

ESCENARIO CATASTRÓFICO PARA LIMA Y EL CALLAO ANTE UN SISMO DE GRAN MAGNITUD ($> M8.0$)



XXXIV SIMPOSIO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

**“Evaluación de la Viabilidad de Reforzamiento de Viviendas de
Albañilería en Términos de Eficiencia Estructural y Económica”**

Bach. Luis Fernando López Ramirez



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE
INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE INGENIERÍA



TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA

Tabla. 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)

Díaz M. (2020) y Flores E. (2020).



Datos de vivienda

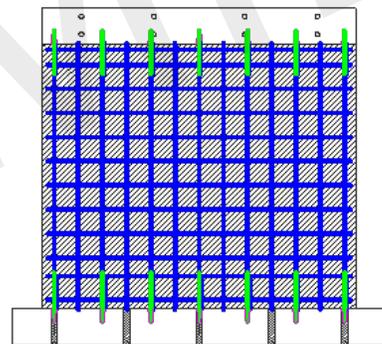
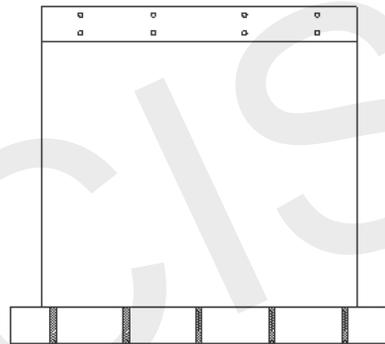
N° pisos: 3

1er piso: Sólido

2do piso: Tubular

3er Piso: Tubular

Tipología 003ML1.2L2

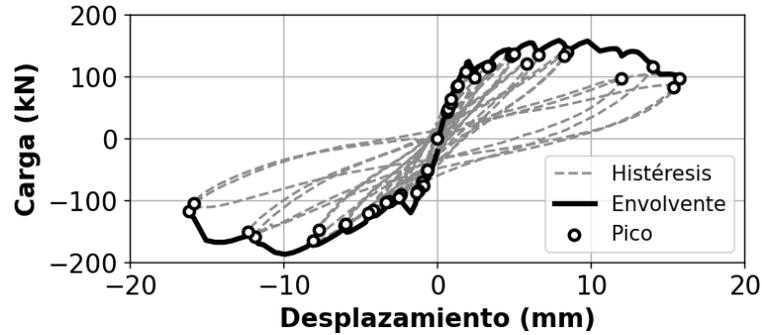


Evaluación sin reforzamiento Evaluación con reforzamiento

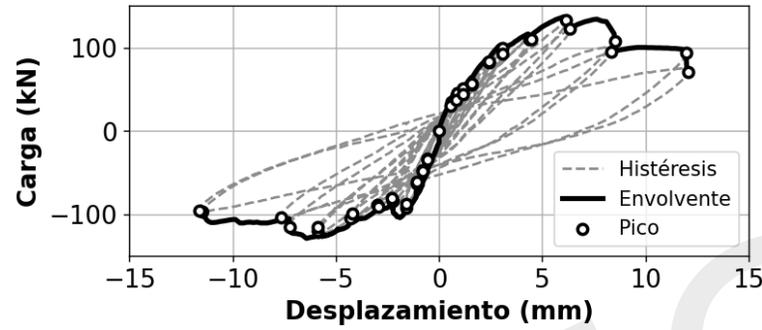
Tabla N° 12. Densidades de muros para cada tipología.

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%

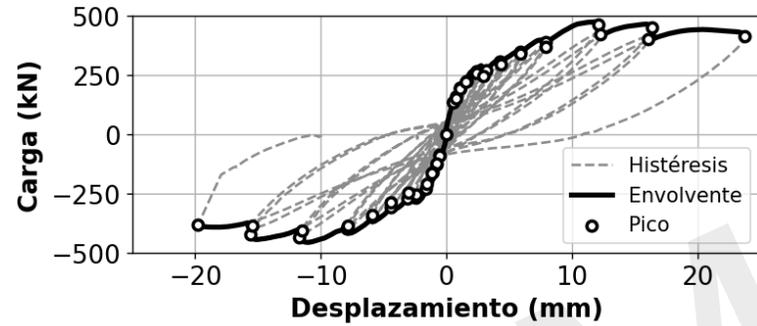
ENSAYOS DE MUROS DE ALBAÑILERÍA SIN Y CON REFORZAMIENTO



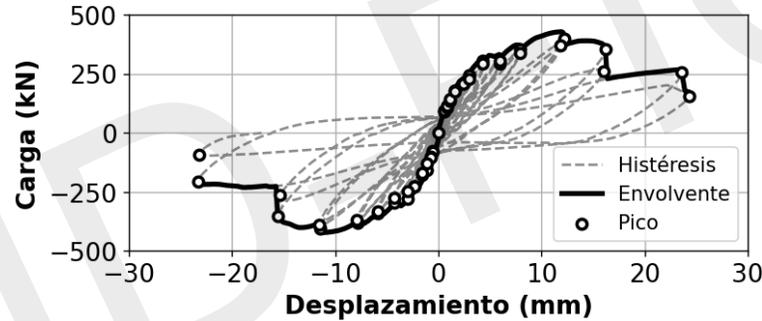
ML1A0R0



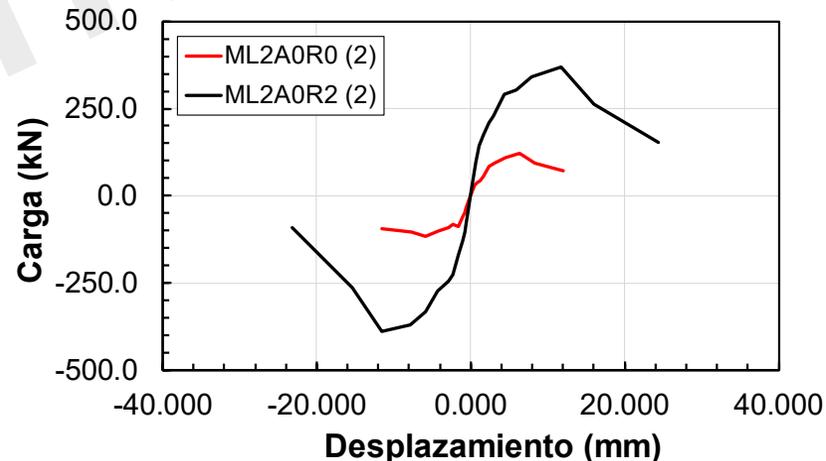
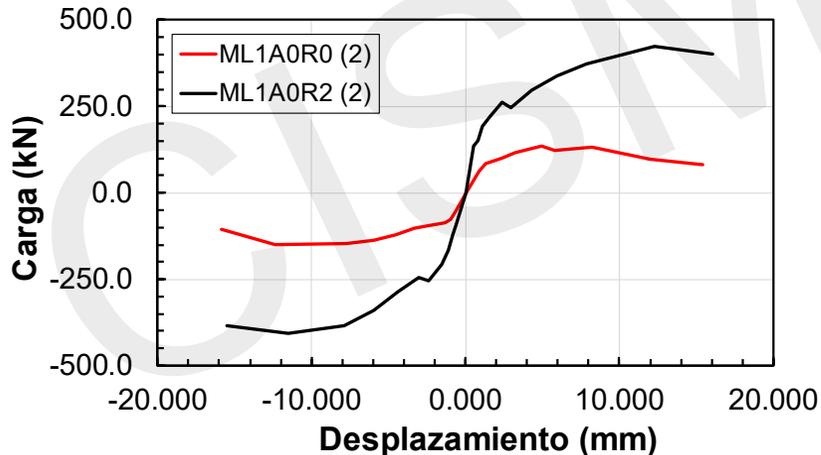
ML2A0R0



