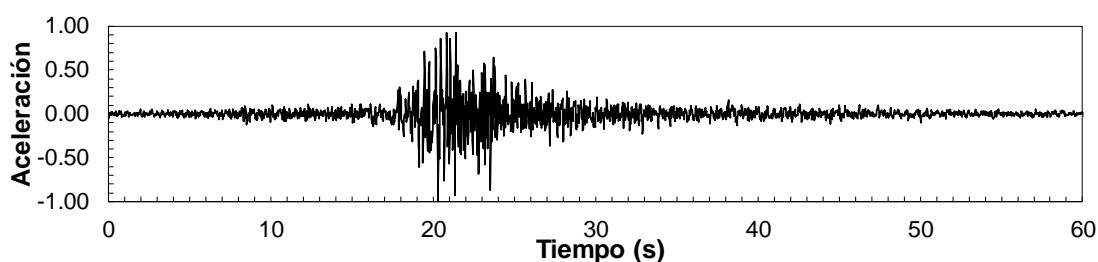


Figura N° 11. Registro Normalizado Lima\_17/Oct/1966, componente NS.

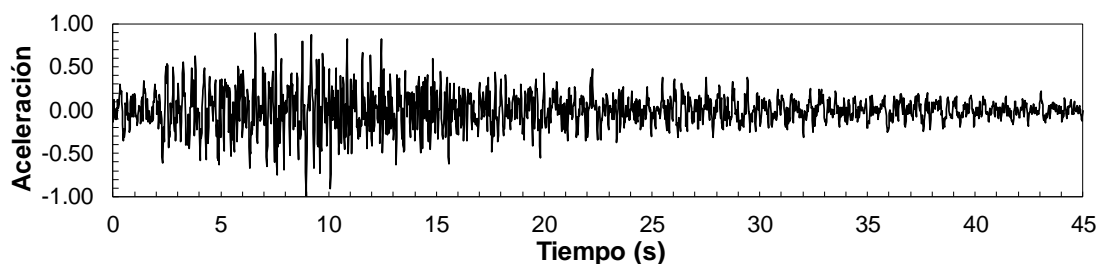


Figura N° 12. Registro Normalizado Huaraz\_31/May/1970, componente EO.

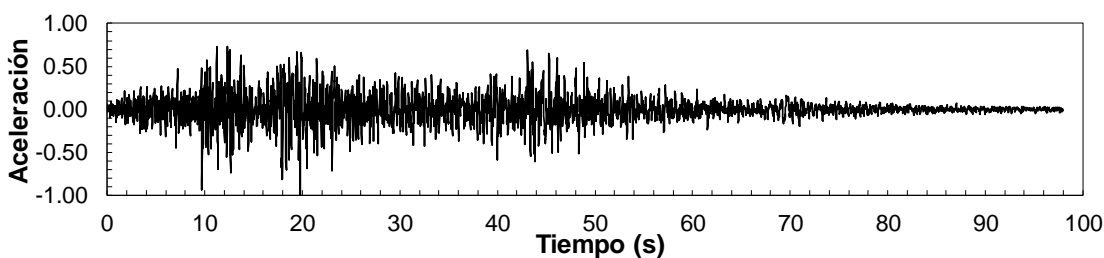


Figura N° 13. Registro Normalizado Lima\_03/Oct/1974, componente EO.

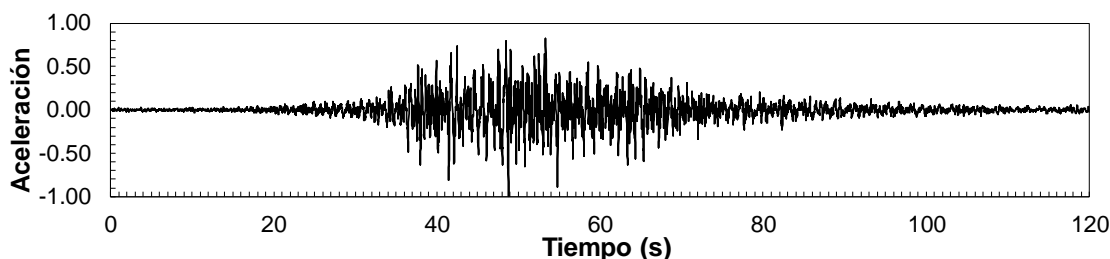


Figura N° 14. Registro Normalizado Arequipa\_23/Jun/2001, componente EO.

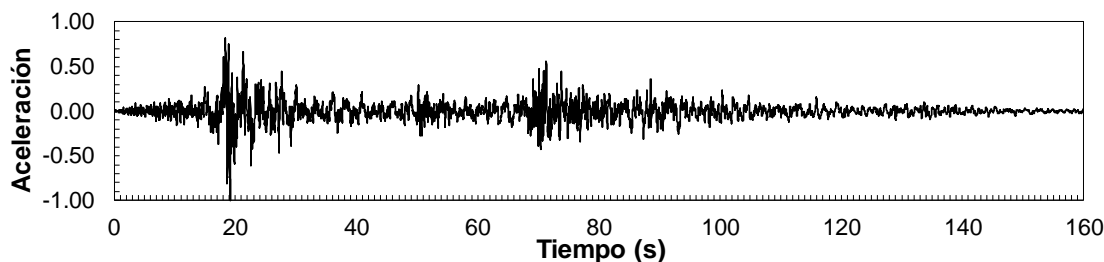


Figura N° 15. Registro Normalizado Pisco\_15/Ago/2007, componente NS.

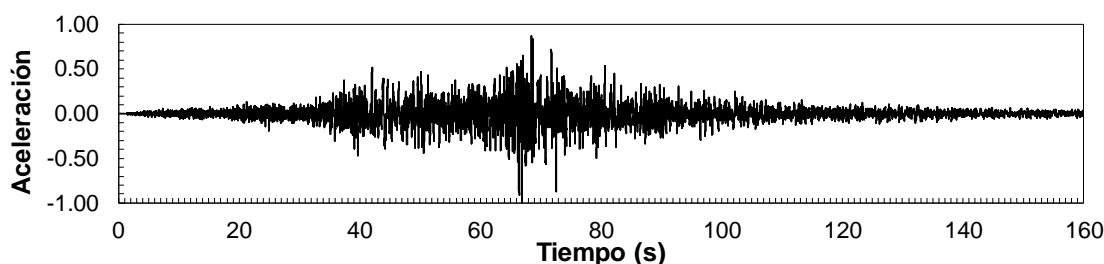


Figura N° 16. Registro Normalizado Lagunas\_26/May/2019, componente EO.

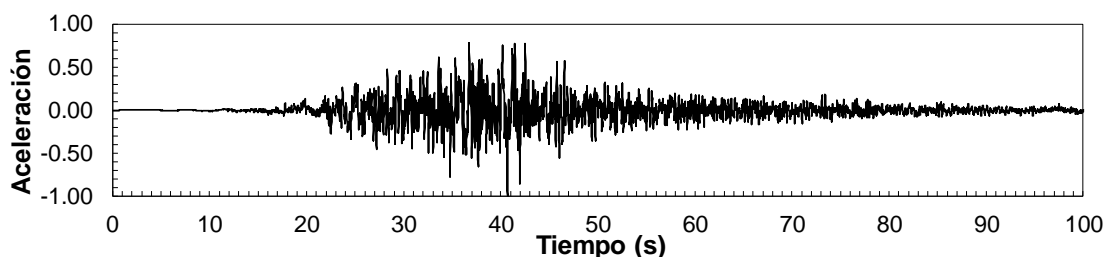


Figura N° 17. Registro Normalizado Sintético, SATREPS, componente EO.

Desde la Figura N° 11 hasta la Figura N° 17, se muestran los registros normalizados de las componentes con mayor PGA de la Tabla N° 6. Estas son las componentes que se utilizaron para el análisis dinámico tiempo historia no – lineal, tanto para el caso de las tipologías de viviendas sin reforzamiento como con reforzamiento.

Así mismo, se muestra los espectros SRSS normalizados de cada registro, agrupados de acuerdo con el tipo suelo sobre el cual se ubica la estación, S1 y S2, como se muestra en la Figura N° 18 y Figura N° 19, respectivamente. Se observa en estas figuras que las aceleraciones se amplifican para valores menores al  $T_p$  del suelo, y disminuyen para valores mayores al  $T_p$  del suelo.

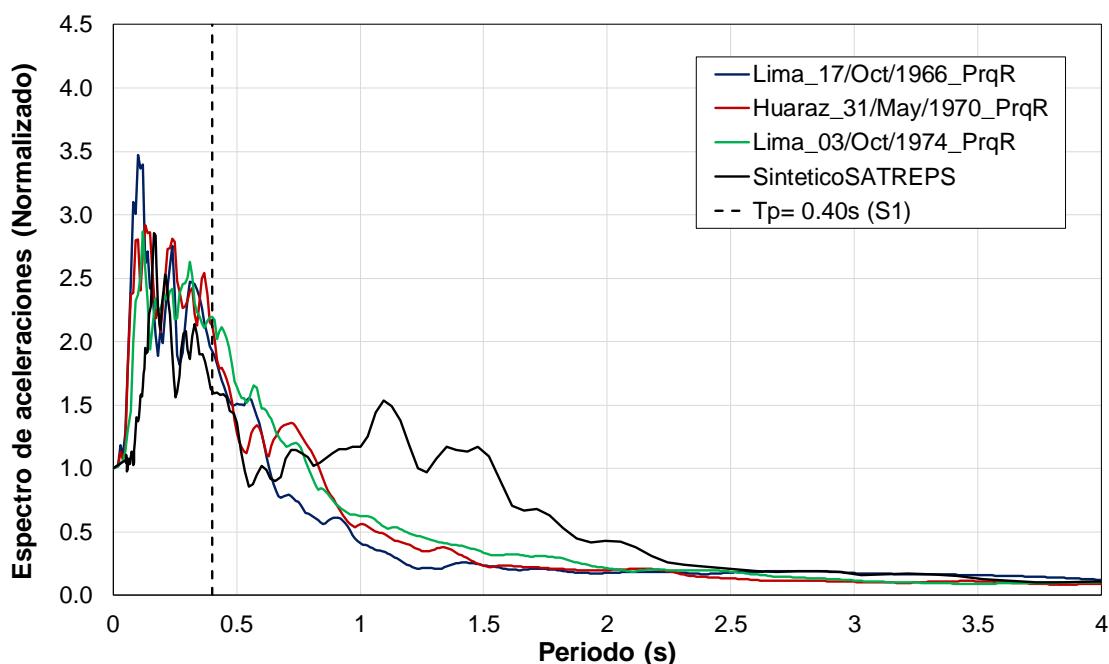


Figura N° 18. Espectros SRSS Normalizado de registros sobre suelo S1.

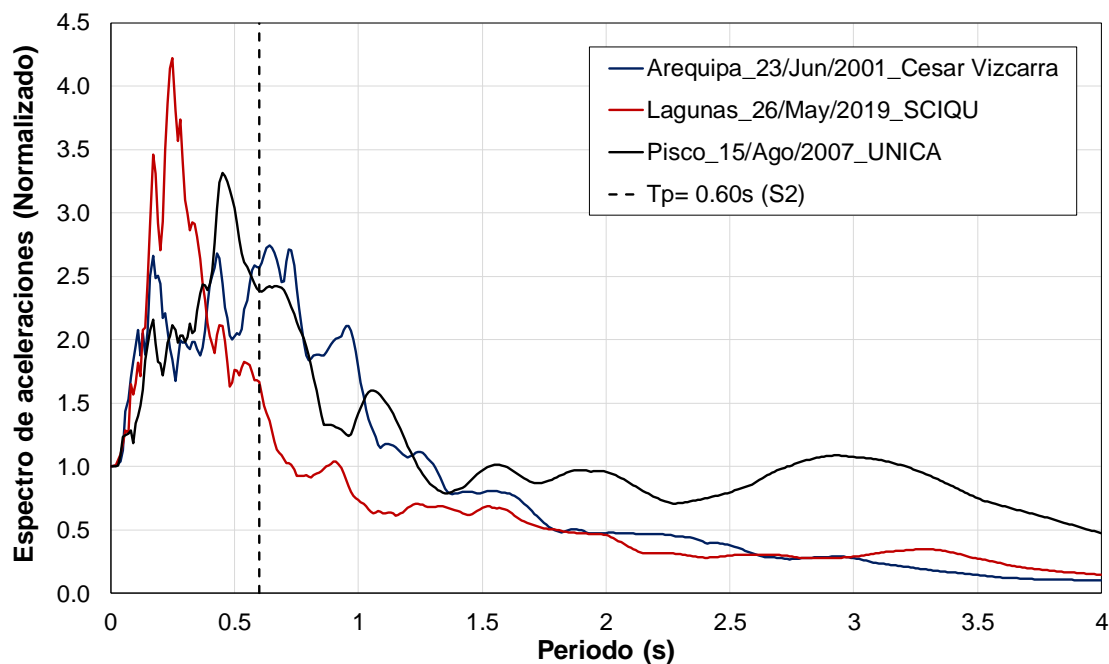


Figura N° 19. Espectros SRSS Normalizado de registros sobre suelo S2.

### 3.1.1. Escalamiento de Registros

Los siete registros sísmicos de la Tabla N° 6 han sido escalados para cada demanda sísmica de la Tabla N° 5. Se procederá con el escalamiento del registro *Lima\_17/Oct/1966* de la estación Parque De la Reserva, siguiendo el procedimiento descrito en 2.5.2, el cual describe que el promedio de los valores espectrales obtenido mediante la combinación (SRSS) entre el rango de  $T_{min} = 0.2T$  y  $T_{max} = 1.5T$  no debe ser menor que la ordena correspondiente al espectro objetivo (Espectro elástico,  $R = 1$ , de la norma E.030).

Para el escalamiento de todos los registros se ha considerado como vivienda representativa, una vivienda de tres niveles con periodo fundamental,  $T = 0.3$  s. Los parámetros sísmicos fueron obtenidos de la norma E.030 Diseño Sismorresistente, que se utilizaron para obtener los espectros objetivos. A continuación, se muestran dichos parámetros.

$Z =$  De acuerdo con Tabla N° 5.

$U = 1$  (Edificación común)

$S = 1$  (Suelos muy rígidos)

$R = 1$  (Espectro Elástico)

$T_{min} = 0.2T = 0.06$  s

$T_{max} = 1.5T = 0.45$  s

Además:

$$C = 1 + 7.5 * \left(\frac{T}{T_P}\right) \quad T < 0.2 * T_P$$

$$C = 2.5 \quad 0.2 * T_P < T < T_P$$

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_P}{T}\right) \quad T_P < T < T_L$$

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_P * T_L}{T^2}\right) \quad T > T_L$$

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g$$

Desde la Figura N° 20 hasta la Figura N° 25, se muestra el escalamiento del registro *Lima\_17/Oct/1966* de la estación Parque De la Reserva para las demandas sísmicas Muy Leve, Leve, Moderado, Severo, Raro y Muy Raro, respectivamente. Todos los registros fueron escalados de la misma forma, obteniendo los PGA máximos para cada registro mostrados en la Tabla N° 8.

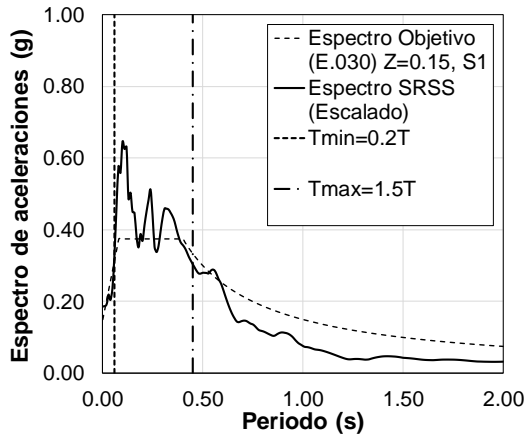


Figura N° 20. Escalamiento del registro para una demanda sísmica Muy Leve.

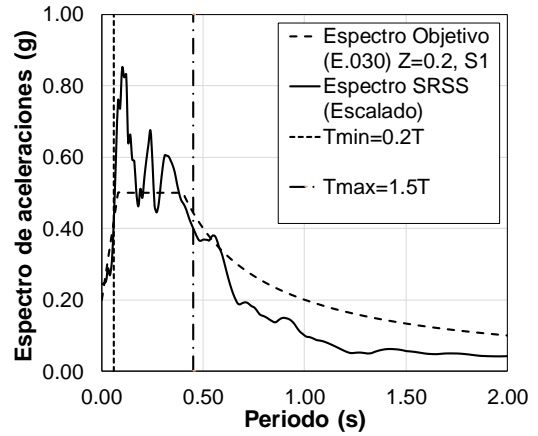


Figura N° 21. Escalamiento del registro para una demanda sísmica Leve.

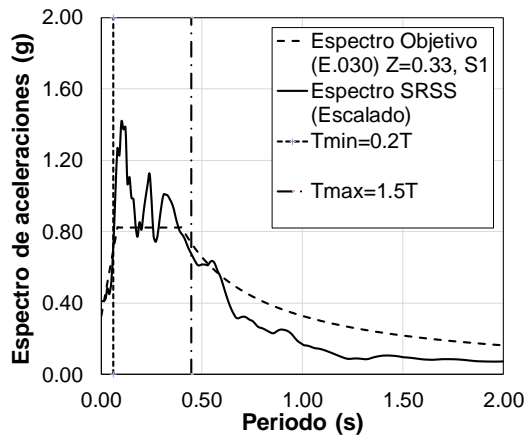


Figura N° 22. Escalamiento del registro para una demanda sísmica Moderado.

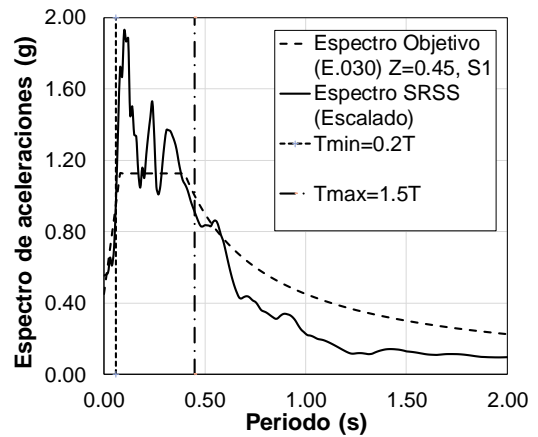


Figura N° 23. Escalamiento del registro para una demanda sísmica Severo.

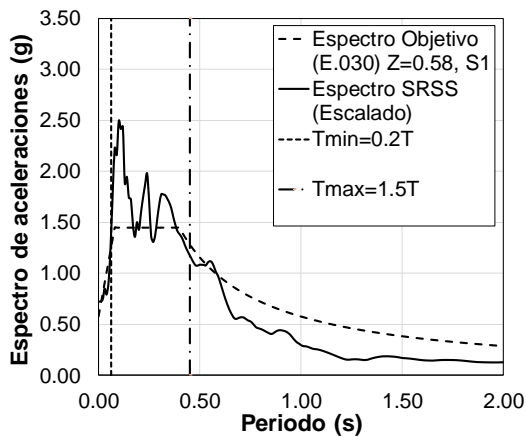


Figura N° 24. Escalamiento del registro para una demanda sísmica Raro.

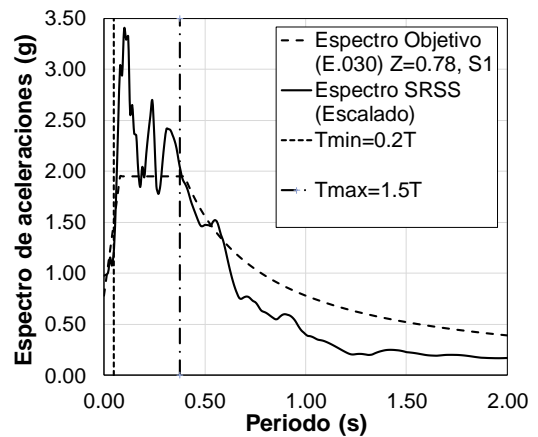


Figura N° 25. Escalamiento del registro para una demanda sísmica Muy Raro.

**Tabla N° 8. PGA máximos de los registros sísmicos.**

N°	Sismo	Estación	Suelo	Demanda sísmica					
				MUY LEVE	LEVE	MODERADO	SEVERO	RARO	MUY RARO
				PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGA (cm/s <sup>2</sup> )
1	Lima_17/Oct/1966	Parque	S1	152.65	200.86	334.77	455.28	589.19	803.44
2	Huaraz_31/May/1970	Parque	S1	157.30	209.74	356.55	471.91	608.24	817.98
3	Lima_03/Oct/1974	Parque	S1	161.85	213.26	352.26	477.93	618.84	828.29
4	Arequipa_23/Jun/2001	Cesar	S2	164.96	222.83	361.784	500.65	651.14	868.19
5	Pisco_15/Ago/2007	UNICA	S2	165.28	220.37	363.61	495.84	642.75	863.12
6	Lagunas_26/May/2019	SCIQU	S2	164.61	214.00	353.92	485.60	633.76	855.98
7	sintético	-	S1	151.58	200.09	321.35	454.74	588.13	776.09

**Elaboración propia con información de REDACIS.**



## CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS EXPUESTAS Y PROPUESTA PARA SU REFORZAMIENTO

En el presente capítulo se analizarán las respuestas de las tipologías de viviendas de albañilería mostradas en la Tabla N° 11, la mayoría con cambio de material en altura, es decir, construidas con ladrillos sólido artesanal en los primeros pisos y a partir de cierto piso con ladrillos pandereta industrial (Díaz, 2020), (Flores, 2020). Esta característica en el cambio de material hace que el comportamiento inelástico del piso dependa de la unidad de ladrillo con el cual fue construido, los muros de albañilería confinada construidas con ladrillos sólido artesanal tienen una mayor capacidad de deformación que los construidos con ladrillos pandereta industrial. Esta característica en la distinta capacidad de deformación hace que el piso más dañado ya no sea aquel que presente la mayor distorsión, sino aquel que este más próximo a su límite de distorsión. Con la finalidad de conocer rápidamente el piso más dañado en una vivienda con cambio de material en altura, las distorsiones de cada piso han tenido que ser normalizadas de acuerdo con el tipo de ladrillo con el cual fue construido.

La normalización de una distorsión consiste en determinar su índice de daño, este permitirá conocer el piso más dañado sin importar si la vivienda presenta cambio de material en altura. Así mismo, nos indicara el grado de daño que presenta el piso. Los niveles de daño asociados al índice son No daño, Leve, Moderado, Extensivo y Colapso como se muestra en la Figura N° 26.

*Esfuerzo*

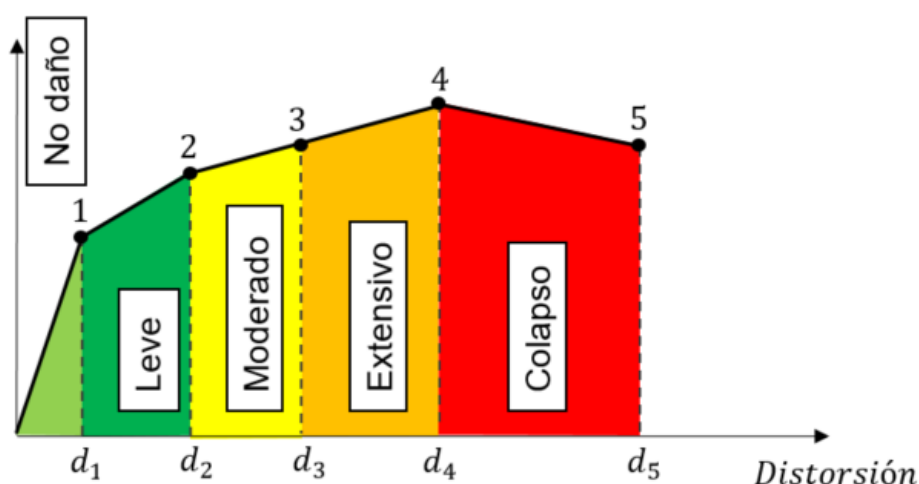


Figura N° 26. Niveles de daño e índices de daño.

La Figura N° 26 muestra los niveles de daño que son subdivisiones de la curva de capacidad que tiene correspondencia con la curva de la Figura N° 2. El nivel *No daño* significa que la distorsión todavía no supera el punto de agrietamiento, el nivel de daño *Leve* significa que la distorsión del muro esta entre la del punto agrietamiento y fluencia, el nivel de daño *Moderado* significa que la distorsión del muro esta entre la del punto de fluencia y punto 3 (distorsión cuyo valor depende del tipo de muro de albañilería), el nivel de daño *Extensivo* significa que la distorsión del muro esta entre la del punto 3 y punto máximo, el nivel de daño *Colapso* significa que la distorsión del muro supero la del punto máximo. Los límites de distorsión de los niveles de daño para los muros sin reforzamiento y con reforzamiento se muestran en la Tabla N° 9 y el rango de valores que toma el índice, se muestran en Tabla N° 10.

Tabla N° 9. Límites de distorsión de los niveles de daño.

NIVEL DE DAÑO	LÍMITES DE DISTORSIÓN (x10 <sup>-3</sup> )			
	SÓLIDO ARTESANAL	PANDERETA INDUSTRIAL	SÓLIDO ARTESANAL CON REFORZAMIENTO POR AMBAS CARAS	PANDERETA INDUSTRIAL CON REFORZAMIENTO POR AMBAS CARAS
No Daño (ND)	0.40	0.40	0.66	0.55
Leve (LV)	1.10	0.80	2.04	1.25
Moderado (MD)	2.80	1.00	4.18	3.12
Extensivo (EX)	3.50	1.50	5.10	3.90
Colapso (CO)	6.70	2.30	7.50	6.30

FUENTE: Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI (CISMID, 2020a).

Donde :

- ND : Límite de distorsión para el nivel No daño.
- LV : Límite de distorsión para el nivel de daño Leve.
- MD : Límite de distorsión para el nivel de daño Moderado.
- EX : Límite de distorsión para el nivel de daño Extensivo.
- CO : Límite de distorsión para el nivel de daño Colapso.

Tabla N° 10. Valor del índice de daño.

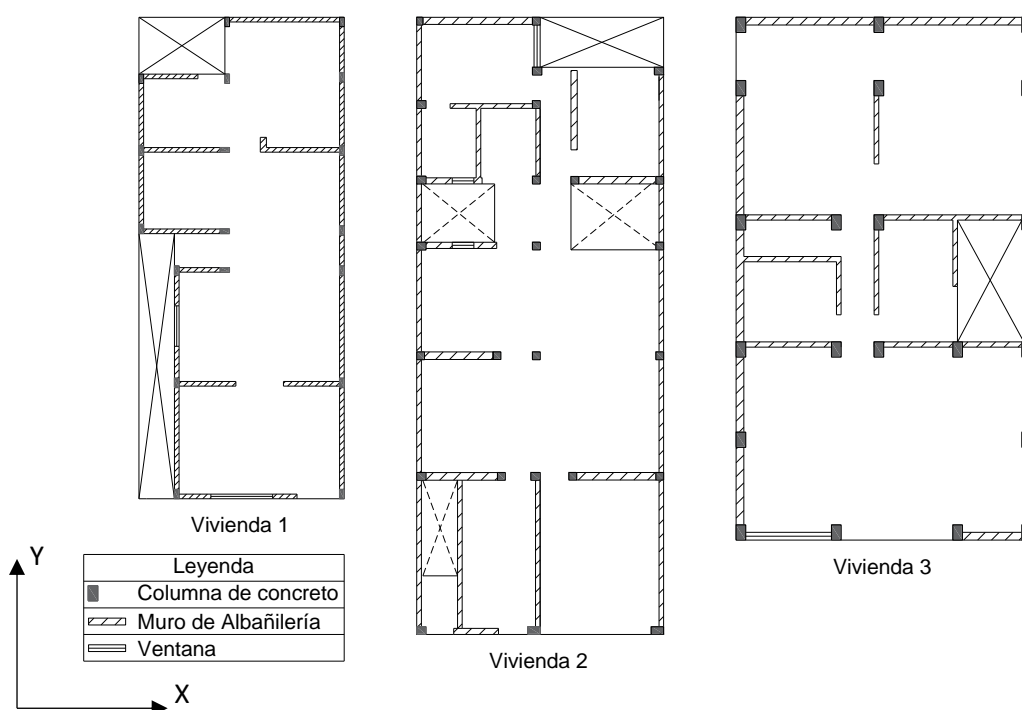
NIVEL DE DAÑO	VALOR DEL ÍNDICE
No daño	[ 0; 1 >
Leve	[ 1; 2 >
Moderado	[ 2; 3 >
Extensivo	[ 3; 4 >
Colapso	[ 4; 5 ]

FUENTE: Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI (CISMID, 2020a).

La Tabla N° 10 muestra los rangos de valores de los índices con su correspondiente nivel de daño. Por lo tanto, de acuerdo con el valor del índice que presente el entrepiso, se podrá saber su correspondiente nivel de daño.

#### 4.1. SELECCIÓN DE VIVIENDAS REPRESENTATIVAS (TIPOLOGÍAS)

Para la presente tesis se consideró catorce tipologías de viviendas de albañilería confinada de Lima Metropolitana como se muestra en la Tabla N° 11. Las cuales, a su vez, se les ha colocado reforzamiento por ambas caras del muro en la dirección X, que es la dirección de menor capacidad sísmica por tener una menor densidad de muros (Ver Figura N° 27). Cada tipología será analizada para cinco densidades de muros como se muestra en la Tabla N° 12, llegándose a tener para el análisis setenta viviendas para el caso sin reforzamiento y setenta viviendas para el caso con reforzamiento (Díaz, 2020), (Flores, 2020).



**Figura N° 27. Vista en planta de viviendas de albañilería no ingenieriles (CISMID 2019).**

**Tabla N° 11. Tipologías de viviendas de albañilería.**

N°	Tipología (Vivienda)	
	Sin reforzamiento	Reforzada por ambas caras
1	001ML1	001ML1R2
2	001ML2	001ML2R2
3	002M2L1	002M2L1R (2.2)
4	002ML1.L2	002ML1.L2R (2.2)
5	002M2L2	002M2L2R (2.2)
6	003M2L1.L2	003M2L1.L2R (2.2.2)
7	003ML1.2L2	003ML1.2L2R (2.2.2)
8	003ML2	003ML2R (2.2.2)
9	004M2L1.L2	004M2L1.2L2R(2.2.2.2)
10	004ML1.3L2	004ML1.3L2R (2.2.2.2)
11	004M4L2	004M4L2R (2.2.2.2)
12	005M2L1.3L2	005M2L1.3L2R(2.2.2.2.2)
13	005ML1.4L2	005ML1.4L2R (2.2.2.2.2)
14	005ML2	005ML2R (2.2.2.2.2)

Elaboración propia con información de Diaz M. (2020) y Flores E. (2020).

Donde :

00N : “N” número de pisos de la vivienda.

L1 : Piso construido con ladrillos sólido artesanal.

L2 : Piso construido con ladrillos pandereta industrial.

R2 : Reforzamiento por ambas caras de los muros.

La nomenclatura 004M2L1.2L2R (2.2.2.2) significa que la vivienda es de 4 pisos (004), donde los dos primeros pisos fueron construidos con ladrillos sólido artesanal (2L1), los dos últimos pisos fueron construidos con ladrillos pandereta industrial (2L2) y los muros tienen reforzamiento por ambas caras en los 4 pisos R (2.2.2.2).

**Tabla N° 12. Densidades de muros para cada tipología.**

N°	Densidad de muros	
	Dirección X	Dirección Y
1	1.60%	3.30%
2	2.30%	3.30%
3	2.80%	4.50%
4	3.40%	3.30%
5	4.00%	4.50%

Elaboración propia.

## 4.2. CURVA DE CAPACIDAD DE LAS VIVIENDAS

En este subcapítulo, se estudiará el comportamiento inelástico de las tipologías de viviendas de albañilería descritas en la Tabla N° 11. Tanto para el caso sin reforzamiento y con reforzamiento.

La capacidad sísmica de las viviendas de albañilería está en función de la cantidad de muros presentes en la dirección a analizar. Para esta tesis se ha considerado únicamente muros confinados, debido a su mayor capacidad sísmica e incursión en el rango inelástico, en comparación con los muros sin elementos de borde, los cuales no presentan comportamiento inelástico. Además, se ha considerado un comportamiento regular de las viviendas, con lo cual los muros sin reforzamiento y con reforzamiento desarrollan su máxima resistencia, deformación y que existe continuidad de muros en todos los pisos.

La resistencia cortante del primer piso de una vivienda de albañilería confinada, para el caso sin reforzamiento se determinará con la ecuación (4) mientras para el caso con reforzamiento con la ecuación (5) con sus correspondientes distorsiones mostradas en la Tabla N° 4.

Por otro lado, la resistencia cortante de los otros pisos de las estructuras sin reforzamiento se obtendrá utilizando la ecuación (4), que serán afectadas por el factor de modificación de la cortante de piso de la ecuación (6), debido a que la ecuación (4) proviene de ensayos de muros de un nivel, donde no se incorpora la distribución de cortantes en altura debido a la deformada de la estructura en altura. Mientras que, para el caso de las estructuras con reforzamiento, la resistencia cortante de los otros pisos se obtendrá con la ecuación (5), afectándola también por la ecuación (6) (The Japan Building Disaster Prevention Association, 2001).

$$C_i = \left( \frac{n+1}{n+i} \right) \quad (6)$$

Donde :

$i$  : Piso.

$n$  : Número de pisos.

$C_i$  : Factor de modificación de la cortante de piso  $i$ .

A continuación, se muestra los cálculos preliminares para hallar la curva de capacidad. Se muestra el cálculo de las viviendas con densidad de muros en la dirección X y Y de 1.60% y 3.33%, respectivamente.

#### 4.2.1. Dimensiones de los muros

Las dimensiones de los muros confinados son necesarias para estimar su resistencia cortante y su peso por m<sup>2</sup> de área en planta. La Tabla N° 13 y

Tabla N° 14 muestran las dimensiones de la sección transversal de los muros para la dirección X y Y, respectivamente. Mientras que la Tabla N° 15 muestra las dimensiones en altura. Estas dimensiones en altura se aplican para los cinco casos de densidades descritas en la Tabla N° 12.

#### Caso de densidad N°1 de la Tabla N° 12:

Tabla N° 13. Densidad de muros confinados en la dirección X.

Muro	L (m)	t (m)	L.t (m <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	1.81	0.12	0.217
X <sub>2</sub>	2.96	0.12	0.355
X <sub>3</sub>	2.96	0.12	0.355
X <sub>4</sub>	3.89	0.12	0.467
$\sum L.t =$			1.394
Ap (m <sup>2</sup> ) =			88.79
Densidad de Muros x-x =			1.57%

Elaboración propia.

Tabla N° 14. Densidad de muros confinados en la dirección Y.

Muro	L (m)	t (m)	L.t (m <sup>2</sup> )
Y <sub>1</sub>	2.69	0.12	0.323
Y <sub>2</sub>	2.48	0.12	0.298
Y <sub>3</sub>	3.87	0.12	0.464
Y <sub>4</sub>	3.74	0.12	0.449
Y <sub>5</sub>	3.64	0.12	0.437
Y <sub>6</sub>	1.30	0.12	0.156
Y <sub>7</sub>	2.56	0.12	0.307
Y <sub>8</sub>	2.41	0.12	0.289
Y <sub>9</sub>	1.94	0.12	0.233
$\sum L.t =$			2.956
Ap (m <sup>2</sup> ) =			88.79
Densidad de Muros y-y =			3.33%

**Elaboración propia.**

**Tabla N° 15. Altura de entrepiso.**

<b>Piso</b>	<b>Altura de entrepiso (m)</b>
1er piso	2.8
Piso típico	2.6

**Elaboración propia.**

**4.2.2. Propiedades de la albañilería**

Los esfuerzos característicos de pilas y muretes de ladrillos sólido artesanal y pandereta industrial, se muestran en la Tabla N° 16, mientras que la resistencia a compresión del concreto y el esfuerzo de fluencia del acero longitudinal y transversal de los elementos de confinamiento, se muestran en la Tabla N° 17. Estas propiedades son necesarias para calcular la capacidad de una vivienda de albañilería.

**Tabla N° 16. Propiedades de la albañilería.**

<b>Unidad de Ladrillo</b>	<b>f'm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>v'm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Sólido artesanal	53.43	4.5
Pandereta industrial	32.65	5.9

**Fuente: Laboratorio de estructuras de CISMID-FIC-UNI.**

Donde :

$f'm$  : Esfuerzo de compresión característico.

$v'm$  : Esfuerzo de corte característico.

**Tabla N° 17. Propiedades de los materiales de los elementos de confinamiento.**

<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Acero longitudinal</b>		<b>Acero transversal</b>		<b>fy (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
	<b>Cantidad</b>	<b>∅</b>	<b>∅</b>	<b>sep (cm)</b>	
175	4	1/2"	6mm	20	4200

**Fuente: Elaboración propia.**

Donde :

$f'c$  : Esfuerzo de compresión del concreto.

$f_y$  : Esfuerzo de fluencia del acero.

$\emptyset$  : Diámetro del acero.

sep : Espaciamiento entre estribos.

### 4.2.3. Peso sísmico

El peso sísmico forma parte de la demanda sísmica de las viviendas, también se utiliza para determinar la carga axial que soportan los muros de albañilería. El peso sísmico de una edificación común según la norma E.030, se estima como el 100% de la carga muerta + 25% de la carga viva. La Tabla N° 18 muestra el peso sísmico por m<sup>2</sup> de área en planta de las 14 tipologías estudiadas.

#### Caso de densidad N°1 de la Tabla N° 12:

Tabla N° 18. Peso sísmico de cada nivel (ton/m<sup>2</sup>).

N°	Tipología (Vivienda)	Nivel				
		1	2	3	4	5
1	001ML1	0.66				
2	001ML2	0.62				
3	002M2L1	0.92	0.66			
4	002ML1.L2	0.89	0.62			
5	002M2L2	0.86	0.62			
6	003M2L1.L2	0.92	0.89	0.62		
7	003ML1.2L2	0.92	0.86	0.62		
8	003ML2	0.86	0.86	0.62		
9	004M2L1.L2	0.92	0.89	0.86	0.62	
10	004ML1.3L2	0.89	0.86	0.86	0.62	
11	004M4L2	0.86	0.86	0.86	0.62	
12	005M2L1.3L2	0.92	0.89	0.86	0.86	0.62
13	005ML1.4L2	0.89	0.86	0.86	0.86	0.62
14	005ML2	0.86	0.86	0.86	0.86	0.62

Elaboración propia.

### 4.2.4. Curva de capacidad de viviendas sin reforzamiento

Para obtener la curva de capacidad de las viviendas sin reforzamiento descritas en la Tabla N° 11 en la dirección X del caso de densidad N°1 de la Tabla N° 12, se realizó el procedimiento descrito en el subcapítulo 4.2 que emplea la ecuación (4) y los datos de la Tabla N° 2, Tabla N° 4, Tabla N° 13, Tabla N° 15, Tabla N° 16, Tabla N° 17, Tabla N° 18 y el factor de modificación de la cortante de piso con la ecuación (6). Estas curvas obtenidas se muestran desde la Figura N° 28 hasta la Figura N° 41.



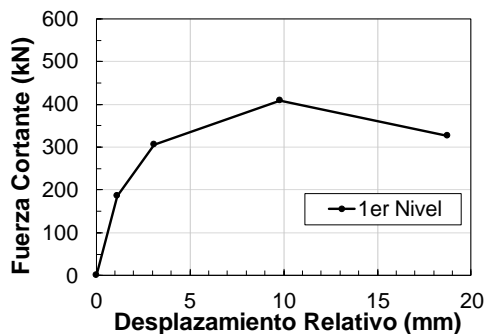


Figura N° 28. Curva de capacidad de la Vivienda 001ML1\_DMx1.6%.

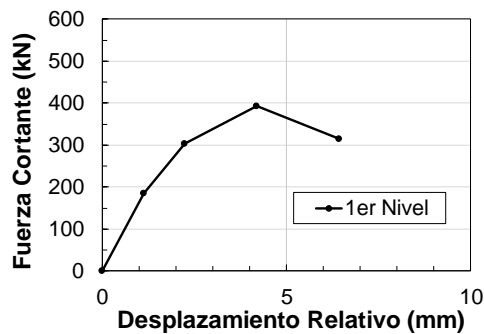


Figura N° 29. Curva de capacidad de la Vivienda 001ML2\_DMx1.6%.

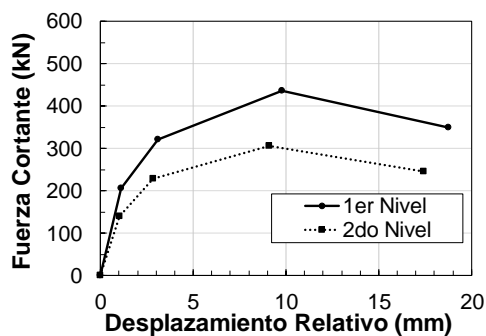


Figura N° 30. Curva de capacidad de la Vivienda 002M2L1\_DMx1.6%.

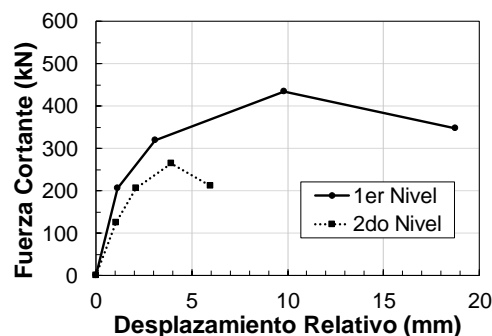


Figura N° 31. Curva de capacidad de la Vivienda 002M2L1.L2\_DMx1.6%.

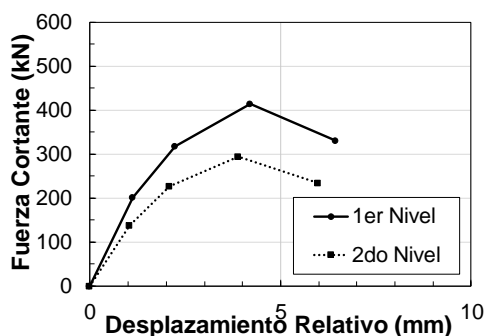


Figura N° 32. Curva de capacidad de la Vivienda 002M2L2\_DMx1.6%.

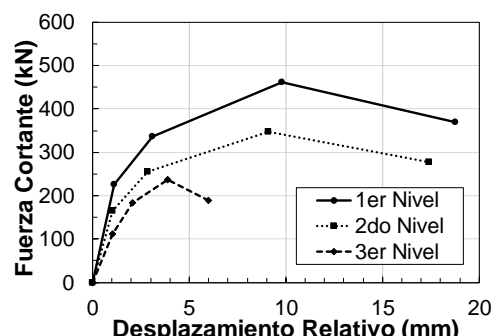


Figura N° 33. Curva de capacidad de la Vivienda 003M2L1.L2\_DMx1.6%.

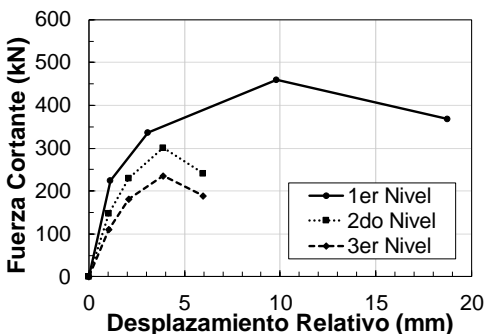


Figura N° 34. Curva de capacidad de la Vivienda 003ML1.2L2\_DMx1.6%.

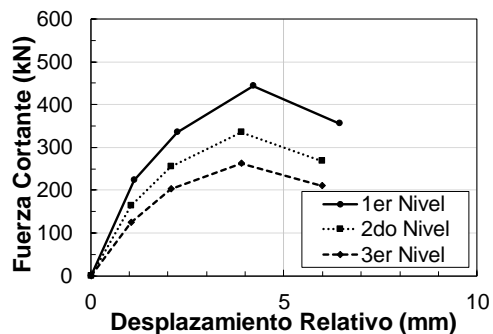


Figura N° 35. Curva de capacidad de la Vivienda 003M3L2\_DMx1.6%.

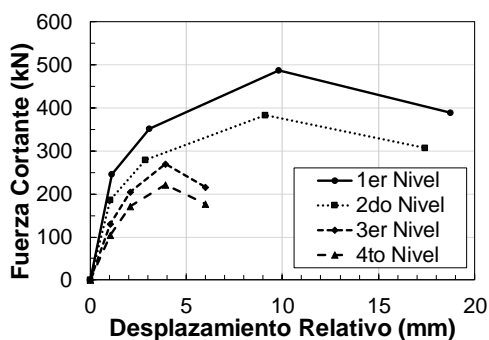


Figura N° 36. Curva de capacidad de la Vivienda 004M2L1.2L2\_DMx1.6%.

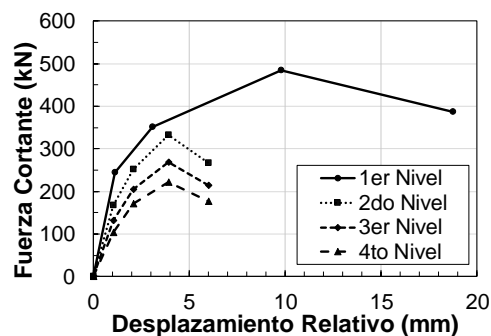


Figura N° 37. Curva de capacidad de la Vivienda 004ML1.3L2\_DMx1.6%.