ML1A0R2



ML2A0R2



Esfuerzo promedio sin reforzamiento

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

Diaz M. (2019)

Esfuerzo promedio con reforzamiento

$$F = \tau \cdot L \cdot t + \tau_R \cdot n_R \cdot t_R \cdot L$$

Diaz M., Amancio M. (2020)

Curva de capacidad de las viviendas

Tabla. Densidad de muros confinados en la dirección X.

Muro	L (m)	t (m)	L.t (m ²)
X ₁	1.81	0.12	0.217
X ₂	2.96	0.12	0.355
X ₃	2.96	0.12	0.355
X ₄	3.89	0.12	0.467

Tabla . Altura de entrespiso

Piso	Altura de entrespiso (m)
1er piso	2.8
Piso típico	2.6

Tabla. Propiedades de la albañilería.

Unidad de Ladrillo	f'm (Kg/cm ²)	v'm (Kg/cm ²)
Sólido artesanal	53.43	4.5
Industrial pandereta	32.65	5.9

Fuente: Laboratorio de estructuras de CISMID-FIC-UNI

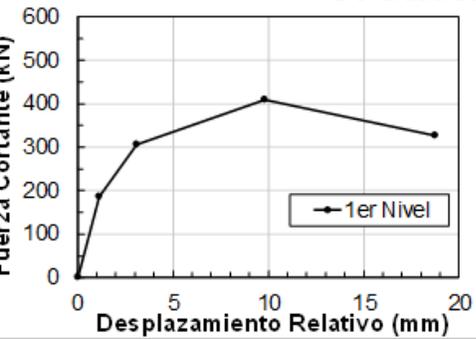
$$\sum L.t = 1.394$$

$$A_p (m^2) = 88.79$$

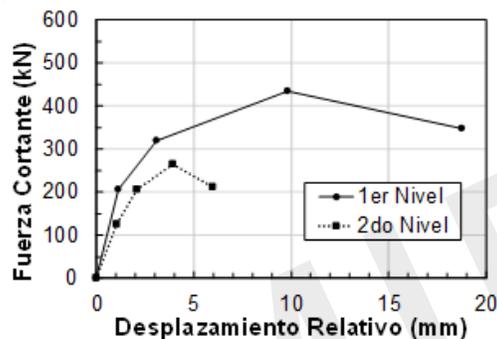
$$\text{Densidad de Muros x-x} = 1.57\%$$

Tabla . Propiedades de los materiales de los elementos de confinamiento.

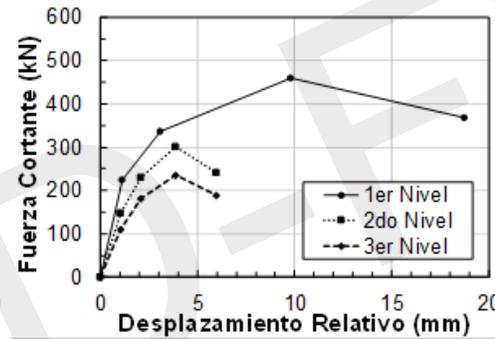
f'c (kg/cm ²)	Acero longitudinal		Acero transversal		fy (kg/cm ²)
	Cantidad	∅	∅	s (cm)	
175	4	1/2"	6mm	20	4200



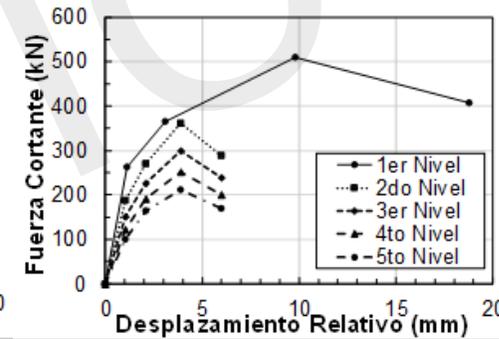
001ML1



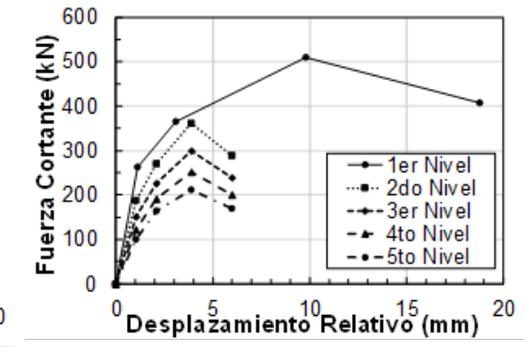
002ML1.L2



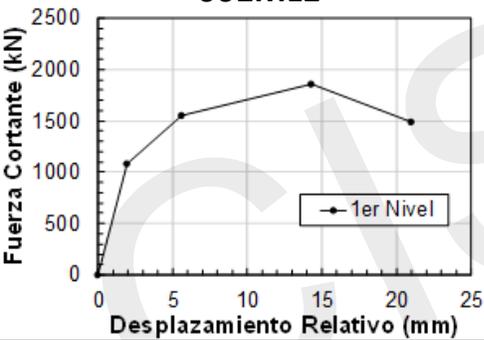
003ML1.2L2



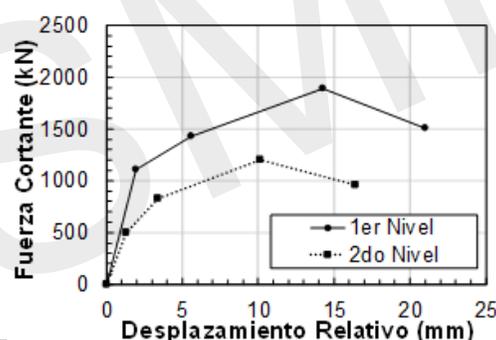
004ML1.3L2



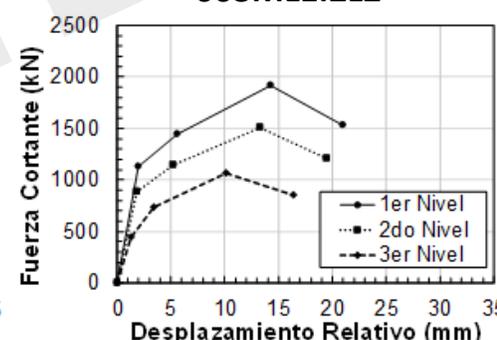
005ML1.4L2



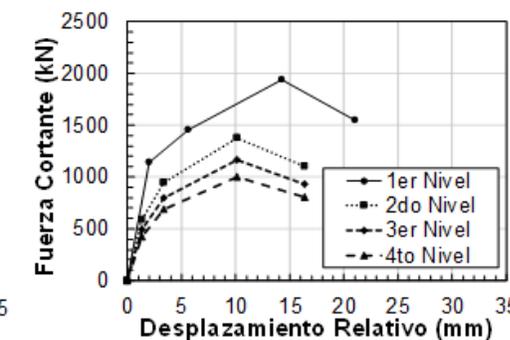
001ML1R(2,2)



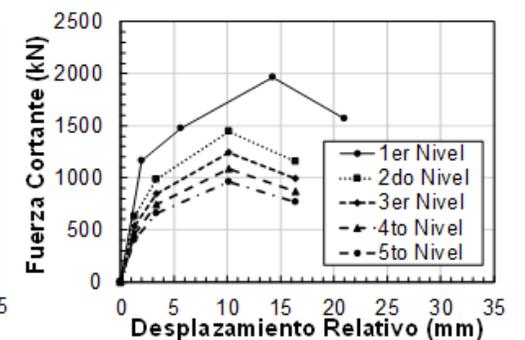
002ML1.L2R(2,2)



003ML1.2L2R(2,2,2,2)



004ML1.3L2R(2,2,2,2)



005ML1.4L2R(2,2,2,2,2)

Demanda sísmica

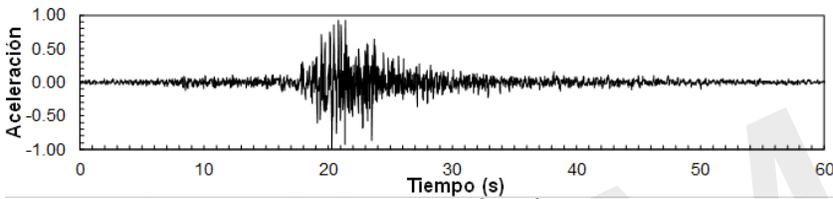
Tabla. Registros sísmicos.

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	Sintetico	-	S1	606.32	-

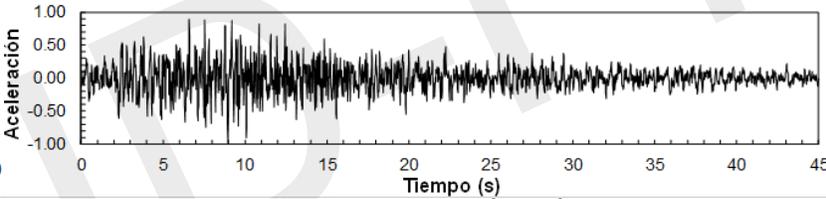
Tabla. Demandas sísmicas para la zona 4.

DEMANDA SÍSMICA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	Z*
MUY LEVE	43	0.15
LEVE	72	0.20
MODERADO	225	0.33
SEVERO	475	0.45
RARO	975	0.58
MUY RARO	2475	0.78

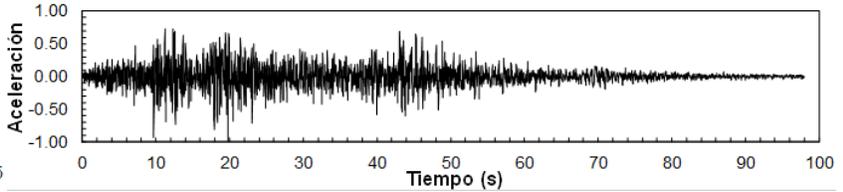
FUENTE: ASCE 41-13. * De los estudios de peligro sísmico de CISMID



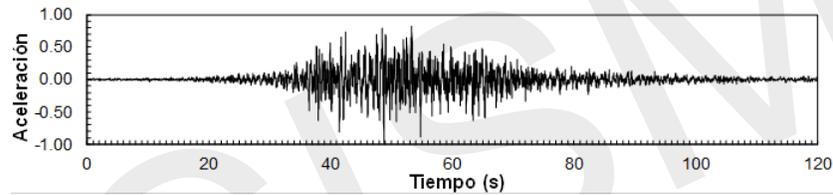
Registro Normalizado Lima_17/Oct/1966, componente NS



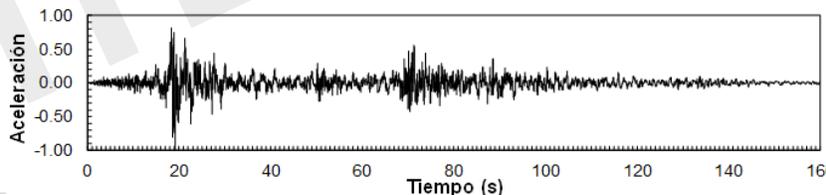
Registro Normalizado Huaraz_31/May/1970, componente EO



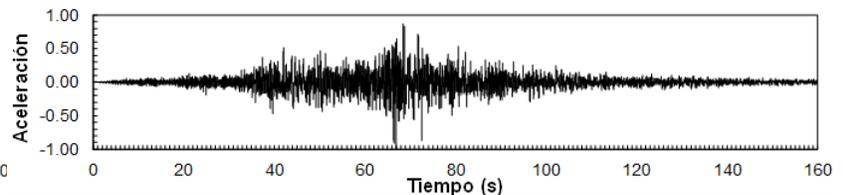
Registro Normalizado Lima_03/Oct/1974, componente EO



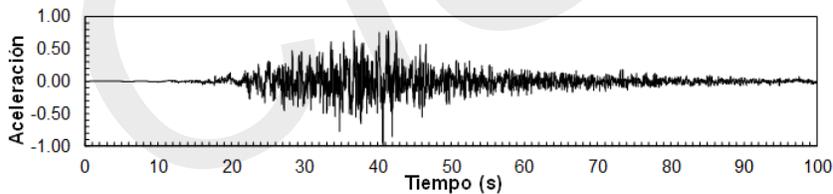
Registro Normalizado Arequipa_23/Jun/2001, componente EO