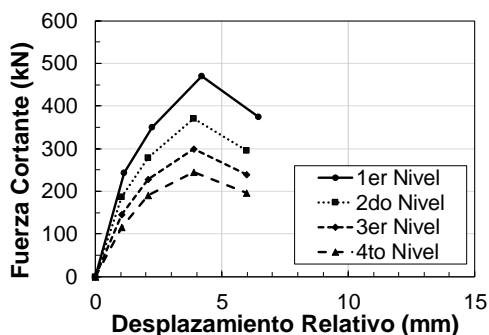


Figura N° 38. Curva de capacidad de la Vivienda 004M4L2\_DMx1.6%.

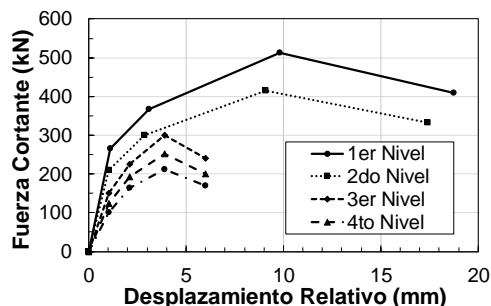


Figura N° 39. Curva de capacidad de la Vivienda 005M2L1.3L2\_DMx1.6%.

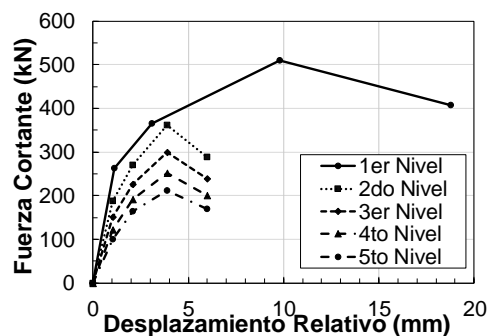


Figura N° 40. Curva de capacidad de la Vivienda 005ML1.4L2\_DMx1.6%.

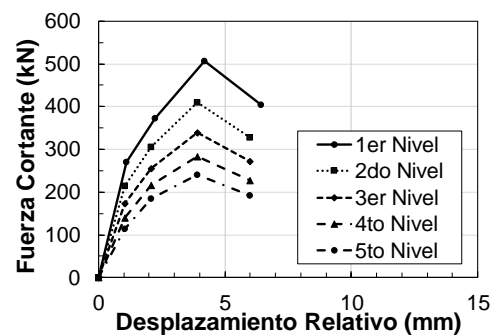


Figura N° 41. Curva de capacidad de la Vivienda 005M5L2\_DMx1.6%.

La Figura N° 28 y Figura N° 29 muestran las curvas de capacidad de las viviendas de un piso, la Figura N° 30, Figura N° 31 y Figura N° 32 muestran las curvas de capacidad de las viviendas de dos pisos, la Figura N° 33, Figura N° 34 y Figura N° 35 muestran las curvas de capacidad de las viviendas de tres pisos, la Figura N° 36, Figura N° 37 y Figura N° 38 muestran las curvas de capacidad de las viviendas de cuatro pisos y la Figura N° 39, Figura N° 40 y Figura N° 41 muestran las curvas de capacidad de las viviendas de cinco pisos.

Gráficamente se puede observar que la principal diferencia entre un piso construido con ladrillos sólido artesanal y otro con ladrillos pandereta industrial es la capacidad de deformación (Ver Figura N° 31). Esta principal diferencia en las

viviendas compuestas, dónde hay cambio de material en altura, hacen que el piso más dañado sea el nivel donde ocurre el cambio de material debido a su menor capacidad de deformación. En cambio, en términos de resistencia, los dos tipos de muros desarrollan valores similares (Ver Figura N° 28 y Figura N° 29). Sin embargo, al presentar diferente ductilidad, los muros construidos con ladrillos sólido artesanal tienen un mejor comportamiento sísmico que los construidos con ladrillos pandereta industrial.

#### 4.2.5. Curva de capacidad de viviendas con reforzamiento

Similarmente al caso sin reforzamiento. Para obtener la curva de capacidad de las viviendas con reforzamiento de malla acero y mortero cemento - arena por ambas caras del muro descritas en la Tabla N° 11 en la dirección "X" del caso de densidad N°1 de la Tabla N° 12, se empleó la ecuación (5) y los datos de la Tabla N° 2, Tabla N° 3, Tabla N° 4, Tabla N° 13, Tabla N° 15, Tabla N° 16, Tabla N° 17, Tabla N° 18 y el factor de modificación de la cortante de piso con la ecuación (6)(25). Se consideró un espesor de reforzamiento de 30 mm por ambas caras del muro. Las curvas obtenidas se muestran desde la Figura N° 42 hasta la Figura N° 55.

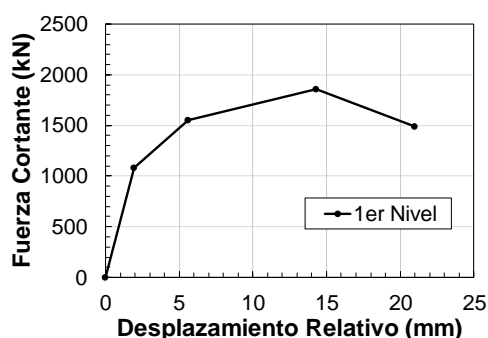


Figura N° 42. Curva de capacidad de la Vivienda 001ML1R2\_DMx1.6%.

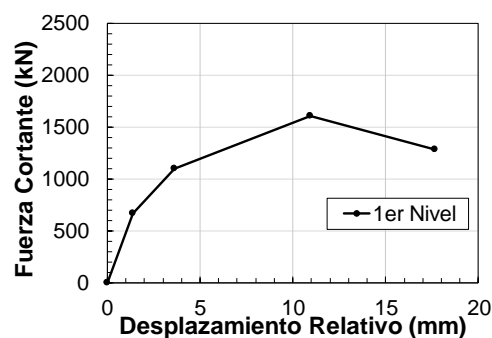


Figura N° 43. Curva de capacidad de la Vivienda 001ML2R2\_DMx1.6%.

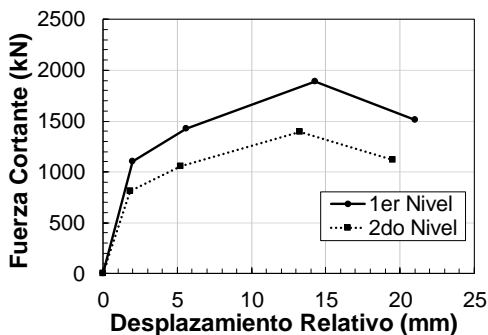


Figura N° 44. Curva de capacidad de la Vivienda 002M2L1R(2.2)\_DMx1.6%.

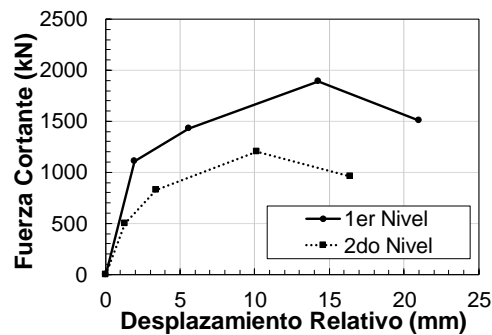


Figura N° 45. Curva de capacidad de la Vivienda 002ML1.L2R(2.2)\_DMx1.6%.

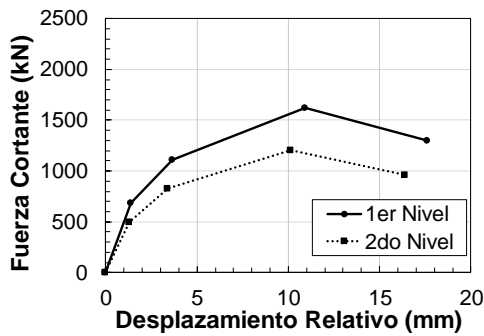


Figura N° 46. Curva de capacidad de la Vivienda 002M2L2R(2.2)\_DMX1.6%.

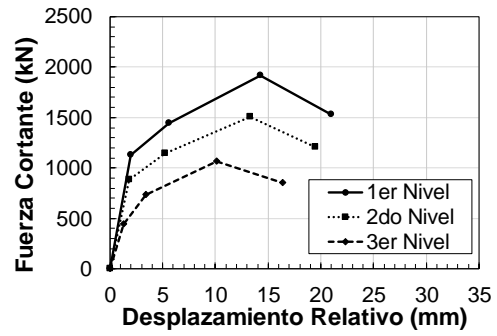


Figura N° 47. Curva de capacidad de la Vivienda 003M2L1.L2R(2.2.2)\_DMX1.6%.

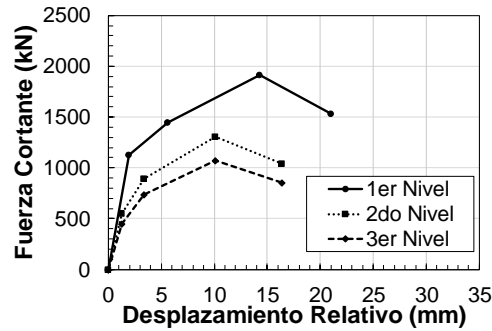


Figura N° 48. Curva de capacidad de la Vivienda 003ML1.2L2R(2.2.2)\_DMX1.6%.

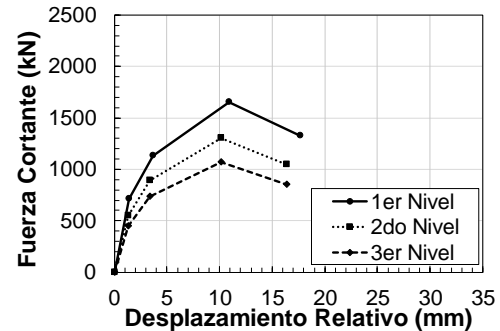


Figura N° 49. Curva de capacidad de la Vivienda 003M3L2R(2.2.2)\_DMX1.6%.

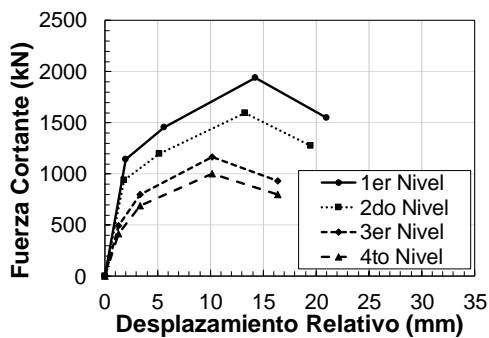


Figura N° 50. Curva de capacidad de la Vivienda 004M2L1.2L2R(2.2.2.2)\_DMX1.6%.

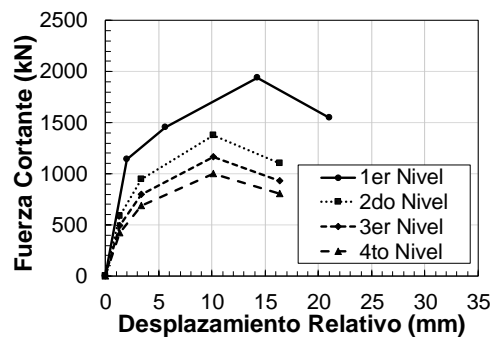


Figura N° 51. Curva de capacidad de la Vivienda 004ML1.3L2R(2.2.2.2)\_DMX1.6%.

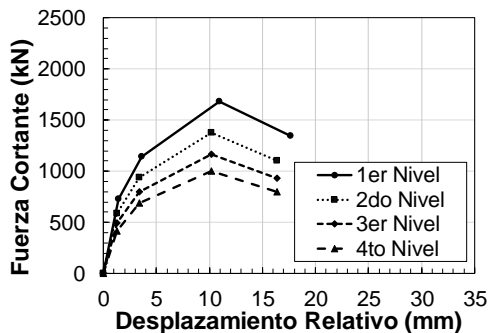


Figura N° 52. Curva de capacidad de la Vivienda 004M4L2R(2.2.2.2)\_DMX1.6%.

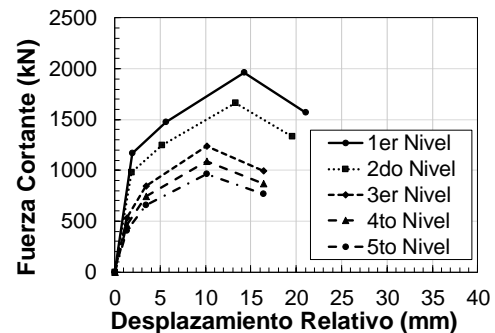


Figura N° 53. Curva de capacidad de la Vivienda 005M2L1.3L2R(2.2.2.2.2)\_DMX1.6%.

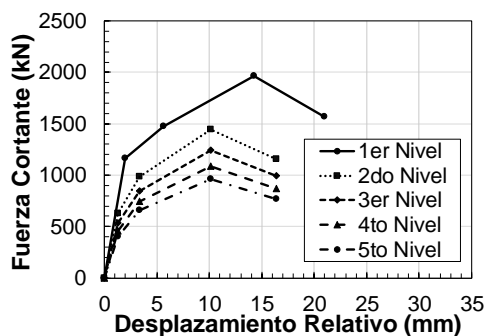


Figura N° 54. Curva de capacidad de la Vivienda 005M1L1.4L2R(2.2.2.2.2)\_DMX1.6%.

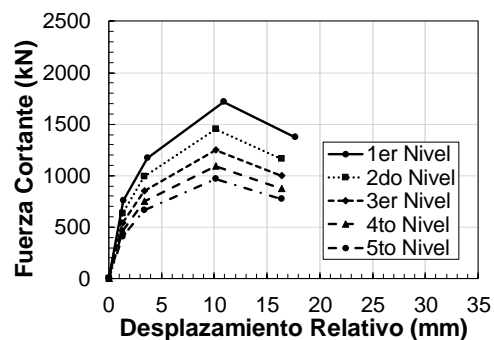


Figura N° 55. Curva de capacidad de la Vivienda 005M5L2R(2.2.2.2.2)\_DMX1.6%.

La Figura N° 42 y Figura N° 43 muestran las curvas de capacidad de las viviendas con reforzamiento de un piso, la Figura N° 44, Figura N° 45 y Figura N° 46 muestran las curvas de capacidad de las viviendas con reforzamiento de dos pisos, la Figura N° 47, Figura N° 48 y Figura N° 49 muestran las curvas de capacidad de las viviendas con reforzamiento de tres pisos, la Figura N° 50, Figura N° 51 y Figura N° 52 muestran las curvas de capacidad de las viviendas con reforzamiento de cuatro pisos, la Figura N° 53, Figura N° 54 y Figura N° 55 muestran las curvas de capacidad de las viviendas con reforzamiento de cinco pisos.

En la Figura N° 56 y Figura N° 57, muestra las curvas de capacidad sin reforzamiento y con reforzamiento de viviendas de un piso construido con ladrillos sólido artesanal y pandereta industrial, respectivamente. Mostrando, el incremento de resistencia y ductilidad. Además, la Figura N° 57 muestra que en los pisos construidos con ladrillos pandereta industrial con el reforzamiento empleado, desaparece el problema de reducción de la capacidad de deformación lateral.

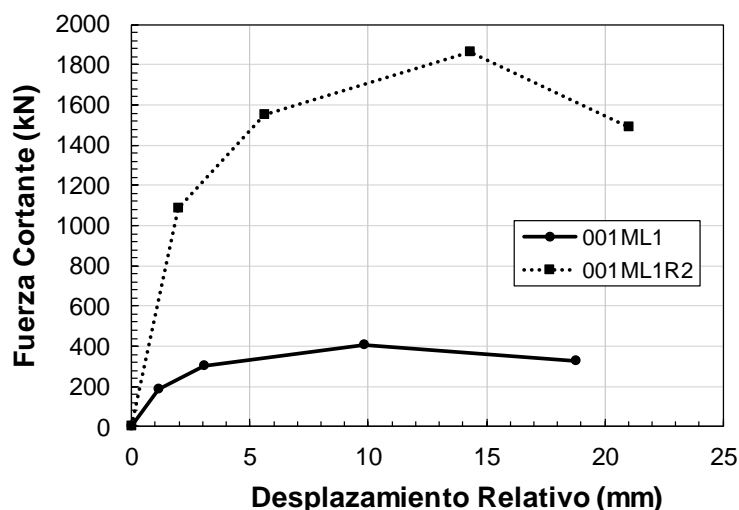


Figura N° 56. Comparación de curvas de capacidad de una vivienda de un nivel construido con ladrillos sólido artesanal sin reforzamiento(001ML1) y con reforzamiento(001ML1R2).

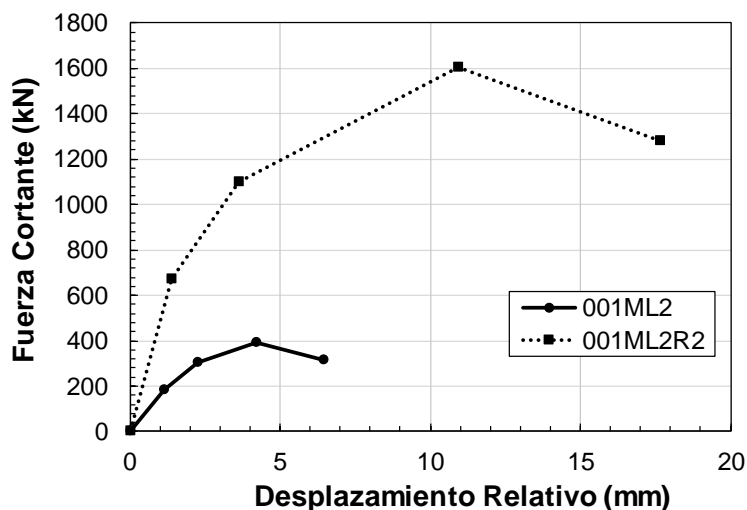


Figura N° 57. Comparación de curvas de capacidad de una vivienda de un nivel construido con ladrillos pandereta industrial sin reforzamiento(001ML2) y con reforzamiento(001ML2R2).

Finalmente, en la Figura N° 58 se observa que el reforzamiento incrementa más la resistencia y ductilidad en los pisos construidos con ladrillos sólido artesanal que los ladrillos pandereta industrial.

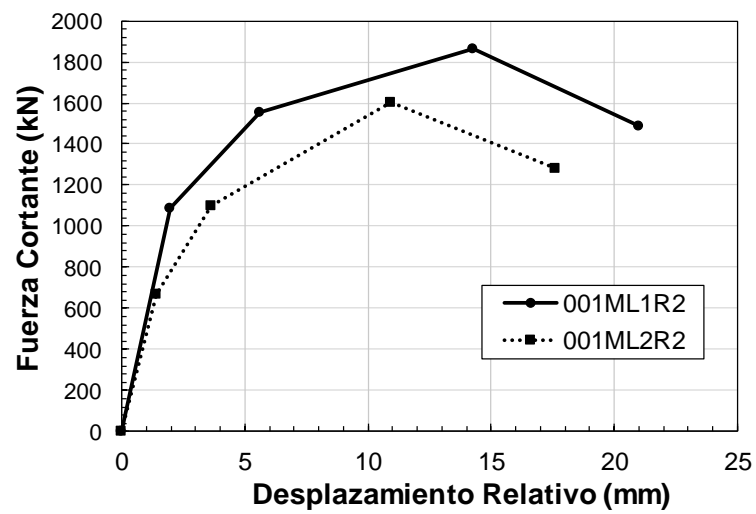


Figura N° 58. Comparación de curvas de capacidad de una vivienda reforzada de un nivel construido con ladrillos pandereta industrial (001ML1R2) y ladrillos sólido artesanal (001ML2R2).

## CAPÍTULO V: COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA DE LAS VIVIENDAS EXPUESTAS

### 5.1. ÍNDICES DE DAÑO EN VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

El índice de daño es una normalización de la distorsión, que permite indicar el piso más dañado, especialmente en las viviendas con cambio de material en altura. Para su cálculo es necesario conocer la distorsión, el tipo de muro de albañilería y utilizar una de las ecuaciones (7), (8), (9), (10) y (11). Los valores de las distorsiones ND, LV, MD, EX a utilizar en las ecuaciones anteriores dependen del tipo de muro de albañilería y se muestran en la Tabla N° 9 (CISMID, 2020a).

#### 1) $Distorsión \leq ND$ (No daño)

$$Dindex = \frac{Distorsión}{ND} \quad (7)$$

#### 2) $ND \leq Distorsión \leq LV$ (Nivel de daño: Leve)

$$Dindex = 1 + \frac{Distorsión - ND}{LV - ND} \quad (8)$$

#### 3) $LV \leq Distorsión \leq MD$ (Nivel de daño: Moderado)

$$Dindex = 2 + \frac{Distorsión - LV}{MD - LV} \quad (9)$$

#### 4) $MD \leq Distorsión \leq EX$ (Nivel de daño: Extensivo)

$$Dindex = 3 + \frac{Distorsión - MD}{EX - MD} \quad (10)$$

#### 5) $Distorsión \geq EX$ (Colapso)

$$Dindex = 4 + \frac{Distorsión - EX}{CO - EX} \quad (11)$$

Donde :

ND : Límite de distorsión para el nivel No daño (ver Tabla N° 9).

LV : Límite de distorsión para el nivel de daño Leve (ver Tabla N° 9).



MD : Límite de distorsión para el nivel de daño Moderado (ver Tabla N° 9).

EX : Límite de distorsión para el nivel de daño Extensivo (ver Tabla N° 9).

CO : Límite de distorsión para el nivel de daño Colapso (ver Tabla N° 9)

Distorsión : Distorsión del piso.

Dindex : Índice de daño del piso.

Cuando el índice de daño tenga un valor mayor a 5 ( $Dindex > 5$ ), el índice de daño se le asignara un valor igual a X ( $Dindex = X$ ), indicando que el piso supero su deformación ultima ( $d_{Ult}$ ).

### 5.1.1. Cálculo de índices de daño de una vivienda de albañilería.

A continuación, se muestra el cálculo de los índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2\_DM2.3% ante una demanda sísmica leve. La Tabla N° 19 muestra las distorsiones promedio y tipo de ladrillo de cada piso.

**Tabla N° 19. Distorsión promedio ante un demanda sísmica leve y tipo de ladrillo de cada piso de la vivienda 003ML1.2L2\_DM2.3%.**

Piso	Distorsión Promedio	Tipo de Ladrillo
1	0.002511	Sólido Artesanal
2	0.001658	Pandereta Industrial
3	0.000692	Pandereta Industrial

Elaboración propia.

#### Primer piso:

El primer piso está construido con ladrillos sólido artesanal. Por lo tanto, los límites distorsión de los niveles de daño son (ver Tabla N° 9):

$$ND = 0.0004, LV = 0.0011, MD = 0.0028, EX = 0.0035, CO = 0.0067$$

Además, la distorsión promedio del primer piso es:

$$Distorsión = 0.002511$$

La condición que satisface la distorsión promedio es:

$$LV = 0.0011 \leq Distorsión = 0.002511 \leq MD = 0.0028$$

Entonces, la ecuación para hallar el índice de daño es la (9).

$$Dindex = 2 + \frac{Distorsión - LV}{MD - LV} = 2 + \frac{0.002511 - 0.0011}{0.0028 - 0.0011} = 2.8$$

El Índice de Daño 2.8 significa que el primero piso tiene un daño moderado.

**Segundo piso:**

El segundo piso está construido con ladrillos pandereta industrial. Por lo tanto, los límites distorsión de los niveles de daño son (ver Tabla N° 9):

$$ND = 0.0004, LV = 0.0008, MD = 0.001, EX = 0.0015, CO = 0.0023$$

Además, la distorsión promedio del segundo piso es:

$$Distorsión = 0.001658$$

La condición que satisface la distorsión promedio es:

$$Distorsión = 0.001658 \geq EX = 0.0015$$

Entonces, la ecuación para hallar el índice de daño es la (11).

$$Dindex = 4 + \frac{Distorsión - EX}{CO - EX} = 4 + \frac{0.001658 - 0.0015}{0.0023 - 0.0015} = 4.2$$

El Índice de Daño 4.2 significa que el segundo piso está en inminente colapso ya que supero la deformación correspondiente a su resistencia máxima.

**Tercer piso:**

El tercer piso está construido con ladrillos pandereta industrial. Por lo tanto, los límites distorsión de los niveles de daño son (ver Tabla N° 9):

$$ND = 0.0004, LV = 0.0008, MD = 0.001, EX = 0.0015, CO = 0.0023$$

Además, la distorsión promedio del tercer nivel es:

$$Distorsión = 0.000692$$

La condición que satisface la distorsión es:

$$ND = 0.0004 \leq Distorsión = 0.000692 \leq LV = 0.0008$$

Entonces, la ecuación para hallar el índice de daño es la (8).

$$Dindex = 1 + \frac{Distorsión - ND}{LV - ND} = 1 + \frac{0.000692 - 0.0004}{0.0008 - 0.0004} = 1.7$$

El Índice de Daño 1.7 significa que el tercer piso tiene un daño leve.

La Figura N° 59 muestra que la distorsión promedio de los pisos de la vivienda disminuyen con la altura para una demanda sísmica leve. Entonces, se podría pensar que el piso más dañado es el primero. Sin embargo, el primer piso no supero su límite

de distorsión. Mientras que el segundo piso, si supero su límite de distorsión. Esto se debe a que el segundo piso es donde ocurre el cambio de material en altura , el cual presenta una menor capacidad de deformación y una menor distorsión limite.

En consecuencia, cuando se analiza una gran cantidad de viviendas con cambio de material en altura ante diferentes demandas sísmicas, resulta muy laborioso identificar el piso más dañado que no necesariamente corresponde al de mayor distorsión. Una alternativa practica y rápida para solucionar este problema, es mediante la gráfica de índices, como se observa en la Figura N° 60, mostrando que el segundo piso presenta mayores índices para cada nivel de sismo. Esta forma de mostrar las respuestas es la que se utiliza en esta tesis.

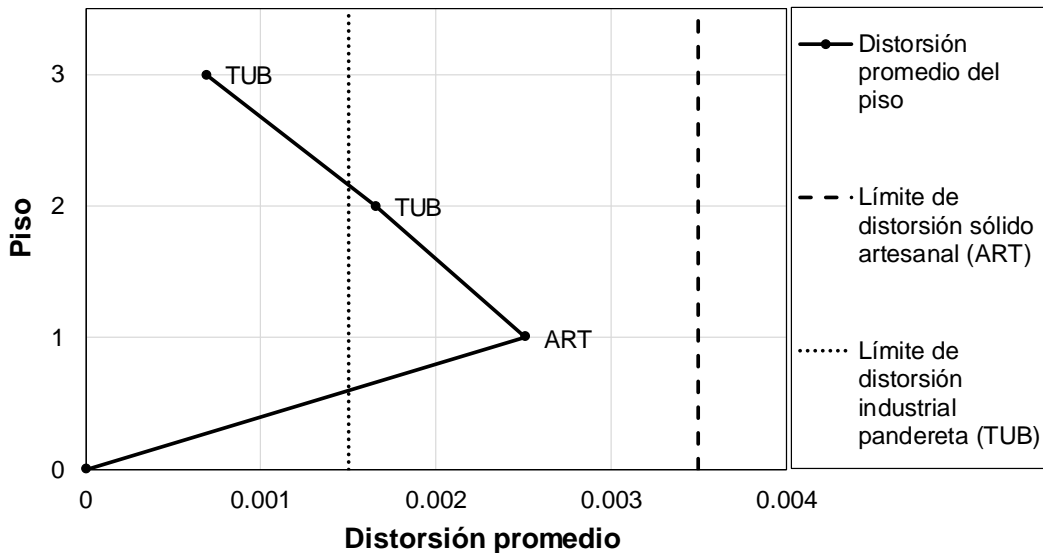


Figura N° 59. Distorsiones promedio de la vivienda 003ML1.2L2\_DM2.3% ante una demanda sísmica leve.

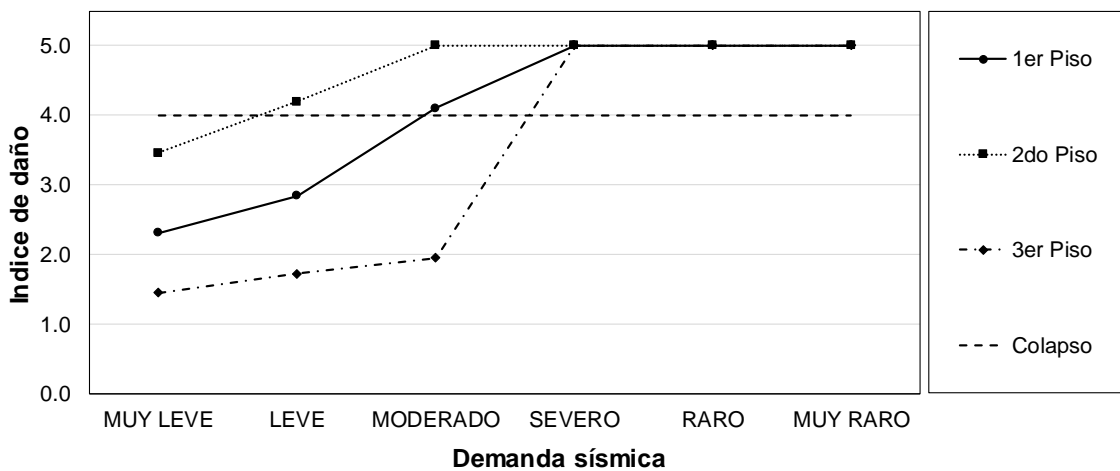


Figura N° 60. Índice de daño de la vivienda 003ML1.2L2\_DM2.3% ante diferentes demandas sísmicas.

## 5.2. CÁLCULO DE ÍNDICES DE DAÑO DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA SIN REFORZAMIENTO

En este subcapítulo se mostrará los índices de daño de las catorce tipologías sin reforzamiento definidas en la Tabla N° 11, cuyo procedimiento de cálculo fue descrito en el subcapítulo 5.1.1.

Desde la Figura N° 61 hasta la Figura N° 88 se muestran los índices de daño de las catorce tipologías sin reforzamiento. Estas graficas nos indican el comportamiento sísmico para las seis demandas sísmicas definidas en la Tabla N° 5, cinco densidades de muros definidos en la Tabla N° 12 y sobre dos tipos de suelo S1 y S2 definidos en la Tabla N° 6.

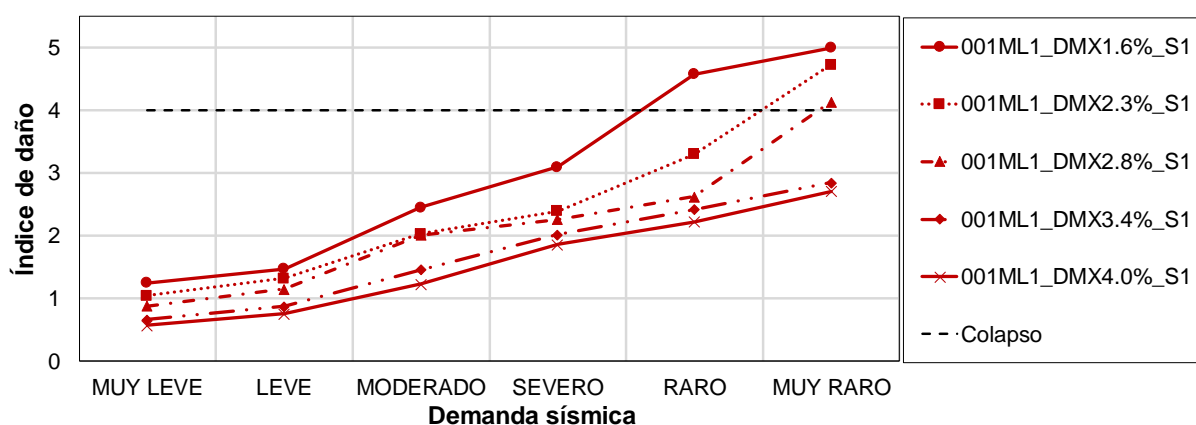


Figura N° 61. Índices de daño de la vivienda 001ML1 sobre suelo S1.

La Figura N° 61 muestra los índices de daño de la vivienda 001ML1 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro la vivienda con densidad de muros de 1.6% colapsa, las de 2.3% y 2.8% están en inminente colapso, las de 3.4% y 4.0% no colapsan, mientras que para una demanda sísmica severo ninguna de las cuatro densidades colapsa.

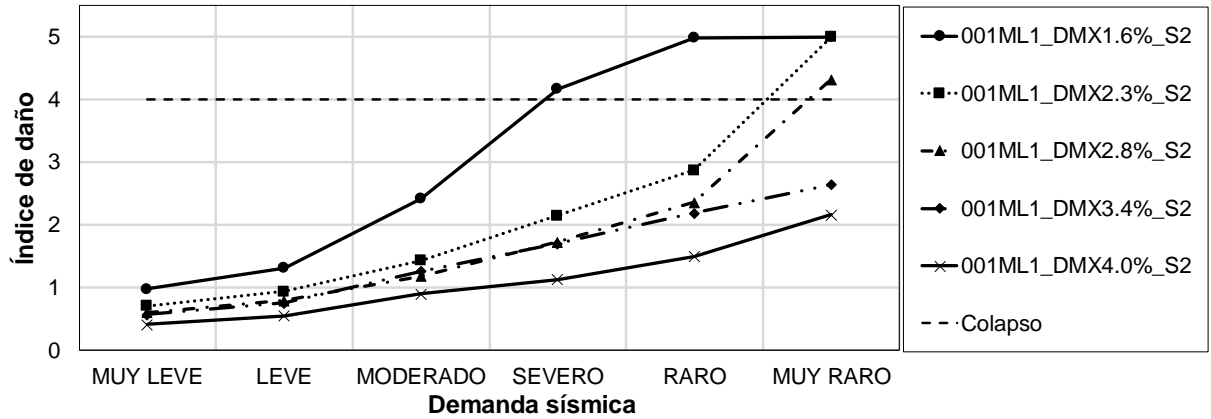


Figura N° 62. Índices de daño de la vivienda 001ML1 sobre suelo S2.

La Figura N° 62 muestra los índices de daño de la vivienda 001ML1 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 2.8% está en inminente colapso, las de 3.4% y 4.0% no colapsan, mientras que para una demanda sísmica severo únicamente la vivienda con 1.6% de densidad está en inminente colapso.

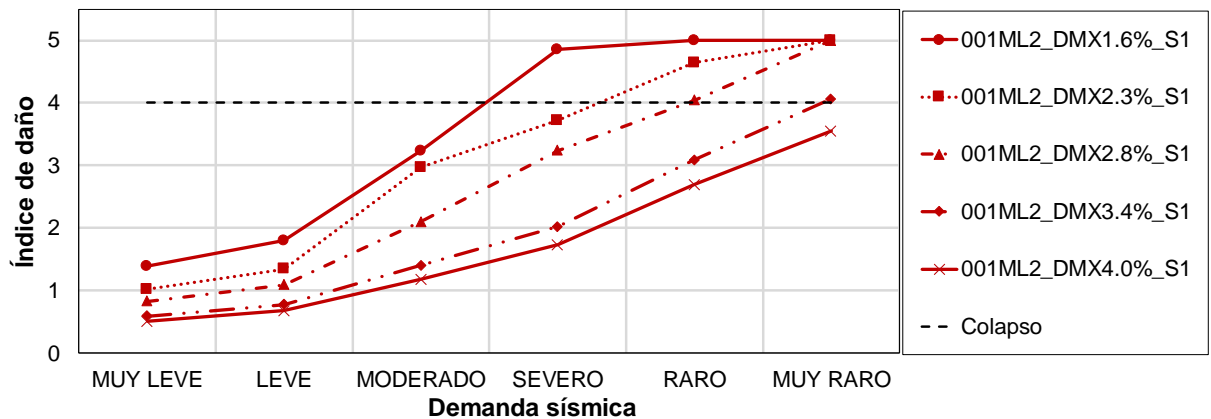


Figura N° 63. Índices de daño de la vivienda 001ML2 sobre suelo S1.

La Figura N° 63 muestra los índices de daño de la vivienda 001ML2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% colapsan, la de 3.4% está en inminente colapso y la de 4.0% no colapsa, mientras que para una demanda sísmica severo únicamente la vivienda con 1.6% de densidad de muros está en inminente colapso.

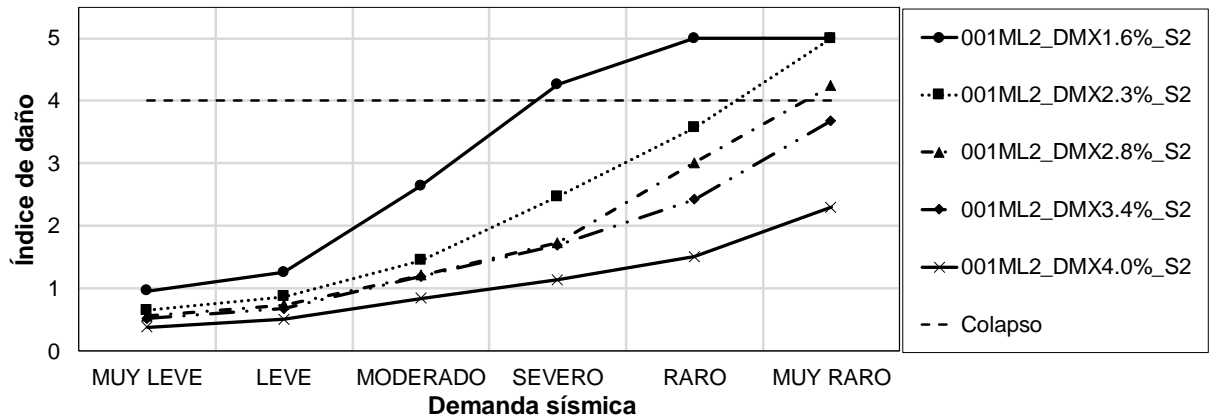


Figura N° 64. Índices de daño de la vivienda 001ML2 sobre suelo S2.

La Figura N° 64 muestra los índices de daño de la vivienda 001ML2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 2.8% está en inminente colapso y las de 3.4% y 4.0% no colapsan, mientras que para una demanda sísmica severo únicamente la vivienda con 1.6% de densidad de muros está en inminente colapso

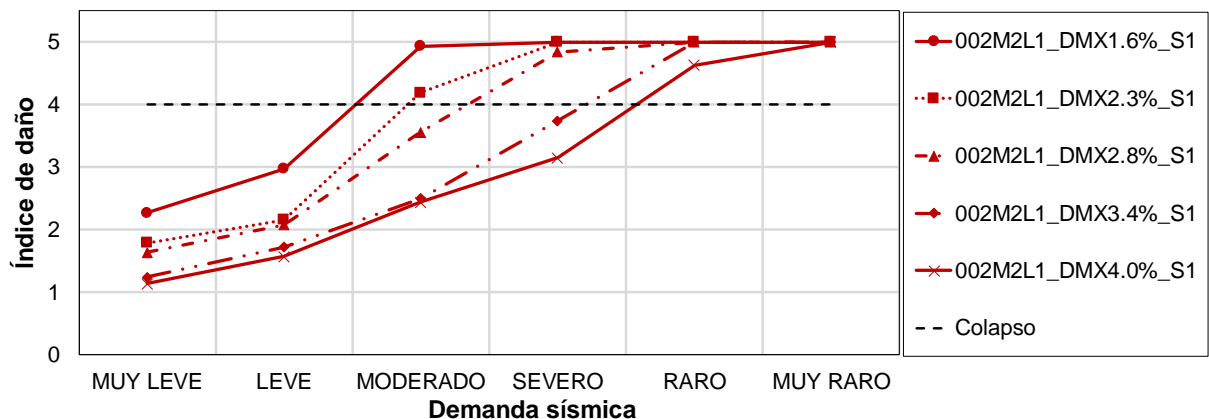


Figura N° 65. Índices de daño de la vivienda 002M2L1 sobre Suelo S1.

La Figura N° 65 muestra los índices de daño de la vivienda 002M2L1 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 2.8% está en inminente colapso y las de 3.4% y 4.0% no colapsan.

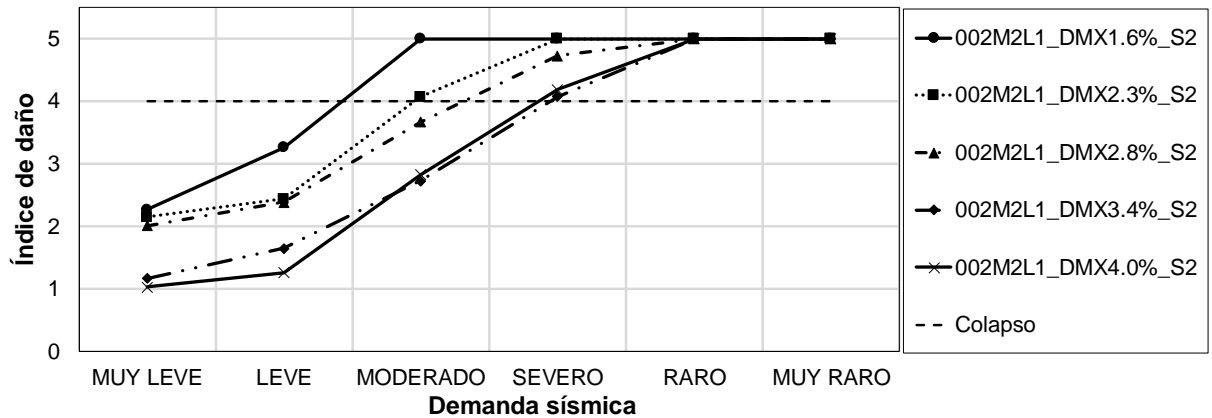


Figura N° 66. Índices de daño de la vivienda 002M2L1 sobre Suelo S2.

La Figura N° 66 muestra los índices de daño de la vivienda 002M2L1 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica raro todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% están en inminente colapso.

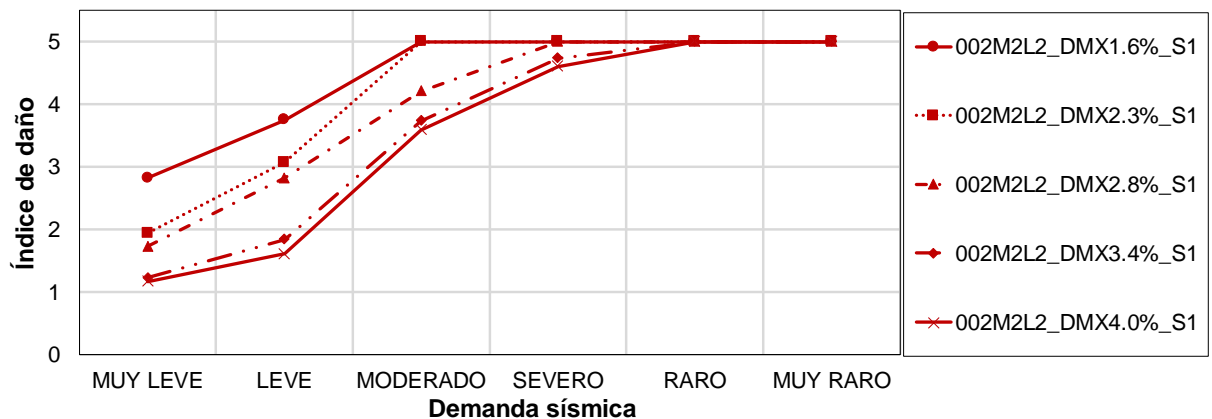


Figura N° 67. Índices de daño de la vivienda 002M2L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 67 muestra los índices de daño de la vivienda 002M2L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para un nivel de sismo raro todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% están en inminente colapso.

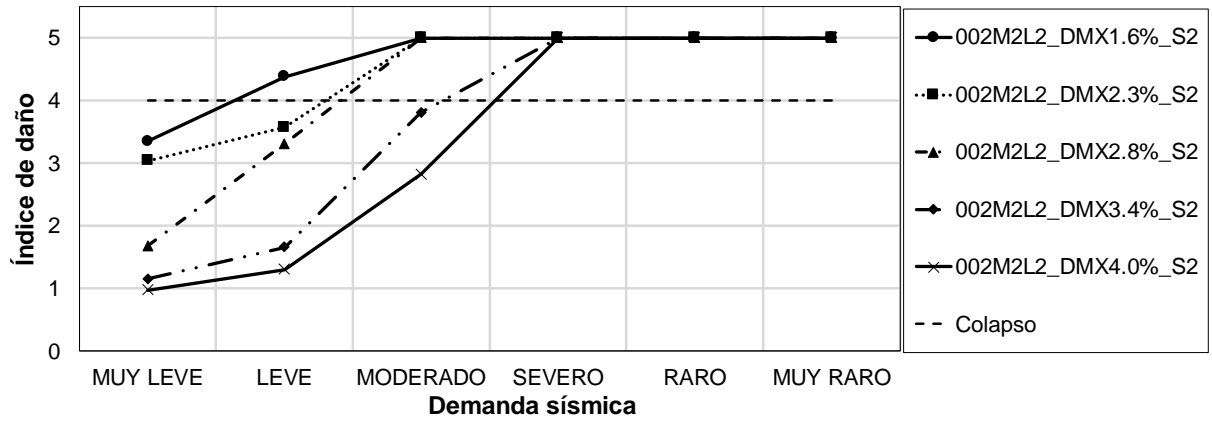


Figura N° 68. Índices de daño de la vivienda 002M2L2 sobre Suelo S2.