Registro Normalizado Pisco_15/Ago/2007, componente NS

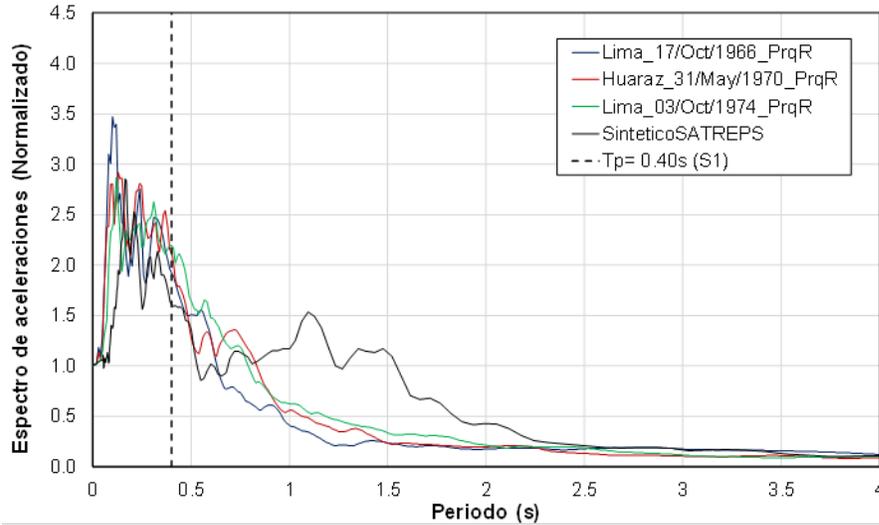


Registro Normalizado Lagunas_26/May/2019, componente EO

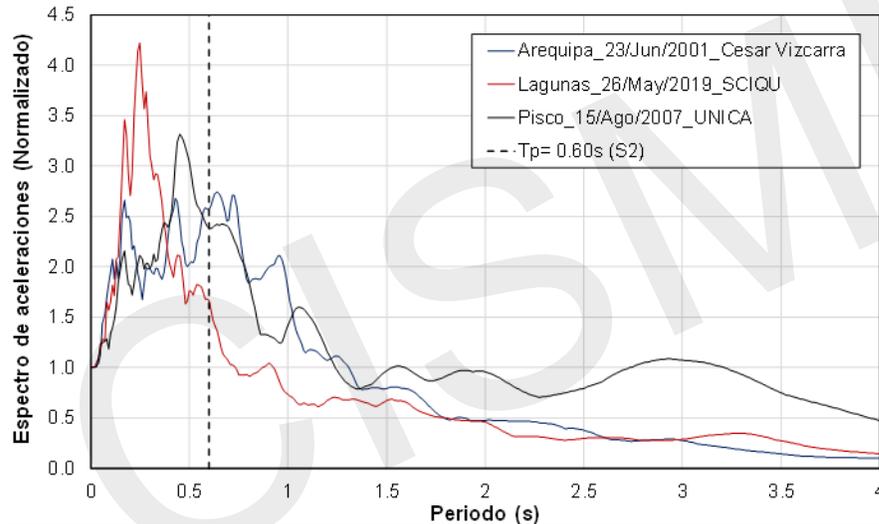


Registro Normalizado Sintético, SATREPS, componente EO

Escalamiento de registros



Espectros SRSS Normalizado de registros sobre suelo S1



Espectros SRSS Normalizado de registros sobre suelo S2

Norma E.030

Z = De acuerdo a tabla

$U = 1$ (Edificación común)

S = De acuerdo a tipo de suelo

$R = 1$ (Espectro Elástico)

$T_{min} = 0.2T$

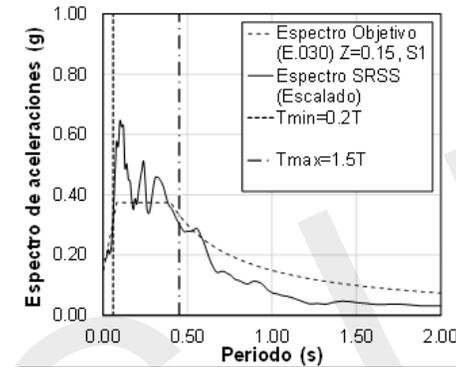
$T_{max} = 1.5T$

Además:

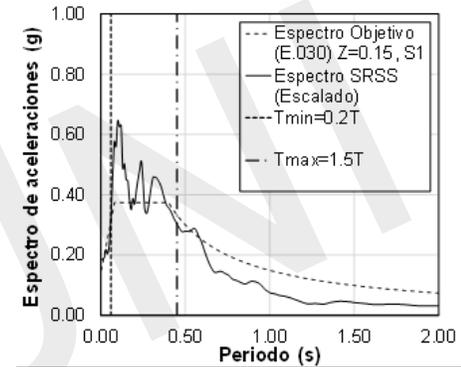
$C = 2.5$ $T < T_p$

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

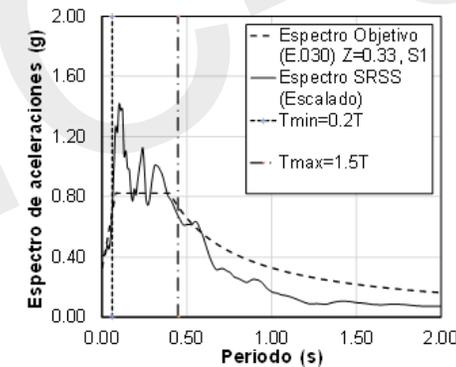
$C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right)$ $T > T_L$