La Figura N° 68 muestra los índices de daño de la vivienda 002M2L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica severo todas densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica moderado las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% no colapsan.

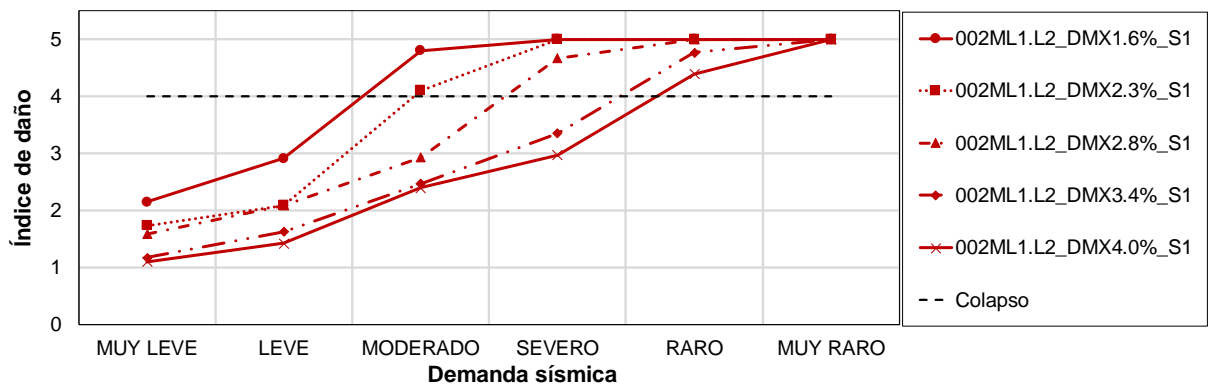


Figura N° 69. Índices de daño de la vivienda 002ML1.L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 69 muestra los índices de daño de la vivienda 002ML1.L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 2.8% está en inminente colapso y las de 3.4% y 4.0% no colapsan.



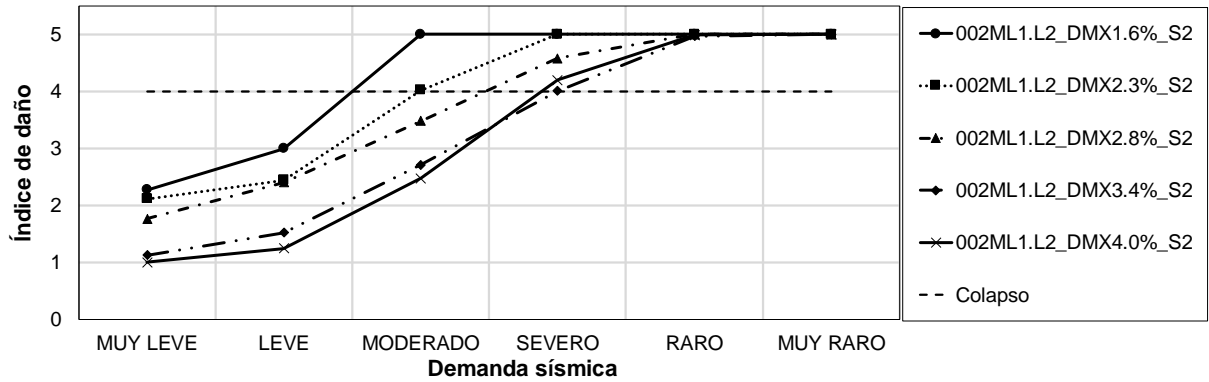


Figura N° 70. Índices de daño de la vivienda 002ML1.L2 sobre suelo S2.

La Figura N° 70 muestra los índices de daño de la vivienda 002ML1.L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica raro todas densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% están en inminente colapso.

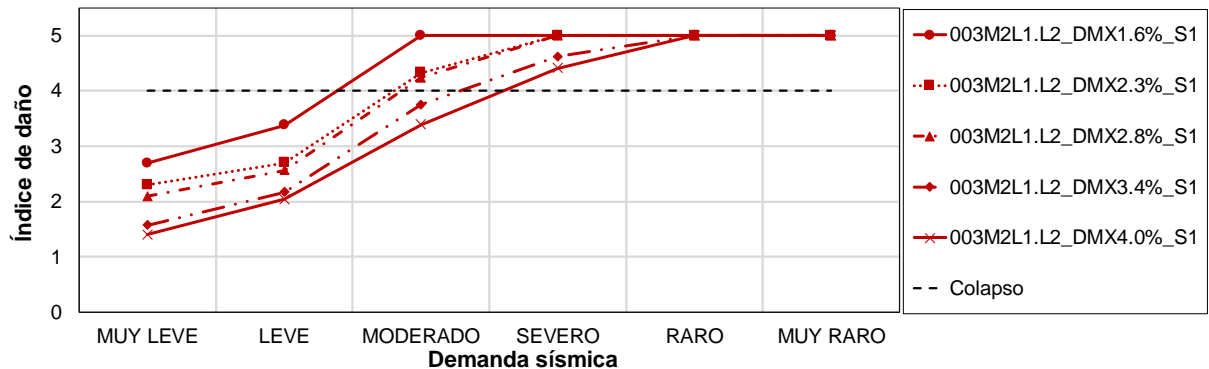


Figura N° 71. Índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 71 muestra los índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica raro todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% están en inminente colapso.

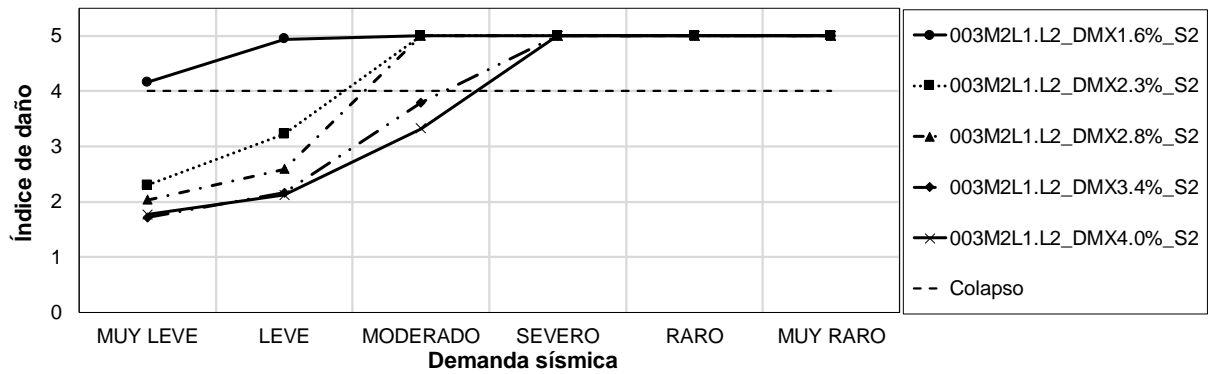


Figura N° 72. Índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2 sobre suelo S2.

La Figura N° 72 muestra los índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica severo todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica moderado las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% no colapsan.

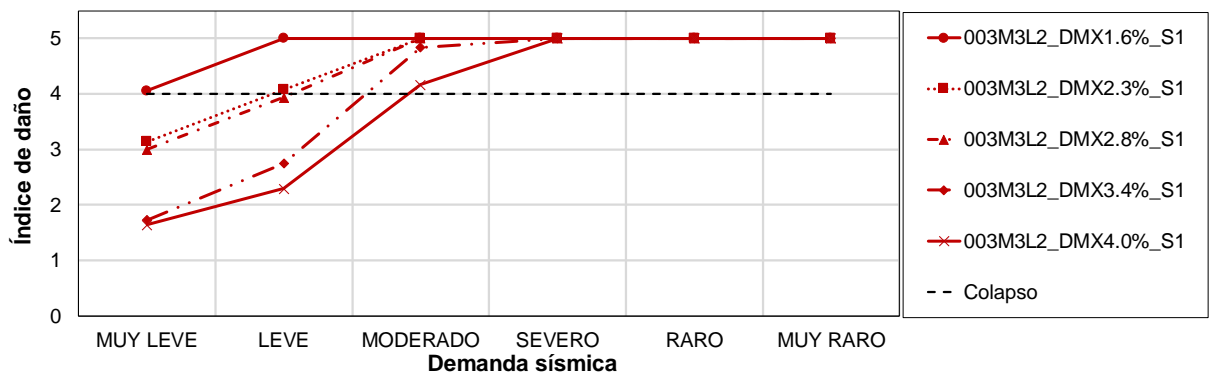


Figura N° 73. Índices de daño de la vivienda 003M3L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 73 muestra los índices de daño de la vivienda 003M3L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica severo todas las viviendas colapsan, mientras que para una demanda sísmica moderado las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% están en inminente colapso.

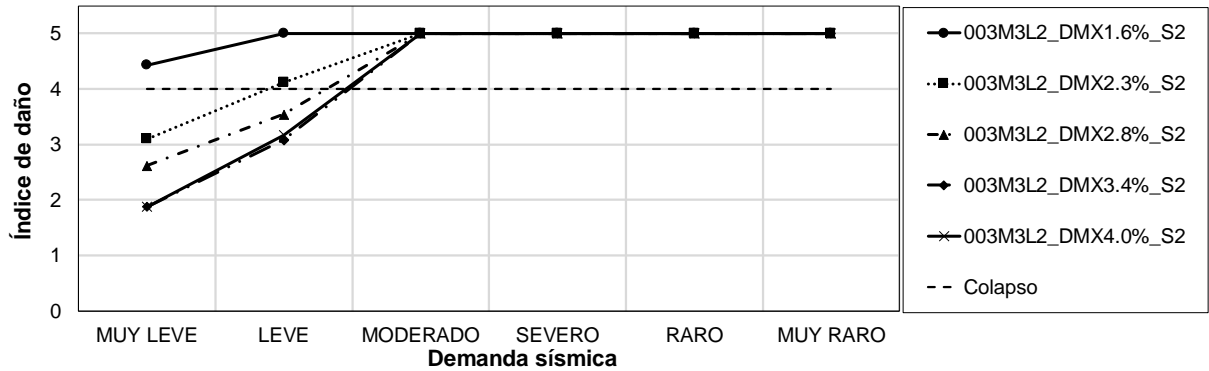


Figura N° 74. Índices de daño de la vivienda 003M3L2 sobre Suelo S2.

La Figura N° 74 muestra los índices de daño de la vivienda 003M3L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica leve la vivienda con densidad de muros de 1.6% colapsa, la de 2.3% está en inminente colapso, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan.

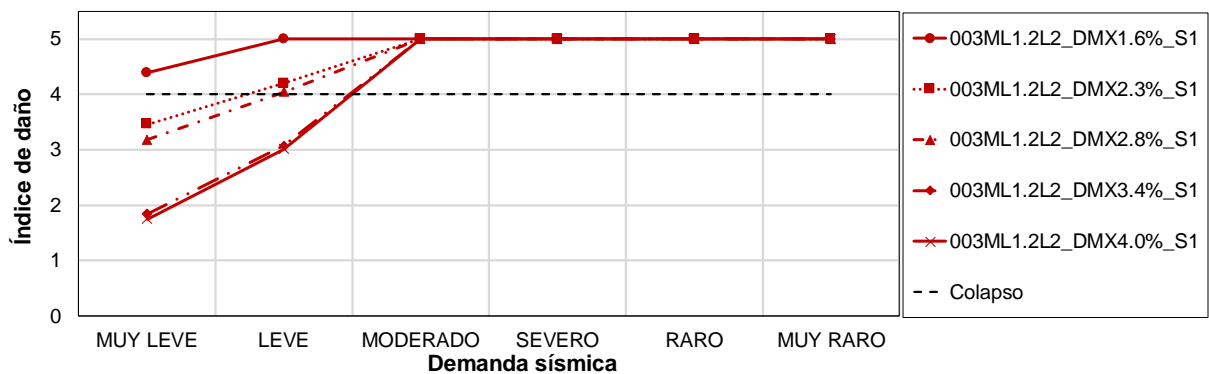


Figura N° 75. Índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 75 muestra los índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica leve solo la vivienda con densidad de muros de 1.6% colapsa, las de 2.3% y 2.8% están en inminente colapso, las de 3.4% y 4.0% no colapsan.

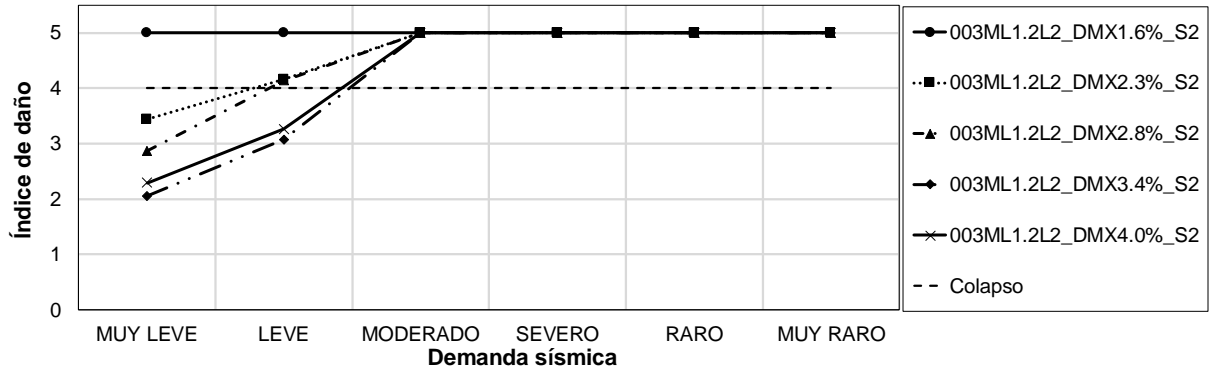


Figura N° 76. Índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2 sobre suelo S2.

La Figura N° 76 muestra los índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las viviendas colapsan, mientras que para una demanda sísmica leve solo la vivienda con densidad de muros de 1.6% colapsa, las de 2.3% y 2.8% están en inminente colapso, las de 3.4% y 4.0% no colapsan.

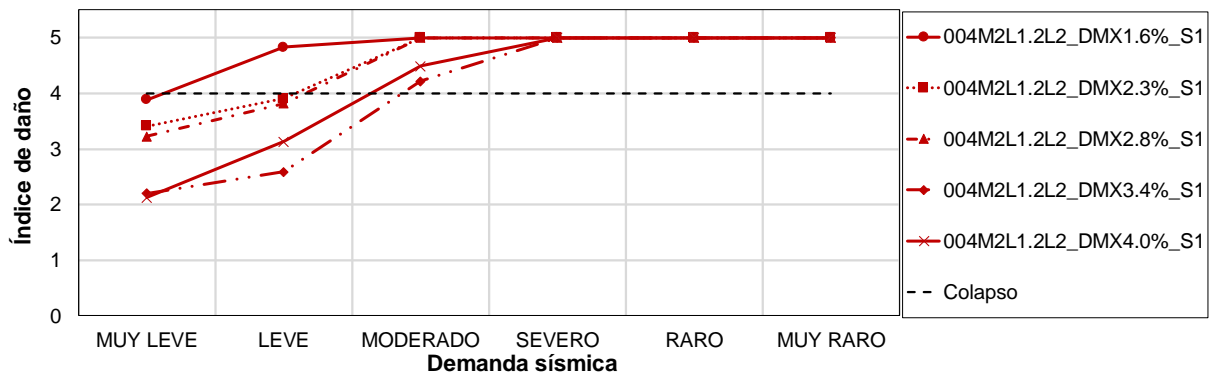


Figura N° 77. Índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 77 muestra los índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica severo todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica moderado las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% están en inminente colapso.

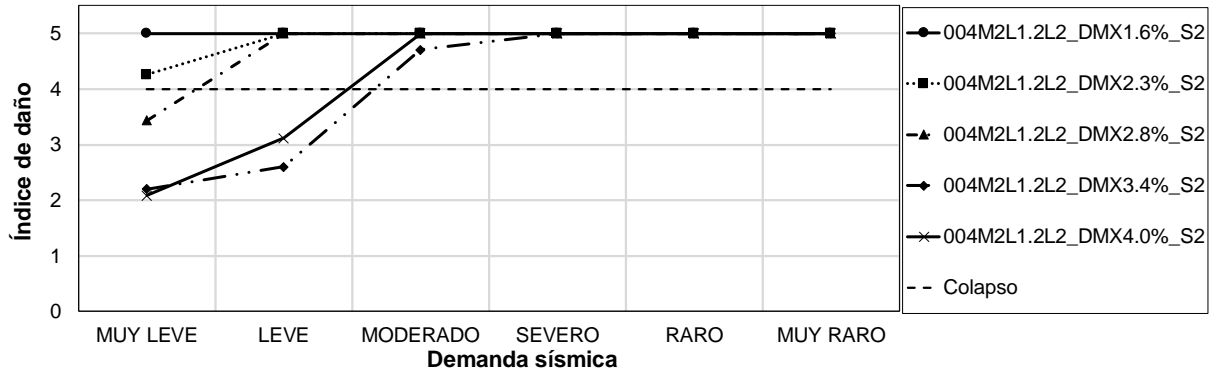


Figura N° 78. Índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2 sobre suelo S2.

La Figura N° 78 muestra los índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica severo todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica moderado las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% y 3.4% colapsan y la de 4.0% está en inminente colapso.

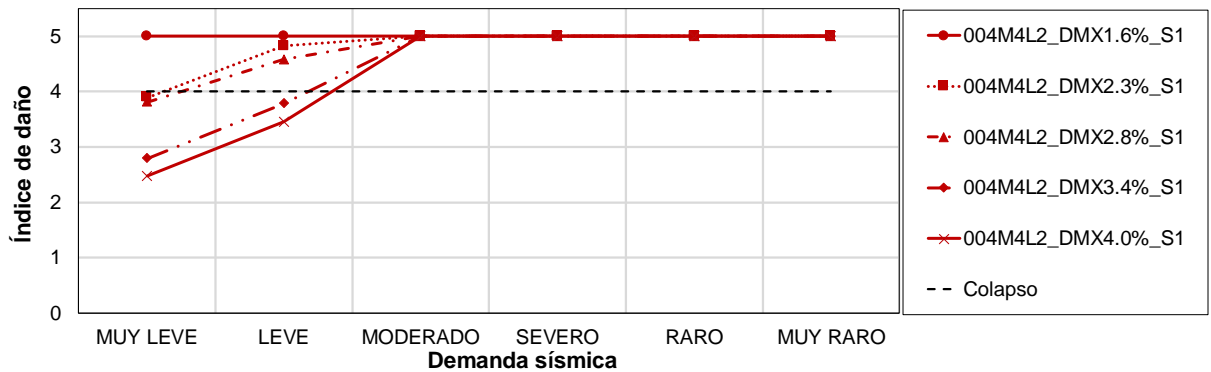


Figura N° 79. Índices de daño de la vivienda 004M4L2 sobre Suelo S1.

La Figura N° 79 muestra los índices de daño de la vivienda 004M4L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica leve solo la vivienda con densidad de muros de 1.6% colapsa, las de 2.3% y 2.8% están en inminente colapso y las de 3.4% y 4.0% no colapsan.

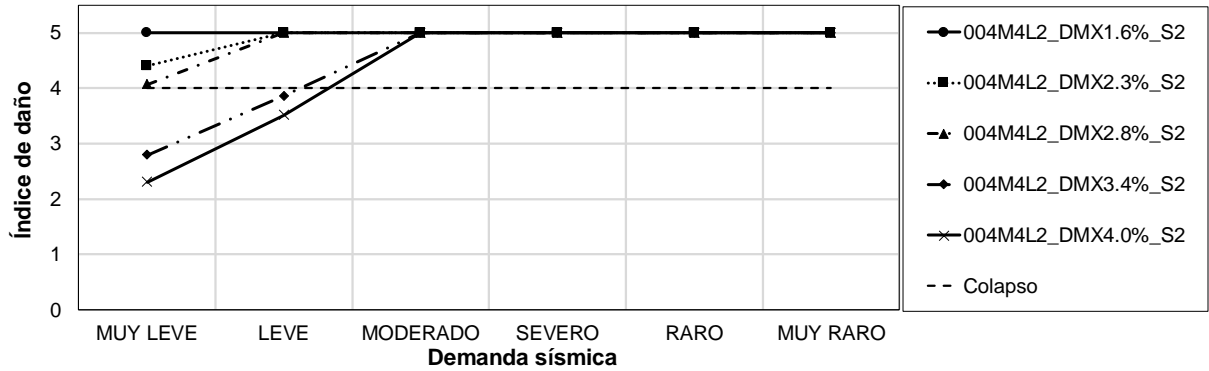


Figura N° 80. Índices de la vivienda 004M4L2 sobre Suelo S2.

La Figura N° 80 muestra los índices de daño de la vivienda 004M4L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica leve las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% no colapsan.

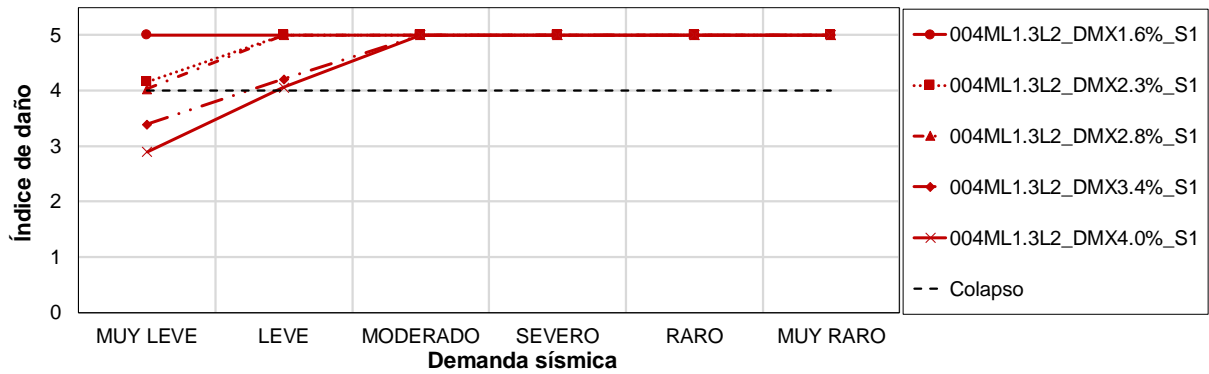


Figura N° 81. Índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 81 muestra los índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica leve las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% están en inminente colapso.

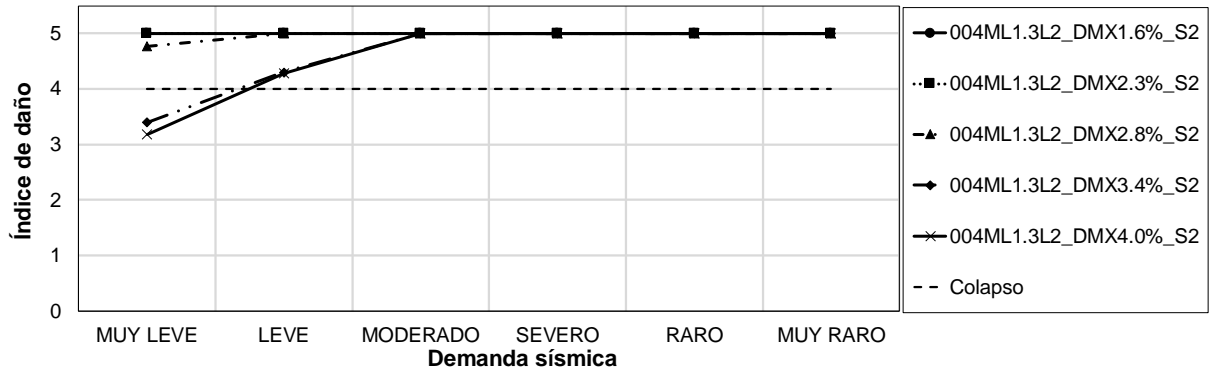


Figura N° 82. Índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2 sobre suelo S2.

La Figura N° 82 muestra los Índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades colapsan, mientras que para un nivel de sismo leve las viviendas con densidades de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4% están en inminente colapso.

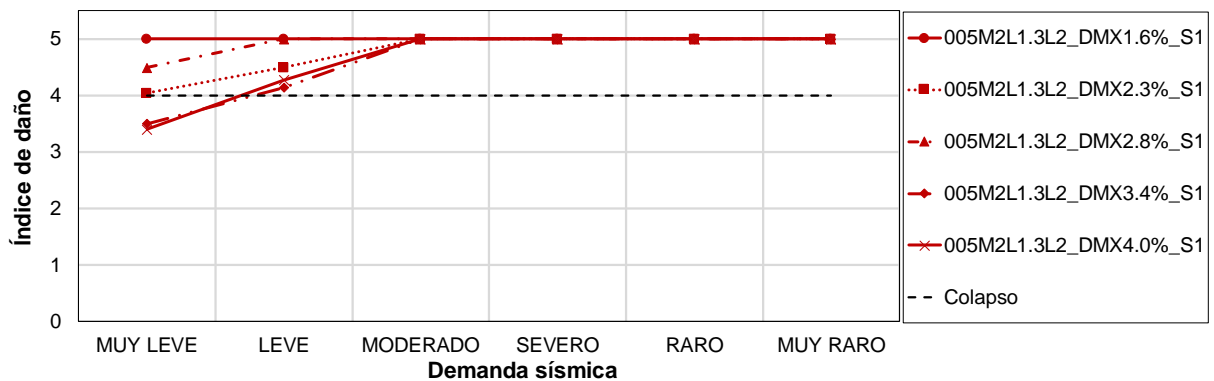


Figura N° 83. Índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 83 muestra los índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica leve las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, las de 2.8%, 3.4% y 4% están en inminente colapso.

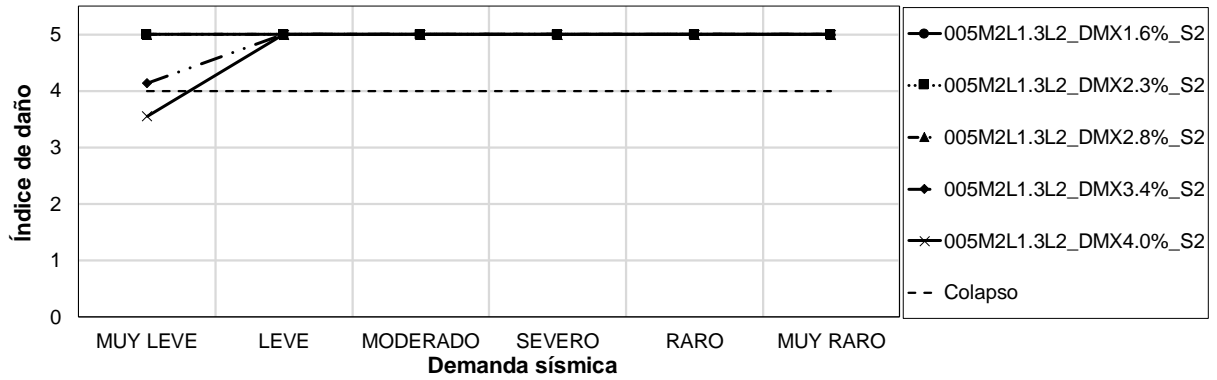


Figura N° 84. Índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2 sobre suelo S2.

La Figura N° 84 muestra los índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica leve todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica muy leve las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, la de 3.4% están en imminente colapso y la de 4.0% no colapsa.

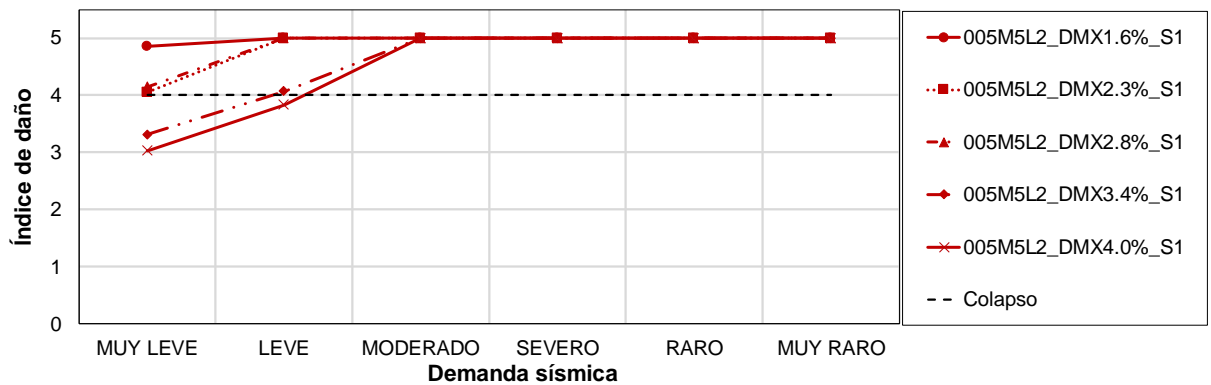


Figura N° 85. Índices de daño de la vivienda 005M5L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 85 muestra los índices de daño de la vivienda 005M5L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderada todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica leve las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, la de 3.4% está en imminente colapso y la de 4.0% no colapsa.



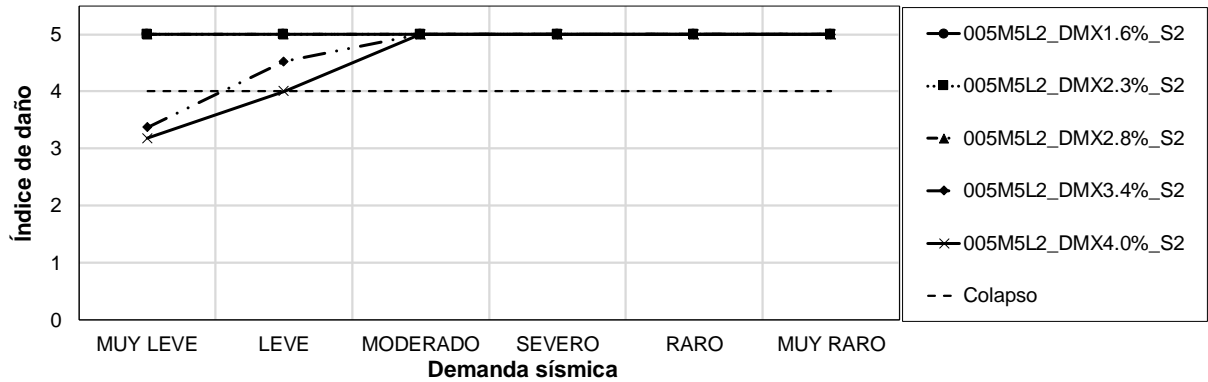


Figura N° 86. Índices de daño de la vivienda 005M5L2 sobre suelo S2.

La Figura N° 86 muestra los índices de daño de la vivienda 005M5L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica muy leve las viviendas de densidad 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% están en inminente colapso.

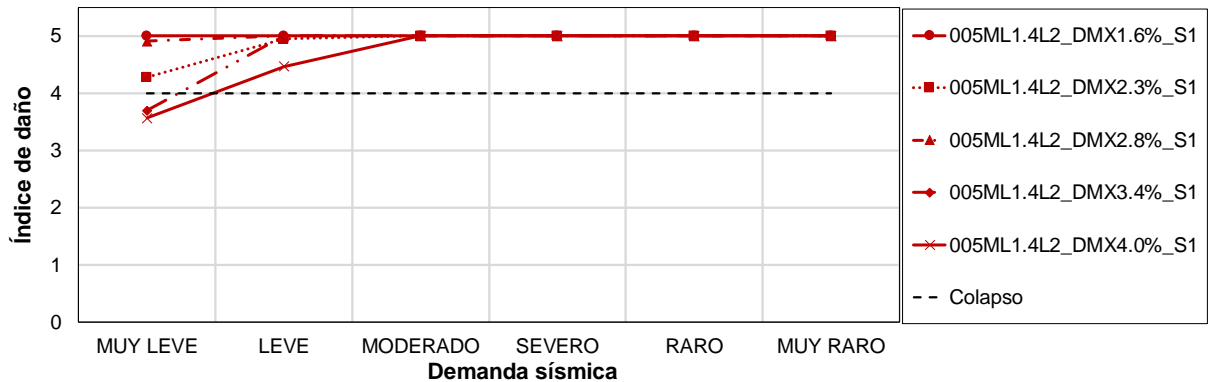


Figura N° 87. Índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2 sobre suelo S1.

La Figura N° 87 muestra los índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2 sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica leve las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% y 3.4% colapsan, la de 4.0% está en inminente colapso.

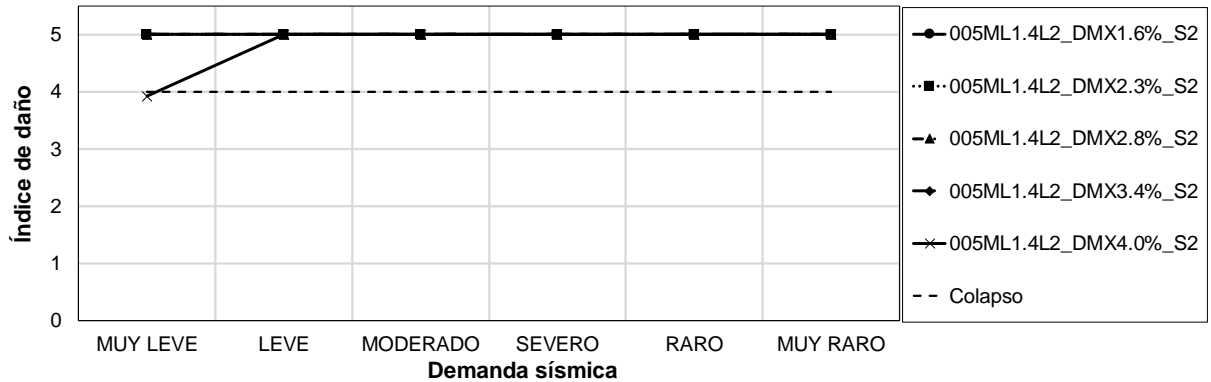


Figura N° 88. Índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2 sobre suelo S2.

La Figura N° 88 muestra los índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2 sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica leve todas las densidades colapsan, mientras que para una demanda sísmica muy leve las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% y 3.4% colapsan, la de 4.0% no colapsa.

Como se puede observar desde la Figura N° 61 hasta la Figura N° 88, las respuestas de las catorce tipologías sin reforzamiento dependen principalmente de la densidad de muros, a mayor densidad menor es el nivel de daño. Además, en general se producen mayores daños sobre suelo S2 que S1.

### 5.3. CÁLCULO DE ÍNDICES DE DAÑO DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA CON REFORZAMIENTO

Similarmente, al cálculo de índices de daño de las tipologías sin reforzamiento mostrado en el subcapítulo 5.2, se realizó el cálculo de los índices de daño de las catorce tipologías con reforzamiento definidas en la Tabla N° 11.

Desde la Figura N° 89 hasta la Figura N° 116 se muestran los índices de daño de las catorce tipologías con reforzamiento. Estas graficas nos indican el comportamiento sísmico para las seis demandas sísmicas definidas en la Tabla N° 5, cinco densidades de muros definidos en la Tabla N° 12 y sobre dos tipos de suelo S1 y S2 definidos en la Tabla N° 6.

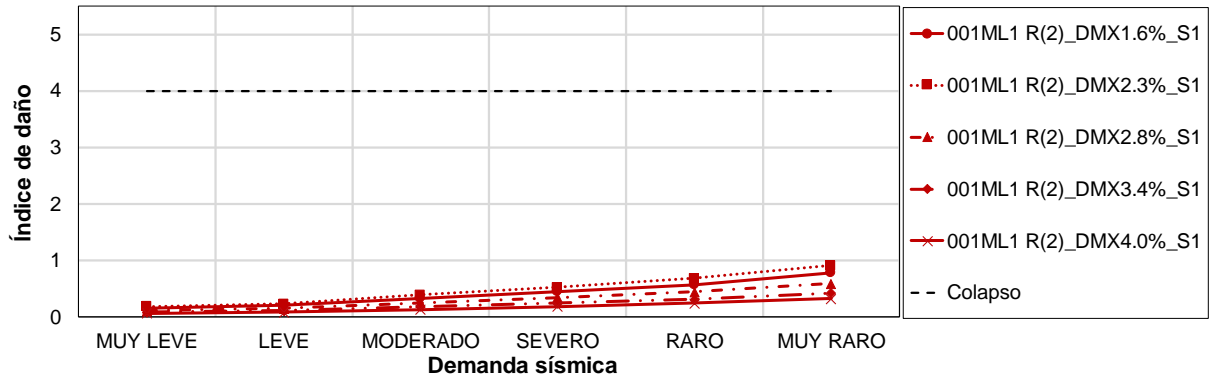


Figura N° 89. Índices de daño de la vivienda 001ML1R(2) sobre Suelo S1.

La Figura N° 89 muestra los índices de daño de la vivienda 001ML1R(2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades no colapsan.

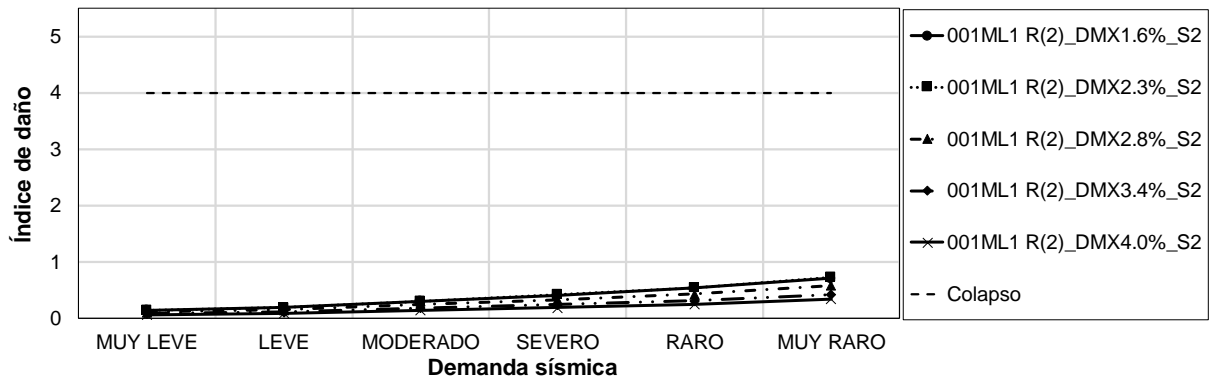


Figura N° 90. Índices de daño de la vivienda 001ML1R(2) sobre Suelo S2.

La Figura N° 90 muestra los índices de daño de la vivienda 001ML1R(2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las viviendas no colapsan.

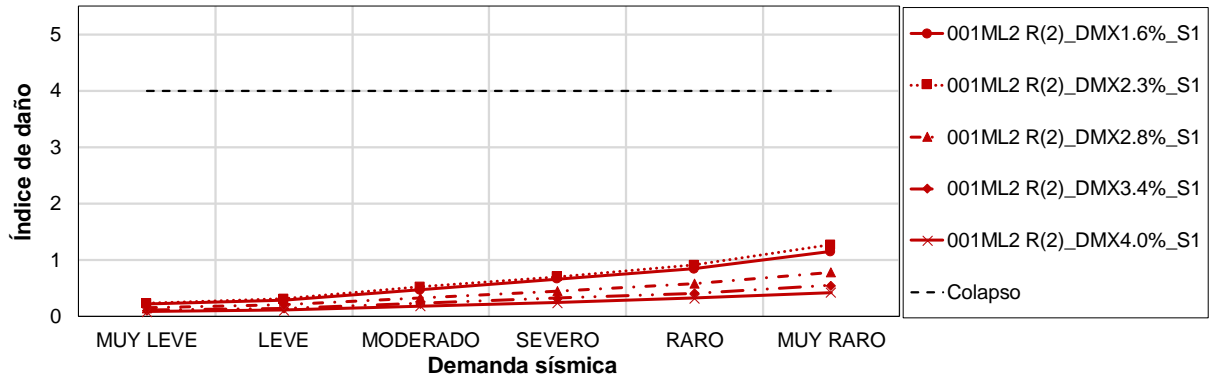


Figura N° 91. Índices de daño de la vivienda 001ML2R(2) sobre suelo S1.

La Figura N° 91 muestra los índices de daño de la vivienda 001ML2R(2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades no colapsan.

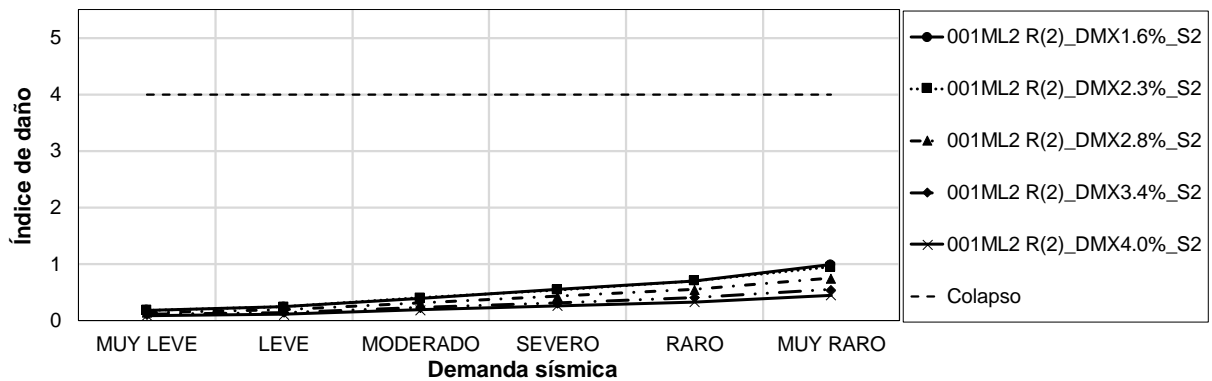


Figura N° 92. Índices de daño de la vivienda 001ML2R(2) sobre Suelo S2.

La Figura N° 92 muestra los índices de daño de la vivienda 001ML2R(2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades no colapsan.

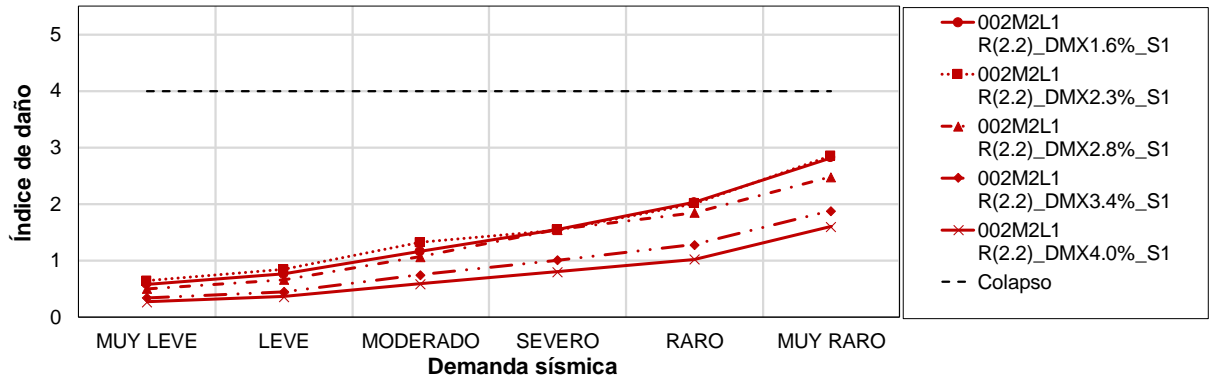


Figura N° 93. Índices de daño de la vivienda 002M2L1R(2.2) sobre Suelo S1.

La Figura N° 93 muestra los índices de daño de la vivienda 002M2L1R(2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades no colapsan.

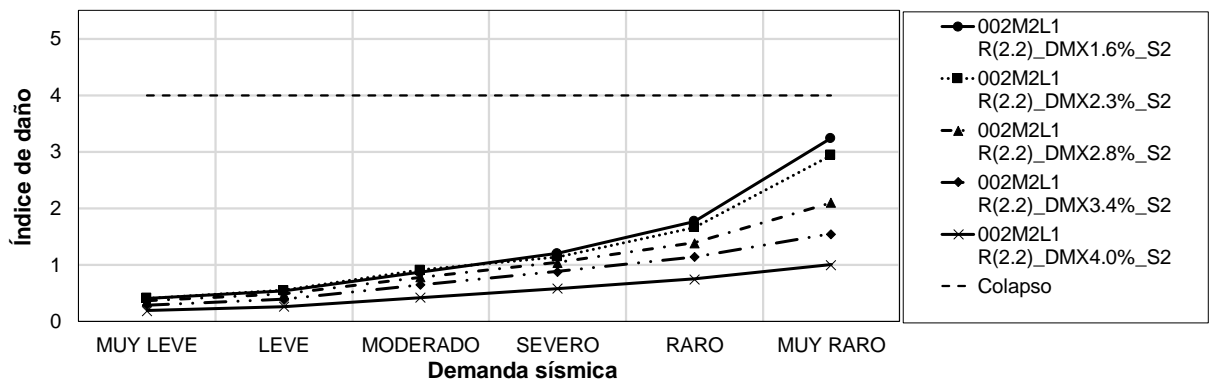


Figura N° 94. Índices de daño la vivienda 002M2L1R(2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 94 muestra los índices de daño de la vivienda 002M2L1R(2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades no colapsan.