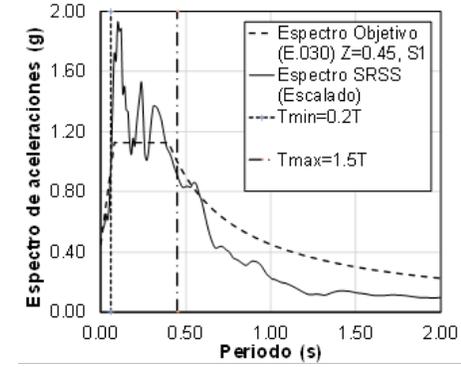
Escalamiento Muy Leve



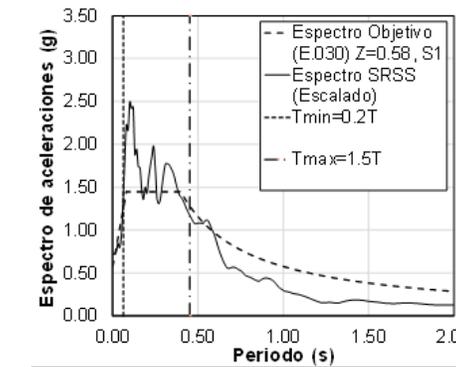
Escalamiento Leve



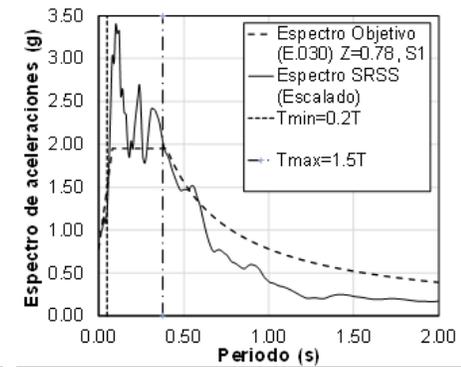
Escalamiento Moderado



Escalamiento Severo



Escalamiento Raro



Escalamiento Muy Raro

Índice de daño

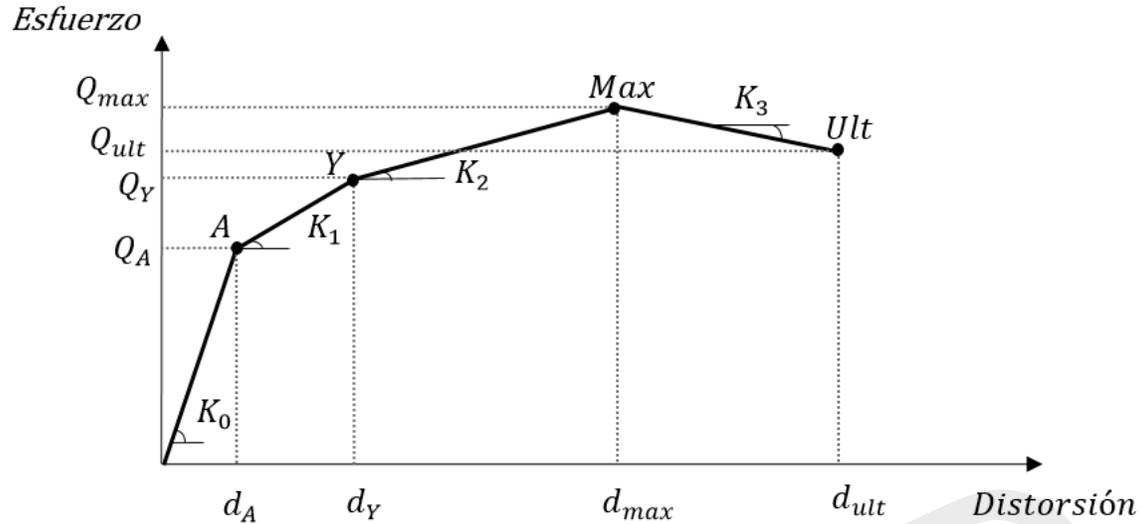


Tabla. Límites de distorsión de los niveles de daño.

NIVEL DE DAÑO	LÍMITES DE DISTORSIÓN (x10-3)			
	SÓLIDO ARTESANA L	INDUSTRIAL PANDERETA	SOLIDO ARTESANAL CON REFORZAMIENTO POR AMBAS CARAS	INDUSTRIAL PANDERETA 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: CISMID - 2020

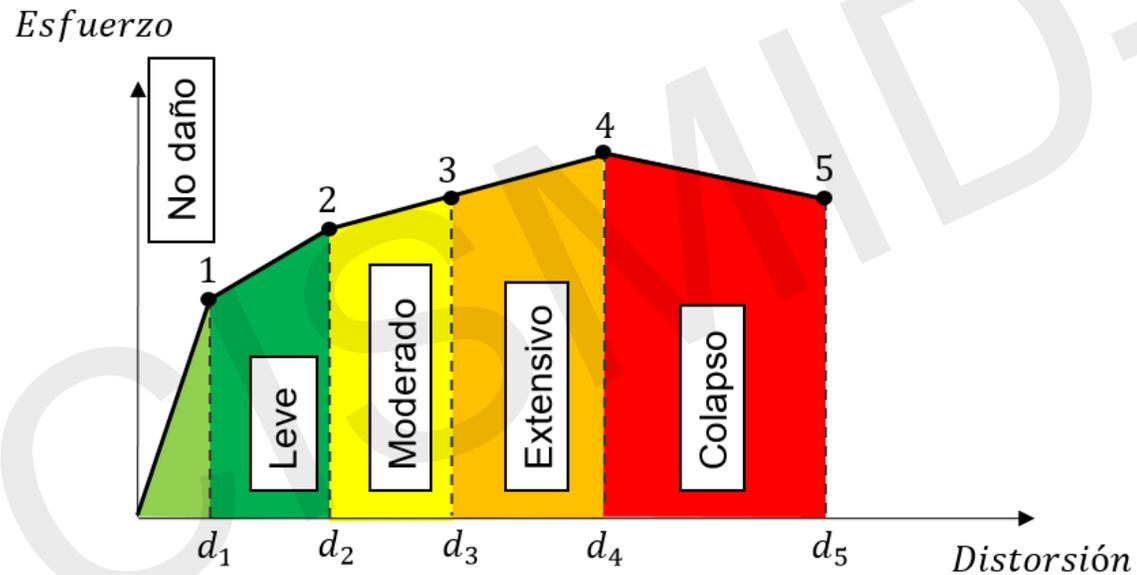


Tabla. Valor del índice de daño.

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

FUENTE: CISMID - 2020

Curva de capacidad de las viviendas

1) $Distorsión \leq ND$ (No daño)