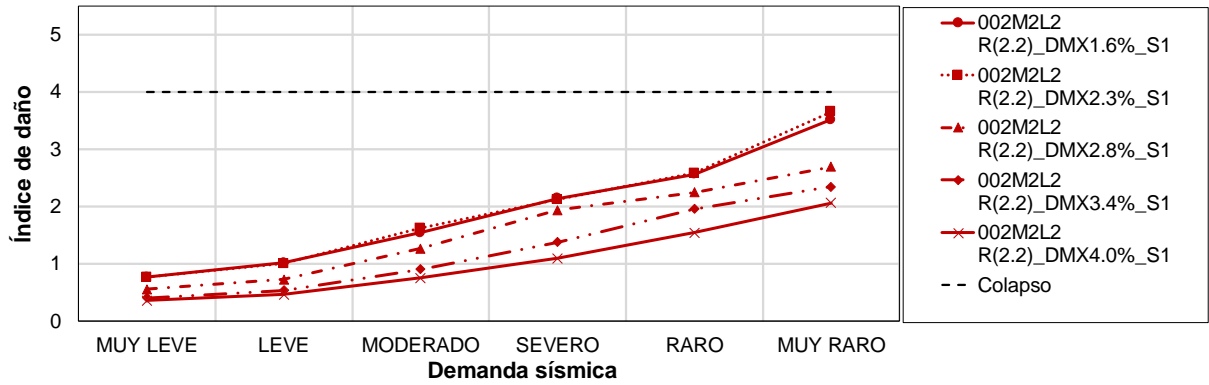


Figura N° 95. Índices de daño de la vivienda 002M2L2R(2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 95 muestra los índices de la vivienda 002M2L2R(2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades no colapsan.

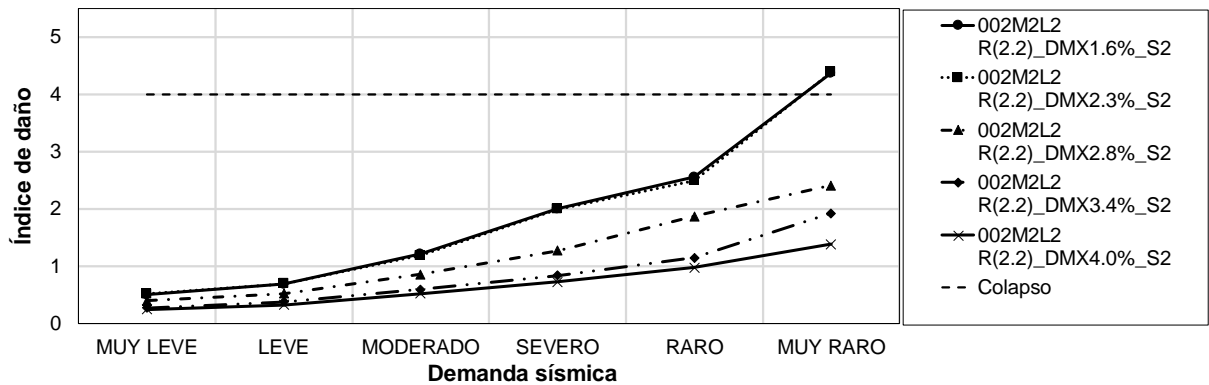


Figura N° 96. Índices de daño de la vivienda 002M2L2R(2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 96 muestra los índices de daño de la vivienda 002M2L2R(2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidades de muros de 1.6% y 2.3% están en inminente colapso, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan.

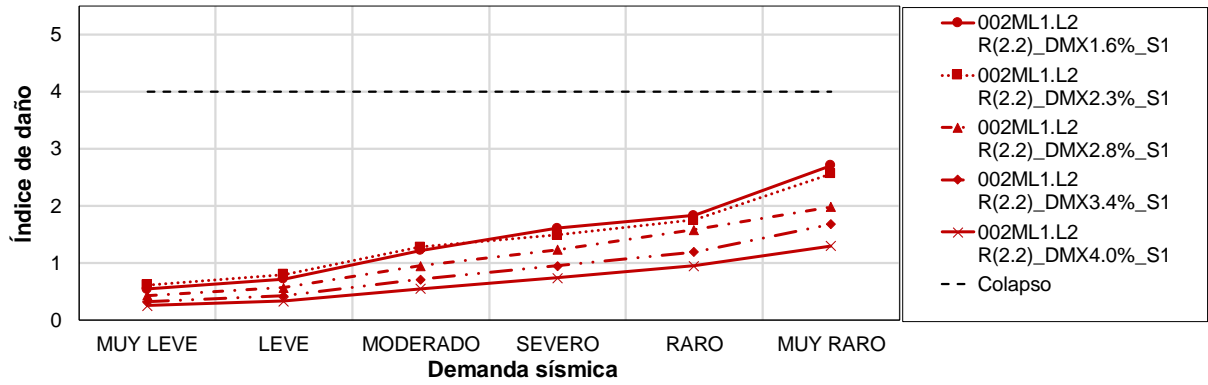


Figura N° 97. Índices de daño de la vivienda 002ML1.L2R(2.2) sobre Suelo S1.

La Figura N° 97 muestra los índices de daño de la vivienda 002ML1.L2R(2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades no colapsan.

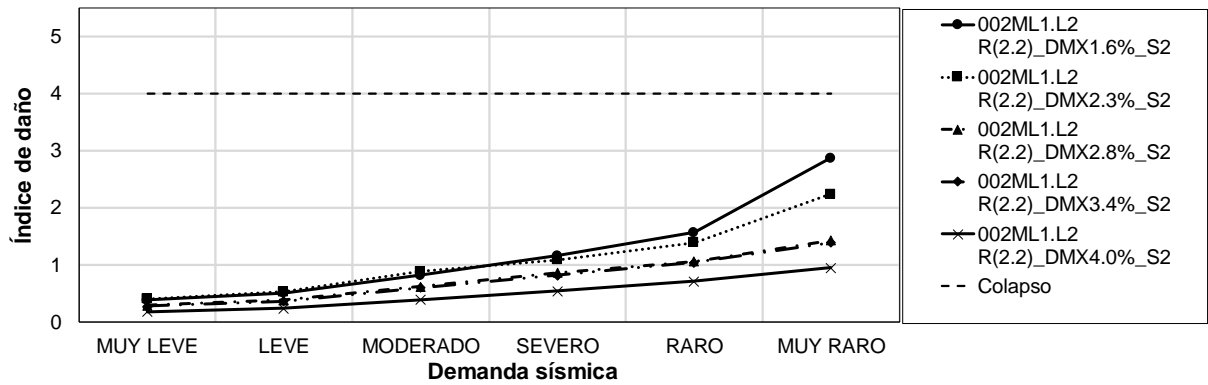


Figura N° 98. Índices de daño de la vivienda 002ML1.L2R(2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 98 muestra los índices de daño de la vivienda 002ML1.L2R(2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades no colapsan.

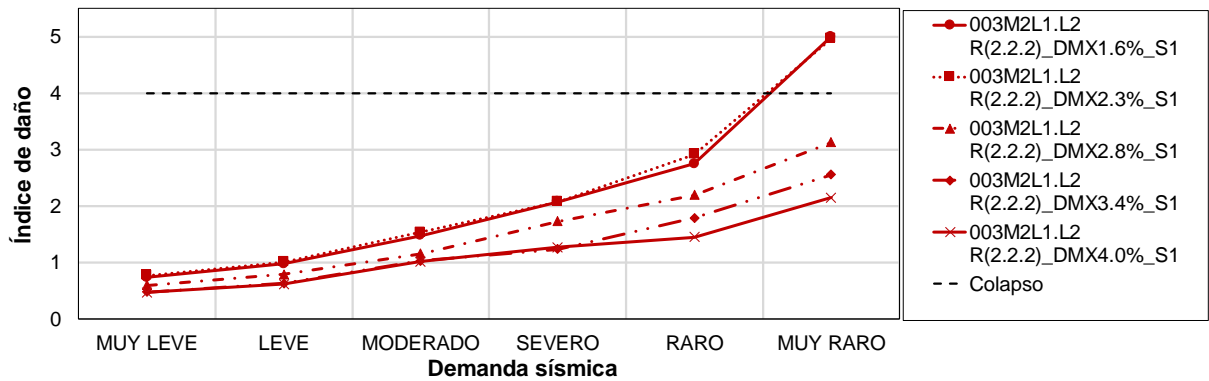


Figura N° 99. Índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2R(2.2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 99 muestra los índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2R(2.2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan. Mientras que para un nivel de sismo SEVERO todas las densidades no colapsan.

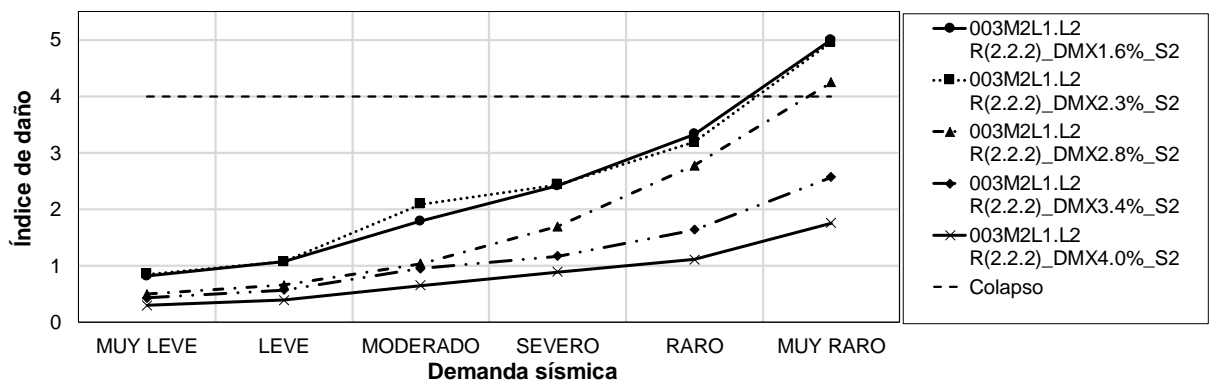


Figura N° 100. Índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2R(2.2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 100 muestra los índices de daño de la vivienda 003M2L1.L2R(2.2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidades de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 3.4% está en inminente colapso, las de 3.4% y 4% no colapsan. Mientras que para una demanda sísmica severo todas las densidades no colapsan.



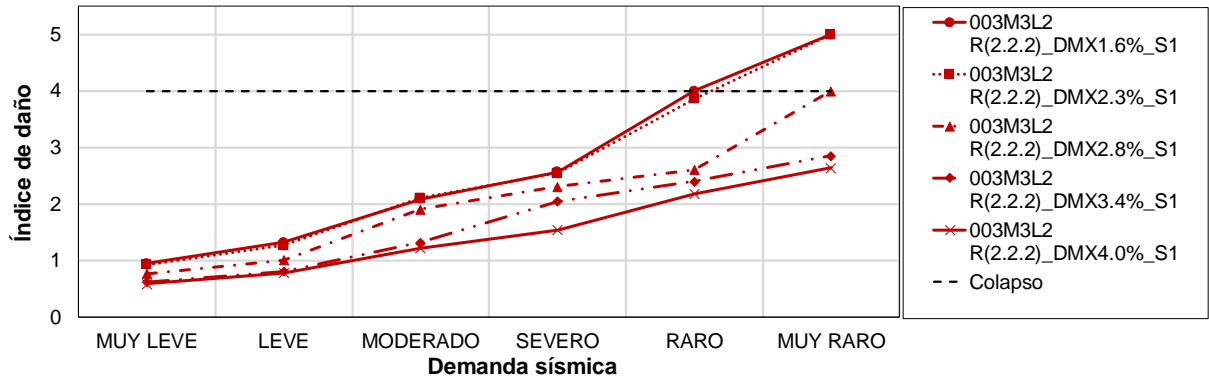


Figura N° 101. Índices de daño de la vivienda 003M3L2R(2.2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 101 muestra los índices de daño de la vivienda 003M3L2R(2.2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 2.8% está en inminente colapso, las de 3.4% y las 4.0% no colapsan. Mientras que para una demanda sísmica severo todas las densidades no colapsan.

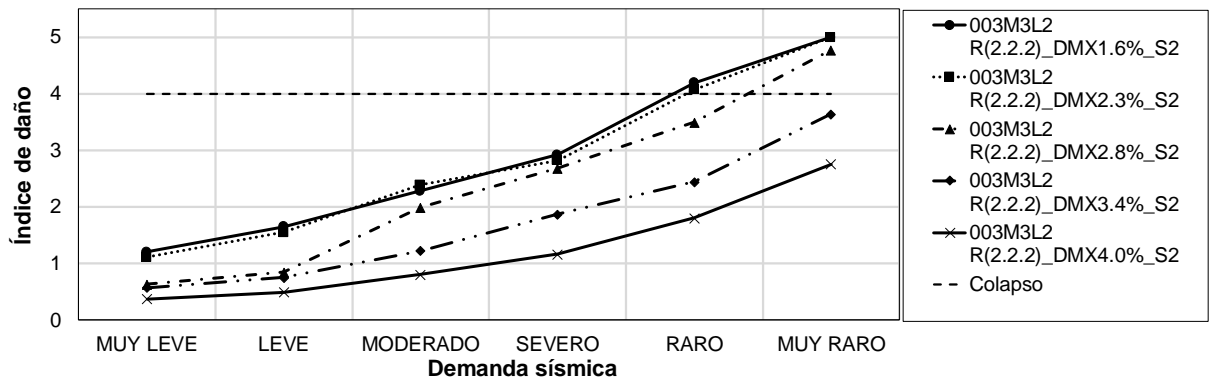


Figura N° 102. Índices de daño de la vivienda 003M3L2R(2.2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 102 muestra los índices de daño de la vivienda 003M3L2R(2.2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 2.8% está en inminente colapso, las de 3.4% y 4.0% no colapsan. Mientras que para una demanda sísmica severo todas las densidades no colapsan.

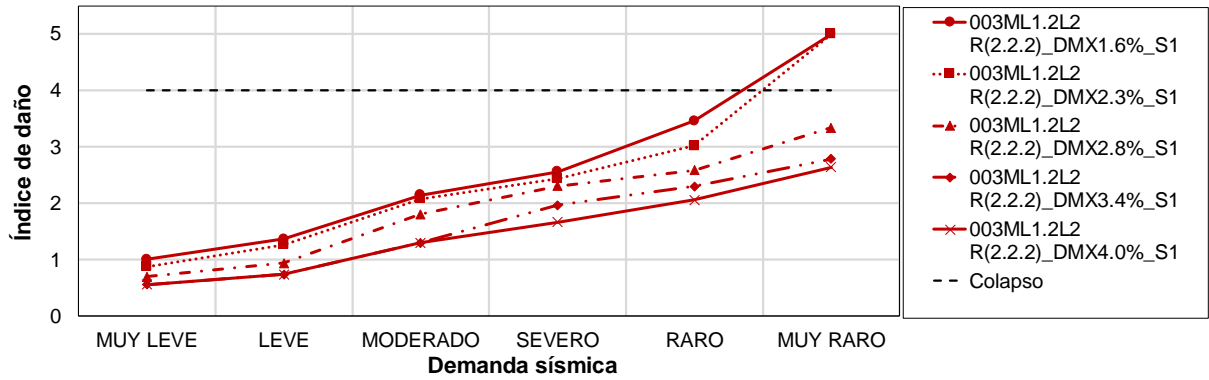


Figura N° 103. Índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2R(2.2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 103 muestra los índices de daño para de la vivienda 003ML1.2L2R(2.2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro solo las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan. Mientras que una demanda sísmica severo ninguna vivienda colapsa.

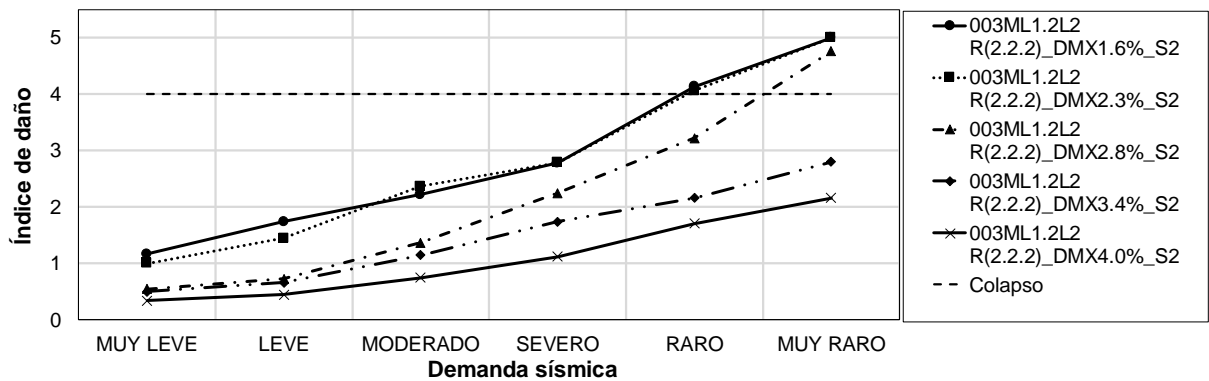


Figura N° 104. Índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2R(2.2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 104 muestra los índices de daño de la vivienda 003ML1.2L2R(2.2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 2.8% está en inminente colapso, las de 3.4% y 4% no colapsan. Mientras que para una demanda sísmica severo todas las densidades no colapsan.

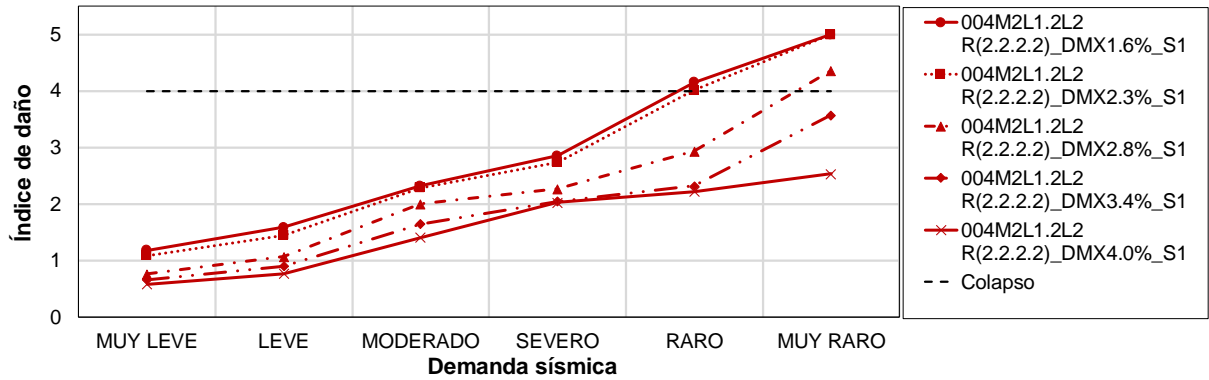


Figura N° 105. Índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 105 muestra los índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 2.8% está en inminente colapso, las de 3.4% y 4.0% no colapsan. Mientras que para una demanda sísmica severo todas las densidades no colapsan.

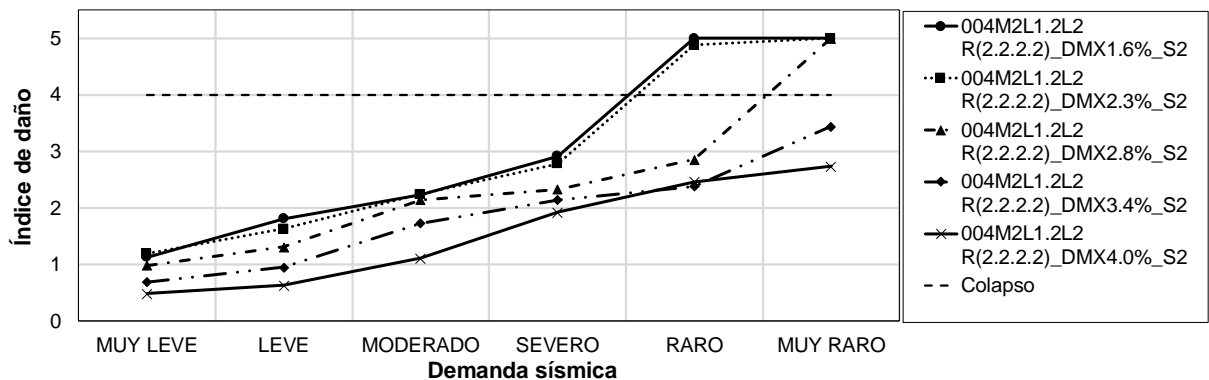


Figura N° 106. Índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2R(2.2.2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 106 muestra los índices de daño de la vivienda 004M2L1.2L2R(2.2.2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% no colapsan. Mientras que para una demanda sísmica severo todas las densidades no colapsan.

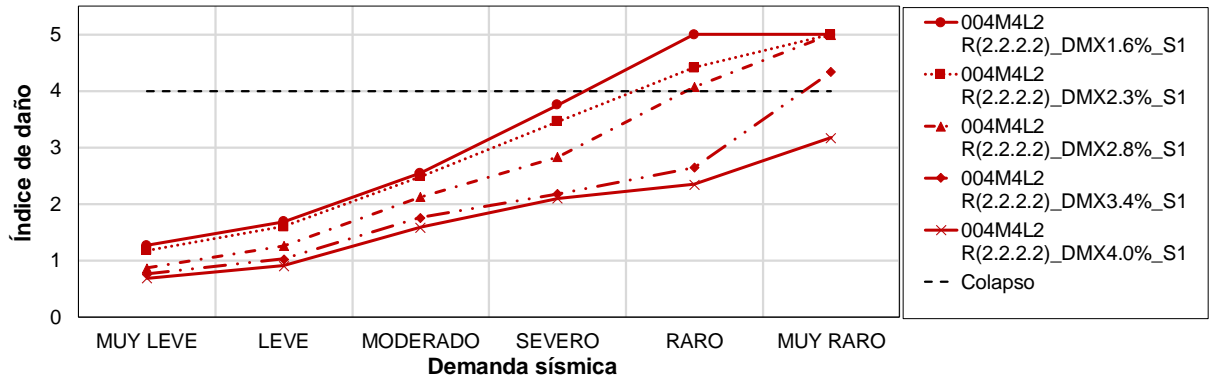


Figura N° 107. Índices de daño de la vivienda 004M4L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 107 muestra los índices de daño de la vivienda 004M4L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, la de 3.4% está en inminente colapso y la de 4.0% no colapsa. Mientras que para una demanda sísmica severo todas las densidades no colapsan.

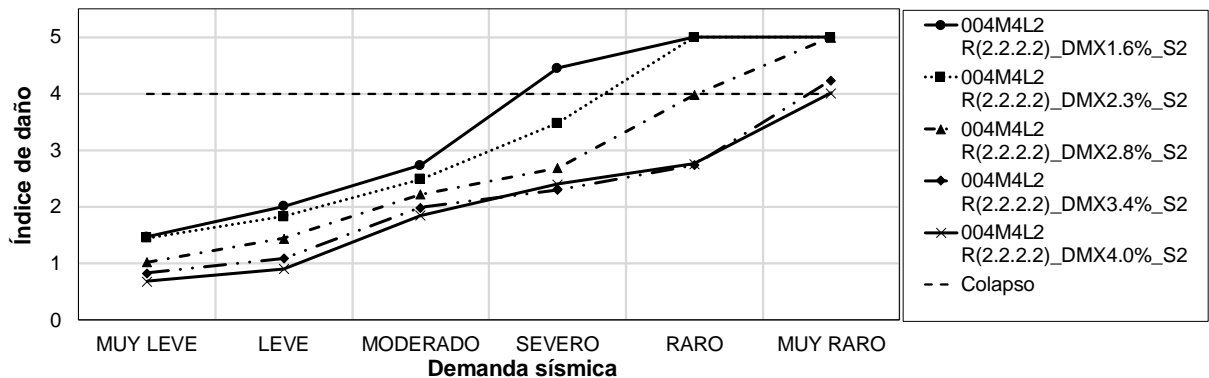


Figura N° 108. Índices de daño de la vivienda 004M4L2R(2.2.2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 108 muestra los índices de daño de la vivienda 004M4L2R(2.2.2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6% ,2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% están en inminente colapso. Mientras que para una demanda sísmica severo la vivienda con densidad de muros de 1.6% está en inminente colapso, las de 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan.

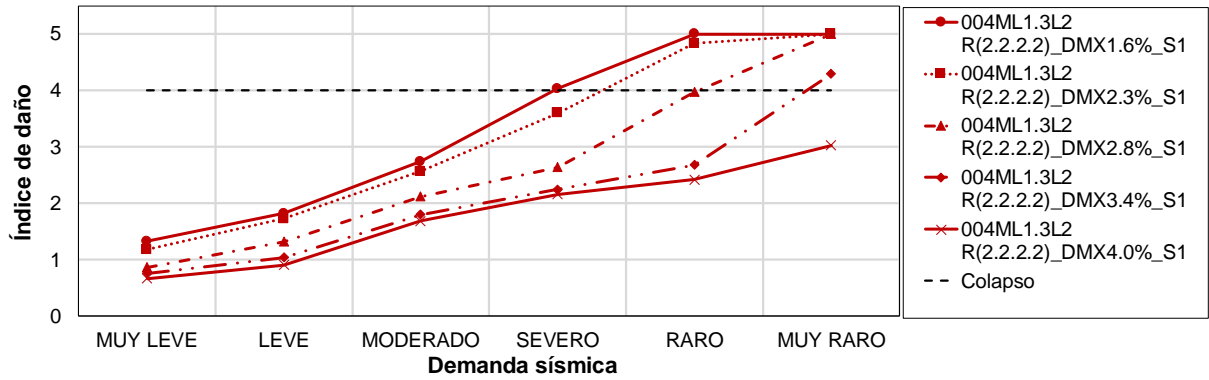


Figura N° 109. Índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 109 muestra los índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, la de 3.4% está en inminente colapso y la de 4.0% no colapsa. Mientras que para una demanda sísmica severo la vivienda con densidad de muros de 1.6% está en inminente colapso, las de 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan.

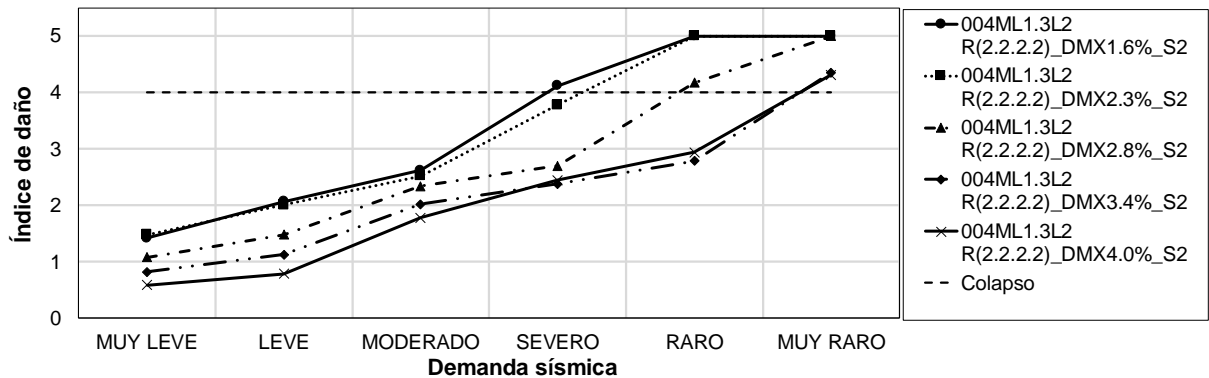


Figura N° 110. Índices de la vivienda 004ML1.3L2R(2.2.2.2) sobre Suelo S2.

La Figura N° 110 muestra los índices de daño de la vivienda 004ML1.3L2R(2.2.2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% están en inminente colapso. Mientras que para una demanda sísmica severo la vivienda con densidad de muros de 1.6% está en inminente colapso, las de 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan.

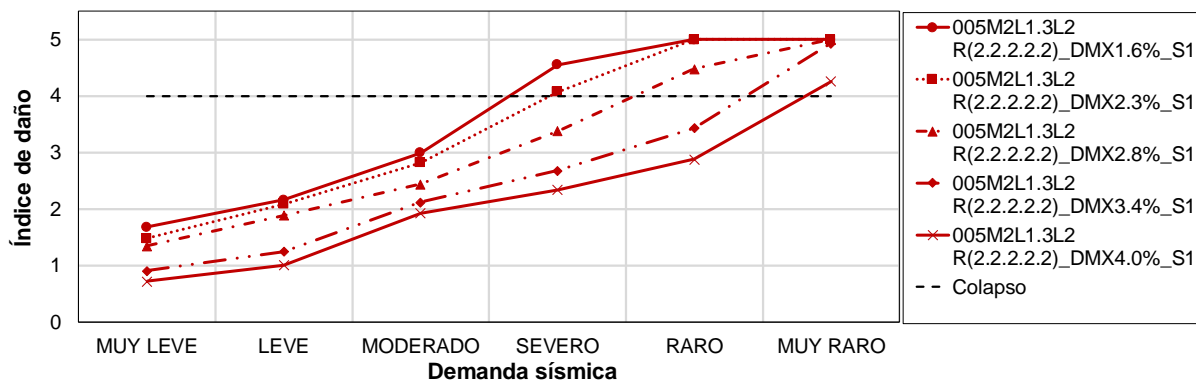


Figura N° 111. Índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 111 muestra los índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% y 3.4% colapsan y la de 4.0% está en inminente colapso. Mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% están en inminente colapso, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan.

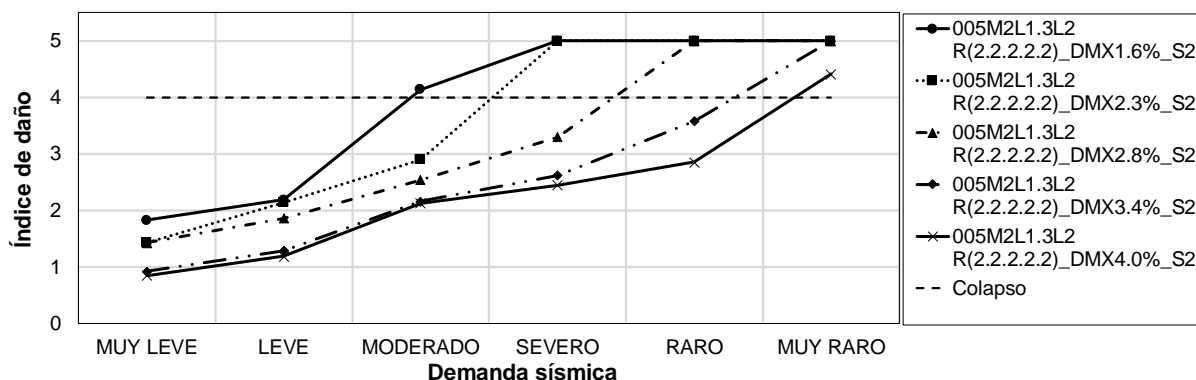


Figura N° 112. Índices de la vivienda 005M2L1.3L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 112 muestra los índices de daño de la vivienda 005M2L1.3L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% y 3.4% colapsan, la de 4.0% está en inminente colapso. Mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan.

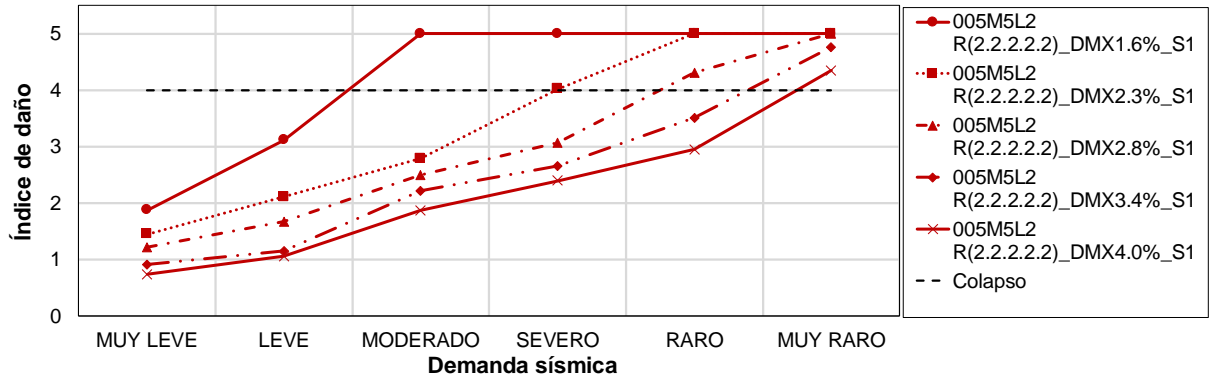


Figura N° 113. Índices de daño de la vivienda 005M5L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 113 muestra los índices de daño de la vivienda 005M5L2R(2.2.2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3% y 2.8% colapsan, las de 3.4% y 4.0% están en inminente colapso. Mientras que para una demanda sísmica severo la vivienda con densidad de muros de 1.6% colapsa, la de 2.3% está en inminente colapso, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan.

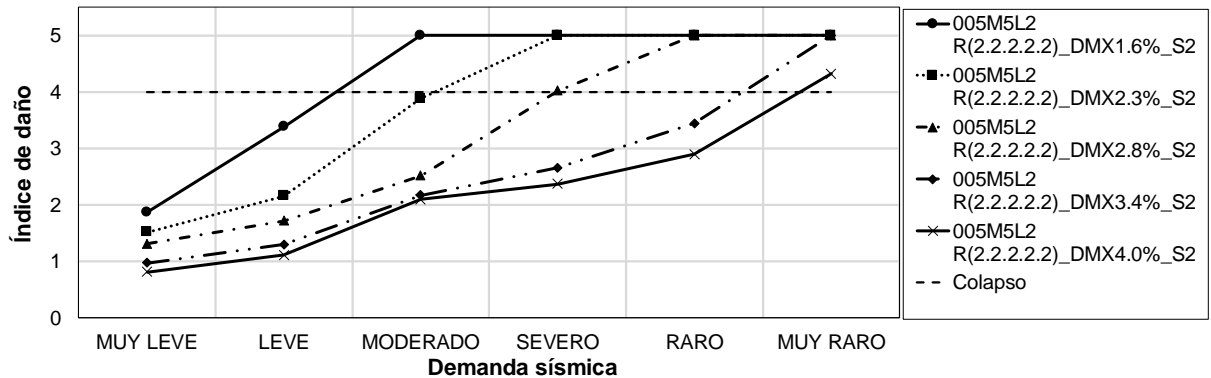


Figura N° 114. Índices de daño de la vivienda 005M5L2R(2.2.2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 114 muestra los índices de daño de la vivienda 005M5L2R(2.2.2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% y 3.4% colapsan, la de 4.0% está en inminente colapso. Mientras que para una demanda sísmica severo la vivienda con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsa, la de 2.8% está en inminente colapso, las de 3.4% y 4.0% no colapsan.

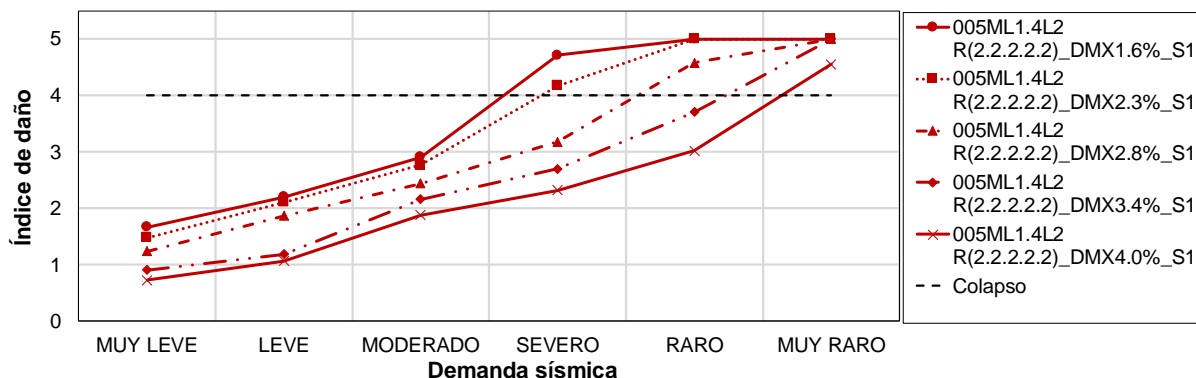


Figura N° 115. Índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S1.

La Figura N° 115 muestra los índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S1 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% y 3.4% colapsan y la de 4.0% está en inminente colapso. Mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% están en inminente colapso, las de 2.8%, 3.4% y 4.0% no colapsan.

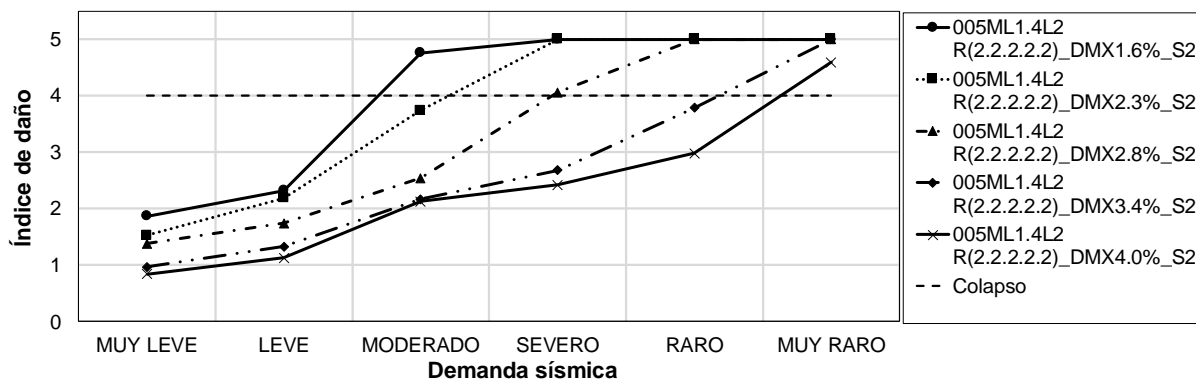


Figura N° 116. Índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S2.

La Figura N° 116 muestra los índices de daño de la vivienda 005ML1.4L2R(2.2.2.2.2) sobre suelo S2 para seis demandas sísmicas, con densidad de muros 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro las viviendas con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8% y 3.4% colapsan, la de 4.0% está en inminente colapso. Mientras que para una demanda sísmica severo las viviendas con densidad de muros de 1.6% y 2.3% colapsan, la de 2.8% están en inminente colapso y las de 3.4% y 4.0% no colapsan.

Como se puede observar, las respuestas de las viviendas con reforzamiento con densidad de muros de 1.6% y 2.3% son muy similares. Esto se debe a que el aporte del reforzamiento no está en función de la densidad de muros principalmente, sino está en



función de la longitud de muros disponibles a reforzar por metro cuadrado de área techada, siendo esta relación mayor en la vivienda de 1.6% que en la de 2.3%, por la presencia de muros de cabeza en esta última que reduce la longitud de muros con reforzamiento.

El resumen de las respuestas mostradas en los gráficos anteriores de las tipologías sin reforzamiento y con reforzamiento, considerando valores de densidad de muro establecidos en la Tabla N° 12, sobre suelo tipo S1 se muestran en la Figura N° 117 y Figura N° 118; y sobre suelo tipo S2 se muestran en la Figura N° 119 y Figura N° 120. Las respuestas sobre suelo S1 en muestran que, ante una demanda sísmica severo se pasa de 81.43% a 10.00% de viviendas colapsadas. Mientras que, ante una demanda sísmica muy raro se pasa de 95.71% a 47.14% de viviendas colapsada. Las respuestas sobre suelo S2 muestran que, ante una demanda sísmica severo se pasa de 88.57% a 14.29% de viviendas colapsadas. Mientras que, ante una demanda sísmica muy raro se pasa de 94.29% a 55.71% de viviendas colapsadas.

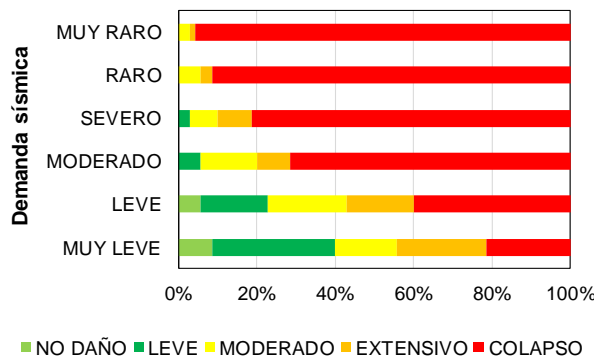


Figura N° 117. Respuestas de las tipologías sin reforzamiento sobre suelo tipo S1.

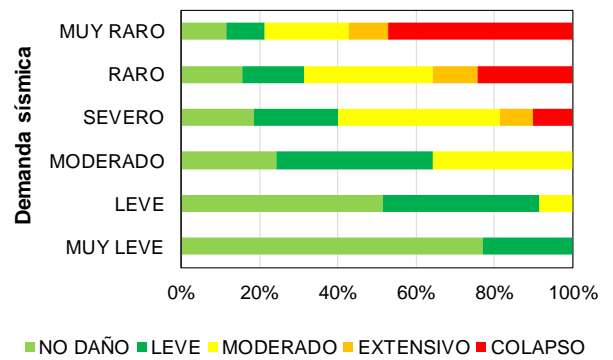


Figura N° 118. Respuestas de las tipologías con reforzamiento sobre suelo tipo S1.

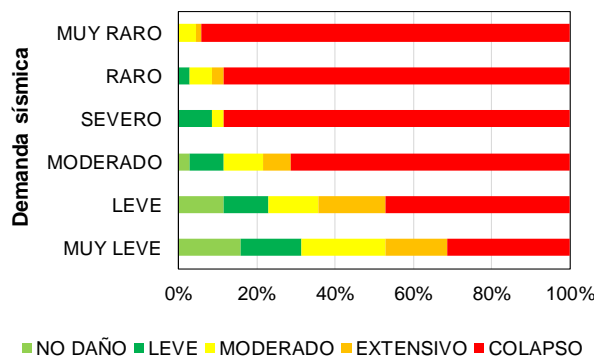


Figura N° 119. Respuestas de las tipologías sin reforzamiento sobre suelo tipo S2.

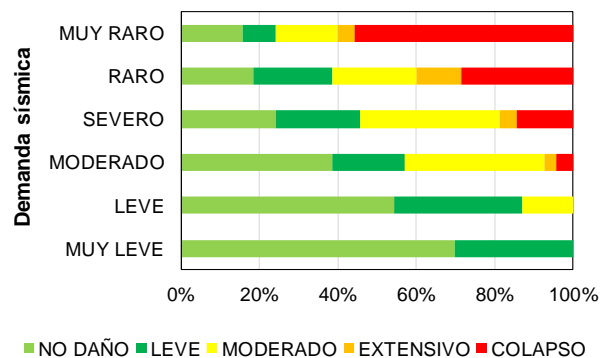


Figura N° 120. Respuestas de las tipologías con reforzamiento sobre suelo tipo S2.

## CAPÍTULO VI: ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA Y COSTO DE REFORZAMIENTO

### 6.1. COSTO ACTUAL DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Para la estimación del costo actual de las viviendas de albañilería, se proponen ecuaciones simplificadas que provienen del estudio de tres viviendas con diferentes densidades de muros como se muestra en la Tabla N° 20. A continuación, se muestra el procedimiento empleado para obtener dichas ecuaciones para la especialidad de Estructuras y Arquitectura. Para la obtención de los costos se ha considerado una altura de 2.60m y 2.40m para el primer piso y piso típico, respectivamente.

**Tabla N° 20. Viviendas de Albañilería.**

Vivienda	Área de piso (m <sup>2</sup> )	Área techada (m <sup>2</sup> )	Dx	Dy
Vivienda 1	103.74	88.74	1.60%	3.30%
Vivienda 2	162.12	155.35	2.90%	2.50%
Vivienda 3	182.50	164.11	2.20%	7.20%
<b>Promedio</b>	<b>149.45</b>	<b>136.07</b>		

**Elaboración Propia.**

#### 6.1.1. Costo de la especialidad de Estructuras

Se procedió con el cálculo de los metrados y precios unitarios de los trabajos de la especialidad de estructuras, para el primer piso y piso típico de las tres viviendas de la Tabla N° 20. Una vez obtenido el presupuesto para cada piso, se agruparon los montos por m<sup>2</sup> de área techada como se muestra en la Tabla N° 21 y Tabla N° 22.

**Tabla N° 21. Costo de los elementos de la especialidad de estructuras por m<sup>2</sup> de Área Techada del primer piso.**

Elemento	Vivienda 1 (S/ /m <sup>2</sup> )	Vivienda 2 (S/ /m <sup>2</sup> )	Vivienda 3 (S/ /m <sup>2</sup> )	Promedio (S/ /m <sup>2</sup> )
Falso Piso	54.13	47.87	49.23	50.41
Losa Aligerada	155.04	149.57	149.18	151.26
Vigas	43.75	63.66	65.52	57.64
Columnas (*)	5.54	14.20	0.00	6.58
Muros (*)	208.27	225.22	396.71	**

**Elaboración Propia.**

\* Incluye los costos de los trabajos de cimentación del elemento estructural.