$$Dindex = \frac{Distorsión}{ND}$$

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

$$Dindex = 1 + \frac{Distorsión - ND}{LV - ND}$$

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

$$Dindex = 2 + \frac{Distorsión - LV}{MD - LV}$$

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

$$Dindex = 3 + \frac{Distorsión - MD}{EX - MD}$$

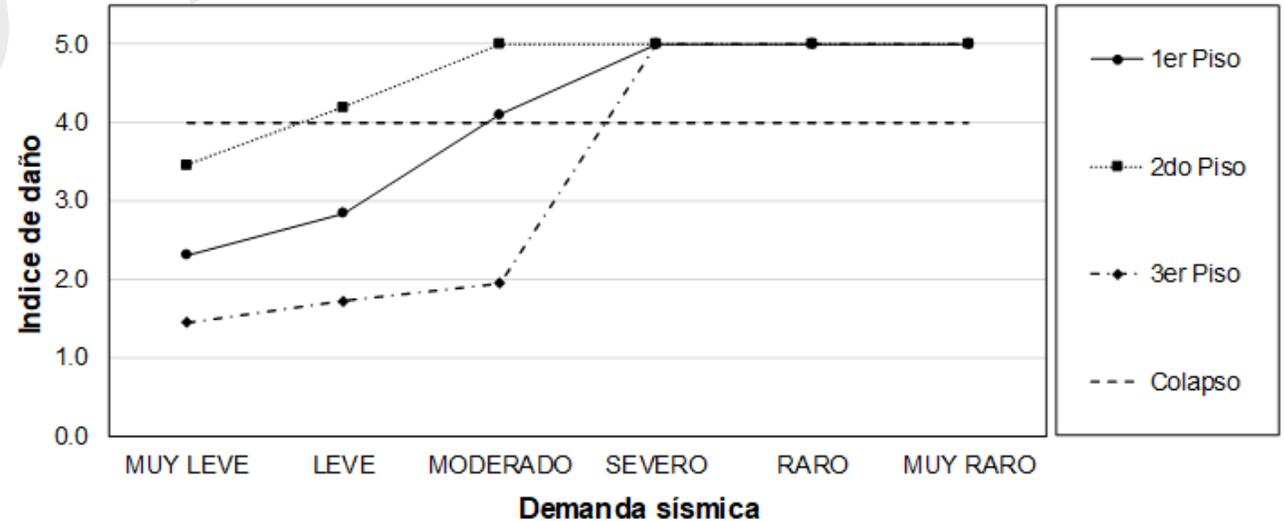
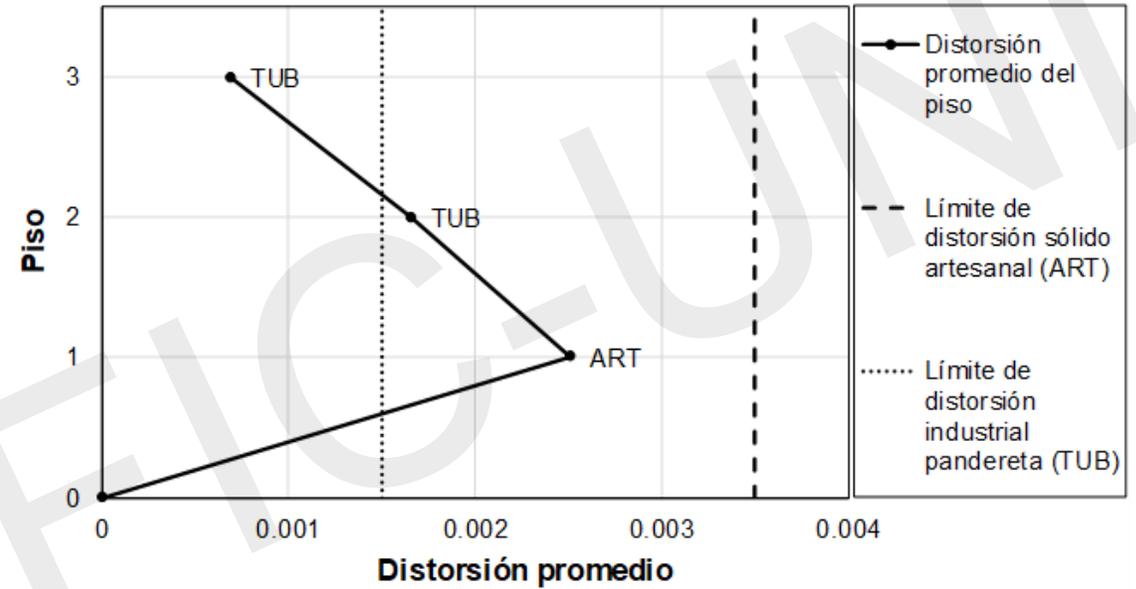
5) $Distorsión \geq EX$ (Colapso)

$$Dindex = 4 + \frac{Distorsión - EX}{CO - EX}$$

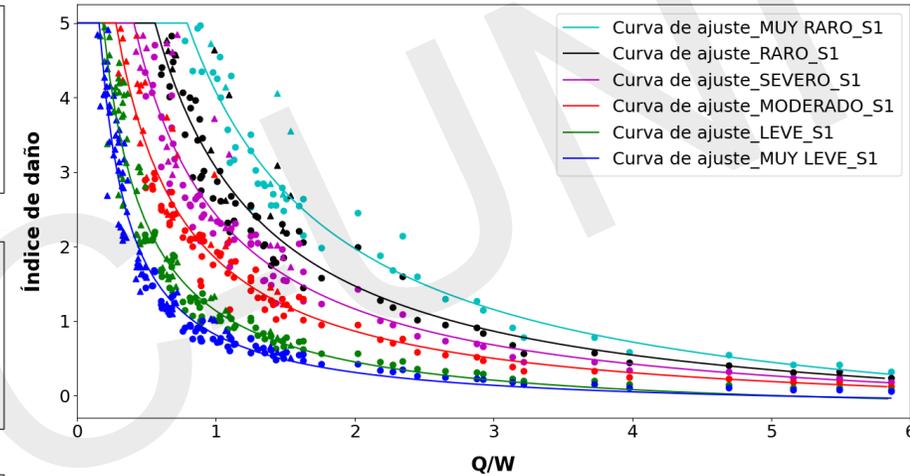
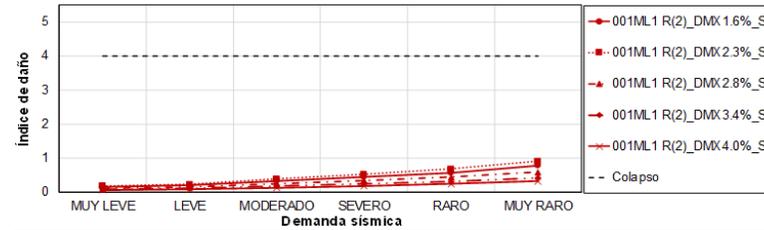
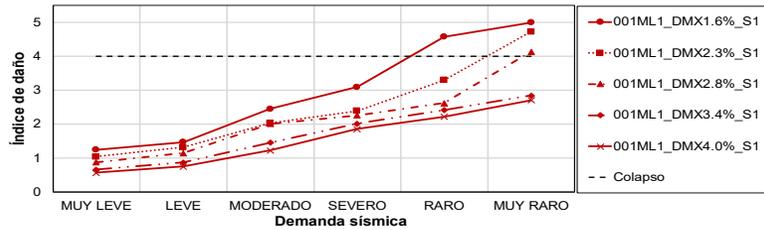
Tabla. Distorsión promedio ante un demanda sísmica leve y tipo de ladrillo de cada piso de la vivienda 003ML1.2L2_DM2.3%.

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

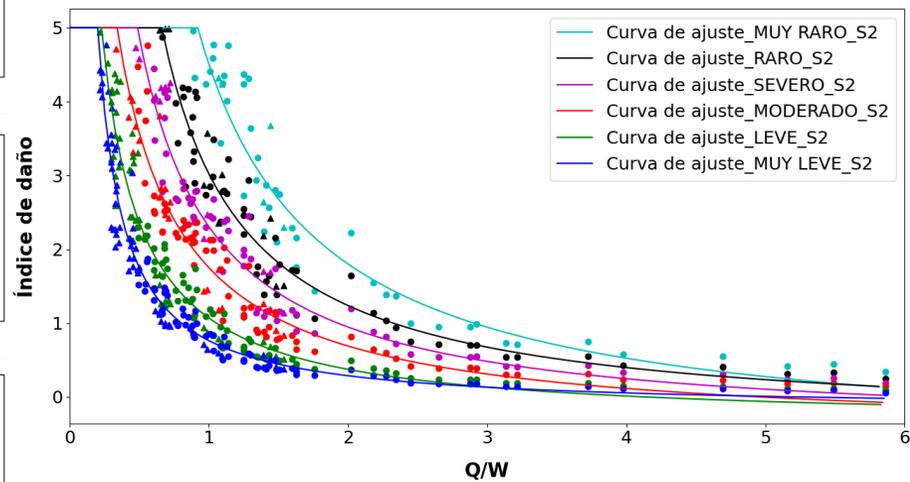
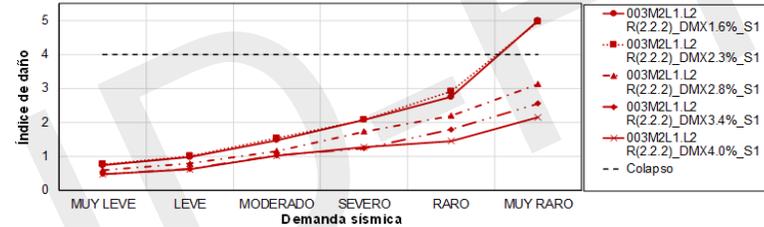
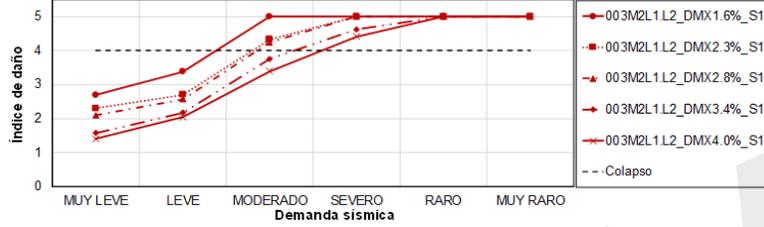
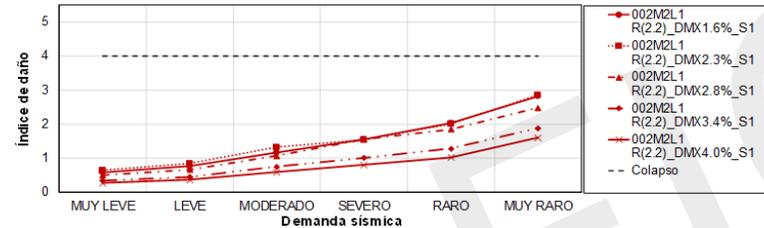
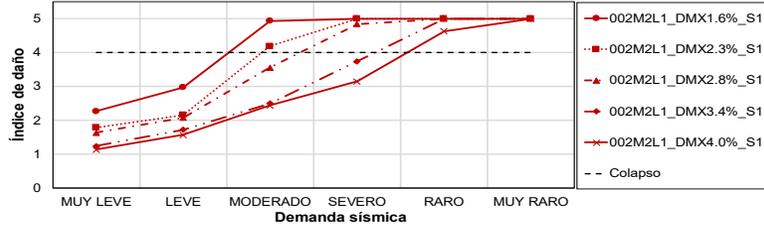
Elaboración propia.



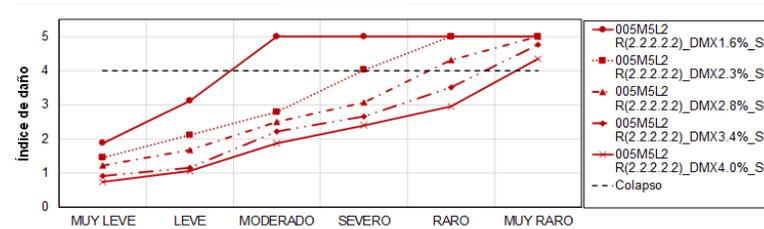
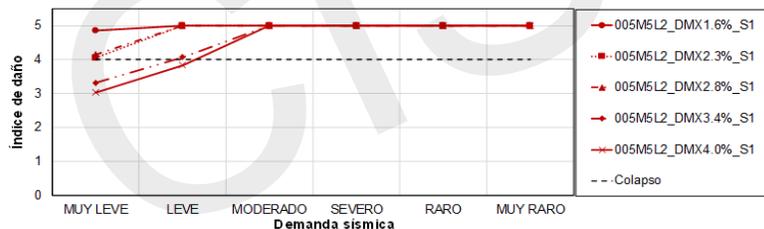
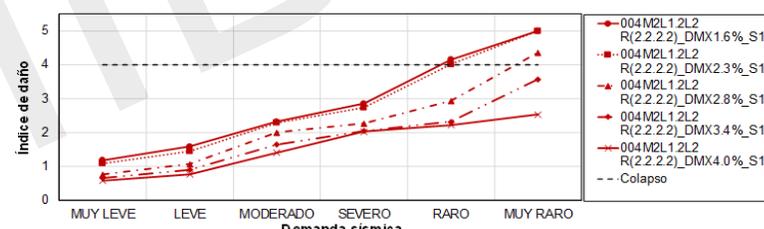
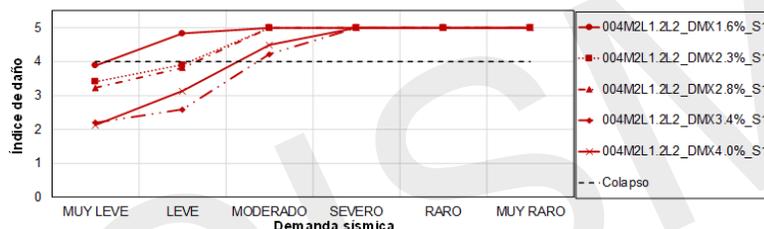
Índice de daño de las muestras representativas