\*\* No se trabajó con el valor promedio para este elemento, sino con el valor exacto.

**Tabla N° 22. Costo de los elementos de la especialidad de estructuras por m2 de área techada del piso típico.**

Elemento	Vivienda 1 (S/ /m2)	Vivienda 2 (S/ /m2)	Vivienda 3 (S/ /m2)	Promedio (S/ /m2)
Losa Aligerada	155.04	149.57	149.18	151.26
Vigas	43.75	63.66	65.52	57.64
Columnas	3.47	10.41	0.00	4.63
Muros	121.92	131.84	232.22	*

**Elaboración Propia.**

\*No se trabajó con el valor promedio para este elemento, sino con el valor exacto.

Los resultados obtenidos en las tablas Tabla N° 21 y Tabla N° 22 muestran que, los costos de los muros y columnas del primer piso son mayores al del piso típico, debido a su mayor altura y a los trabajos de cimentación. Además, se puede observar que el costo de columnas de la vivienda 1 es cero debido a que esta no presenta columnas aisladas, sino solo columnas de confinamiento.

Adicionalmente, se puede observar que las mayores variaciones en los costos están en los elementos verticales, especialmente en los muros de albañilería. Estos costos dependen principalmente de la densidad de muros en las dos direcciones. Por esta razón, se ha considerado mantener constante los precios por m2 de área techada de los siguientes elementos estructurales en el cálculo del costo de la especialidad de estructuras Falso Piso, Losa Aligerada, Vigas, y Columnas obtenidos mediante un promedio, como se muestra en la última columna de la Tabla N° 21 y Tabla N° 22. Mientras, que los costos de los muros dependerán de la densidad de muros de las dos direcciones.

Las ecuaciones (12) y (13) son las expresiones que permitirán hallar el costo de la especialidad de estructuras de las viviendas de albañilería para el primer piso y piso típico, respectivamente.

$$C.E.1 = C_{PISO} + C_{LOSA} + C_{VIGAS} + C_{COLUMNAS.1} + C_{MUROS.1} \quad (12)$$

Donde :

$$C_{PISO} = 50.41 \quad (S/ /m2)$$

$$C_{LOSA} = 151.26 \quad (S/ /m2)$$

$$C_{VIGAS} = 57.64 \quad (S/ /m2)$$

$$C_{COLUMNAS.1} = 6.58 \quad (S/ /m2)$$

- $C_{MUROS.1} = \left(\frac{Dx+Dy}{0.12}\right) * h_1 * 182.29 \quad (S/ /m2)$   
 $C_{PISO}$  : Costo de falso piso por m2 de área techada.  
 $C_{LOSA}$  : Costo de la losa aligerada por m2 de área techada.  
 $C_{VIGAS}$  : Costo de las vigas por m2 de área techada.  
 $C_{COLUMNAS.1}$  : Costo de las columnas del primer piso por m2 de área techada.  
 $C_{MUROS.1}$  : Costo de los muros del primero piso por m2 de área techada.  
 $Dx$  : Densidad de muros en la dirección X en decimales.  
 $Dy$  : Densidad de muros en la dirección Y en decimales.  
 $h_1$  : Altura del primer piso.  
 $C. E. 1$  : Costo de la especialidad de estructuras del primer piso por m2 de área techada.

$$C. E. T = C_{LOSA} + C_{VIGAS} + C_{COLUMNAS.T} + C_{MUROS.T} \quad (13)$$

Donde :

- $C_{LOSA} = 151.26 \quad (S/ /m2)$   
 $C_{VIGAS} = 57.64 \quad (S/ /m2)$   
 $C_{COLUMNAS.T} = 4.63 \quad (S/ /m2)$   
 $C_{MUROS.T} = \left(\frac{Dx+Dy}{0.12}\right) * h_T * 114.92 \quad (S/ /m2)$   
 $C. E. T$  : Costo de la especialidad de estructuras del Piso Típico por m2 de área techada.  
 $C_{LOSA}$  : Costo de la Losa Aligerada por m2 de área techada.  
 $C_{VIGAS}$  : Costo de las vigas por m2 de área techada.  
 $C_{COLUMNAS.T}$  : Costo de las columnas del Piso Típico por m2 de área techada.  
 $C_{MUROS.T}$  : Costo de los muros del Piso Típico por m2 de área techada.  
 $Dx$  : Densidad de muros en la dirección X en decimales.  
 $Dy$  : Densidad de muros en la dirección Y en decimales.  
 $h_T$  : Altura del Piso Típico en metros.

### 6.1.2. Costo de la especialidad de Arquitectura

Se procedió con el cálculo de los metrados y precios unitarios de los trabajos de la especialidad de arquitectura, para el primer piso y piso típico de las tres viviendas de la Tabla N° 20. Para el cálculo de los precios unitarios se han considerado los trabajos mostrados en la Tabla N° 23. Una vez obtenido el presupuesto para cada piso, se agruparon los montos por m<sup>2</sup> de área techada como se muestra en la Tabla N° 24 y Tabla N° 25.

**Tabla N° 23. Trabajos de acabados de la especialidad de arquitectura.**

Elemento	Trabajos	
	Primer piso	Piso típico
Piso	Contrapiso + Enchape	Contrapiso + Enchape
Muro	Tarrajeo + Pintura + Contrazócalo	Tarrajeo + Pintura + Contrazócalo
Columna	Tarrajeo + Pintura + Contrazócalo	Tarrajeo + Pintura + Contrazócalo
Viga	Tarrajeo + Pintura	Tarrajeo + Pintura
Cielo Raso	Tarrajeo + Pintura	Tarrajeo + Pintura
Puertas	Metálicas y de Madera	Madera
Ventanas	Metálicas y de Madera	Metálicas y de Madera
SSH	Accesorios Sanitarios + Enchape en Pared	Accesorios Sanitarios + Enchape en Pared
Cocina	Mesa de concreto enchapado +Lavadero de platos + Enchape en Pared	Mesa de concreto enchapado +Lavadero de platos + Enchape en Pared

Elaboración Propia.

**Tabla N° 24. Costo de los elementos de la especialidad de arquitectura por m<sup>2</sup> de área techada del primer piso.**

Elemento	Vivienda 1 (S/ /m <sup>2</sup> )	Vivienda 2 (S/ /m <sup>2</sup> )	Vivienda 3 (S/ /m <sup>2</sup> )	Promedio (*) (S/ /m <sup>2</sup> )
Piso	111.70	99.71	106.25	104.95
Muro	43.19	64.91	96.03	**
Columna	2.10	5.76	0.00	2.65
Viga	20.14	26.78	27.56	25.65
Cielo Raso	51.46	49.64	49.52	50.23
Puertas	74.37	42.48	65.81	58.79
Ventanas	27.05	19.31	25.59	23.52
SSH	36.84	21.04	36.46	24.08
Cocina	45.07	23.76	22.68	29.39

Elaboración Propia.

\*Valores obtenido con un área techada promedio de las tres viviendas y los precios unitarios de los trabajos mostrados en la Tabla N° 23.

\*\* No se trabajó con el valor promedio para este elemento, sino con el valor exacto.

**Tabla N° 25. Costo de los elementos de la especialidad de arquitectura por m2 de área techada del piso típico.**

Elemento	Vivienda 1 (S/ /m2)	Vivienda 2 (S/ /m2)	Vivienda 3 (S/ /m2)	Promedio (*) (S/ /m2)
Piso	95.55	95.55	95.55	95.55
Muro	39.24	59.93	89.01	**
Columna	1.96	5.37	0.00	2.47
Viga	20.14	26.78	27.56	25.65
Cielo Raso	51.46	49.64	49.52	50.23
Puertas	54.09	27.04	47.53	41.16
Ventanas	40.57	30.90	36.56	35.28
SSH	36.84	21.04	36.46	24.08
Cocina	45.07	23.76	45.36	39.19

**Elaboración Propia.**

\*Promedio ponderado obtenido con el área promedio de las tres viviendas (ver Tabla N° 20) y los precios unitarios de los trabajos mostrados en la Tabla N° 23.

\*\* No se trabajó con el valor promedio para este elemento, sino con el valor exacto.

Como se puede observar en la Tabla N° 24 y Tabla N° 25 existen variaciones entre los costos de las tres viviendas para cada elemento. Esto se debe a que existe diferentes cantidades de elementos por m2 de área techada en cada vivienda. Sin embargo, la diferencia no es grande en general, excepto por los costos de acabados en muros, estos costos en muros pueden ser determinados con gran exactitud conociendo la densidad de muros de la vivienda en la dirección X y Y y la altura del nivel.

Por lo tanto, para estimar los costos de la especialidad de arquitectura, se ha fijado los precios por m2 de área techada de los siguientes elementos Piso, Columnas, Vigas, Cielo Raso, Puertas, Ventanas, SSH y Cocina, que son obtenidos mediante una área techada promedio y metrados de las tres viviendas, los valores obtenidos son mostrados en la última columna de la Tabla N° 24 y Tabla N° 25. Mientras que, para estimar el precio de acabados por m2 de área techada de los muros de albañilería, será necesario conocer la densidad de muros de las dos direcciones, así como también las alturas del primer piso y piso típico.

Las ecuaciones (14) y (15) son las expresiones que permitirán hallar el costo de la especialidad de arquitectura de las viviendas de albañilería para el primer piso y piso típico, respectivamente.

$$C.A.1 = C.A_{PISO.1} + C.A_{MUROS.1} + C.A_{COLUMNAS.1} + C.A_{VIGAS} + C.A_{CIELO RASO} + C.A_{PUERTAS.1} + C.A_{VENTANAS.1} + C.A_{BAÑOS.1} + C.A_{COCINA.1} \quad (14)$$

Donde :

$$C. A_{PISO.1} = 104.95 \quad (S/ /m^2)$$

$$C. A_{COLUMNAS.1} = 2.65 \quad (S/ /m^2)$$

$$C. A_{VIGAS} = 25.65 \quad (S/ /m^2)$$

$$C_{CIELO RASO} = 50.23 \quad (S/ /m^2)$$

$$C. A_{PUERTAS.1} = 58.79 \quad (S/ /m^2)$$

$$C. A_{VENTANAS.1} = 23.52 \quad (S/ /m^2)$$

$$C. A_{BAÑOS} = 24.08 \quad (S/ /m^2)$$

$$C. A_{COCINA} = 29.39 \quad (S/ /m^2)$$

$$C. A_{COCINA} = (L. A_m * 12.29 + (L. A_m * h_1 - 42.2) * 24.49 + (L. A_m * h_1 - 42.2) * 12.21)) / A_t$$

(S/./m<sup>2</sup>)

$$L. A_m = \left( \frac{D_x * A_t}{0.12} \right) * 2 + \left( \frac{D_y * A_t}{0.12} \right) \quad (m)$$

$C. A_{PISO.1}$  : Costo de acabados de piso del primer piso por m<sup>2</sup> de área techada.

$C. A_{MUROS.1}$  : Costo de acabados de muros del primer piso por m<sup>2</sup> de área techada.

$C. A_{COLUMNAS.1}$  : Costo de acabados de columnas del primer piso por m<sup>2</sup> de área techada.

$C. A_{VIGAS}$  : Costo de acabados de vigas por m<sup>2</sup> de área techada.

$C. A_{CIELO RASO}$  : Costo de acabados de cielo raso por m<sup>2</sup> de área techada.

$C. A_{PUERTAS.1}$  : Costo de puertas del primer piso por m<sup>2</sup> de área techada.

$C. A_{VENTANAS.1}$  : Costo de ventanas del primer piso por m<sup>2</sup> de área techada.

$C. A_{BAÑOS.1}$  : Costo de acabados de baños del primer piso por m<sup>2</sup> de área techada.

$C. A_{COCINA.1}$  : Costo de acabados de cocina del primer piso por m<sup>2</sup> de área techada.

$L. A_m$  : Longitud total de muros con acabados en metros.

- $h_1$  : Altura del primer piso en metros.  
 $D_x$  : Densidad de muros en la dirección X en decimales.  
 $D_y$  : Densidad de muros en la dirección Y en decimales.  
 $A_t$  : Área techada de la vivienda.  
 $C.A.1$  : Costo de la especialidad de arquitectura del primer piso por m2 de área techada.

$$C.A.T = C.A_{PISO.T} + C.A_{MUROS.T} + C.A_{COLUMNAS.T} + C.A_{VIGAS} + C.A_{CIELO RASO} + C.A_{PUERTAS.T} + C.A_{VENTANAS.T} + C.A_{BAÑOS} + C.A_{COCINA} \quad (15)$$

Donde :

$$C.A_{PISO.T} = 95.55 \quad (S./m^2)$$

$$C.A_{COLUMNAS.T} = 2.47 \quad (S./m^2)$$

$$C.A_{VIGAS} = 25.65 \quad (S./m^2)$$

$$C_{CIELO RASO} = 50.23 \quad (S./m^2)$$

$$C.A_{PUERTAS.T} = 41.16 \quad (S./m^2)$$

$$C.A_{VENTANAS.T} = 35.28 \quad (S./m^2)$$

$$C.A_{BAÑOS} = 24.08 \quad (S./m^2)$$

$$C.A_{COCINA} = 39.19 \quad (S./m^2)$$

$$C_{MUROS.T} = (L.A_m * 12.29 + (L.A_m * h_T - 47.6) * 24.49 + (L.A_m * h_T - 47.6) * 12.21) / A_t \quad (S./m^2)$$

$$L.A_m = \left( \frac{D_x * A_t}{0.12} \right) * 2 + \left( \frac{D_y * A_t}{0.12} \right) \quad (m)$$

$C.A_{PISO.T}$  : Costo de acabados de piso del piso típico por m2 de área techada.

$C.A_{MUROS.T}$  : Costo de acabados de muros del piso típico por m2 de área techada.

$C.A_{COLUMNAS.T}$  : Costo de acabados de columnas del piso típico por m2 de área techada.

$C.A_{VIGAS}$  : Costo de acabados de vigas por m2 de área techada.

$C.A_{CIELO RASO}$  : Costo de acabados de cielo raso por m2 de área techada.

$C.A_{PUERTAS.T}$  : Costo de puertas del piso típico por m2 de área techada.



- $C.A_{VENTANAS.T}$  : Costo de ventanas del piso típico por m<sup>2</sup> de área techada.
- $C.A_{BAÑOS.T}$  : Costo de acabados en baños del piso típico por m<sup>2</sup> de área techada.
- $C.A_{COCINA.T}$  : Costo de acabados de cocina del piso típico por m<sup>2</sup> de área techada.
- $L.A_m$  : Longitud total de muros con acabados en metros.
- $h_T$  : Altura del piso típico en metros.
- $D_x$  : Densidad de muros en la dirección X en decimales.
- $D_y$  : Densidad de muros en la dirección Y en decimales.
- $A_T$  : Área techada de la vivienda.
- $C.A.T$  : Costo de la especialidad de arquitectura del piso típico por m<sup>2</sup> de área techada.

Las ecuaciones (12) y (13) que permiten estimar el costo de la especialidad de estructuras y las ecuaciones (14) y (15) que permiten estimar el costo de la especialidad de arquitectura, no considera las partidas de obras provisionales, trabajos preliminares, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas y otras pequeñas partidas. Para considerar estos trabajos, se ha tomado de la revista Costos (Revistas Costos, 2020), que las ecuaciones anteriormente mencionadas representan el 70% del costo directo del valor de una vivienda de albañilería. Por lo tanto, a las ecuaciones (12), (13), (14) y (15) se les adicionara el 43% de su valor para incluir los trabajos no considerados.

## 6.2. ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA

Las pérdidas generadas por los sismos en las viviendas de albañilería confinada fueron determinadas de acuerdo con el nivel de daño producido en sus elementos como muros, columnas, losas de techo y cimentación. Por esta razón, se analizó el grado de agrietamiento de muros albañilería confinada, correspondientes a diversas distorsiones con los planos de grietas obtenidos de diferentes ensayos experimentales realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID – FIC - UNI.

Además, para estimar las perdidas es necesario calcular el costo de reparación, que involucra todos los recursos necesarios como, mano de obra, materiales, equipos y herramientas de tal manera de devolver la capacidad inicial al elemento

estructural. El valor del costo de reparación dependerá del tipo y área de intervención en el muro agrietado.

La Tabla N° 26 muestra tres tipos de reparación para muros de albañilería confinada. Mientras que la Tabla N° 27, Tabla N° 28 y Tabla N° 29 muestran las actividades necesarias para estos tipos de reparación con su respectivo costo unitario. Además, el costo unitario de reparación de las instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas y otros, se estiman que equivalen al 43% de las reparaciones en estructuras (Revistas Costos, 2020).

**Tabla N° 26. Tipos de reparación en muros de albañilería confinada.**

Id	TIPO DE REPARACIÓN
(I)	RESANE
(II)	RESANE + ENCAMISADO
(III)	RESANE + ENCAMISADO ANCLADO

Elaboración propia.

**Tabla N° 27. Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE (I).**

MURO REPARADO SOLO RESANE			
Id	ACTIVIDAD	UNIDAD	APU (S/)
1	Picado de tarrajeo existente.	m2	18.06
2	Picado, limpieza y resane de fisura con mortero cemento - arena 1:3 y puente de adherencia.	m2	41.77
3	Tarrajeo con mortero.	m2	40.97
4	Acabado de muro (pintura).	m2	12.21
<b>SUB TOTAL</b>		<b>(S/ / m2)</b>	<b>113.01</b>
<b>REPARACIÓN DE IISS, IIEE Y OTROS (43%)</b>		<b>(S/ / m2)</b>	<b>48.59</b>
<b>TOTAL</b>		<b>(S/ / m2)</b>	<b>161.60</b>

Elaboración propia.

**Tabla N° 28. Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE + ENCAMISADO (II).**

MURO REPARADO RESANE + ENCAMISADO			
Id	ACTIVIDAD	UNIDAD	APU (S/.)
1	Picado de tarrajeo existente.	m2	18.06
2	Picado, limpieza y resane de fisura con mortero cemento - arena 1:3 y puente de adherencia.	m2	41.77
3	Tarrajeo con mortero.	m2	40.97
4	Acabado de muro (pintura).	m2	12.21
5	Malla corruga @0.20m, $\phi=4.7\text{mm}$ , $f_y=4470\text{ kg/cm}^2$ .	m2	57.70
<b>SUB TOTAL</b>		<b>(S/ / m2)</b>	<b>170.71</b>
<b>REPARACIÓN DE IISS, IIEE Y OTROS (43%)</b>		<b>(S/ / m2)</b>	<b>73.41</b>
<b>TOTAL</b>		<b>(S/ / m2)</b>	<b>244.12</b>

Elaboración propia.

**Tabla N° 29. Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE + ENCAMISADO ANCLADO (III).**

<b>MURO REPARADO RESANE + ENCAMISADO ANCLADO</b>			
<b>Id</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>APU (S/.)</b>
1	Picado de tarrajeo existente.	m2	18.06
2	Picado, limpieza y resane de fisura con mortero cemento - arena 1:3 y puente de adherencia.	m2	41.77
3	Tarrajeo con mortero.	m2	40.97
4	Acabado de muro (pintura).	m2	12.21
5	Malla corruga @0.20m, $\phi=4.7\text{mm}$ , $f_y=4470\text{ kg/cm}^2+$ Bastones de transferencia $\phi=6\text{mm}$ , $f_y=4200\text{ kg/cm}^2$ .	m2	77.38
<b>SUB TOTAL</b>		<b>(S/ / m2)</b>	<b>190.40</b>
<b>REPARACIÓN DE IISS, IIEE Y OTROS (43%)</b>		<b>(S/ / m2)</b>	<b>81.87</b>
<b>TOTAL</b>		<b>(S/ / m2)</b>	<b>272.27</b>

Elaboración propia.

Los costos unitarios mostrados de la Tabla N° 27, Tabla N° 28 y Tabla N° 29, permitirán hallar los costos de reparación de los elementos estructurales de una vivienda.

### **6.2.1. Costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal**

Para obtener los costos de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal, se empleará los tipos de reparación de acuerdo con la Tabla N° 30, donde para cada distorsión se indica el tipo de reparación propuesto.

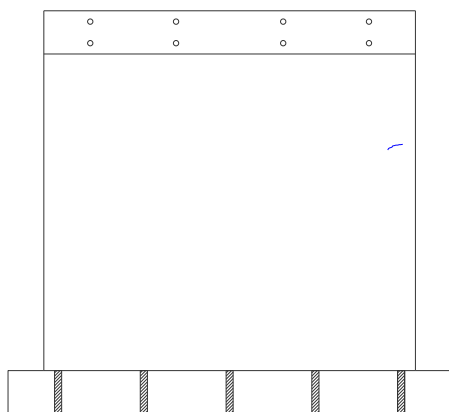
Las dimensiones de los muros analizados de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal son de 2.60m de longitud, 2.20m de alto y 0.12m de espesor. La viga superior tiene una sección transversal de 0.3m de ancho y 0.3m de alto y una longitud de 2.60m. Por último, la base tiene una sección transversal de 0.9m de ancho y 0.3m de alto y una longitud de 3.10m.

**Tabla N° 30. Tipos de reparación para diferentes distorsiones en muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal.**

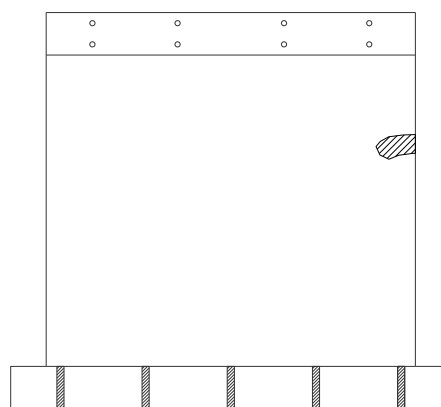
Distorsión	Tipo de reparación
1/4200	RESANE
1/3000	RESANE
1/2150	RESANE
1/1500	RESANE
1/1000	RESANE
1/800	RESANE
1/550	RESANE + ENCAMISADO
1/400	RESANE + ENCAMISADO ANCLADO
1/300	RESANE + ENCAMISADO ANCLADO

**Elaboración Propia.**

La Figura N° 121, Figura N° 123, Figura N° 125, Figura N° 127, Figura N° 129, Figura N° 131, Figura N° 133, Figura N° 135 y Figura N° 137 muestran los diferentes grados de agrietamiento de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal para diferentes distorsiones, obtenidos de los planos de grietas de ensayos experimentales realizados en laboratorio de estructuras del CISMID – FIC - UNI. Mientras que la Figura N° 122, Figura N° 124, Figura N° 126, Figura N° 128, Figura N° 130, Figura N° 132, Figura N° 134, Figura N° 136 y Figura N° 138 muestran el correspondiente tipo de reparación y área de intervención en el muro.



**Figura N° 121. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/4200.**



**Figura N° 122. Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/4200.**

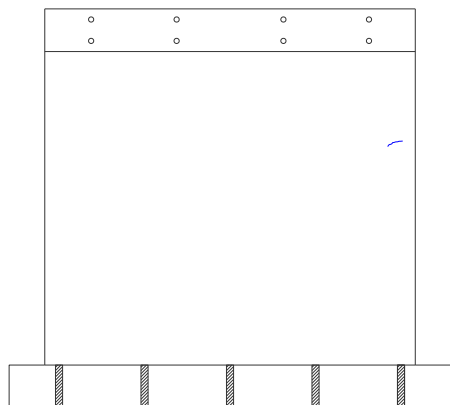


Figura N° 123. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/3000.

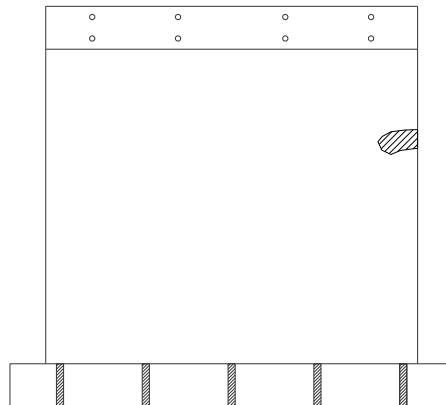


Figura N° 124. Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/3000.

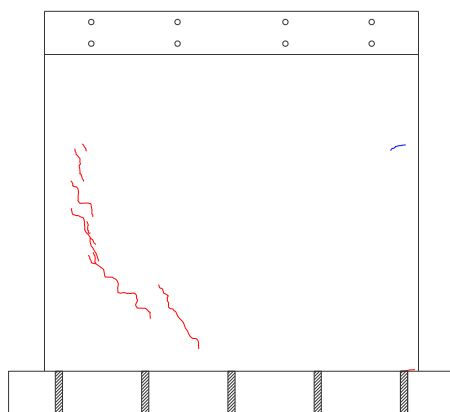


Figura N° 125. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/2150.

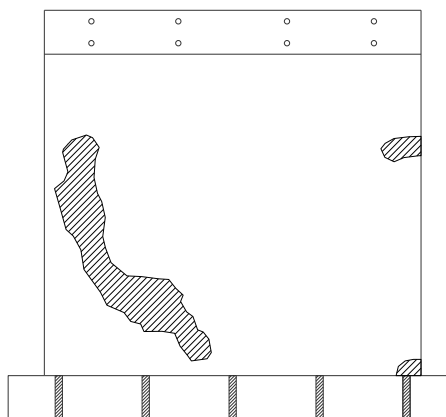


Figura N° 126. Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/2150.

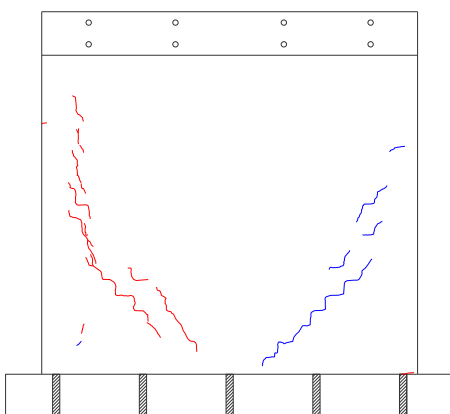


Figura N° 127. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/1500.

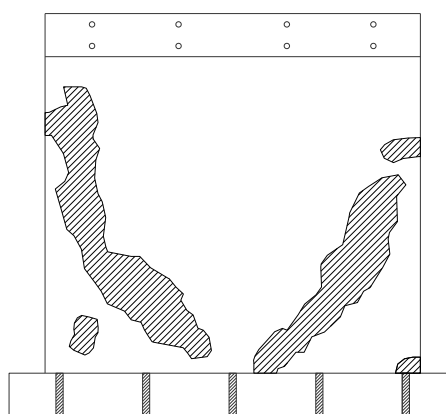
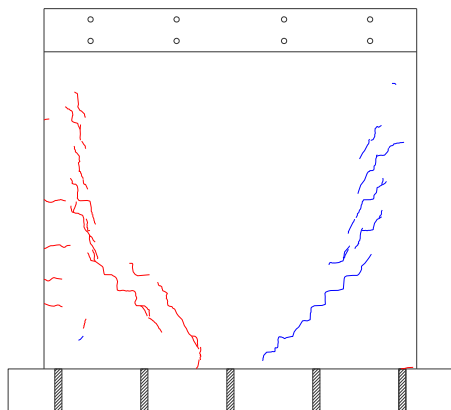
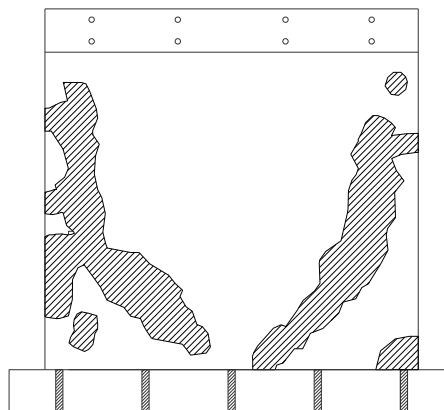


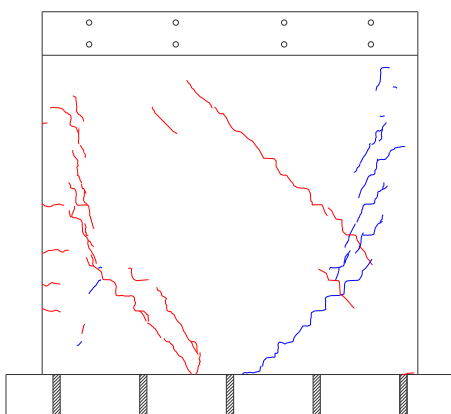
Figura N° 128. Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/1500.



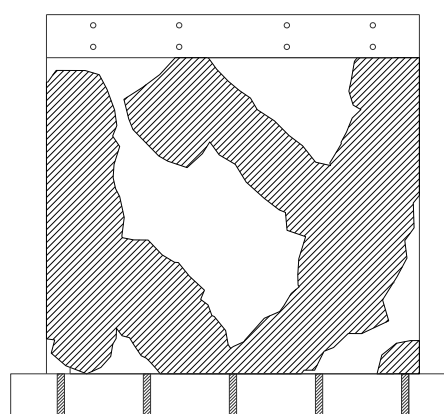
**Figura N° 129.** Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/1000.



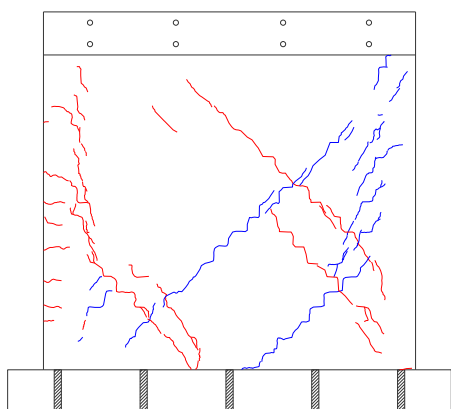
**Figura N° 130.** Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/1000.



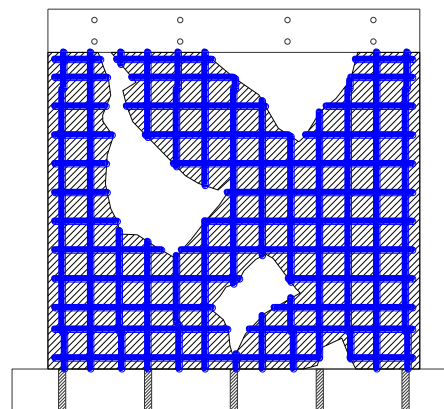
**Figura N° 131.** Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/800.



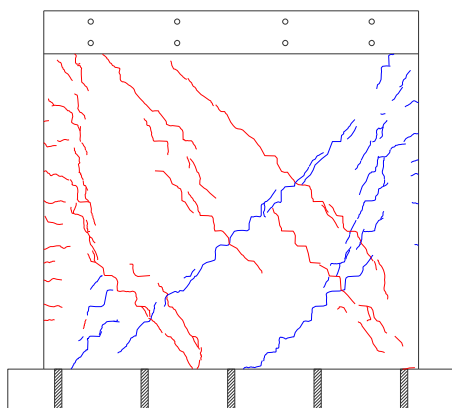
**Figura N° 132.** Reparación Tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/800.



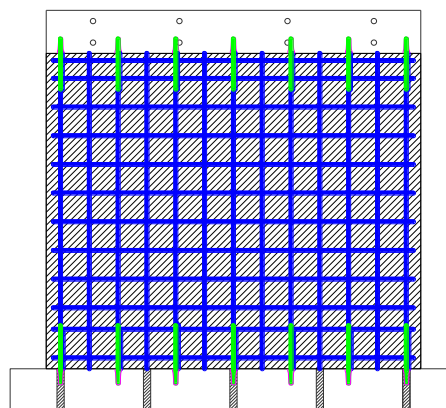
**Figura N° 133.** Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/550.



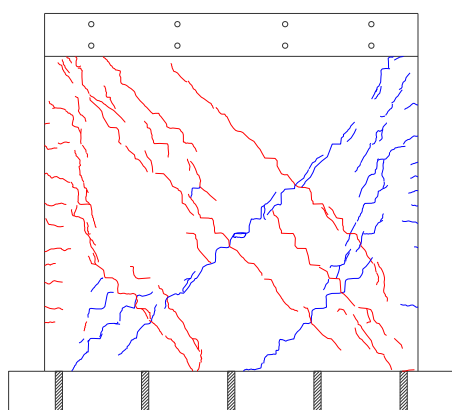
**Figura N° 134.** Reparación tipo II en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/550.



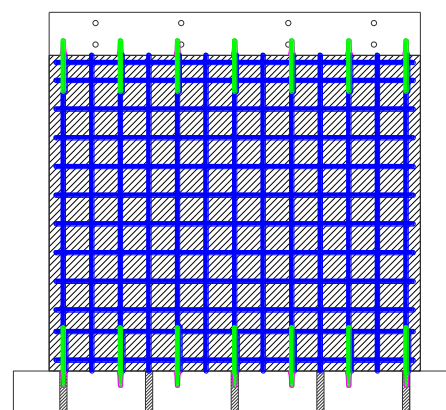
**Figura N° 135. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/400.**



**Figura N° 136. Reparación tipo I en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/400.**



**Figura N° 137. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/300.**



**Figura N° 138. Reparación tipo III en muro de albañilería confinada con ladrillos sólido artesanal en la distorsión 1/300.**

La Tabla N° 31 muestra la distorsión, el tipo de reparación, el área de intervención en el muro, el APU del tipo de reparación (ver Tabla N° 27, Tabla N° 28 y Tabla N° 29) y el costo de reparación para diferentes distorsiones. El área de intervención corresponde a la suma de áreas por ambas caras del muro donde se realizan trabajos de reparación. El costo de reparación en soles por m<sup>2</sup> de muro, se obtiene de la división del producto del área de intervención por el precio unitario del tipo de reparación entre el área de una cara del muro cuyo valor es igual a 5.72 m<sup>2</sup>.

**Tabla N° 31. Costo de reparación por m2 para diferentes distorsiones de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal.**

MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CON LADRILLOS SÓLIDO ARTESANAL					
DISTORSIÓN	TIPO DE REPARACIÓN	(1)	(2)	(1) *(2) /Amuro	
		ÁREA DE INTERVENCIÓN (m2)	APU (REPARACIÓN) (S/. /m2)	COSTO DE REPARACIÓN (S/. /m2)	(%)
1/4200	I	0.0428	161.60	1.21	0.22%
1/3000	I	0.0431	161.60	1.22	0.22%
1/2150	I	0.8735	161.60	24.68	4.53%
1/1500	I	1.8760	161.60	53.00	9.73%
1/1000	I	2.8624	161.60	80.87	14.85%
1/800	I	6.3353	161.60	178.99	32.87%
1/550	II	8.6323	244.12	368.40	67.66%
1/400	III	11.4400	272.27	544.53	100.00%
1/300	III	11.4400	272.27	544.53	100.00%

**Elaboración Propia.**Amuro: 2.20m x 2.60m = 5.72m<sup>2</sup>

Los valores del costo de reparación mostrados en la Tabla N° 31, se utilizaron para calibrar la ecuación (16) que es una curva logística con forma de S (Kyurkchiev & Markov, 2015), obteniendo los valores de las constantes  $\epsilon$  y  $\lambda$  mediante una regresión lineal. Esta ecuación calibrada permitirá estimar costos de reparación en distorsiones intermedias y calcular las pérdidas en las viviendas. Los valores de  $\epsilon$  y  $\lambda$  que definen la curva de costo de reparación para los muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal se muestra en la Tabla N° 32, mientras que la Figura N° 139 muestra la curva calibrada.

$$C. R(x) = 1 - e^{\text{Ln}(0.5) * \left(\frac{x}{\lambda}\right)^\epsilon} \quad (16)$$

Donde :

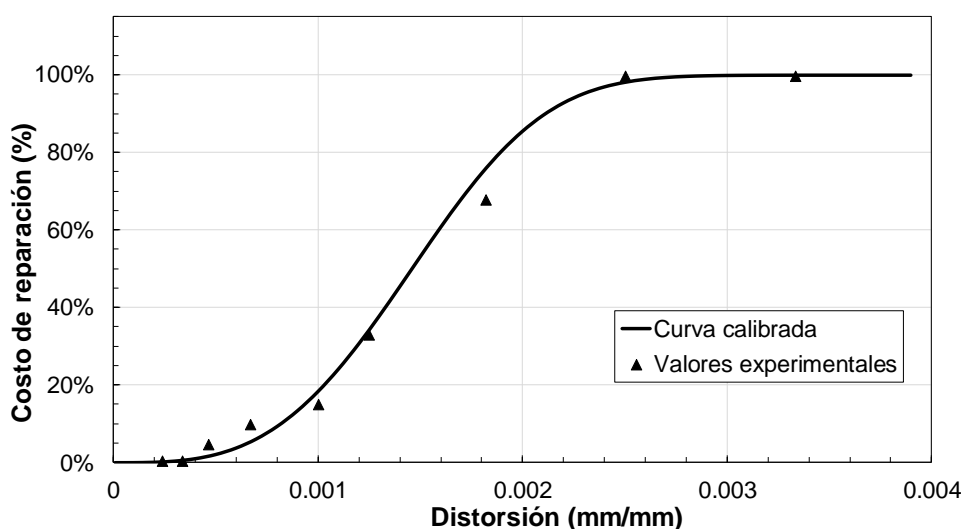
 $CR(x)$  : Costo de reparación en %. $x$  : Distorsión (mm/mm). $\epsilon, \lambda$  : Constantes adimensionales que definen la curva del costo de reparación.



**Tabla N° 32. Parámetros  $\epsilon, \lambda$  que definen la curva de costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal.**

Parámetros	
$\epsilon$	$\lambda$
3.253090	0.001460

Elaboración propia.



**Figura N° 139. Curva de costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos sólido artesanal.**

### 6.2.2. Costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial

De igual manera que el caso anterior, se calculó los costos de reparación de muros de albañilería construidos con ladrillos pandereta industrial. Los tipos de reparación empleados se muestran en la Tabla N° 33, donde para cada distorsión se indica el tipo de reparación propuesto.

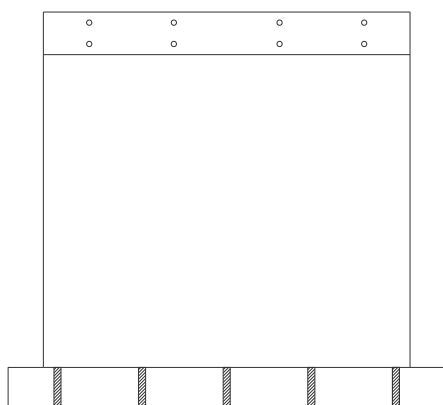
Las dimensiones de los muros analizados de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial son de 2.60m de longitud, 2.20m de alto y 0.12m de espesor. La viga superior tiene una sección transversal de 0.3m de ancho y 0.3m de alto y una longitud de 2.60m. Por último, la base tiene una sección transversal de 0.9m de ancho y 0.3m de alto y una longitud de 3.10m.

**Tabla N° 33. Tipo de reparación para diferentes distorsiones en muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial.**

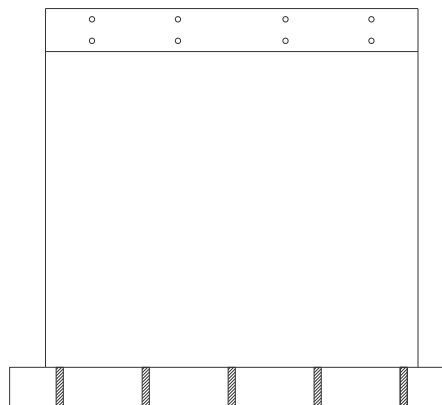
Distorsión	Tipo de reparación
1/4200	RESANE
1/3000	RESANE
1/2150	RESANE + ENCAMISADO
1/1500	RESANE + ENCAMISADO
1/1000	RESANE + ENCAMISADO ANCLADO
1/800	RESANE + ENCAMISADO ANCLADO

**Elaboración Propia.**

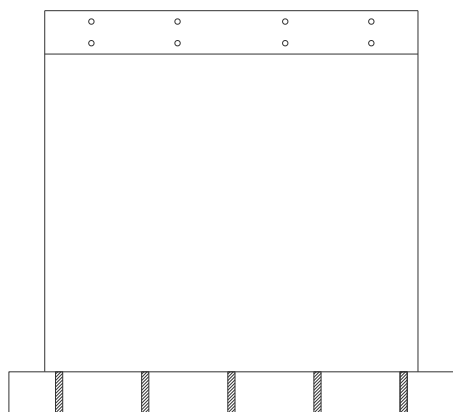
La Figura N° 140, Figura N° 142, Figura N° 144, Figura N° 146, Figura N° 148 y Figura N° 150 muestran los diferentes grados de agrietamiento de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial para diferentes distorsiones, obtenidos de los planos de grietas de ensayos experimentales realizados en laboratorio de estructuras del CISMID – FIC -UNI. Mientras que la Figura N° 141, Figura N° 143, Figura N° 145, Figura N° 147, Figura N° 149 y Figura N° 151 muestran el correspondiente tipo de reparación y área de intervención en el muro.



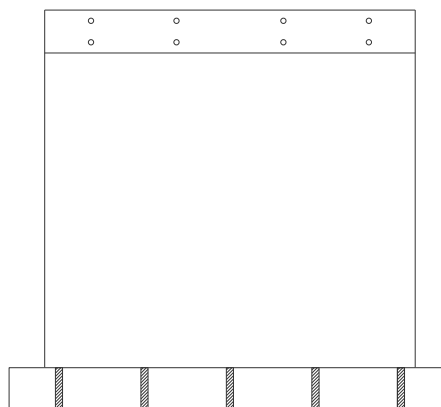
**Figura N° 140. Ningún agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/4200.**



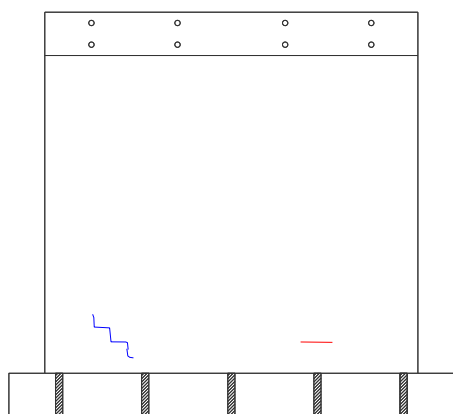
**Figura N° 141. Ninguna reparación en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/4200.**



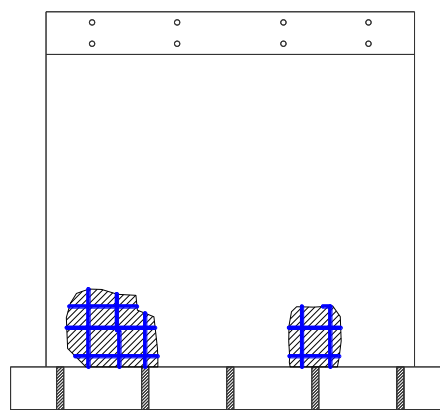
**Figura N° 142. Ningún agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/3000.**



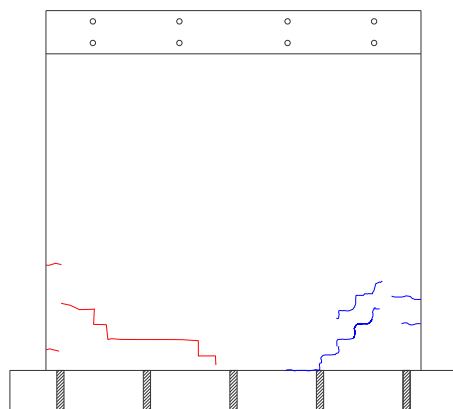
**Figura N° 143. Ninguna reparación en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/3000.**



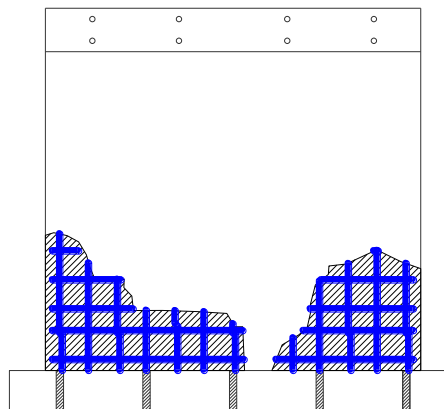
**Figura N° 144. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/2150.**



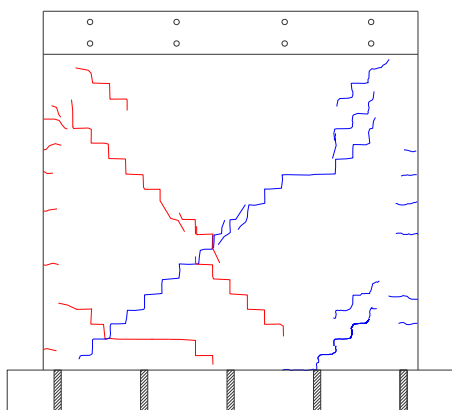
**Figura N° 145. Reparación Tipo II en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/2150.**



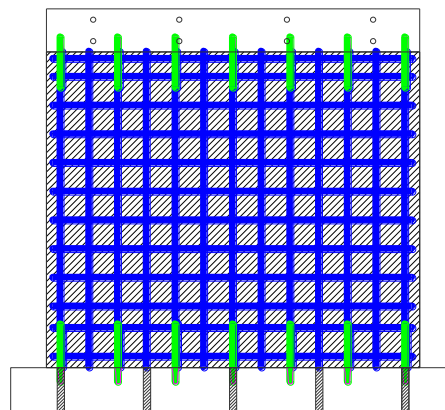
**Figura N° 146. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/1500.**



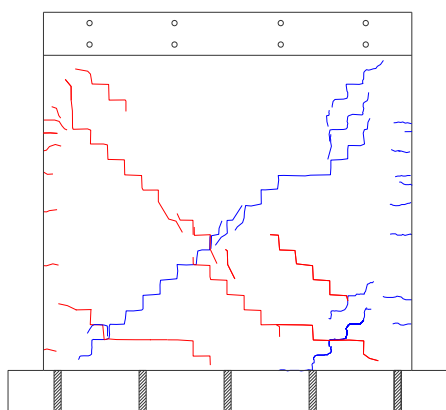
**Figura N° 147. Reparación Tipo II en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/1500.**



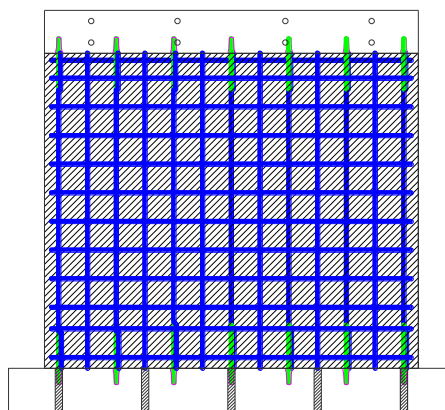
**Figura N° 148. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/1000.**



**Figura N° 149. Reparación Tipo III en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/1000.**



**Figura N° 150. Agrietamiento de muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/800.**



**Figura N° 151. Reparación Tipo III en muro de albañilería confinada con ladrillos pandereta industrial en la distorsión 1/800.**

La Tabla N° 34 muestra la distorsión, el tipo de reparación, el área de intervención en el muro, el APU del tipo de reparación (ver Tabla N° 27, Tabla N° 28 y Tabla N° 29) y el costo de reparación para diferentes distorsiones. El área de intervención corresponde a la suma de áreas de ambas caras del muro donde se realizan trabajos de reparación mostrado en las figuras anteriores. El costo de reparación, en soles por m<sup>2</sup>, se obtiene de la división del producto del área de intervención por el precio unitario del tipo de reparación entre el área de una cara del muro, para este caso de estudio el área de una cara del muro es 5.72 m<sup>2</sup>.

**Tabla N° 34. Costo de reparación por m2 para diferentes distorsiones de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial.**

MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CON LADRILLOS PANDERETA INDUSTRIAL					
DISTORSIÓN	TIPO DE REPARACIÓN	(1)	(2)	(1)*(2)/Amuro	
		ÁREA DE INTERVENCIÓN	APU (REPARACIÓN)	COSTO DE REPARACIÓN	
		(m2)	(S/. /m2)	(S/. /m2)	(%)
1/4200	I	0.0000	161.60	0.00	0.00%
1/3000	I	0.0000	161.60	0.00	0.00%
1/2150	II	0.3316	244.12	14.15	2.60%
1/1500	II	2.8435	244.12	121.35	22.29%
1/1000	III	11.4400	272.27	544.53	100.00%
1/800	III	11.4400	272.27	544.53	100.00%

**Elaboración propia.**

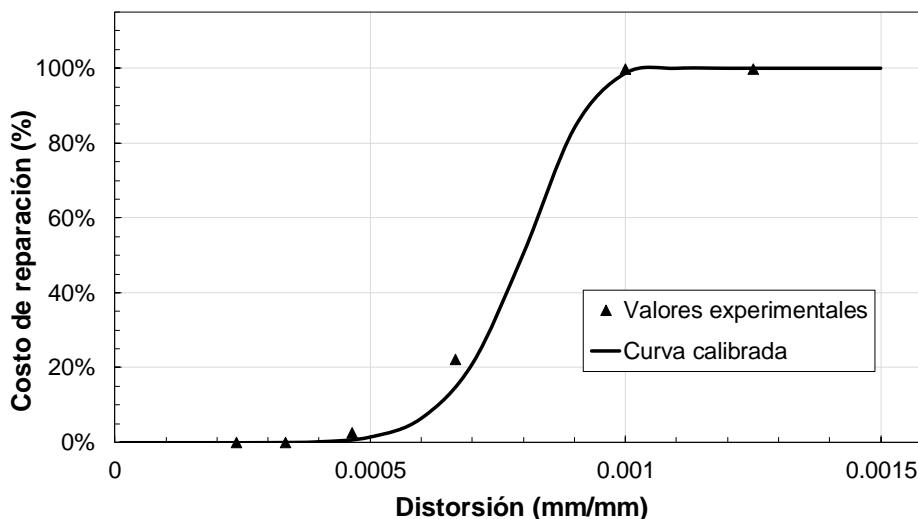
Amuro: 2.20m x 2.60m = 5.72m<sup>2</sup>

Igualmente, al caso anterior. Los valores del costo de reparación mostrados en la Tabla N° 34, se utilizaron para calibrar la ecuación (16), curva logística con forma de S (Kyurkchiev & Markov, 2015), obteniendo los valores de las constantes  $\epsilon$  y  $\lambda$  mediante una regresión lineal. Esta ecuación calibrada permitirá estimar costos de reparación en distorsiones intermedias y calcular las pérdidas en las viviendas. Los valores de  $\epsilon$  y  $\lambda$  que definen la curva de costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial se muestra en la Tabla N° 35 mientras que la Figura N° 152 muestra la curva calibrada.

**Tabla N° 35. Parámetros  $\epsilon$ ,  $\lambda$  que definen la curva de costo de reparación para muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial.**

Parámetros	
$\epsilon$	$\lambda$
8.149959	0.000798

Elaboración propia.



**Figura N° 152. Curva de costo de reparación de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta industrial.**

### 6.2.3. Costo de reparación de losas aligeradas y cimentación

Los daños producidos por sismos en las losas aligeradas y cimentación en viviendas de albañilería confinada están asociados principalmente al nivel de daño producido en muros, la torsión en planta y las aceleraciones verticales. El tipo de reparación y área de intervención en losas aligeradas y cimentación estarán relacionados con el nivel de daño, longitud y dirección de los muros de albañilería confinada.

La Tabla N° 36 muestra los tipos de reparación empleados para losas aligeradas y cimentación. Mientras que la Tabla N° 37 y Tabla N° 38 muestran a detalle los tipos de reparación con su respectivo costo unitario.

**Tabla N° 36. Tipos de reparación en losas aligeradas y cimentación.**

N°	TIPO DE REPARACIÓN
(IV)	RESANE EN LOSA DE TECHO
(V)	RESANE EN CIMENTACIÓN

Elaboración Propia.

Nota: Las reparaciones tipo I, II, III corresponden a los muros de albañilería confinada (Ver Tabla N° 26).

Tabla N° 37. Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE EN LOSA DE TECHO (IV).

LOSA ALIGERADA REPARADA			
Id	ACTIVIDAD	UNIDAD	APU (S/)
1	Picado de tarrajeo existente	m2	16.65
2	Picado, limpieza y resane de fisura con mortero cemento - arena 1:3 y puente de adherencia	m2	24.94
3	Tarrajeo con mortero	m2	48.71
4	Pintura Látex 2 manos en cielo raso	m2	19.31
SUB TOTAL (S/ / m2)			177.33
REPARACIÓN DE IISS, IIEE Y OTROS (43%) (S/ / m2)			76.25
TOTAL (S/ / m2)			253.59

Elaboración propia.

La Tabla N° 38 muestra el costo unitario por m2 de área deteriorada de cimentación, para el cálculo de los metrados se tuvo que analizar un metro lineal de cimentación considerando un ancho y altura de 0.5m y 0.8m, respectivamente. La columna parcial fue obtenida del producto del APU por el METRADO. Las sumas de estos parciales representan el TOTAL. Para obtener el costo por m2 de área deteriorada de cimentación, el TOTAL fue dividido entre el área de planta de la cimentación analizada que es de 0.5m<sup>2</sup>, resultando un valor de 824.42 S/ / m<sup>2</sup>.

Tabla N° 38. Detalle de actividades del tipo de reparación RESANE EN LA CIMENTACIÓN (V).

CIMENTACIÓN REPARADA					
		(1)	(2)	(3)=(1)*(2)	
Id	ACTIVIDAD	UNIDAD	APU (S/)	METRADO	PARCIAL (S/)
1	Demolición falso piso h=0.10m	m3	433.00	0.10	43.30
2	Excavación de tierra	m2	4.25	1.50	6.37
5	Resane de cimentación	m2	54.31	1.30	70.60
3	Relleno con material	m2	4.25	1.50	6.37
5	Compactación	m2	1.42	1.00	1.42
6	Eliminación de material excedente	m3	33.95	0.40	13.58
7	Concreto para piso nuevo	m3	441.44	0.10	44.14
8	Regleado falso piso	m2	6.93	1.00	6.93
9	Contrapiso	m2	34.19	1.00	34.19
10	Enchape del piso	m2	61.35	1.00	61.35
SUB TOTAL				S/	288.26
REPARACIÓN DE IISS, IIEE Y OTROS (43%)				S/	123.95
(4) TOTAL				S/	412.21
(5) Acim				m2	0.50
(6)=(4)/(5)				S/ / m2	824.42

Elaboración propia.

Acim: 1.00m\*0.50m=0.50m<sup>2</sup>

Para la obtención del área de intervención en cada dirección, en unidades de m<sup>2</sup>, en losas aligeradas y cimentación se empleó las ecuaciones (17) y (18) que están en función de la longitud de muros. El área de intervención es el área donde puede ocurrir daño. El costo de reparación de losas aligeradas se obtiene con las

ecuaciones ( 19 ), ( 20 ) y ( 21 ) mientras que el costo de reparación de la cimentación se emplean las ecuaciones ( 22 ), ( 23 ) y ( 24 ). Estos costos de reparación se obtienen con los costos unitarios obtenidos de la Tabla N° 37 y Tabla N° 38 y los índices de daño de cada piso y dirección. Se puede observar que el costo de reparación de losas aligeradas y cimentación es cero cuando el índice de daño es menor a 3, se incrementa cuando el índice de daño está entre 3 y 4, y se mantienen constante cuando el índice de daño es mayor a 4. Por lo tanto, el costo reparación aumenta con el nivel de daño, indicando que el área dañada es mayor.

**Para la dirección X:**

$$\text{Area de intervención} = (L_x) * 0.8 \quad (17)$$

**Para la dirección Y:**

$$\text{Area de intervención} = (L_y) * 0.4 \quad (18)$$

**Costo de reparación en losas aligeradas (CRL) en soles por m2 de losa:**

Dindex < 3:

$$CRL = 0 \quad (19)$$

3 ≤ Dindex ≤ 4:

$$CRL = 253.59 * (Dindex - 3) \quad (20)$$

Dindex ≥ 4:

$$CRL = 253.59 \quad (21)$$

**Costo de reparación en cimentación (CRC) en soles por m2 de cimentación:**

Dindex < 3:

$$CRC = 0 \quad (22)$$

3 ≤ Dindex ≤ 4:

$$CRC = 824.42 * (Dindex - 3) \quad (23)$$



$Dindex \geq 4$ :

$$CRC = 824.42 \quad (24)$$

Donde:

$L_x$  : Longitud de muros en la dirección X del piso en metros.

$L_y$  : Longitud de muros en la dirección Y del piso en metros.

$Dindex$  : Índice de daño.

Área de intervención : Área donde puede ocurrir daño en losa aligerada y/o cimentación en unidades de m<sup>2</sup>.

### 6.3. PÉRDIDAS EN VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

#### 6.3.1. Pérdidas de una vivienda de albañilería confinada

Las pérdidas en las viviendas de albañilería confinada son estimadas mediante la suma de pérdidas producidas en los elementos estructurales. La estimación de estas pérdidas describió en el subcapítulo 6.2.1, 6.2.2 y 6.2.3. A continuación, se describirá el cálculo de las pérdidas de una vivienda albañilería de dos pisos ante las seis demandas sísmicas definidas en la Tabla N° 5.

El primer paso es estimar el costo de la vivienda, para ello se utilizará las ecuaciones del subcapítulo 6.1. La vivienda de albañilería, la cual se estimará las pérdidas es la 002ML1.L2\_DM1.6%\_DMY3.3% que es una vivienda de dos niveles, construido con de ladrillos sólido artesanal en el primer piso, pandereta industrial en el segundo piso, densidad de muros en la dirección X de 1.6 % y en la dirección Y de 3.3%. Estas características se muestran a continuación:

$N^{\circ}$  de pisos : 2

$A_t$  (Área techada) : 88.74 m<sup>2</sup>

$D_x$  (Densidad de muros en la dirección X) : 1.60%

$D_y$  (Densidad de muros en la dirección Y) : 3.33%

$H_{1er}$  (Altura de entrepiso del primer piso) : 2.8m

$H_t$  (Altura de entrepiso del piso típico) : 2.6m

$t$  (espesor de los muros de albañilería) :  $\cong$  0.12m

Para el cálculo del costo por m<sup>2</sup> de área techada de la especialidad de estructuras del primer piso y del piso típico, se aplican las ecuaciones ( 12 ) y ( 13 ), respectivamente.

$$C.E.1 = C_{PISO} + C_{LOSA} + C_{VIGAS} + C_{COLUMNAS.1} + C_{MUROS.1}$$

$$C.E.1 = 50.41 + 151.26 + 57.64 + 6.58 + \left( \frac{0.016 + 0.036}{0.12} \right) * 2.8 * 182.29$$

$$C.E.1 = 474.32 \text{ S/ / m}^2$$

$$C.E.T = C_{LOSA} + C_{VIGAS} + C_{COLUMNAS.T} + C_{MUROS.T}$$

$$C.E.T = 151.26 + 57.64 + 4.63 + \left( \frac{0.016 + 0.033}{0.12} \right) * 2.6 * 114.92$$

$$C.E.T = 335.54 \text{ S/ / m}^2$$

Por otro lado, para el cálculo del costo por m<sup>2</sup> de área techada de la especialidad de arquitectura del primer piso y del piso típico, se aplican las ecuaciones ( 14 ) y ( 15 ), respectivamente.

$$C.A.1 = C.A_{PISO.1} + C.A_{MUROS.1} + C.A_{COLUMNAS.1} + C.A_{VIGAS} + C.A_{CIELO RASO} \\ + C.A_{PUERTAS.1} + C.A_{VENTANAS.1} + C.A_{BAÑOS} + C.A_{COCINA}$$

$$L.A_m = \left( \frac{0.016 * 88.74}{0.12} \right) * 2 + \left( \frac{0.036 * 88.74}{0.12} \right) = 48.07$$

$$C_{MUROS.1} = [48.07 * 12.29 + (48.07 * 2.8 - 42.2) * 24.49 + (48.07 * 2.8 - 42.2) \\ * 12.21] / 88.74 = 44.85$$

$$C.A.1 = 104.95 + 44.85 + 2.65 + 25.65 + 50.23 + 58.79 + 23.52 + 24.08 + 29.39$$

$$C.A.1 = 364.11 \text{ S/ / m}^2$$

$$C.A.T = C.A_{PISO.T} + C.A_{MUROS.T} + C.A_{COLUMNAS.T} + C.A_{VIGAS} + C.A_{CIELO RASO} \\ + C.A_{PUERTAS.T} + C.A_{VENTANAS.T} + C.A_{BAÑOS} + C.A_{COCINA}$$

$$L.A_m = \left( \frac{0.016 * 88.74}{0.12} \right) * 2 + \left( \frac{0.033 * 88.74}{0.12} \right) = 48.07$$

$$C_{MUROS.T} = [48.07 * 12.29 + (48.07 * 2.6 - 47.6) * 24.49 + (48.07 * 2.6 - 47.6) \\ * 12.21] / 88.74 = 38.65$$

$$C.A.T = 95.55 + 38.65 + 2.47 + 25.65 + 50.23 + 41.16 + 35.28 + 24.08 + 39.19$$

$$C.A.T = 352.26 \text{ S/ / m}^2$$

Estos costos por m<sup>2</sup> de área techada se resumen en la Tabla N° 39, además se muestra el monto estimado del valor de la vivienda que asciende a un valor de S/ 193 675.26 soles.

**Tabla N° 39. Resumen de costos por m<sup>2</sup> de área de techada de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3%.**

Costos por m <sup>2</sup> de área techada			
	(1)	(2)	(3)=(1)+(2)
ESPECIALIDAD	1er piso	2do piso	Parcial
	(S/ / m <sup>2</sup> )	(S/ / m <sup>2</sup> )	(S/ / m <sup>2</sup> )
ESTRUCTURAS	474.32	335.54	809.86
ARQUITECTURA	364.11	352.26	716.37
Subtotal (S/ / m <sup>2</sup> )			1526.23
IISS, IIEE Y OTROS (43%) (S/ / m <sup>2</sup> )			656.28
	(4)	Total (S/ / m <sup>2</sup> )	2182.50
	(5)	Área techada (m <sup>2</sup> )	88.74
	(6)= (4)*(5)	Monto (S/)	193675.26

Elaboración propia.

El segundo paso es estimar las pérdidas de los elementos estructurales con las ecuaciones de costo de reparación y las distorsiones promedio de cada piso y dirección, obtenidas del análisis no lineal tiempo historia.

La Tabla N° 40 muestra las distorsiones promedio de los siete registros sísmicos mostrados en Tabla N° 6 para las seis demandas sísmicas de la Tabla N° 5.

**Tabla N° 40. Distorsiones promedio de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para las seis demandas sísmicas.**

Dirección	Nivel	Ladrillo	Densidad	DISTORSIÓN PROMEDIO					
				MUY LEVE	LEVE	MODERADO	SEVERO	RARO	MUY RARO
X	1	sólido	0.016	0.001287	0.002233	0.006281	0.020673	0.034403	0.054765
X	2	pandereta	0.016	0.000633	0.00077	0.001206	0.012067	0.023088	0.055577
Y	1	sólido	0.033	0.000317	0.000413	0.000988	0.002185	0.003892	0.008286
Y	2	pandereta	0.033	0.000312	0.000403	0.00063	0.000858	0.001065	0.001301

Elaboración propia.

Luego, para estimar las pérdidas de los muros del primer piso que están contruidos con ladrillos sólido artesanal, se emplea la ecuación ( 16 ) con los parámetros de la Tabla N° 32. Mientras que las pérdidas de los muros del segundo piso que están contruidas con ladrillos pandereta industrial, se emplea la ecuación ( 16 ) con los parámetros de la Tabla N° 35. Además, también es necesario calcular el área de muros de cada piso en las dos direcciones. Estos cálculos de áreas se muestran en la Tabla N° 41.

**Tabla N° 41. Cálculo de áreas de muros de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3%.**

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(1)*(2)*(4)/(3)		
Dirección	Nivel	Ladrillo	Densidad	Área techada (m <sup>2</sup> )	Espesor del muro (m)	Altura (m)	Área de muros (m <sup>2</sup> )
X	1	sólido	0.016	88.74	0.12	2.8	33.13
X	2	pandereta	0.016	88.74	0.11	2.6	33.56
Y	1	sólido	0.036	88.74	0.12	2.8	68.33
Y	2	pandereta	0.036	88.74	0.11	2.6	69.22

Elaboración propia.

Desde la Tabla N° 42 hasta la Tabla N° 47, muestran las pérdidas de los muros de albañilería de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para las seis demandas sísmicas de la Tabla N° 5. Estas pérdidas están en soles y ubicadas en la última columna de las tablas y son obtenidas como el producto del área de muros por el costo de reparación respectivo. Los resultados muestran que, a mayor demanda sísmica mayores son las pérdidas. Además, se está considerando que cuando cualquier muro de alguna dirección supera su deformación última, ( $Dindex \geq 5$  ó  $Dindex = X$ ), las pérdidas de la vivienda son del 100% ya que la vivienda habría colapsado.

**Tabla N° 42. Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica muy leve.**

	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)				
Dirección	Piso	Ladrillo	Área de muros (m <sup>2</sup> )				
			Distorsión				
			Costo de reparación (%)				
			Pérdidas (S/)				
X	1	sólido	33.13	0.001287	36.86%	200.63	6646.78
X	2	pandereta	33.56	0.000633	9.96%	54.25	1820.49
Y	1	sólido	68.33	0.000317	0.48%	2.60	177.56
Y	2	pandereta	69.22	0.000312	0.03%	0.18	12.39
<b>Total (S/)</b>							<b>8657.21</b>

Elaboración propia.

**Tabla N° 43. Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica leve.**

			(1)				(2)	(3)=(1)*(2)
Dirección	Piso	Ladrillo	Área de muros (m2)	Distorsión	Costo de reparación (%)		(S/ / m2)	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	33.13	0.002233	93.68%		510.31	16906.51
X	2	pandereta	33.56	0.000770	40.43%		220.17	7388.89
Y	1	sólido	68.33	0.000413	1.13%		6.13	419.03
Y	2	pandereta	69.22	0.000403	0.26%		1.44	99.63
							<b>Total (S/)</b>	<b>24814.06</b>

Elaboración propia.

**Tabla N° 44. Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica moderado.**

			(1)				(2)	(3)=(1)*(2)
Dirección	Piso	Ladrillo	Área de muros (m2)	Distorsión	Costo de reparación (%)		(S/ / m2)	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	33.13	0.006281	100.00%		544.53	18040.06
X	2	pandereta	33.56	0.001206	100.00%		544.53	18274.35
Y	1	sólido	68.33	0.000988	17.68%		96.11	6567.46
Y	2	pandereta	69.22	0.000630	9.60%		52.29	3619.24
							<b>Total (S/)</b>	<b>46501.11</b>

Elaboración propia.

**Tabla N° 45. Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica severo.**

			(1)				(2)	(3)=(1)*(2)
Dirección	Piso	Ladrillo	Área de muros (m2)	Distorsión	Costo de reparación (%)		(S/ / m2)	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	33.13	0.020673	100.00%		544.53	18040.06
X	2	pandereta	33.56	0.012067	100.00%		544.53	18274.35
Y	1	sólido	68.33	0.002185	92.37%		503.19	34382.89
Y	2	pandereta	69.22	0.000858	71.39%		388.74	26907.74
							<b>Total (S/)</b>	<b>97605.03</b>

Elaboración propia.

**Tabla N° 46. Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica raro.**

			(1)			(2)	(3)=(1)*(2)
Dirección	Piso	Ladrillo	Área de muros (m <sup>2</sup> )	Distorsión	Costo de reparación (%)	(S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	33.13	0.034403	100.00%	544.53	18040.06
X	2	pandereta	33.56	0.023088	100.00%	544.53	18274.35
Y	1	sólido	68.33	0.003892	100.00%	544.53	37207.62
Y	2	pandereta	69.22	0.001065	99.93%	544.16	37664.98
<b>Total (S/)</b>							<b>111187.01</b>

Elaboración propia.

**Tabla N° 47. Pérdidas de los muros de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica muy raro.**

			(1)			(2)	(3)=(1)*(2)
Dirección	Piso	Ladrillo	Área de muros (m <sup>2</sup> )	Distorsión	Costo de reparación (%)	(S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	33.13	0.054765	100.00%	544.53	18040.06
X	2	pandereta	33.56	0.055577	100.00%	544.53	18274.35
Y	1	sólido	68.33	0.008286	100.00%	544.53	37207.63
Y	2	pandereta	69.22	0.001301	100.00%	544.53	37690.84
<b>Total (S/)</b>							<b>111212.88</b>

Elaboración propia.

Por otro lado, para estimar las pérdidas en losas aligeradas de la vivienda, es necesario calcular la longitud de muros en cada piso y dirección como muestra la Tabla N° 48. El área de intervención, se obtienen con las ecuaciones (17) y (18). Por último, se emplean las ecuaciones (19), (20) y (21) para estimar el costo de reparación.

**Tabla N° 48. Longitudes de muros de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3%.**

			(1)	(2)	(3)	(4)=(1)*(2)/(3)
Dirección	Piso	Ladrillo	Densidad	Área techada (m <sup>2</sup> )	Espesor del muro (m)	Longitud de muros (m)
X	1	sólido	0.016	88.74	0.12	11.83
X	2	pandereta	0.016	88.74	0.11	12.91
Y	1	sólido	0.033	88.74	0.12	24.40
Y	2	pandereta	0.033	88.74	0.11	26.62

Elaboración propia.

Desde la Tabla N° 49 hasta la Tabla N° 54, muestran las pérdidas de las losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para las seis demandas sísmicas de la Tabla N° 5. Estas pérdidas están relacionadas con el nivel de daño que presentan los muros de albañilería, se ubican en la última

columna de las tablas y son obtenidas como el producto del área de intervención en losas aligeradas por el costo de reparación respectivo, observándose que las pérdidas ocurren a partir de una demanda sísmica moderado y aumentan con la intensidad.

**Tabla N° 49. Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para una demanda sísmica muy leve.**

Dirección	Piso	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
					Área de intervención (m <sup>2</sup> )	Costo de Reparación (S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	0.001287	2.12	11.83	9.47	0.00	0
X	2	0.000633	1.58	12.91	10.33	0.00	0
Y	1	0.000317	0.81	24.40	9.76	0.00	0
Y	2	0.000312	0.80	26.62	10.65	0.00	0
<b>Total (S/)</b>							0.00

Elaboración propia.

**Tabla N° 50. Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para una demanda sísmica leve.**

Dirección	Piso	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
					Área de intervención (m <sup>2</sup> )	Costo de Reparación (S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	0.002233	2.68	11.83	9.47	0.00	0.00
X	2	0.00077	1.90	12.91	10.33	0.00	0
Y	1	0.000413	1.03	24.40	9.76	0.00	0
Y	2	0.000403	1.03	26.62	10.65	0.00	0
<b>Total (S/)</b>							0.00

Elaboración propia.

**Tabla N° 51. Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para una demanda sísmica moderado.**

Dirección	Piso	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
					Área de intervención (m <sup>2</sup> )	Costo de Reparación (S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	0.006281	4.87	11.83	9.47	253.59	2400.38
X	2	0.001206	3.39	12.91	10.33	98.27	1014.71
Y	1	0.000988	1.85	24.40	9.76	0.00	0.00
Y	2	0.00063	1.57	26.62	10.65	0.00	0.00
<b>Total (S/)</b>							3415.09

Elaboración propia.

**Tabla N° 52. Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para una demanda sísmica severo.**

Dirección	Piso	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
					Área de intervención (m <sup>2</sup> )	Costo de Reparación (S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	0.020673	X	11.83	9.47	253.59	2400.38
X	2	0.012067	X	12.91	10.33	253.59	2618.60
Y	1	0.002185	2.65	24.40	9.76	0.00	0.00
Y	2	0.000858	2.23	26.62	10.65	0.00	0.00
<b>Total (S/)</b>							<b>5018.98</b>

Elaboración propia.

**Tabla N° 53. Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para una demanda sísmica raro.**

Dirección	Piso	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
					Área de intervención (m <sup>2</sup> )	Costo de Reparación (S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	0.034403	X	11.83	9.47	253.59	2400.382
X	2	0.023088	X	12.91	10.33	253.59	2618.598
Y	1	0.003892	4.12	24.40	9.76	253.59	2475.393
Y	2	0.001065	3.09	26.62	10.65	23.77	253.1652
<b>Total (S/)</b>							<b>7747.54</b>

Elaboración propia.

**Tabla N° 54. Pérdidas de losas aligeradas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para una demanda sísmica muy raro.**

Dirección	Piso	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
					Área de intervención (m <sup>2</sup> )	Costo de Reparación (S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	0.054765	X	11.83	9.47	253.59	2400.382
X	2	0.055577	X	12.91	10.33	253.59	2618.598
Y	1	0.008286	X	24.40	9.76	253.59	2475.393
Y	2	0.001301	3.59	26.62	10.65	148.46	1580.876
<b>Total (S/)</b>							<b>9075.25</b>

Elaboración propia.

Finalmente, para la estimación de las pérdidas de la cimentación, al igual que las pérdidas de losas de techo, es necesario la longitud de muros de cada piso y dirección (Ver Tabla N° 48) y el área de intervención con las ecuaciones (17) y (18). Por último, se emplean las ecuaciones (22), (23) y (24) para estimar el costo de reparación de la cimentación.



Desde la Tabla N° 55 hasta la Tabla N° 60, muestran las pérdidas producidas en la cimentación de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6\_DMY3.3% para las seis demandas sísmicas de la Tabla N° 5. Estas pérdidas al igual que las losas aligeradas, están asociadas al nivel de daño que presentan los muros de albañilería en cada piso y dirección, se ubican en la última columna de las tablas y son obtenidas como el producto del área de intervención en la cimentación por el costo de reparación respectivo, observándose que estas pérdidas en cimentación ocurren a partir de una demanda sísmica moderado y aumentan con la intensidad.

**Tabla N° 55. Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica muy leve.**

Dirección	Piso	Ladrillo	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
						Área de intervención (m <sup>2</sup> )	Costo de Reparación (S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	0.001287	2.12	11.83	9.47	0.00	0
Y	1	sólido	0.000317	0.81	24.40	9.76	0.00	0
<b>Total (S/)</b>								0.00

Elaboración propia.

**Tabla N° 56. Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica leve.**

Dirección	Piso	Ladrillo	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
						Área de intervención (m <sup>2</sup> )	Costo de Reparación (S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	0.002233	2.68	11.83	9.47	0.00	0.00
Y	1	sólido	0.000413	1.03	24.40	9.76	0.00	0
<b>Total (S/)</b>								0.00

Elaboración propia.

**Tabla N° 57. Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica moderado.**

Dirección	Piso	Ladrillo	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
						Área de intervención (m <sup>2</sup> )	Costo de Reparación (S/ / m <sup>2</sup> )	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	0.006281	4.87	11.83	9.47	824.42	7803.63
Y	1	sólido	0.000988	1.85	24.40	9.76	0.00	0.00
<b>Total (S/)</b>								7803.63

Elaboración propia.

**Tabla N° 58. Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica severo.**

					(1)	(2)	(3)=(1)*(2)	
Dirección	Piso	Ladrillo	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	Área de intervención (m2)	Costo de Reparación (S/ / m2)	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	0.020673	X	11.83	9.47	824.42	7803.63
Y	1	sólido	0.002185	2.65	24.40	9.76	0.00	0.00
<b>Total (S/)</b>								7803.63

Elaboración propia.

**Tabla N° 59. Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica raro.**

					(1)	(2)	(3)=(1)*(2)	
Dirección	Piso	Ladrillo	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	Área de intervención (m2)	Costo de Reparación (S/ / m2)	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	0.034403	X	11.83	9.47	824.42	7803.63
Y	1	sólido	0.003892	4.12	24.40	9.76	824.42	8047.49
<b>Total (S/)</b>								15851.12

Elaboración propia.

**Tabla N° 60. Pérdidas en cimentación de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica muy raro.**

					(1)	(2)	(3)=(1)*(2)	
Dirección	Piso	Ladrillo	Distorsión	Dindex	Longitud de muros (m)	Área de intervención (m2)	Costo de Reparación (S/ / m2)	Pérdidas (S/)
X	1	sólido	0.054765	X	11.83	9.47	824.42	7803.63
Y	1	sólido	0.008286	X	24.40	9.76	824.42	8047.49
<b>Total (S/)</b>								15851.12

Elaboración propia.

Las pérdidas de los diferentes elementos estructurales de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.33% se resume en la Tabla N° 61 y Tabla N° 62. Estas tablas muestran las pérdidas totales y en porcentaje respecto al valor inicial de la vivienda (ver Tabla N° 39), para las seis demandas sísmicas de la Tabla N° 5. Los resultados muestran que la vivienda alcanza el 100% de pérdidas ante una demanda sísmica severo debido a que la estructura supero su deformación ultima. La Figura N° 153 muestra estas pérdidas en forma gráfica, este será el formato de presentación de pérdidas de las demás viviendas en estudio.

Tabla N° 61. Pérdidas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica muy leve, leve y moderado.

Dirección	Piso	Ladrillo	Densidad	Elemento	Área (m2)	MUY LEVE			LEVE			MODERADO		
						Dindex	C.R	MONTO	Dindex	C.R	MONTO	Dindex	C.R	MONTO
							(S/ / m2)	(S/)		(S/ / m2)	(S/)		(S/ / m2)	(S/)
X	1	sólido	0.016	MURO	33.13	2.12	200.63	6646.78	2.68	510.31	16906.51	4.87	544.53	18040.06
X	1	sólido	0.016	LOSA	9.47	2.12	0.00	0.00	2.68	0.00	0.00	4.87	253.59	2400.38
X	1	sólido	0.016	CIMENTACIÓN	9.47	2.12	0.00	0.00	2.68	0.00	0.00	4.87	824.42	7803.63
X	2	pandereta	0.016	MURO	33.56	1.58	54.25	1820.49	1.90	220.17	7388.89	3.39	544.53	18274.35
X	2	pandereta	0.016	LOSA	10.33	1.58	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	3.39	98.27	1014.71
Y	1	sólido	0.033	MURO	68.33	0.81	2.60	177.56	1.03	6.13	419.03	1.85	96.11	6567.46
Y	1	sólido	0.033	LOSA	9.76	0.81	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00	1.85	0.00	0.00
Y	1	sólido	0.033	CIMENTACIÓN	9.76	0.81	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00	1.85	0.00	0.00
Y	2	pandereta	0.033	MURO	69.22	0.80	0.18	12.39	1.03	1.44	99.63	1.57	52.29	3619.24
Y	2	pandereta	0.033	LOSA	10.65	0.80	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00	1.57	0.00	0.00
						<b>TOTAL (S/)</b>			<b>TOTAL (S/)</b>			<b>TOTAL (S/)</b>		
						8657.21			24814.06			57719.82		
						<b>PÉRDIDAS (%)</b>			<b>PÉRDIDAS (%)</b>			<b>PÉRDIDAS (%)</b>		
						4.00			13.00			30.00		

Elaboración propia.

Tabla N° 62. Pérdidas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3% para la demanda sísmica severo, raro y muy raro.

Dirección	Piso	Ladrillo	Densidad	Elemento	Área (m2)	SEVERO			RARO			MUY RARO		
						Dindex	C.R	MONTO	Dindex	C.R	MONTO	Dindex	C.R	MONTO
							(S/ / m2)	(S/)		(S/ / m2)	(S/)		(S/ / m2)	(S/)
X	1	sólido	0.016	MURO	33.13	X	544.53	18040.06	X	544.53	18040.06	X	544.53	18040.06
X	1	sólido	0.016	LOSA	9.47	X	253.59	2400.38	X	253.59	2400.38	X	253.59	2400.38
X	1	sólido	0.016	CIMENTACIÓN	9.47	X	824.42	7803.63	X	824.42	7803.63	X	824.42	7803.63
X	2	pandereta	0.016	MURO	33.56	X	544.53	18274.35	X	544.53	18274.35	X	544.53	18274.35
X	2	pandereta	0.016	LOSA	10.33	X	253.59	2618.60	X	253.59	2618.60	X	253.59	2618.60
Y	1	sólido	0.033	MURO	68.33	2.65	503.19	34382.89	4.12	544.53	37207.62	X	544.53	37207.63
Y	1	sólido	0.033	LOSA	9.76	2.65	0.00	0.00	4.12	253.59	2475.39	X	253.59	2475.39
Y	1	sólido	0.033	CIMENTACIÓN	9.76	2.65	0.00	0.00	4.12	824.42	8047.49	X	824.42	8047.49
Y	2	pandereta	0.033	MURO	69.22	2.23	388.74	26907.74	3.09	544.16	37664.98	3.59	544.53	37690.84
Y	2	pandereta	0.033	LOSA	10.65	2.23	0.00	0.00	3.09	23.77	253.17	3.59	148.46	1580.88
						<b>TOTAL (S/)</b>			<b>TOTAL (S/)</b>			<b>TOTAL (S/)</b>		
						110427.64			134785.67			136139.25		
						<b>PÉRDIDAS (%)</b>			<b>PÉRDIDAS (%)</b>			<b>PÉRDIDAS (%)</b>		
						100.00			100.00			100.00		

Elaboración propia.

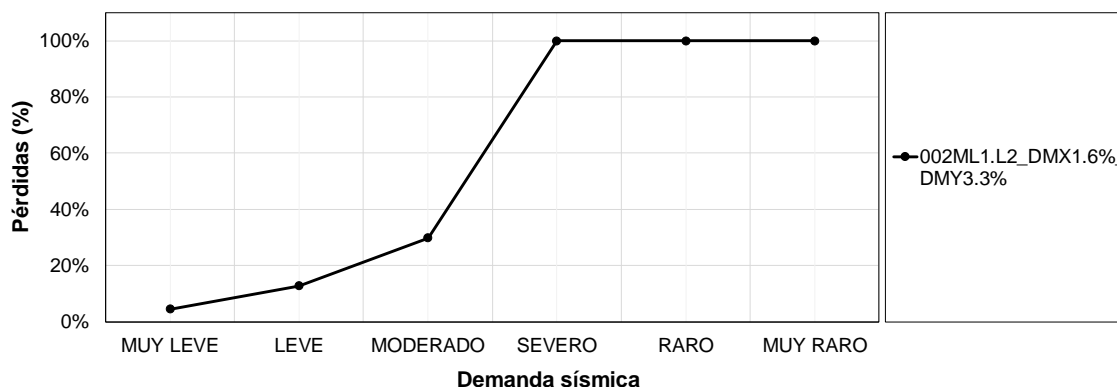


Figura N° 153. Curva de pérdidas de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%\_DMY3.3%.

### 6.3.2. Cálculo de pérdidas de la muestra representativa sin reforzamiento

En este subcapítulo se mostrará las pérdidas de las catorce tipologías de viviendas de albañilería confinada sin reforzamiento definidas en la Tabla N° 11. El procedimiento empleado para el cálculo de las pérdidas se mostró en subcapítulo 6.3.1.

Desde la Figura N° 154 hasta la Figura N° 167 se muestran las pérdidas para las seis demandas sísmicas de la Tabla N° 5, para las cinco densidades de muros de la Tabla N° 12 y con las respuestas promedio de los siete registros sísmicos de la Tabla N° 6. Estas graficas nos permiten saber cómo varían las pérdidas en viviendas de albañilería para diferentes densidades de muros y demandas sísmicas.

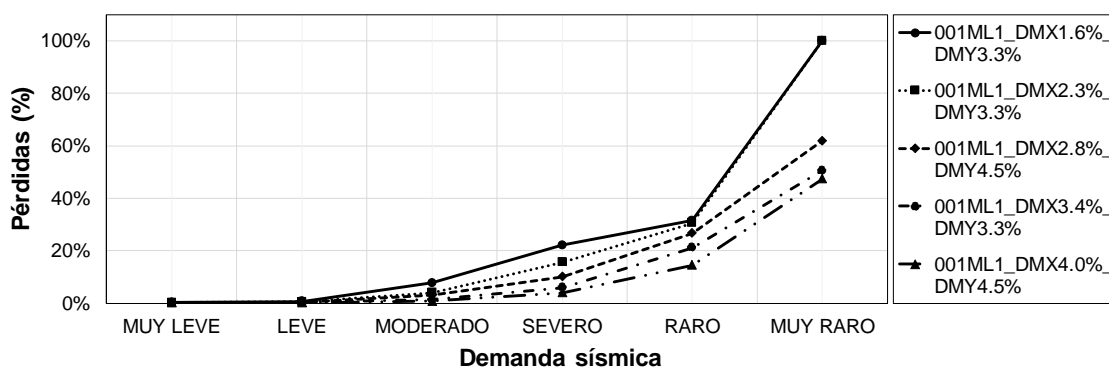


Figura N° 154. Pérdidas de la vivienda 001ML1 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 154 muestra las pérdidas de la vivienda 001ML1 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro sola las viviendas con densidad de muros en la dirección X de 1.6% y 2.3% alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica severo ninguna densidad alcanza el 100% de pérdidas.

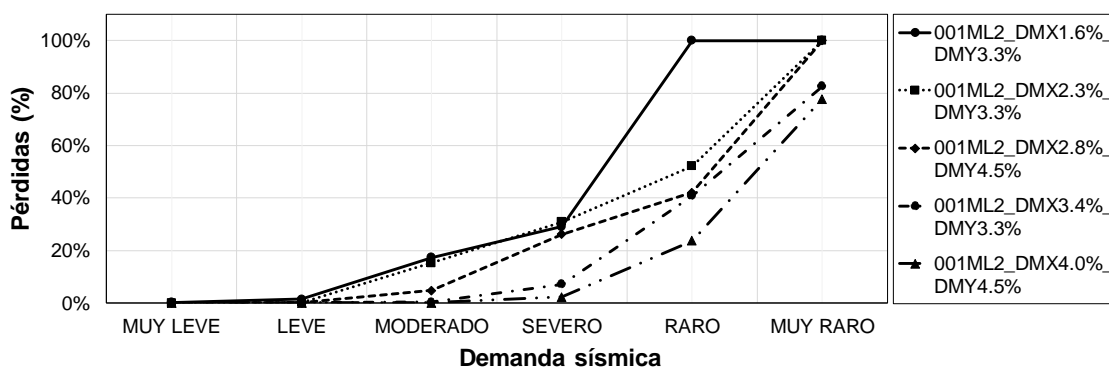


Figura N° 155. Pérdidas de la vivienda 001ML2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 155 muestra las pérdidas de la vivienda 001ML2 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro solo las viviendas con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3% y 2.8% alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica severo ninguna densidad alcanza el 100% de pérdidas.

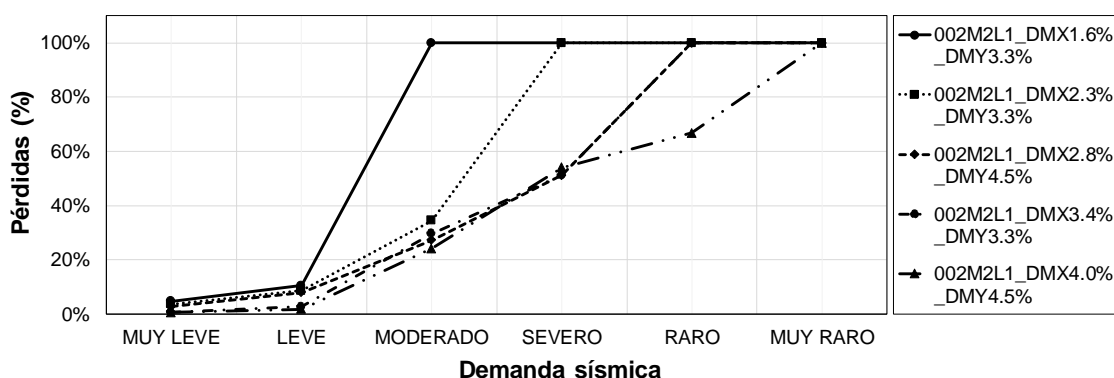


Figura N° 156. Pérdidas de la vivienda 002M2L1 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 156 muestra las pérdidas de la vivienda 002M2L1 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica severo solo las viviendas con densidad de muros en la dirección X de 1.6% y 2.3% alcanzan el 100% de pérdidas.

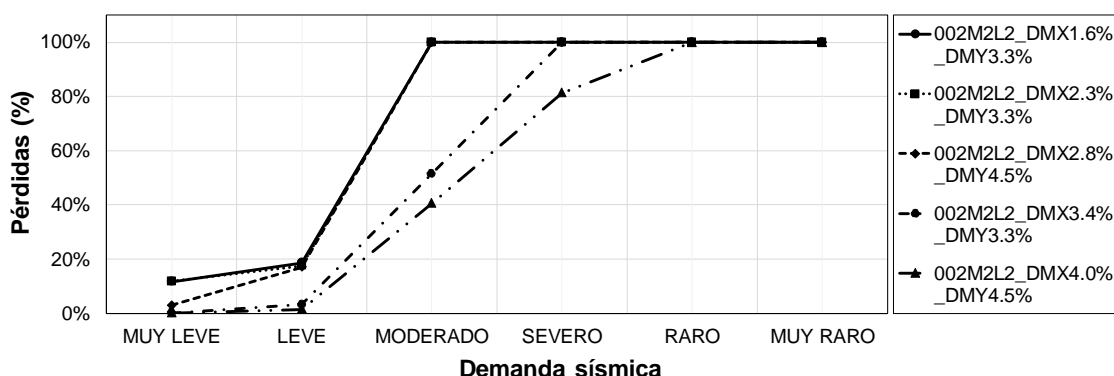


Figura N° 157. Pérdidas de la vivienda 002M2L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 157 muestra las pérdidas de la vivienda 002M2L2 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica raro todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica severo solo la vivienda con densidad de muros en la dirección X de 4.0% no alcanza el 100% de pérdidas.