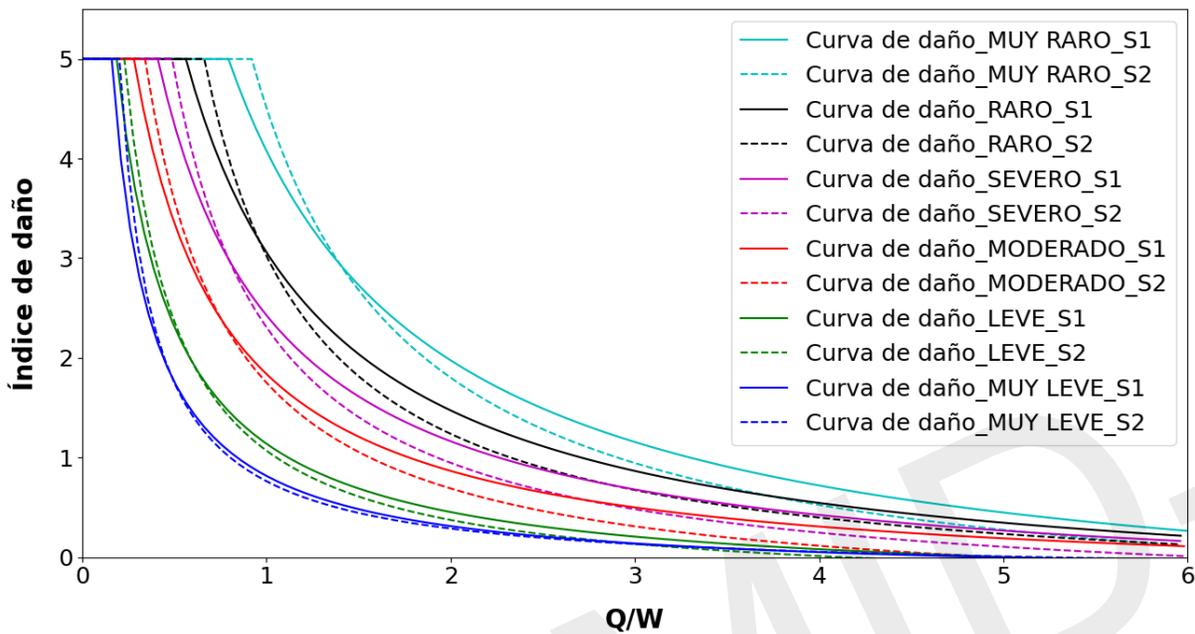
Curvas de daño sobre suelo tipo S1



Curvas de daño sobre suelo tipo S2



Curvas de daño



$$C.D(x) = \begin{cases} 5 & ; \quad x \leq Q/W \quad (ID = 5) \\ \frac{1}{ax + b} + c & ; \quad x > Q/W \quad (ID = 5) \end{cases}$$

Función de ajuste

Tabla N° 67. Requerimientos de la relación capacidad – peso mínima para alcanzar un nivel de daño objetivo de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S1.

Demanda sísmica	Nivel de daño				
	Daño Colapso Q/W (ID=5)	Daño Extensivo Q/W (ID=4)	Daño Moderado Q/W (ID=3)	Daño Leve Q/W (ID=2)	No daño 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.

Tabla N° 69. Requerimientos de la relación capacidad – peso mínima para alcanzar un nivel de daño objetivo de las tipologías en estudio sobre suelo tipo S2.

Demanda sísmica	Nivel de daño				
	Daño Colapso Q/W (ID=5)	Daño Extensivo Q/W (ID=4)	Daño Moderado Q/W (ID=3)	Daño Leve Q/W (ID=2)	No daño 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.

Costo de reforzamiento de muros de albañilería

Tabla. 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	A.P.U (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/cm ² .	kg	16.74	23.41	391.85
5	Tarrajado con mortero cemento arena 1:4.	m ²	11.44	41.29	472.35
			(1)	TOTAL (S/)	1212.74
			(2)	METRADO (m²)	5.72
			(3) = (1)/(2)	COSTO (S/ / m²)	212.02

Tabla. Costo de reforzamiento con trabajos preliminares y de acabados.

Id	ACTIVIDAD	UNIDAD	A.P.U (S. / m ²)	
1	Picado y retiro de tarrajado existente por ambas caras del muro.	m ²	36.12	
2	Costo de reforzamiento con malla acero \varnothing 4.7mm @0.20m y mortero cemento - arena 1:4 por ambas caras del muro.	m ²	212.02	
3	Pintura látex 2 manos por ambas caras del muro.	m ²	24.42	
			(1) SUB TOTAL (S. / m ²)	272.56
			(2) REPARACIÓN DE IISS, IIEE Y OTROS (43%) (S/ / m ²)	117.20
			(3) = (1) + (2) (CRF) TOTAL (S/ / m ²)	389.76



Aplicación de las curvas de daño y costo de reforzamiento

Datos de vivienda

N° de pisos : 2
A_t (Área techada) : 88.74 m²
D_x (Densidad de muros en la dirección X) : 1.60%
D_y (Densidad de muros en la dirección Y) : 3.33%
(Altura de entrepiso del primer piso) : 2.8m
(Altura de entrepiso del piso típico) : 2.6m
t (espesor de los muros de albañilería) : $\cong 0.12\text{m}$

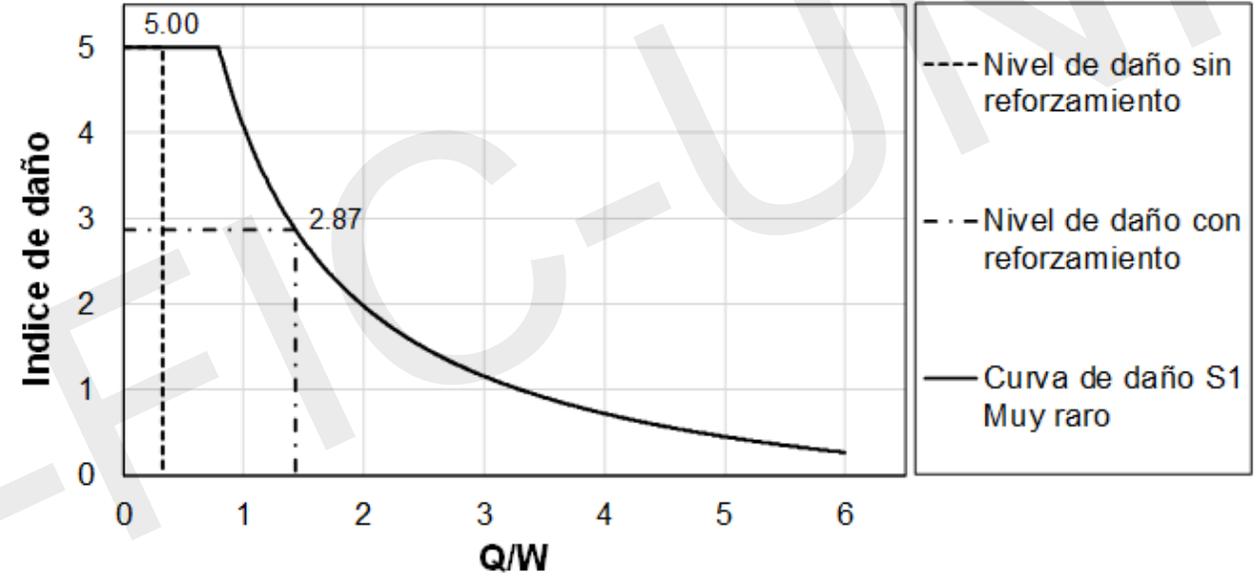


Tabla. Estimación del nivel de daño de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6% con curvas de daño para una demanda sísmica muy raro sobre suelo tipo S1.

	(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

Tabla. Costo de reforzamiento de la vivienda 002ML1.L2_DMx1.6%.

Dirección	Nivel	Ladrillo	Densidad	(1) Área muros (m ²)	(2) CRF (S/ / m ²)	(3)=(1)*(2) 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%

Conclusiones

- Los índices de daño identifican 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 investigación.
- Las curvas de daño permiten evaluar rápidamente la vulnerabilidad sin y con reforzamiento de viviendas de albañilería, así como también indican los requerimientos mínimos de resistencia cortante para alcanzar un nivel de daño objetivo.
- El reforzamiento con malla de acero y mortero reducen significativamente el nivel de daño de las viviendas ante las diversas demandas sísmicas con un costo de implementación no mayor al 30% del valor de la vivienda.