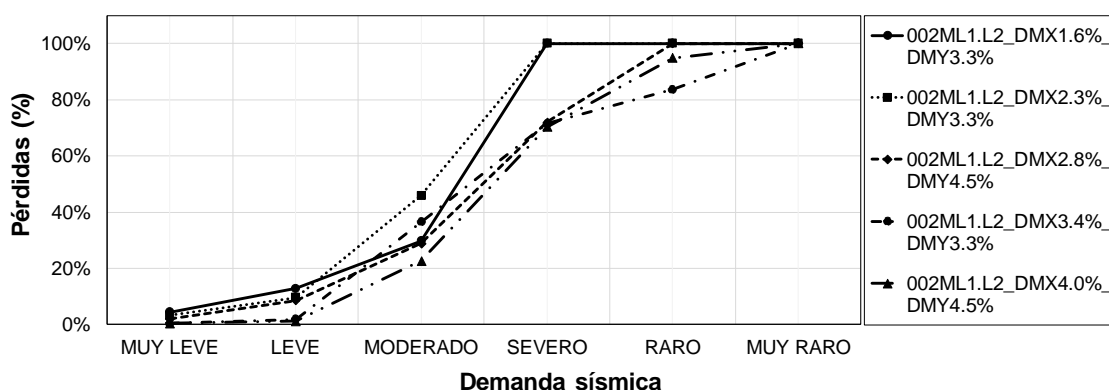


Figura N° 158. Pérdidas de la vivienda 002ML1.L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%.

La Figura N° 158 muestra las pérdidas de la vivienda 002ML1.L2 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica muy raro todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica severo solo las viviendas con densidad de muros en la dirección X de 1.6% y 2.3% alcanzan el 100% de pérdidas.

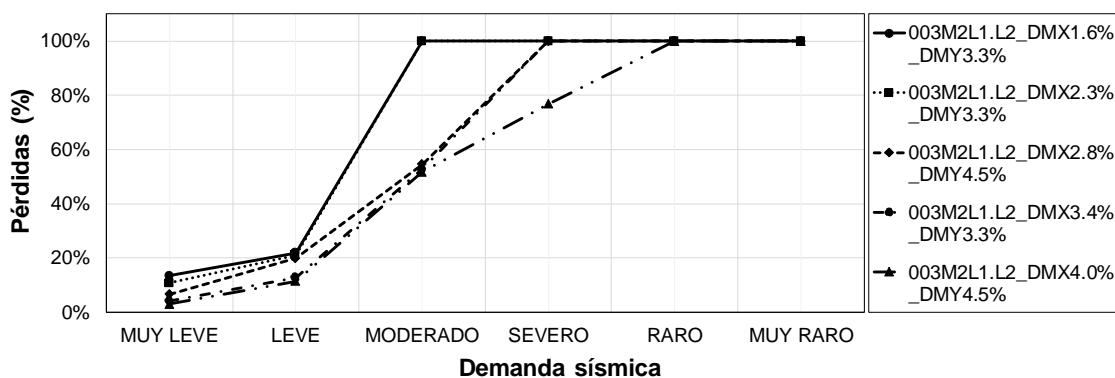


Figura N° 159. Pérdidas de la vivienda 003M2L1.L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 159 muestra las pérdidas de la vivienda 003M2L1.L2 para seis demandas sísmicas y con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica raro todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica severo solo la vivienda con densidad de muros en la dirección X de 4.0% no alcanza el 100% de pérdidas.



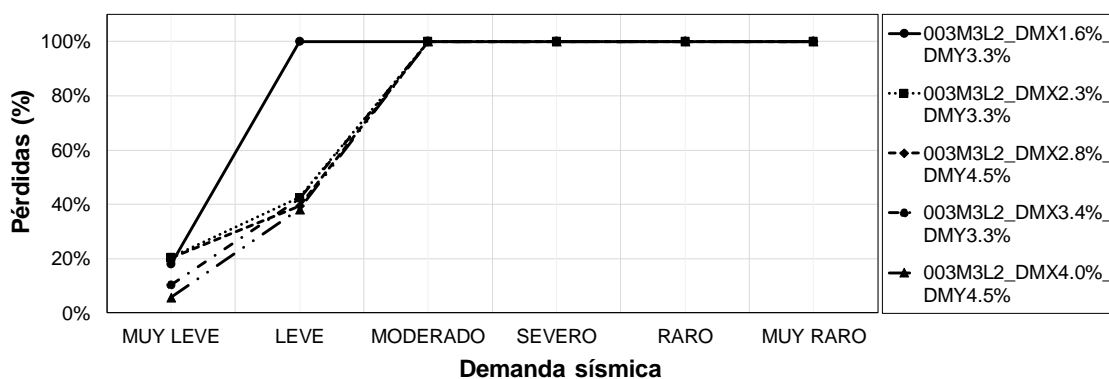


Figura N° 160. Pérdidas de la vivienda 003M3L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 160 muestra las pérdidas de la vivienda 003M3L2 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica leve solo la vivienda con densidad de muros en la dirección X de 1.6% alcanza el 100% de pérdidas.

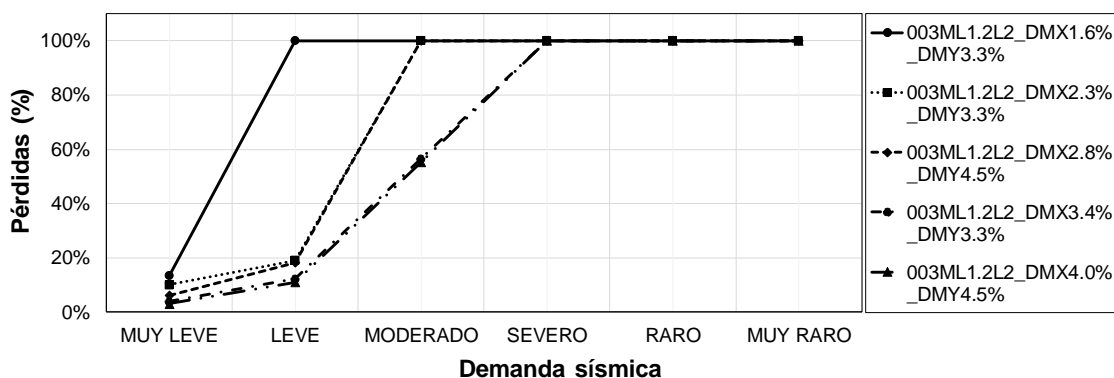


Figura N° 161. Pérdidas de la vivienda 003ML1.2L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%.

La Figura N° 161 muestra las pérdidas de la vivienda 003ML1.2L2 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica severo todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica moderado solo las viviendas con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3% y 2.8% alcanzan el 100% de pérdidas.

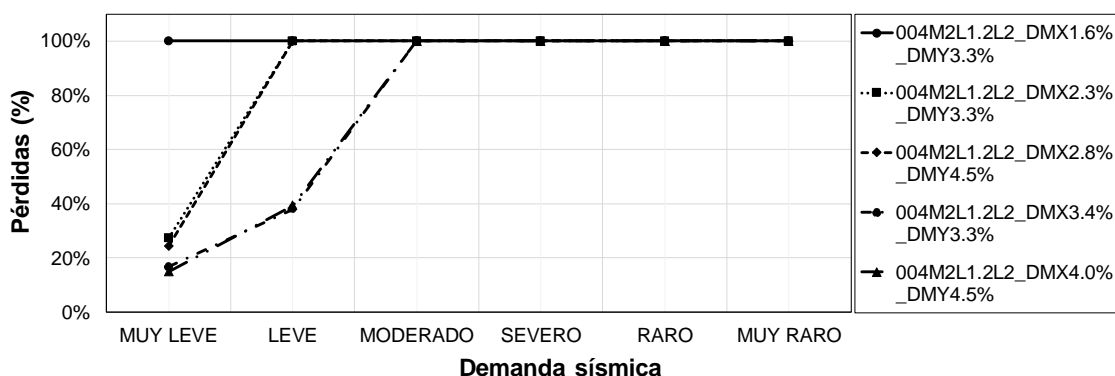


Figura N° 162. Pérdidas de la vivienda 004M2L1.2L2 con densidad de muros en la dirección X 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 162 muestra las pérdidas de la vivienda 004M2L1.2L2 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica leve solo las viviendas con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3% y 2.8% alcanzan el 100% de pérdidas.

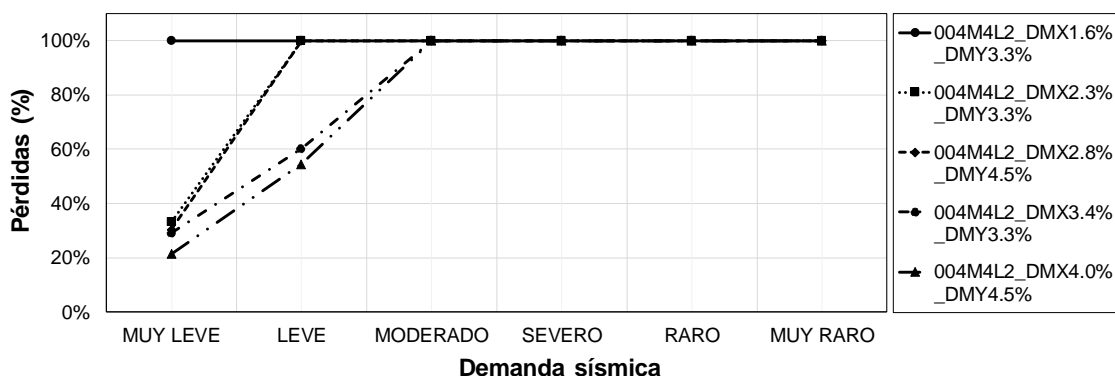


Figura N° 163. Pérdidas de la vivienda 004M4L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 163 muestra las pérdidas de la vivienda 004M4L2 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica leve solo las viviendas con densidad de muros en la dirección X de 3.4% y 4.0% no alcanzan el 100% de pérdidas.

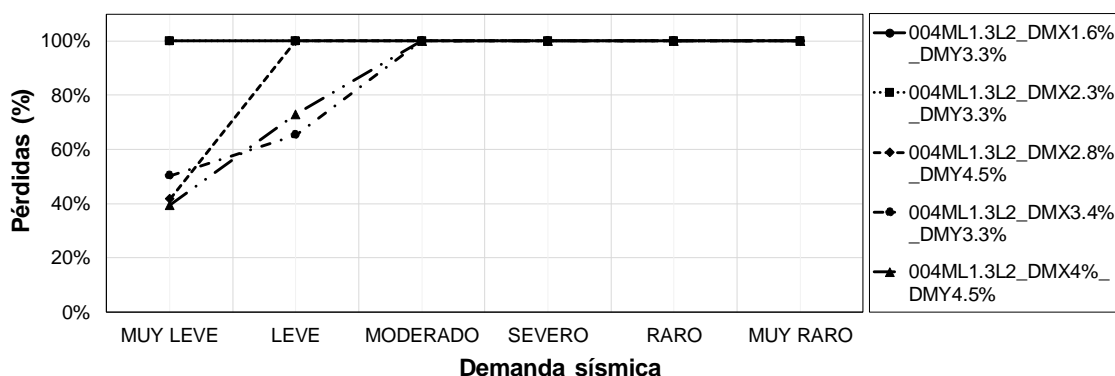


Figura N° 164. Pérdidas de la vivienda 004ML1.3L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%.

La Figura N° 164 muestra las pérdidas de la vivienda 004ML1.3L2 para seis demandas sísmicas y densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica leve solo las viviendas con densidad de muros en X de 3.3% y 4.0% no alcanzan el 100% de pérdidas.

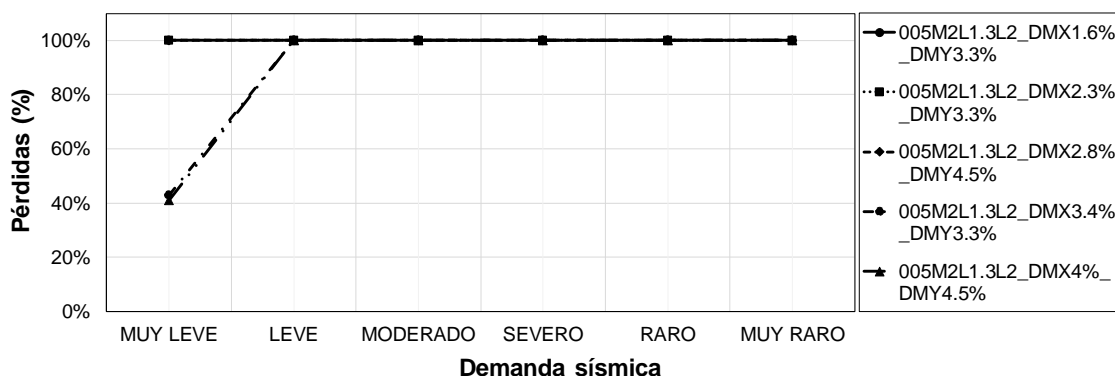
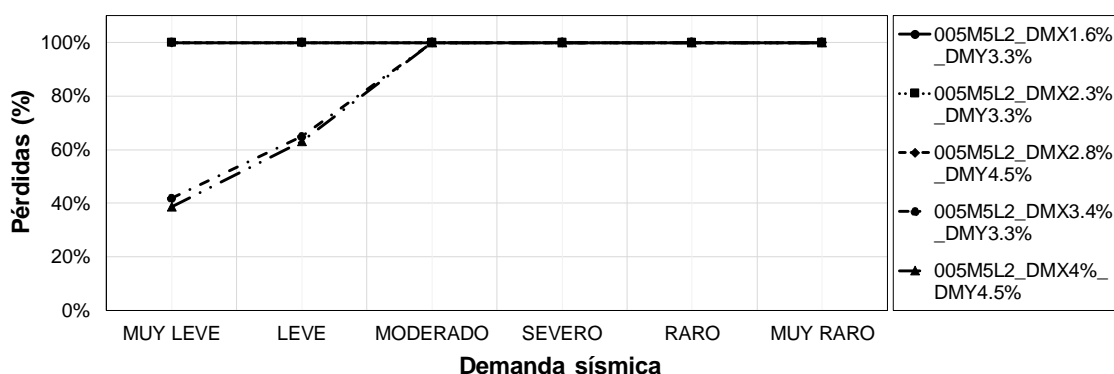


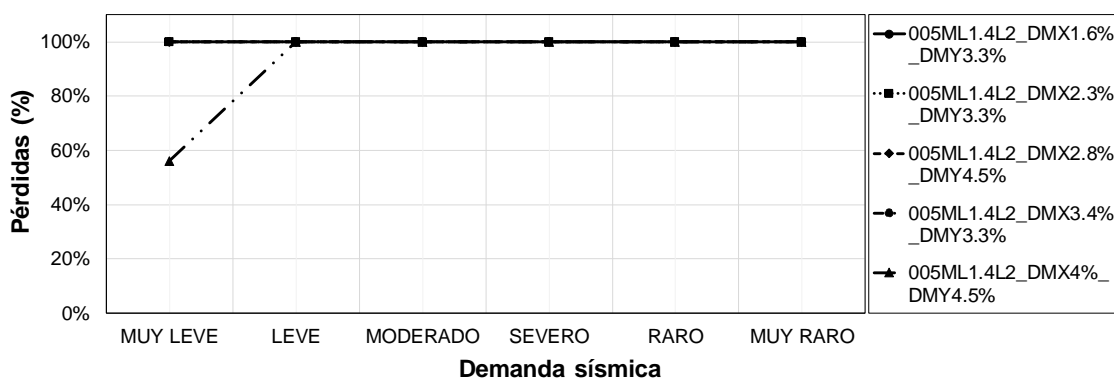
Figura N° 165. Pérdidas de la vivienda 005M2L1.3L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%.

La Figura N° 165 muestra las pérdidas de la vivienda 005M2L1.3L2 para seis demandas sísmicas con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica leve todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica muy leve las viviendas alcanzan con densidad de muros en la dirección X de 3.4% y 4.0% no alcanzan el 100% de pérdidas.



**Figura N° 166. Pérdidas de la vivienda 005M5L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 166 muestra las pérdidas de la vivienda 005M5L2 para seis demandas sísmicas con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica moderado todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica leve solo las viviendas con densidad de muros en X de 3.4% y 4.0% no alcanzan el 100% de pérdidas.



**Figura N° 167. Pérdidas de la vivienda 005ML1.4L2 con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 167 muestra las pérdidas de la vivienda 005ML1.4L2 para seis demandas sísmicas con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que para una demanda sísmica leve todas las densidades alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que para una demanda sísmica muy leve solo la vivienda con densidad de muros en la dirección X de 4.0% no alcanza el 100% de pérdidas.

Los resultados nos muestran que las pérdidas de las catorce tipologías de viviendas de albañilería confinada aumentan con la demanda sísmica, pero disminuyen con la densidad de muros. Aunque en algunas viviendas, con diferentes densidades de muros en la dirección X alcanzan pérdidas similares, debido a que la respuesta de la estructura no solo depende de la densidad de muros, sino también de la masa sísmica y de los espectros de respuesta.

El porcentaje de las tipologías sin reforzamiento con 100% de pérdidas frente a las seis demandas sísmicas propuestas sobre suelo tipo S1 y S2, se muestra en la Figura N° 168. Los resultados muestran que, ante una demanda sísmica severo el 74.29% de las viviendas alcanzan el 100% de pérdidas. Mientras que, ante una demanda sísmica muy raro el 92.86% de las viviendas alcanzan el 100% de pérdidas.

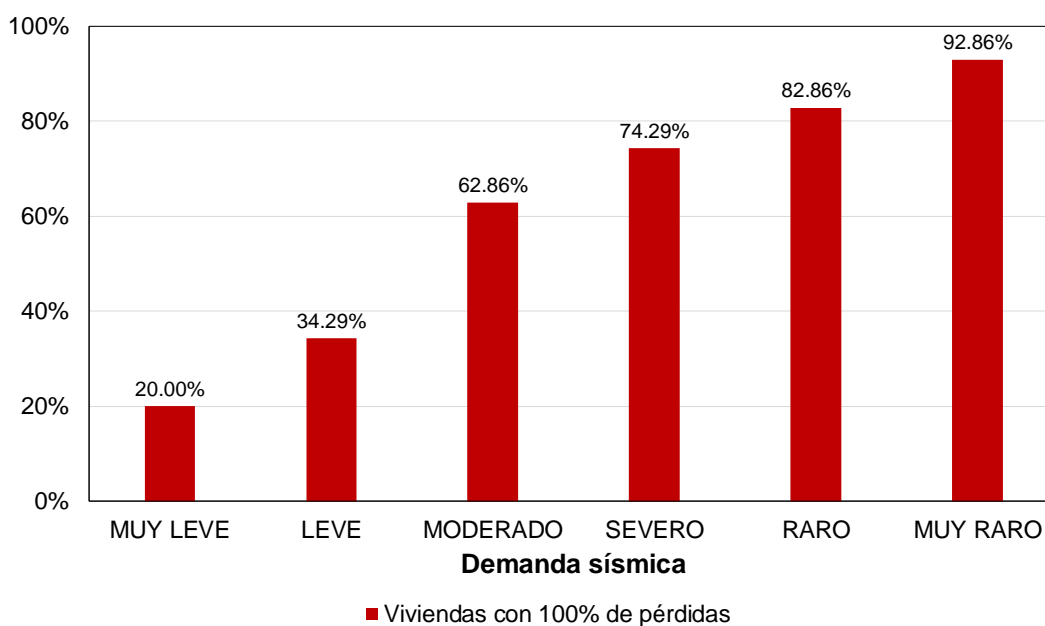


Figura N° 168. Porcentaje de viviendas sin reforzamiento con 100% de pérdidas.

#### 6.4. COSTO DE REFORZAMIENTO CON MALLA DE ACERO Y MORTERO CEMENTO - ARENA

El costo de reforzamiento con malla de acero y mortero cemento - arena, se obtuvo mediante el seguimiento y control del proceso constructivo de reforzamiento de seis muros de albañilería confinada realizado en el laboratorio de estructuras del CISMID – FIC – UNI, del proyecto de investigación 115 - 18 FONDECYT - UNI. Posteriormente, estos muros fueron ensayados cíclicamente. Existen dos tipos de reforzamiento con malla de acero y mortero cemento - arena, el reforzamiento por una cara y por ambas caras del muro. En esta tesis se trabajó con el caso de reforzamiento por ambas caras. Desde la Figura N° 169 hasta la Figura N° 184, se muestra el proceso constructivo de reforzamiento por ambas caras de un muro de albañilería confinada. Se describe el tejido de la malla de acero, la instalación y anclaje de la malla al muro y el tarrajeo de reforzamiento con mortero cemento - arena 1:4.



Figura N° 169. Corte y habilitación de varillas acero  $\varnothing$  4.7mm.



Figura N° 170. Tejido de la malla de acero  $\varnothing$  4.7mm con alambre N°16.



Figura N° 171. Perforación de base con broca 5/16" para instalación de dowels de  $\varnothing$  6mm.



Figura N° 172. Colocación de epóxico para anclaje de dowels de  $\varnothing$  6mm a base.



Figura N° 173. Instalación de dowels de  $\varnothing$  6mm en base del muro.



Figura N° 174. Instalación de dowels de  $\varnothing$  6mm en viga de concreto.



Figura N° 175. Perforación de columnas de concreto con broca 5/32'' para instalación de alcayatas de  $\varnothing$  2 1/2''.



Figura N° 176. Instalación de alcayatas de  $\varnothing$  2 1/2'' a presión en columnas de concreto.



Figura N° 177. Perforación de muro de albañilería con broca 3/16'' para instalación de alambre N°8.



Figura N° 178. Orificio en muro de albañilería con broca 3/16'' para instalación de alambre N°8.



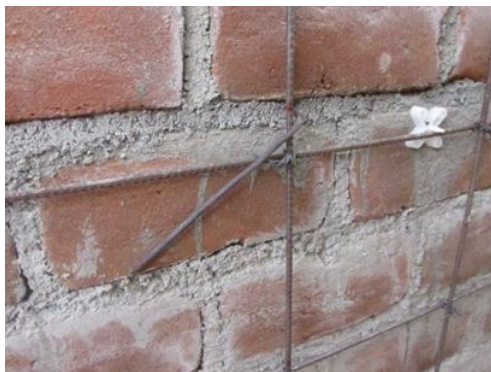


Figura N° 179. Instalación de alambre N°8 para fijación de malla de acero al muro de albañilería.



Figura N° 180. Fijación de malla de acero al muro de albañilería con Alambre N°8 y crucetas de 10mm.



Figura N° 181. Verificación de espesor de reforzamiento con reglas de aluminio.



Figura N° 182. Humedecimiento de muro de albañilería con agua para tarrajeo.



Figura N° 183. Tarrajeo de muro de albañilería confinada con mortero de reforzamiento cemento- arena 1:4.



Figura N° 184. Acabado del reforzamiento de muro de albañilería confinada.

La Tabla N° 63 muestra el cálculo del costo unitario de reforzamiento con malla de acero y mortero cemento - arena 1:4, la columna "UNIDAD" referencia a la unidad de medida de la actividad, la columna "CANTIDAD" referencia a la cantidad de trabajo realizado por ambas caras del muro, la columna "APU" referencia al



precio unitario que es el costo de cada unidad de producción de la actividad, la columna "PARCIAL" es el producto de la columna "APU" por la "CANTIDAD", el "TOTAL" es la suma de los resultados parciales de cada actividad, el "METRADO" es el área de una cara del muro de albañilería confinada (2.60mx2.20m) y el "COSTO" es el costo unitario de reforzamiento por ambas caras del muro por cada m2 de muro de albañilería que se obtiene de la división del "TOTAL" entre el "METRADO".

Las actividades de la Tabla N° 63 se describen visualmente con las fotos mostradas anteriormente de la siguiente manera. La actividad 1 se muestra desde la Figura N° 177 hasta la Figura N° 179, la actividad 2 se muestra en la Figura N° 175 y Figura N° 176, la actividad 3 se muestra desde la Figura N° 171 hasta la Figura N° 174, la actividad 4 se muestra en la Figura N° 169, Figura N° 170 y Figura N° 180, la actividad 5 se muestra desde la Figura N° 181 hasta la Figura N° 184.

**Tabla N° 63. Costo de unitario reforzamiento con malla acero  $\varnothing$  4.7mm @0.20m y mortero cemento-arena 1:4 por ambas caras del muro.**

Id	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	APU (S./ UNIDAD)	PARCIAL (S./ )
1	Perforaciones en muro de albañilería con broca 3/16" e instalación de alambre #8 para fijación de malla corrugada	und	42.00	1.93	81.03
2	Perforaciones con broca 5/32" e instalación de alcayatas 2 1/2" a presión en columnetas de concreto	und	32.00	2.72	87.19
3	Perforación e instalación de bastón de anclaje 6mm corrugado (L=0.35m) para instalación de malla corrugada.	und	28.00	6.44	180.32
4	Instalación de malla corrugada 4.7mm, $f_y=4490$ kg/cm2.	kg	16.74	23.41	391.85
5	Tarrajeo con mortero cemento arena 1:4.	m2	11.44	41.29	472.35
			(1)	<b>TOTAL (S/)</b>	<b>1212.74</b>
			(2)	<b>METRADO (m2)</b>	<b>5.72</b>
			(3) = (1) / (2)	<b>COSTO (S/ / m2)</b>	<b>212.02</b>

Elaboración propia.

La Tabla N° 64 muestra la actividad preliminar y de acabado por ambas caras del muro para el cálculo del costo de reforzamiento. La actividad 1 es el trabajo preliminar de picado y retiro de tarrajeo existente, la actividad 2 es el costo unitario obtenido en la Tabla N° 63 y la actividad 3 es el trabajo de acabado con pintura látex. CRF es el costo unitario de reforzamiento por ambas caras del muro

considerando actividad preliminar y de acabado que resulta de la suma de costos las tres actividades descritas más un 43% del subtotal que referencia a las reparaciones de IISS, IIEE y otros en el proceso de reforzamiento. El costo de reforzamiento de las catorce tipologías de viviendas de albañilería de esta tesis, se obtienen del producto de CRF por el área de una cara de los muros con reforzamiento de la vivienda.

**Tabla N° 64. Costo de reforzamiento con trabajos preliminares y de acabados.**

<b>Id</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>APU (S/. / m2)</b>
1	Picado y retiro de tarrajeo existente por ambas caras del muro.	m2	36.12
2	Costo de reforzamiento con malla acero $\phi$ 4.7mm @0.20m y mortero cemento - arena 1:4 por ambas caras del muro.	m2	212.02
3	Pintura látex 2 manos por ambas caras del muro.	m2	24.42
<b>(1) SUB TOTAL (S/. / m2)</b>			<b>272.56</b>
<b>(2) REPARACIÓN DE IISS, IIEE Y OTROS (43%) (S/ / m2)</b>			<b>117.20</b>
<b>(3) = (1) + (2) (CRF) TOTAL (S/ / m2)</b>			<b>389.76</b>

Elaboración propia.

#### **6.4.1. Costo de reforzamiento de una vivienda de albañilería confinada**

El costo de reforzamiento por ambas caras con malla de acero y mortero cemento – arena en viviendas de albañilería confinada, se obtiene del producto de costo unitario de reforzamiento por la sumatoria de áreas de una cara de los muros reforzados.

Para ello se calculará el costo de reforzamiento en la dirección X de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6%, del cual es necesario sumatoria de áreas de una cara de los muros con reforzamiento, estas áreas fueron calculadas en la Tabla N° 41. Cada área es multiplicada por costo unitario de reforzamiento mostrado en la Tabla N° 64. La Tabla N° 65 muestra el costo de reforzamiento de cada piso en la dirección X, el MONTO de reforzamiento en soles que es obtenido del producto del área de muros por el valor del costo unitario de reforzamiento, el TOTAL que es obtenido de la suma de los montos y el PORCENTAJE que es obtenido de la división del TOTAL entre el valor de la vivienda mostrado en la Tabla N° 39. En este caso el costo de reforzamiento equivale al 13.42% del valor de la vivienda.

Tabla N° 65. Costo de reforzamiento de la vivienda 002ML1.L2\_DM1.6%.

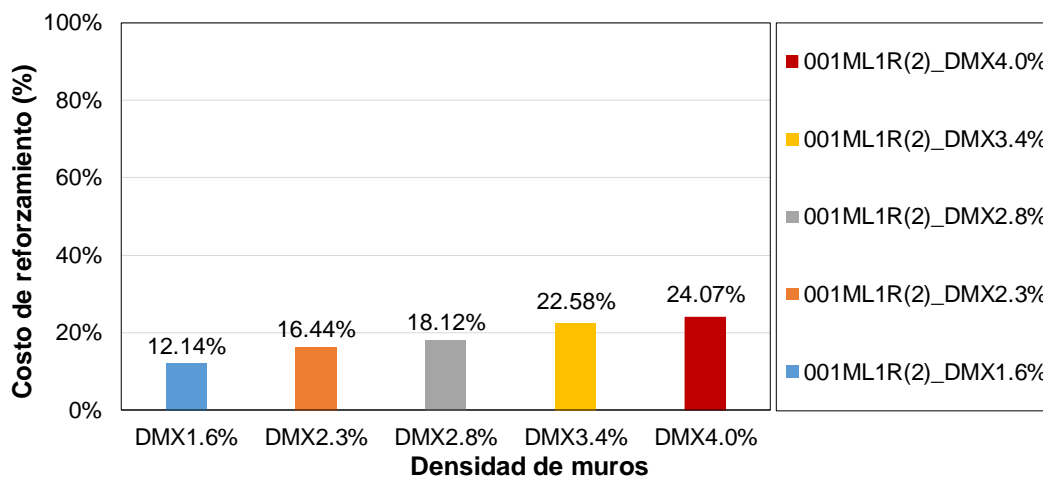
				(1)	(2)	(3) = (1) * (2)
Dirección	Nivel	Ladrillo	Densidad	Área muros (m <sup>2</sup> )	CRF (S/ / m <sup>2</sup> )	Monto (S/)
X	1	sólido	0.016	33.13	389.76	12912.78
X	2	pandereta	0.016	33.56	389.76	13080.37
				(4)	TOTAL (S/)	25993.15
				(5)	VALOR DE VIVIENDA (S/)	193675.26
				(4)/(5)	PORCENTAJE (%)	13.42%

Elaboración propia.

#### 6.4.2. Costo de reforzamiento de la muestra representativa con reforzamiento por ambas caras del muro

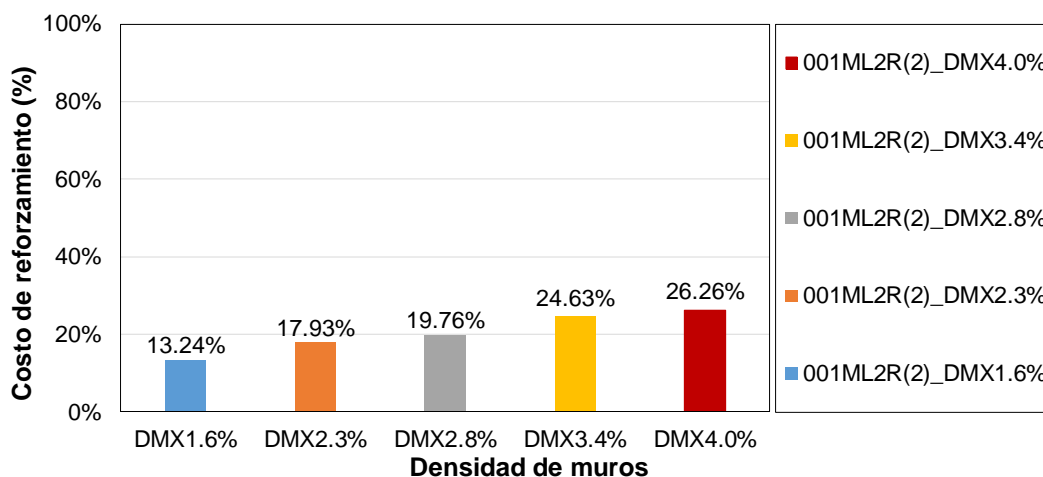
En este subcapítulo se mostrará el costo de reforzamiento por ambas caras con malla de acero y mortero cemento – arena en la dirección X, de las catorce tipologías de viviendas de albañilería definidas en la Tabla N° 11. El procedimiento empleado para el cálculo del costo se mostró en subcapítulo 6.4.1.

Desde la Figura N° 185 hasta la Figura N° 198 muestran el costo de reforzamiento para las cinco densidades de muros de la Tabla N° 12. Estas graficas nos permiten saber cómo varían los costos de reforzamiento respecto al valor de la vivienda para diferentes densidades de muros.



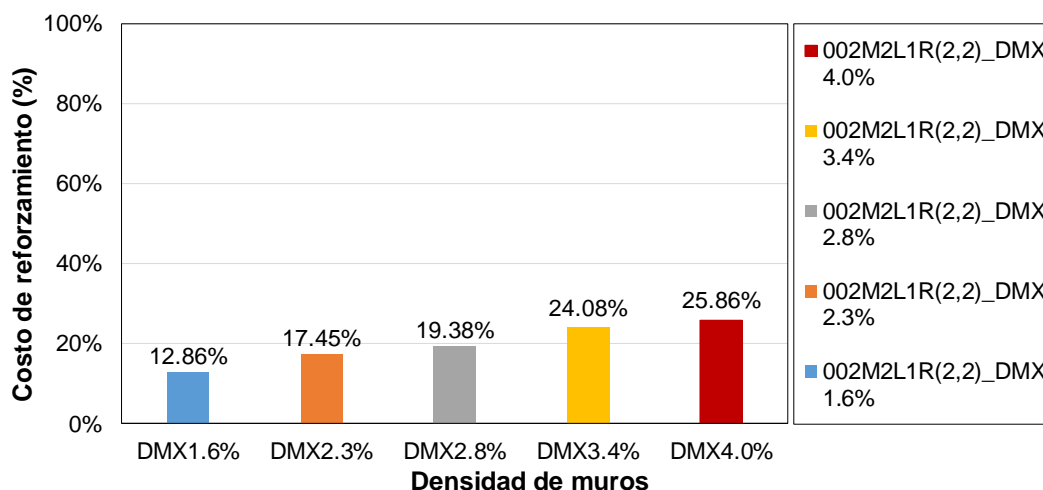
**Figura N° 185. Costo de reforzamiento de la vivienda 001ML1R(2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 185 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 001ML1R(2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 12.14% hasta un 24.07% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.



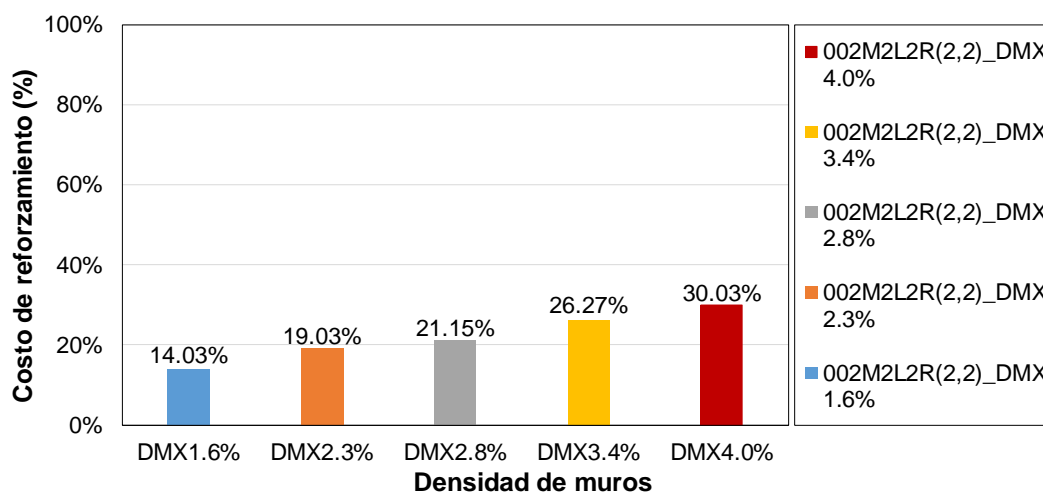
**Figura N° 186. Costo de reforzamiento de la vivienda 001ML2R(2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 186 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 001ML2R(2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 13.24% hasta un 26.26% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.



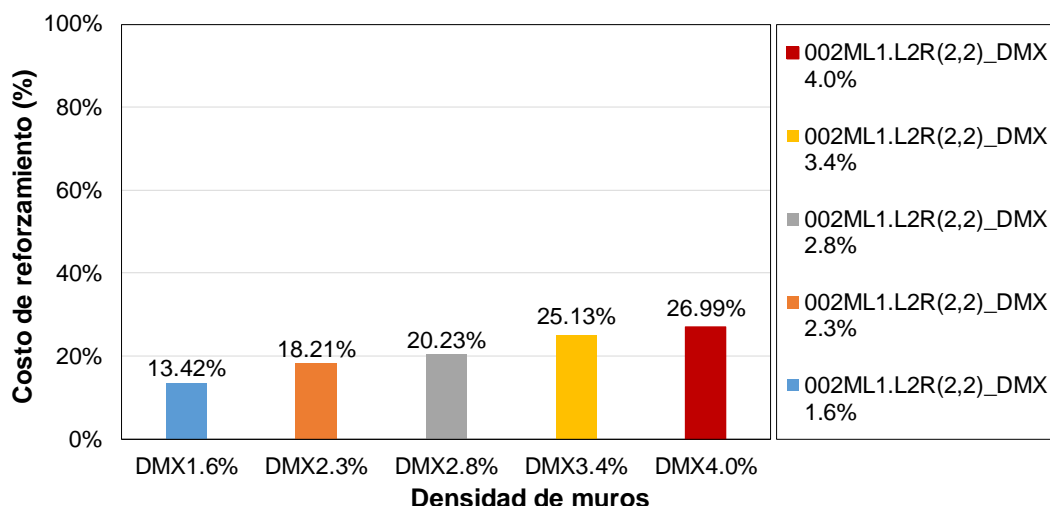
**Figura N° 187. Costo de reforzamiento de la vivienda 002M2L1R(2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 187 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 002ML1R(2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 12.86% hasta un 25.86% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.



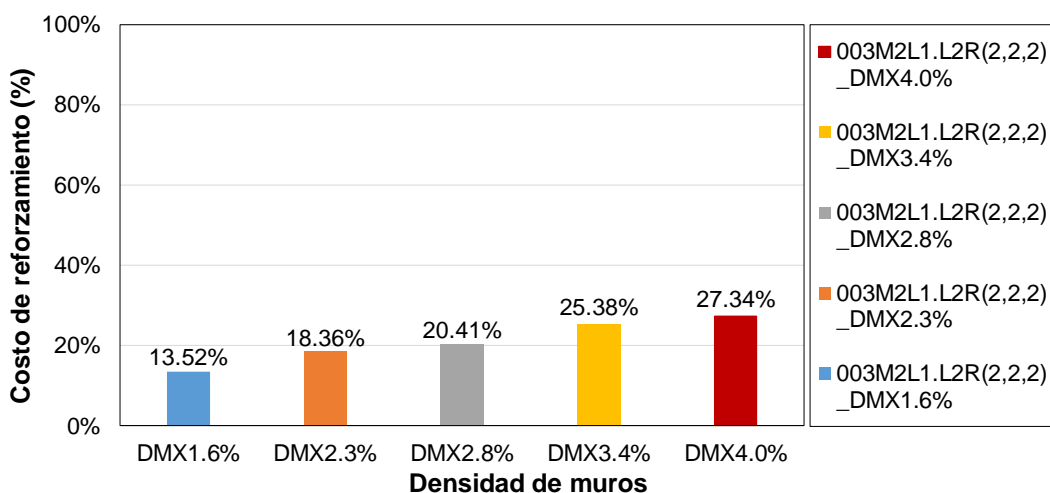
**Figura N° 188. Costo de reforzamiento de la vivienda 002M2L2R(2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 188 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 002ML2R(2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 14.03% hasta un 30.03% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.



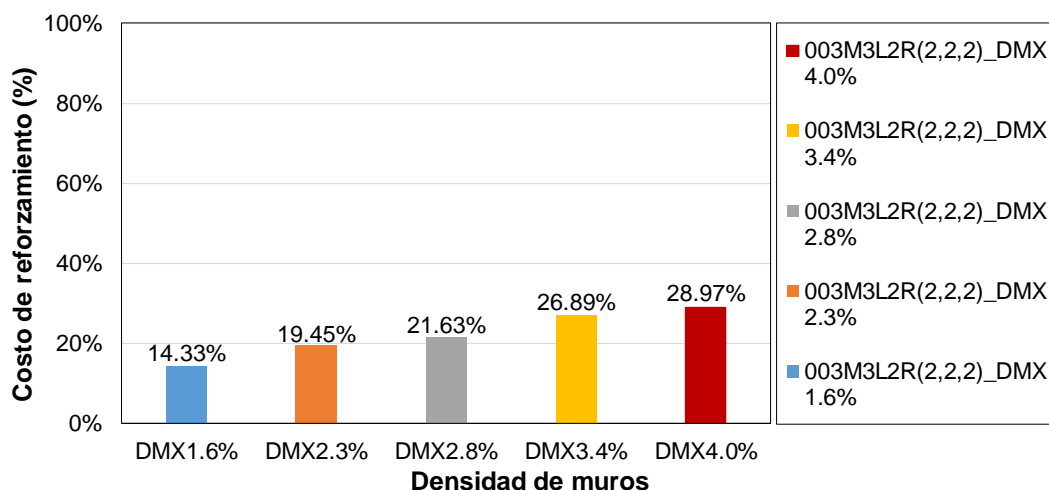
**Figura N° 189. Costo de reforzamiento de la vivienda 002ML1.L2R(2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 189 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 002ML1.L2R(2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 13.42% hasta un 26.99% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.



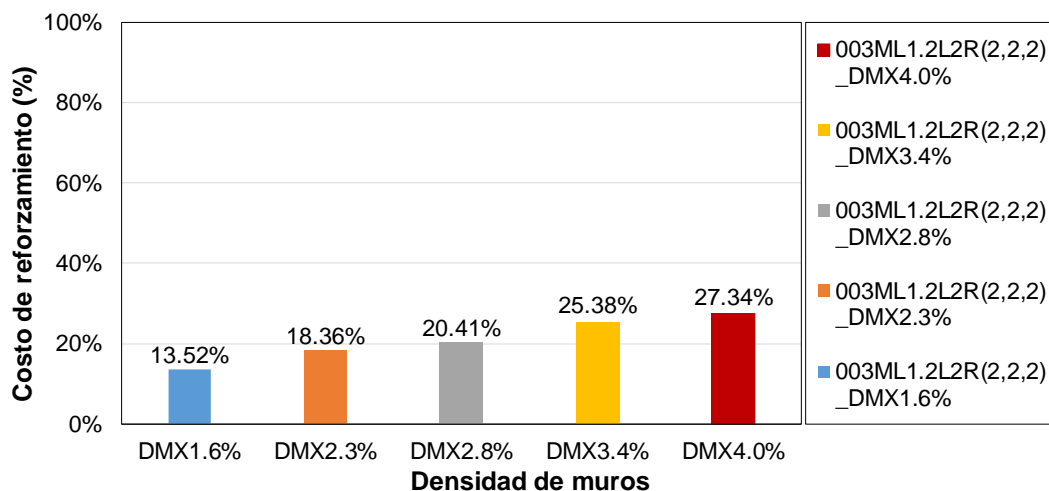
**Figura N° 190. Costo de reforzamiento de la vivienda 003M2L1.L2R(2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 190 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 003M2L1.L2R(2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 13.52% hasta un 27.34% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.



**Figura N° 191. Costo de reforzamiento de la vivienda 003M3L2R(2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 191 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 003M3L2R(2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 14.33% hasta un 28.97% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.



**Figura N° 192. Costo de reforzamiento de la vivienda 003ML1.2L2R(2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 192 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 003ML1.2L2R(2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 13.52% hasta un 27.34% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.

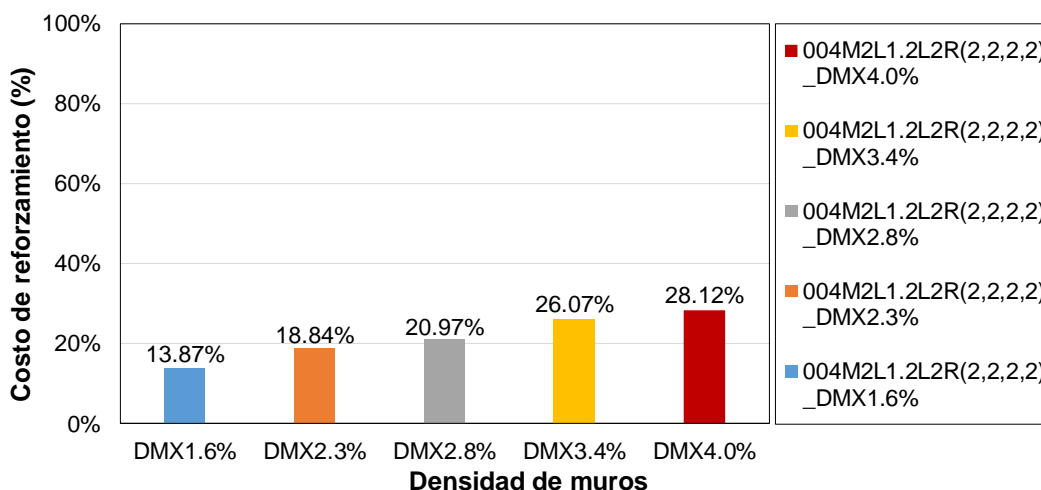


Figura N° 193. Costo de reforzamiento de la vivienda 004M2L1.2L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%,2.3%,2.8%,3.4% y 4.0%.

La Figura N° 193 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 004M2L1.2L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 13.87% hasta un 28.12% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.

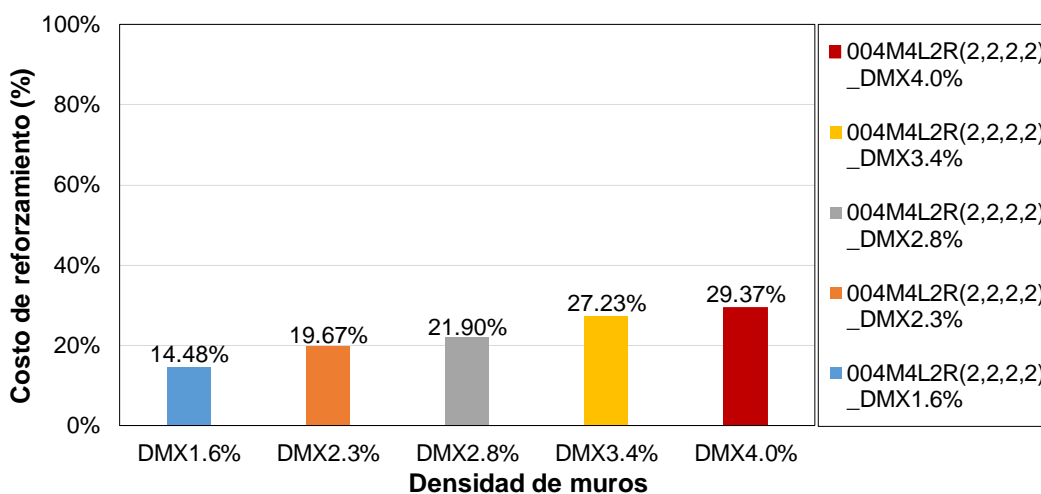
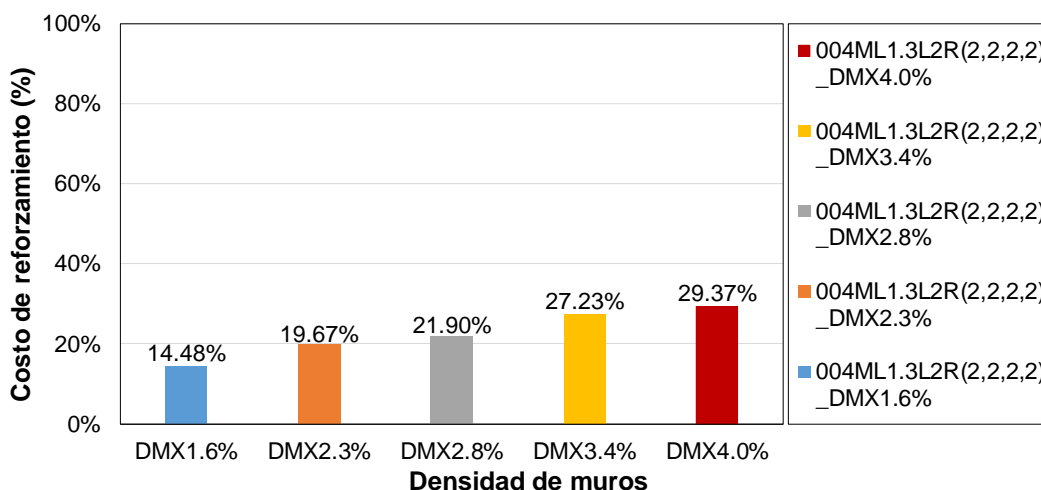


Figura N° 194. Costo de reforzamiento de la vivienda 004M4L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

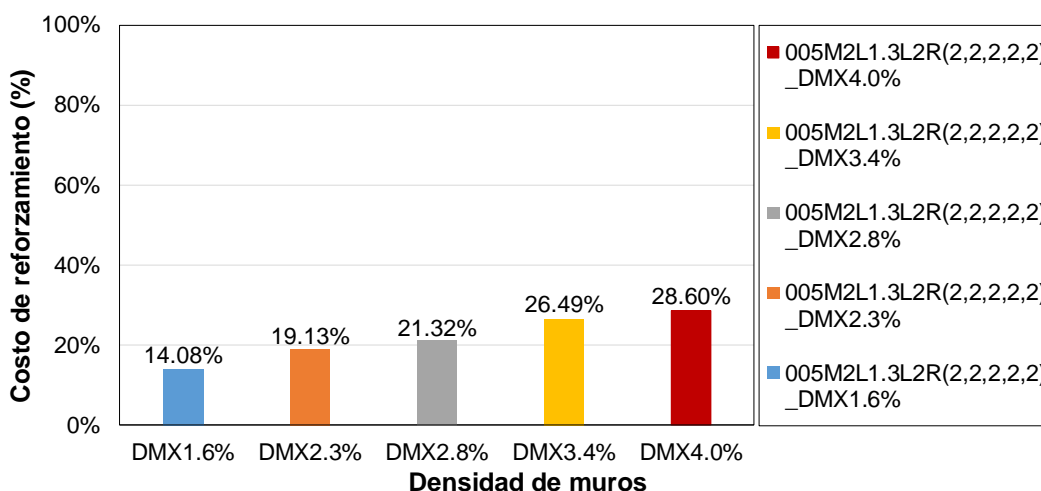
La Figura N° 194 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 004M4L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 14.48% hasta un 29.37% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.





**Figura N° 195. Costo de reforzamiento de la vivienda 004ML1.3L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 195 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 004ML1.3L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 14.48% hasta un 29.37% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.



**Figura N° 196. Costo de reforzamiento de la vivienda 005M2L1.3L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.**

La Figura N° 196 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 005M2L1.3L2R(2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 14.08% hasta un 28.60% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.

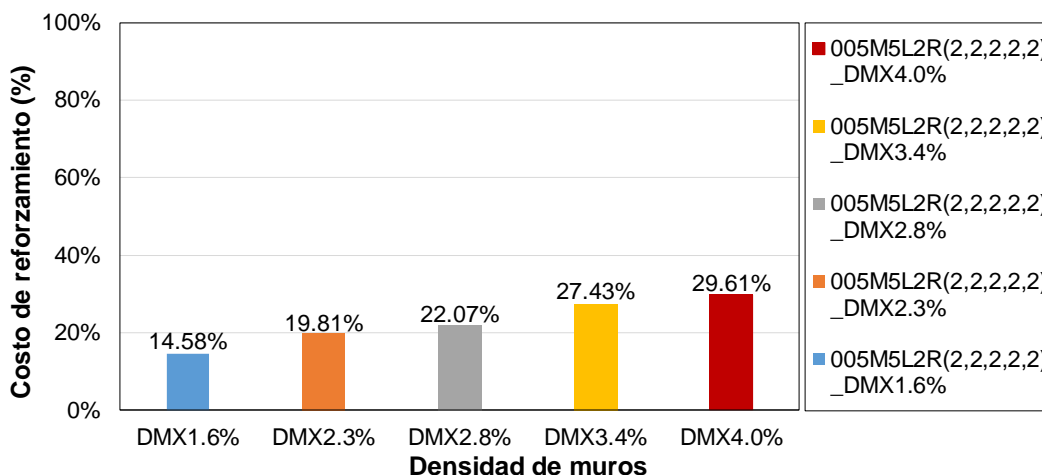


Figura N° 197. Costo de reforzamiento de la vivienda 005M5L2R(2,2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 197 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 005M5L2R(2,2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 14.58% hasta un 29.61% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.

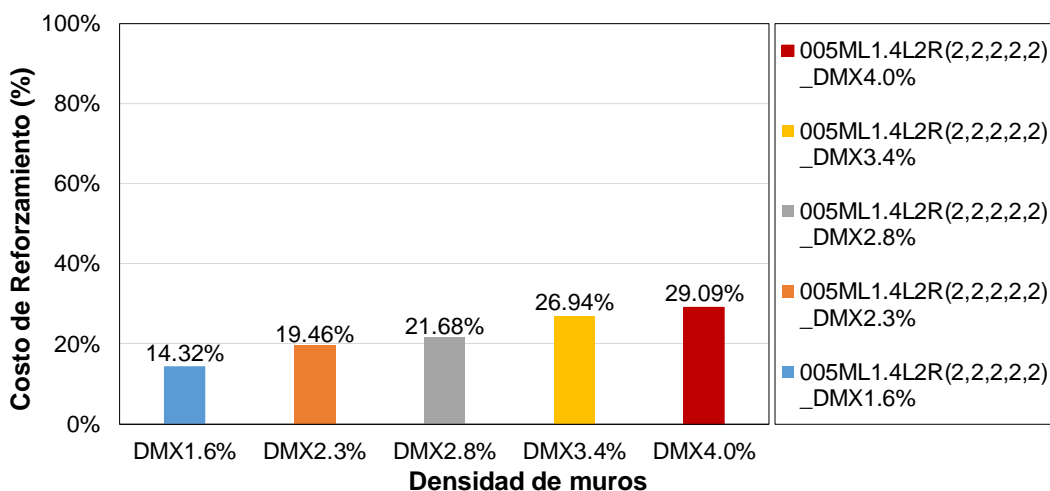


Figura N° 198. Costo de reforzamiento de la vivienda 005ML1.4L2R(2,2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%.

La Figura N° 198 muestra los costos de reforzamiento de la vivienda 005ML1.4L2R(2,2,2,2,2) con densidad de muros en la dirección X de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%. Mostrando que el costo de reforzamiento varía desde un 14.32% hasta un 29.09% del valor de la vivienda, para la densidad de muros de 1.6% y 4.0%, respectivamente.

Los costos de reforzamiento promedio de las tipologías se muestran en la Figura N° 199. Los resultados muestran que, para una densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% 4.0% los costos de reforzamiento promedio son de 13.78%, 18.70%, 20.78%, 25.84% y 27.93% del valor de la vivienda, respectivamente.

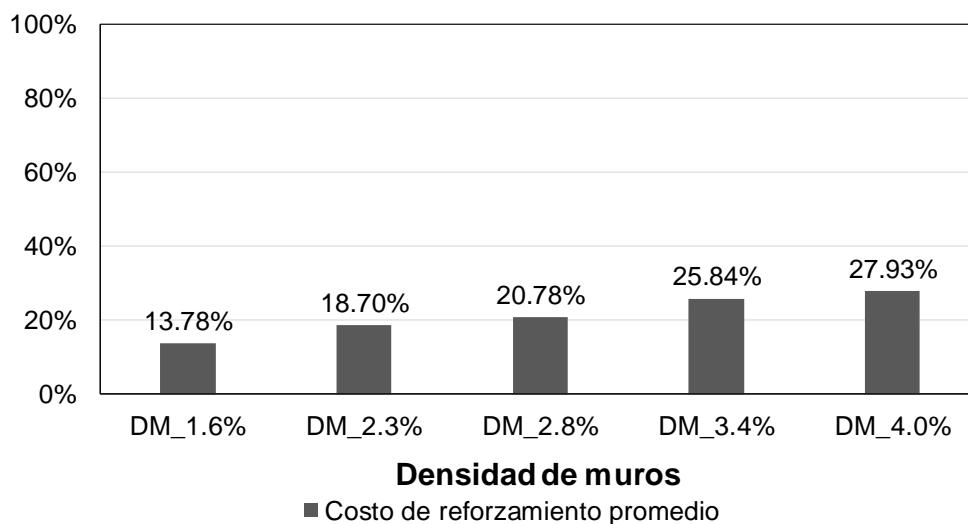


Figura N° 199. Costo de reforzamiento promedio de las tipologías sin reforzamiento.

## CAPÍTULO VII: CURVAS DE DAÑO DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Las respuestas de las tipologías sin reforzamiento y con reforzamiento mostradas en el subcapítulo 5.2 y 5.3, para cada una de las seis demandas sísmicas han sido correlacionadas mediante su índice de daño y su relación Q/W (capacidad / peso de la estructura), obteniéndose unas tendencias denominadas curvas de daño que indican la relación Q/W que debe tener una vivienda de albañilería para alcanzar un nivel de daño objetivo.

La Figura N° 200 y Figura N° 201 muestran las tendencias obtenidas de las tipologías sin reforzamiento y con reforzamiento para las seis demandas sísmicas sobre suelo S1 y S2, respectivamente. Observándose que, para una mayor relación Q/W, la vivienda desarrollará un menor nivel de daño. Además, se observa que mientras mayor sea demanda sísmica, mayor será la relación Q/W necesario para alcanzar un nivel de daño objetivo.

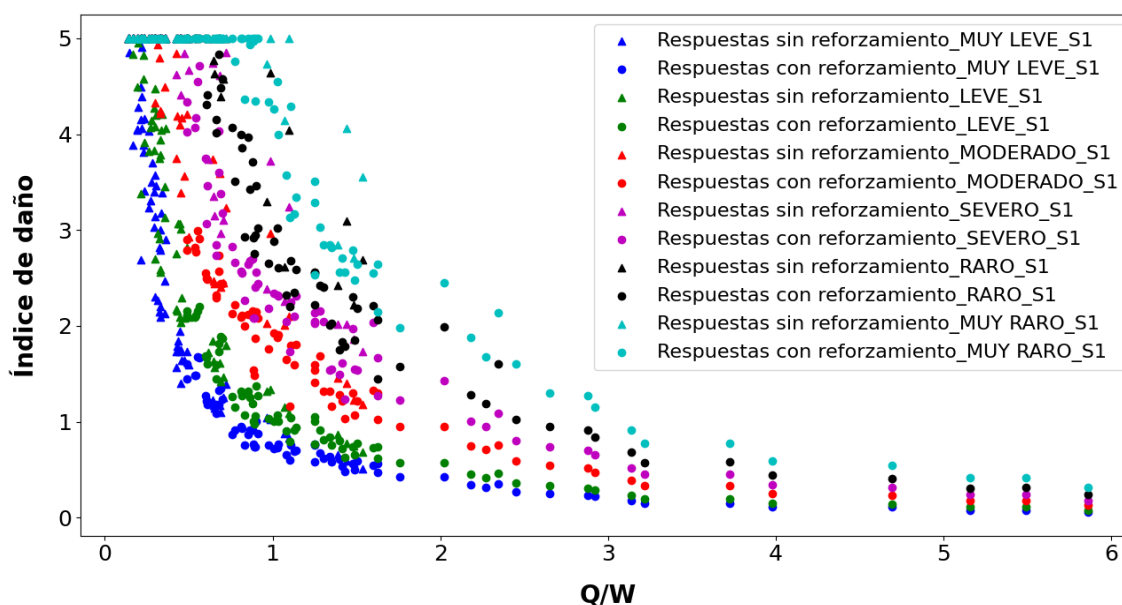


Figura N° 200. Tendencia de las respuestas mediante la correlación del índice de daño y la relación Q/W de la vivienda sobre suelo tipo S1.

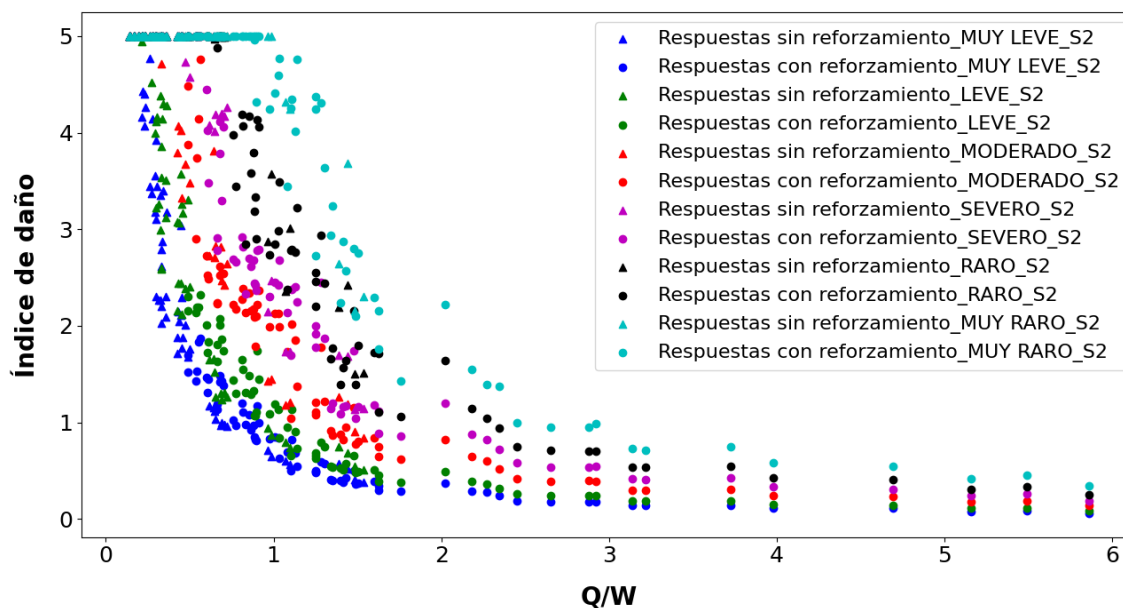


Figura N° 201. Tendencia de las respuestas mediante la correlación del índice de daño y la relación Q/W de la vivienda sobre suelo tipo S2.

### 7.1. CALIBRACIÓN DE CURVAS DE DAÑO

Los puntos de la Figura N° 200 y Figura N° 201, muestran tendencias similares a la de un espectro de diseño de aceleraciones. Por lo tanto, la función que ajusta los resultados está definido por una función constante con ordenada igual a 5 y una función hiperbólica. Estas dos funciones tienen una abscisa en común denominada  $Q/W$  ( $ID = 5$ ), que es la relación capacidad – peso cuando alcanza el índice de daño igual a 5. La función de ajuste se muestra en la ecuación (25).

$$C.D(x) = \begin{cases} 5 & ; x \leq Q/W (ID = 5) \\ \frac{1}{ax + b} + c & ; x > Q/W (ID = 5) \end{cases} \quad (25)$$

Donde:

$Q/W (ID = 5)$  : Abscisa donde ocurre el cambio de función.

$a, b, c$  : Constantes que definen la curva de daño.

$C.D(x)$  : Curva de daño que relaciona la relación Q/W de la vivienda con su índice de daño.

La Figura N° 202 y Figura N° 203 muestran, las curvas de ajuste de los resultados para las seis demandas sísmicas sobre suelo S1 y S2, respectivamente.

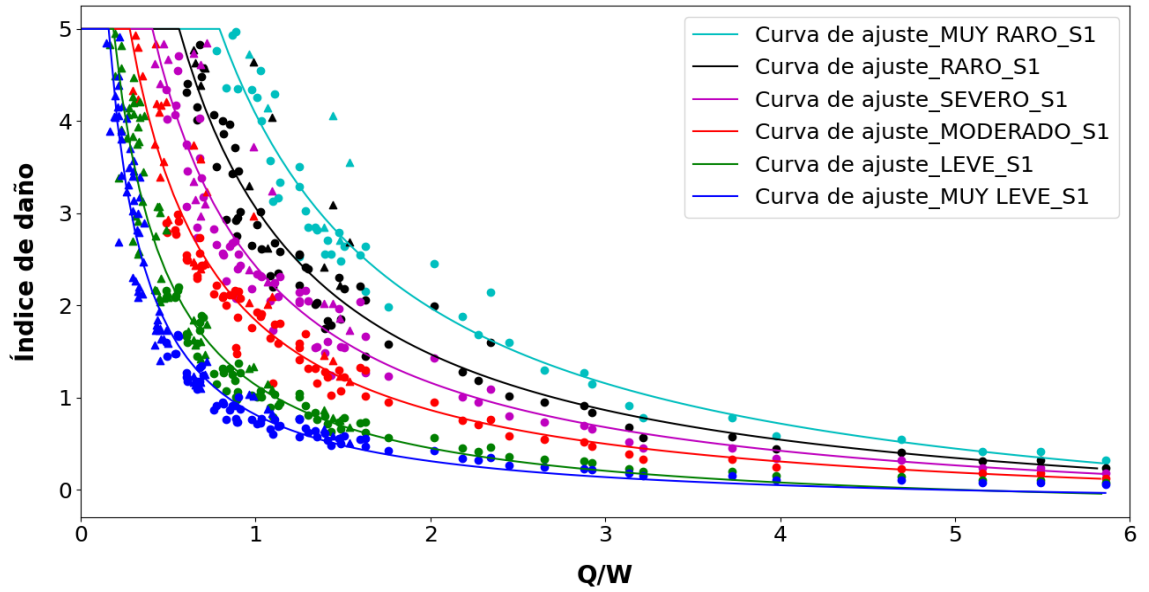


Figura N° 202. Curvas de ajuste de las repuestas de todas las viviendas para seis demandas sísmicas sobre suelo tipo S1.

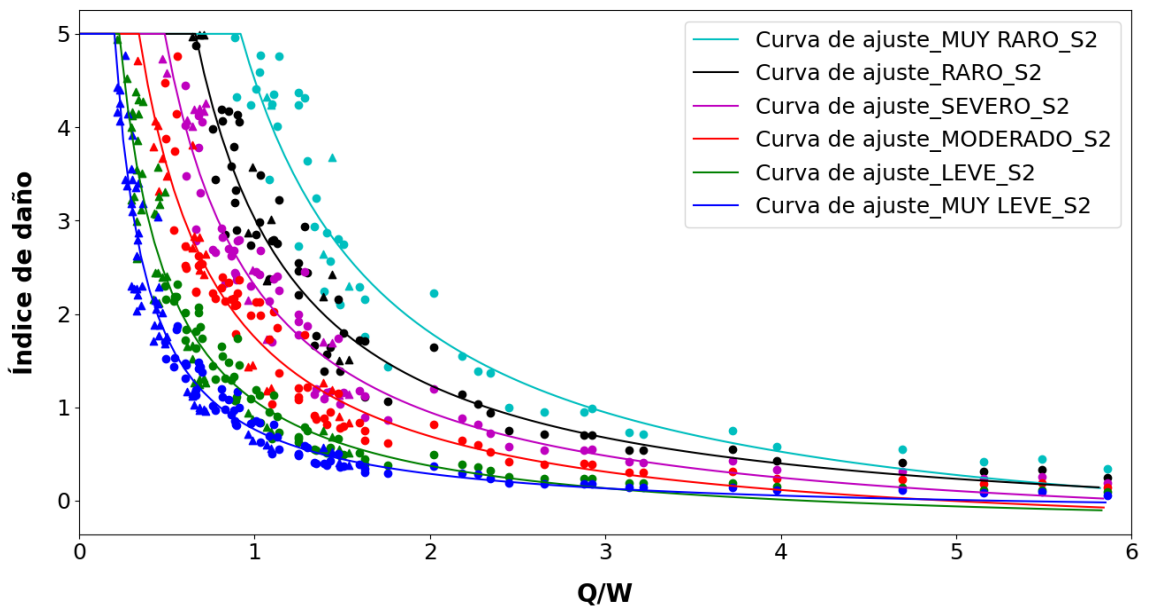


Figura N° 203. Curvas de ajuste de las repuestas de todas las viviendas para seis demandas sísmicas sobre suelo tipo S2.

La Tabla N° 66 y Tabla N° 67 muestran los parámetros que definen la curva de daño y los requerimientos  $Q/W$  mínimo para alcanzar un nivel de daño objetivo de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S1.

**Tabla N° 66. Parámetros que definen la curva de daño de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S1.**

Demanda sísmica	Q/W (ID=5)	a	b	c
MUY RARO	0.794	0.163418	0.045402	-0.711006
RARO	0.563	0.226947	0.054300	-0.494909
SEVERO	0.410	0.285160	0.068167	-0.402990
MODERADO	0.281	0.385652	0.080182	-0.308488
LEVE	0.187	0.614828	0.073111	-0.314758
MUY LEVE	0.160	0.925251	0.043740	-0.216209

Elaboración propia.

**Tabla N° 67. Requerimientos de la relación Q/W para alcanzar un nivel de daño objetivo de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S1.**

Demanda sísmica	Nivel de daño				
	Daño Colapso	Daño Extensivo	Daño Moderado	Daño Leve	No daño
	Q/W (ID=5)	Q/W (ID=4)	Q/W (ID=3)	Q/W (ID=2)	Q/W (ID=1)
MUY RARO	0.794	1.021	1.371	1.979	3.299
RARO	0.563	0.741	1.022	1.527	2.708
SEVERO	0.410	0.557	0.791	1.220	2.260
MODERADO	0.281	0.394	0.576	0.915	1.774
LEVE	0.187	0.258	0.372	0.584	1.118
MUY LEVE	0.160	0.209	0.289	0.440	0.841

Elaboración propia.

La Tabla N° 68 y Tabla N° 69 muestran los parámetros que definen la curva de daño y los requerimientos Q/W para alcanzar un nivel de daño objetivo de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S2.

**Tabla N° 68. Parámetros que definen la curva de daño de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S2.**

Demanda sísmica	Q/W (ID=5)	a	b	c
MUY RARO	0.920	0.207256	-0.015456	-0.704509
RARO	0.662	0.315630	-0.024236	-0.409624
SEVERO	0.488	0.346283	0.013948	-0.468524
MODERADO	0.341	0.399653	0.045782	-0.493575
LEVE	0.229	0.665680	0.034500	-0.358776
MUY LEVE	0.201	1.091525	-0.026405	-0.176207

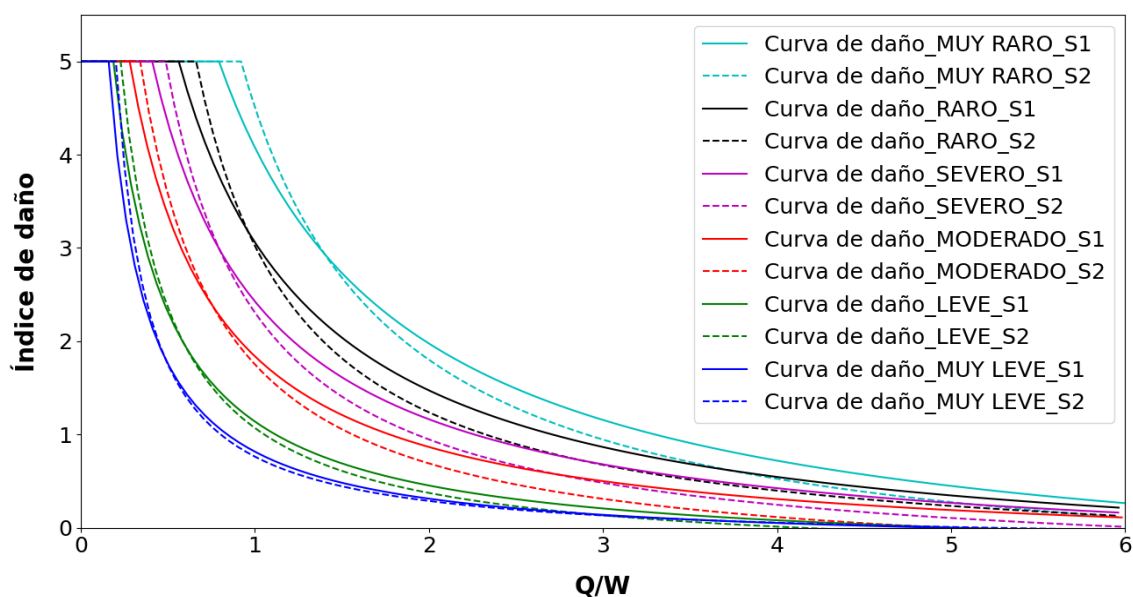
Elaboración propia.

**Tabla N° 69. Requerimientos de la relación capacidad – peso mínimo para alcanzar un nivel de daño objetivo de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S2.**

Demanda sísmica	Nivel de daño				
	Daño Colapso	Daño Extensivo	Daño Moderado	Daño Leve	No daño
	Q/W (ID=5)	Q/W (ID=4)	Q/W (ID=3)	Q/W (ID=2)	Q/W (ID=1)
MUY RARO	0.920	1.100	1.377	1.859	2.905
RARO	0.662	0.795	1.006	1.392	2.324
SEVERO	0.488	0.606	0.792	1.130	1.926
MODERADO	0.341	0.442	0.602	0.889	1.561
LEVE	0.229	0.293	0.395	0.585	1.054
MUY LEVE	0.201	0.244	0.313	0.445	0.803

Elaboración propia.

La Figura N° 204 muestra las curvas de daño calibradas para seis demandas sísmicas y sobre suelo tipo S1 y S2 con resultados mostrados en la Tabla N° 66 y Tabla N° 68 . En la Figura N° 204 se observa que, las viviendas con valores Q/W altos, alcanzan mayores daños sobre suelo tipo S1, pero no mayor al daño moderado. En cambio, las viviendas con valores de Q/W bajas, alcanzan mayores daños sobre suelo tipo S2.



**Figura N° 204. Curvas de daño de las tipologías estudiadas para seis demandas sísmicas sobre suelo tipo S1 y S2.**



## 7.2. APLICACIÓN DE LAS CURVAS DE DAÑO

En este subcapítulo, se estimará el nivel de daño de una vivienda con las curvas de daño calibradas en el subcapítulo 7.1 y su respectivo costo de reforzamiento. La vivienda por evaluar en la dirección X es la 002ML1.L2\_DMx1.6%, sin reforzamiento y con el reforzamiento propuesto, cuyas características fueron descritas en el subcapítulo 6.3.1, la demanda sísmica considerada es la muy raro sobre suelo tipo S1.

La Tabla N° 70 muestra la estimación del nivel de daño de la vivienda analizada, la capacidad sin reforzamiento y con reforzamiento fueron obtenidos con las ecuaciones (4) y (5), respectivamente. Mientras que el índice de daño fue estimado con la ecuación (25), los parámetros que definen la curva de daño para la demanda sísmica muy raro sobre suelo tipo S1 son mostrados en la Tabla N° 66 y Tabla N° 67.

**Tabla N° 70. Estimación del nivel de daño de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6% con curvas de daño para una demanda sísmica muy raro sobre suelo tipo S1.**

	(1)	(2)	(1) / (2)	
Estado	Capacidad (kN)	Peso (kN)	Relación	Índice de daño
	Q	W	Q/W	(*)
Sin reforzamiento	434.26	1317.93	0.33	5.00
Con reforzamiento	1887.04	1317.93	1.43	2.87

**Elaboración propia.**

(\*) Índice de daño obtenido con las curvas de daño propuestas.

El índice de daño de la vivienda analizada con el reforzamiento propuesto obtenido con la simulación numérica tiempo historia fue de 2.82. Mientras que, el índice de daño obtenido con las curvas de daño propuestas es de 2.87. Resultando valores muy similares.

La Figura N° 205 muestra gráficamente los resultados obtenidos de la Tabla N° 70, indicando que como máximo se puede alcanzar un nivel de daño moderado con el reforzamiento propuesto. Sin embargo, se podría alcanzar un nivel de daño menor, insertando muros de albañilería confinada o elementos de concreto armado.

Por último, el costo de reforzamiento para alcanzar el nivel de daño mostrado en la Tabla N° 70 es de 13.42% del valor de la vivienda, como se muestra en la Figura N° 189

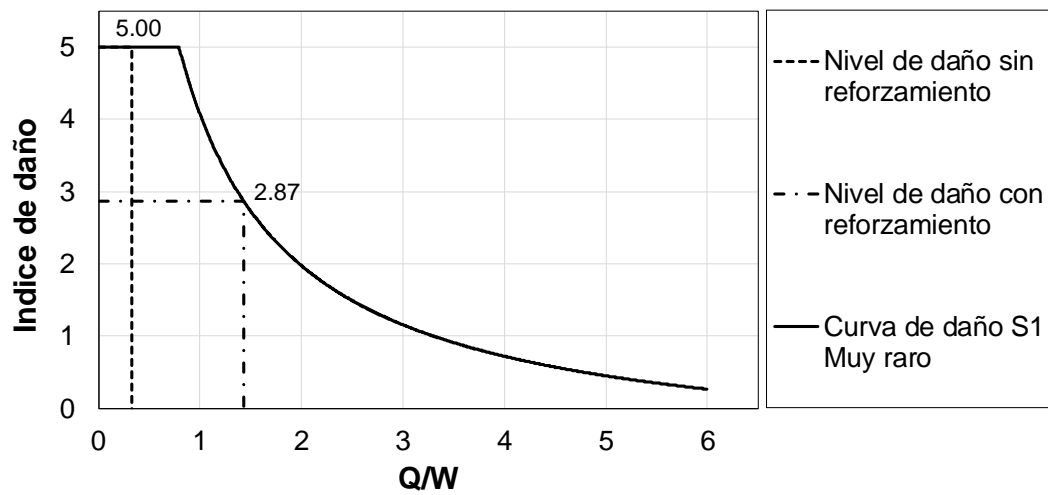


Figura N° 205. Estimación del nivel de daño de la vivienda 002ML1.L2\_DMx1.6% con las curvas de daño propuestas.

## CONCLUSIONES

1. Se emplearon para el análisis no lineal tiempo historia, cuatro registros sísmicos sobre suelo S1 y tres registros sísmicos sobre suelo S2, cada uno escalado para seis demandas sísmicas. Los valores de PGA promedio obtenidos para las demandas sísmicas MUY LEVE, LEVE, MODERADO, SEVERO, RARO, MUY RARO resultaron 161, 213, 351, 480, 622 y 834.
2. Se analizaron 14 tipologías de viviendas de albañilería confinada de Lima Metropolitana sin reforzamiento en la dirección más débil, con densidad de muros de 1.6%, 2.3%, 2.8%, 3.4% y 4.0%; puesto que la dirección más fuerte, usualmente la longitudinal, tiene valores de densidad de muros muy altas con relación a las transversales. Las cuales, a su vez, han sido reforzadas por ambas caras de los muros. Resultando, un total de 140 viviendas analizadas, 70 viviendas sin reforzamiento y 70 viviendas con reforzamiento. Además, cada una fue evaluada con 7 registros sísmicos y 6 demandas sísmicas. Realizando un total de 5880 simulaciones no lineal tiempo historia.
3. Las curvas de capacidad obtenidas en las viviendas sin reforzamiento de varios pisos con cambio de material en altura muestran una gran reducción de la capacidad de deformación lateral a partir del piso donde ocurre el cambio de material. Mientras que, las curvas de capacidad obtenidas de las mismas viviendas con el reforzamiento propuesto muestran que esta reducción desaparece, más bien todos los pisos presentan similar capacidad de deformación lateral.
4. Los índices de daño, es una normalización de la distorsión que convierte esta respuesta en números entre el rango del 0 al 5, permitiendo identificar rápidamente el piso más dañado. Especialmente, en las viviendas con cambio de material en altura que presentan diferente capacidad de deformación lateral en sus pisos como las tipologías analizadas en esta tesis.
5. Las tipologías sin reforzamiento son muy vulnerables ante las demandas sísmicas propuestas, principalmente ante las demandas sísmicas moderado, severo, raro y muy raro, donde un gran porcentaje de las viviendas colapsan. Sin embargo, las mismas tipologías con el reforzamiento propuesto, ante una demanda sísmica leve, muy leve y moderado ninguna colapsa. En cambio, para una demanda sísmica

- severo, raro y muy raro no colapsan aquellas que presentan una suficiente longitud de muros reforzables cuyo valor depende del peso de la vivienda.
6. Las tipologías sin reforzamiento y con reforzamiento, para todas las demandas sísmicas presentan mayor porcentaje viviendas colapsadas sobre suelo tipo S2 que en S1, debido a que el espectro de respuesta tiene un rango mayor de periodos de amplificación en suelo S2, incrementando el nivel de daño cuando las viviendas incursionan en el rango no lineal.
  7. El incremento de la capacidad sísmica de las viviendas de albañilería confinada con el reforzamiento propuesto está en función de la densidad de muros disponibles a reforzar; sin embargo, la consideración de la longitud de muros disponibles a reforzar tiene una mejor correlación con el incremento de la resistencia de las viviendas reforzadas.
  8. Se propuso una metodología y ecuaciones simplificadas para la estimación del costo directo de viviendas de albañilería, conociendo solamente el número de pisos, área techada, densidad de muros en ambas direcciones y alturas de entrepisos. El costo de una vivienda es muy importante en la estimación de pérdidas y costo de reforzamiento.
  9. Se propuso una metodología y ecuaciones calibradas para la estimación del costo de reparación de muros de albañilería, losas aligeradas y cimentaciones de viviendas de albañilería confinada. Los costos de reparación sirven para la estimación de pérdidas y están en función del nivel de daño de los elementos.
  10. Las pérdidas de las tipologías sin reforzamiento son muy altas, especialmente ante las demandas sísmicas moderado, severo, raro y muy raro, donde un gran porcentaje de las viviendas estudiadas alcanzan el 100% de pérdidas. Por lo tanto, la capacidad sísmica de estas viviendas debe ser incrementada con alguna técnica de reforzamiento como la propuesta en esta tesis.
  11. Se estimó el costo de reforzamiento por ambas caras con malla de acero y mortero en muros de albañilería confinada, considerando trabajos preliminares, de acabado y de reparación de IISS y IIEE. Los costos de reforzamiento de las tipologías se incrementan con la densidad de muros mayormente, debido a que existe una mayor longitud de muros reforzables en las viviendas con mayor densidad.

12. Las curvas de daño determinan de forma rápida la vulnerabilidad de viviendas de albañilería frente a cierta demanda. Así como también, el requerimiento de reforzamiento necesario para alcanzar un nivel de daño objetivo. Se ha observado en esta investigación, que, conociendo solamente las características geométricas y propiedades de materiales de la vivienda, puede evaluarse rápidamente la vulnerabilidad y requerimiento de reforzamiento. Siendo, consecuentemente una propuesta rápida para evaluar la viabilidad de reforzamiento, que puede aplicarse de forma masiva en áreas urbanas

## RECOMENDACIONES

1. Se realizaron análisis no lineal tiempo historia para seis niveles de sismo. Sin embargo, para tener una mejor estimación del comportamiento del reforzamiento y pérdidas es necesario realizar análisis para valores de PGA intermedios.
2. Las viviendas analizadas, se asumen que tienen un comportamiento regular, en planta y altura, para aprovechar al máximo el aporte del reforzamiento de los muros de albañilería. Sin embargo, muchas de las viviendas de albañilería de Lima Metropolitana presentan irregularidades que deben ser considerados en posteriores estudios.
3. Las viviendas de albañilería, construidas con ladrillos sólido artesanal y pandereta industrial, deben ser analizadas con las distorsiones que provienen de resultados de ensayos experimentales, los cuales son menores al límite de distorsión establecido por la norma técnica peruana E070 de Albañilería.
4. Los muros construidos con ladrillos pandereta industrial tienen una baja resistencia axial y deformación lateral. Estos muros no deben ser empleados como muros portantes. Sin embargo, muchas de las viviendas en Lima Metropolitana están construidas con este tipo de ladrillo. Por lo tanto, estas viviendas deben ser reforzados con el reforzamiento propuesto con la finalidad de aumentar su resistencia y deformación lateral.
5. Para la estimación de los costos de reparación de muros de albañilería construidos con ladrillos pandereta industrial, se debe estudiar más daños en distorsiones intermedias a las analizadas con la finalidad de obtener mejores parámetros de costos.
6. Cuando se evalué la vulnerabilidad, pérdidas y costo de reforzamiento de una vivienda, deben evaluarse en sus dos direcciones ya que los resultados obtenidos muestran que en algunas viviendas es necesario el reforzamiento de ambas direcciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Civil Engineers. (2014). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (ASCE standard ASCE/SEI 41-13). American Society of Civil Engineers.
- CISMID. (2020a). *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. (2020b). *Reporte de análisis del mejoramiento de la capacidad sismorresistente en los muros de albañilería confinada reforzados con malla de acero y mortero*. Programa Presupuestal 0068 – Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres.
- Diaz, M. (2011). *Manual Program for Non-Linear Time-history Analysis of Multi Degree of Freedom Systems*. CISMID - FIC - UNI.
- Diaz, M. (2017). *Manual Program for Hysteresis Simulator tool for Non-Linear Behavior of Structural Elements*. CISMID - FIC - UNI.
- Diaz, M. (2019). *Análisis Estadístico y Área de estudio seleccionada representativa de Lima y Callao*. Proyecto 115 – 2018 FONDECYT – SENCICO – CISMID – FIC – UNI.
- Diaz, M., Amancio, M., Flores, E., y Lopez, L. (2020). *Reporte de ensayos muros de albañilería confinada no ingenieril sin y con reforzamiento de malla de acero y mortero cemento arena, en una y dos caras*. Proyecto 115 – 2018 FONDECYT – SENCICO – CISMID – FIC – UNI.
- Diaz, M., Zavala, C., y Flores, E. (2020, del 13 al 18 de setiembre). *Structural Assessment of Confined Masonry Retrofitting Under Multi-Seismic Scenarios in Metropolitan Lima Area* [Presentación de artículo]. The 17th World Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan.  
[https://www.researchgate.net/publication/355127525\\_STRUCTURAL\\_ASSESSMENT\\_OF\\_CONFINED\\_MASONRY\\_RETROFITTING\\_UNDER\\_MULTISEISMIC\\_SCENARIOS\\_IN\\_METROPOLITAN\\_LIMA\\_AREA](https://www.researchgate.net/publication/355127525_STRUCTURAL_ASSESSMENT_OF_CONFINED_MASONRY_RETROFITTING_UNDER_MULTISEISMIC_SCENARIOS_IN_METROPOLITAN_LIMA_AREA)
- Diaz, M., Zavala, C., Flores, E., y 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>
- Diaz, M., Zavala, C., Gallardo, J., y Lavado, L. (2017, del 9 al 13 de enero). *Experimental Study of Non-Engineered Confined Masonry Walls Retrofitted with Wire Mesh and Cement-Sand Mortar* [Presentación de artículo]. The 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile.

- [https://www.researchgate.net/publication/314282064\\_EXPERIMENTAL\\_STUDY\\_OF\\_NON-ENGINEERED\\_CONFINED\\_MASONRY\\_WALLS\\_RETROFITTED\\_WITH\\_WIRE\\_MESH\\_AND\\_CEMENT-SAND\\_MORTAR](https://www.researchgate.net/publication/314282064_EXPERIMENTAL_STUDY_OF_NON-ENGINEERED_CONFINED_MASONRY_WALLS_RETROFITTED_WITH_WIRE_MESH_AND_CEMENT-SAND_MORTAR)
- Flores, E., Diaz, M., y Zavala, C. (2020, del 13 al 18 de setiembre). *Probabilistic Seismic Risk Assessment using Fragility Function for Dwelling in Metropolitan Lima Area* [Presentación de artículo]. 17th World Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan. <https://wcee.nicee.org/wcee/article/17WCEE/8d-0017.pdf>
- Kyurkchiev, N., y Markov, S. (2015). *Sigmoid Functions: Some Approximation, and Modelling Aspects*, LAMBERT Academic Publishing.
- Ramos, J. (2003). *Costos y Presupuesto en Edificación*. Cámara Peruana de la Construcción.
- Revista Costos. (2020). *Suplemento técnico agosto 2020*. Revista costos.
- Salinas, M., y Huerta, G. (2019). *Costos y Presupuestos de Obra*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Salinas, R., y Lazares, F. (2008, del 12 al 17 de octubre). *Seismic Performance of Confined Masonry Buildings with Tubular Bricks in Developing Areas* [Presentación de artículo]. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.  
<https://www.researchgate.net/publication/327515627>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2006). *Albañilería* (Norma E.070). Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO.  
<https://drive.google.com/file/d/15N2ZQwZGegdoui4rrjTR6uq5bItu7uyv/view>
- 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>
- The Japan Building Disaster Prevention Association. (2001). *Technical Manual for Seismic Evaluation and Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001*. The Japan Building Disaster Prevention Association.
- Zavala, C., Diaz, M., Flores, E., y Cardenas, L. (2019). Damage limit states for confined masonry walls based on experimental test. *TECNIA*, 29(2) , 135–141.  
<https://doi.org/10.21754/tecnica.v29i2.715>



- Zavala, C., Estrada, M., Morales, J., y Taira, J. (2012, del 6 al 8 de marzo). *Loss Estimation on Lima City using a Retrofitting Cost Estimation Tool* [Presentación de artículo]. 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, Tokyo, Japan.  
[https://www.academia.edu/78356644/Loss\\_Estimation\\_on\\_Lima\\_City\\_Using\\_a\\_Retrofitting\\_Cost\\_Estimation\\_Tool](https://www.academia.edu/78356644/Loss_Estimation_on_Lima_City_Using_a_Retrofitting_Cost_Estimation_Tool)
- Zavala, C., Honma, C., Gibu, P., Gallardo, J., y Huerta, G. (2004, del 1 al 6 de agosto). *Full Scale on Line Test on Two Story Masonry Building using Handmade Bricks* [Presentación de artículo]. The 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada.  
[https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13\\_2885.pdf](https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2885.pdf)
- Zavala, C., Lavado, L., Taira, J., Cardenas, L., y Diaz, M. (2014). Comparison of Behaviors of Non-Engineered Masonry Tubular Block Walls and Solid Engineered Walls. *Journal of Disaster Research*, 9(6), 1021–1025.  
<https://doi.org/10.20965/jdr.2014.p1021>
- Zavala, C., y Proaño, R. (2003, del 7 al 11 de octubre). *Estimación rápida de la Respuesta Sísmica en base a sistemas de un grado de Libertad para el cálculo de vulnerabilidad sísmica* [Conferencia]. XIV Congreso de Ingeniería Civil, Iquitos, Perú.