

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



XXXIV SIMPOSIO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

## “Vulnerabilidad de las Viviendas de Lima y Callao ante un sismo de gran magnitud”

Dr. Ing. Miguel Augusto Díaz Figueroa

C. Zavala, R. Reyna, E. Flores, L. Lavado, L. López, M. Amancio, D.  
Escalante, J. Cueva, J. Gallardo



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE  
INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y  
MITIGACIÓN DE DESASTRES

FACULTAD DE  
INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERÍA



# ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

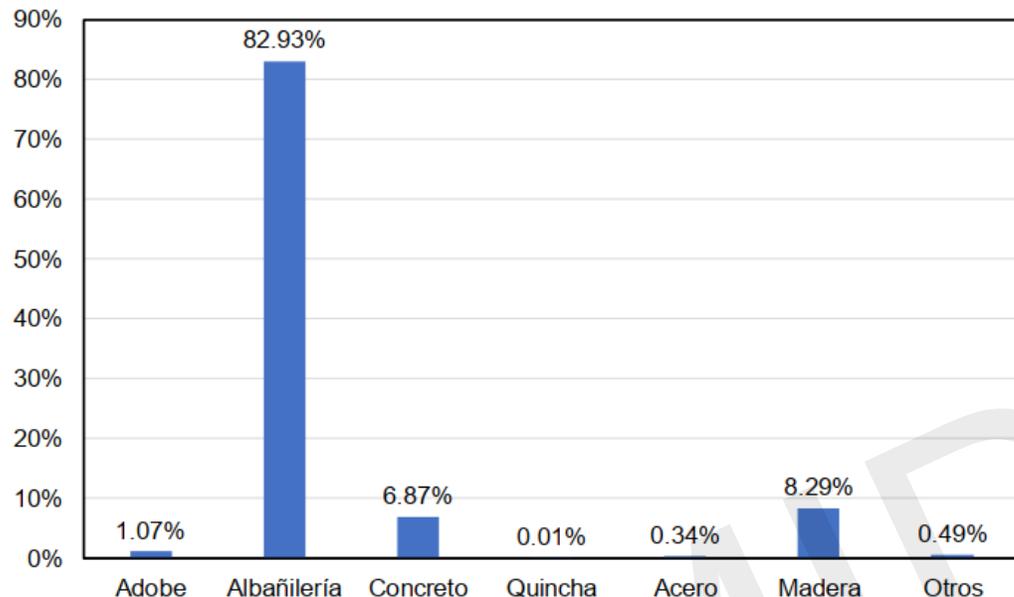
*Riesgo* ← función (Peligro, Exposición, Vulnerabilidad)

- Evaluación de la amenaza o peligro sísmico. Escenario por sismo y su consecuente tsunami
- Estudio de microzonificación sísmica. Dinámica de suelos para la amplificación en la superficie.
- Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones.
- Estimación del riesgo sísmico mediante la cuantificación de la pérdida.



# Estado situacional

Distribución por materiales



Tipologías de viviendas en Lima Metropolitana y el Callao.  
Estudios de Microzonificación y riesgo sísmico en distritos de Lima y Callao (CISMID, 2010 en adelante)

Distribución por tipo de material

**83%** albañilería

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

Distribución por tipología

**43%** vivienda de dos pisos de albañilería

Tipología	02M	03M	01M	01W	04M	02C	03C	01A	04C	05C	otros
Porcentaje	43.1%	18.6%	17.7%	8.2%	3.0%	2.4%	1.3%	0.9%	0.9%	0.7%	3.3%

# Estado situacional

- Criterios no ingenieriles (Informalidad) en los procesos de planificación urbana, concepción de la vivienda, construcción y mantenimiento.
- Deficiencia en la fiscalización en la construcción de las viviendas.
- Masificación de viviendas de albañilería no ingenieril que representa mas del 60% en el Área de Lima Metropolitana.
- Amenaza sísmica alta debido al silencio sísmico (desde 1746).
- Técnicas de reforzamiento sísmico investigadas.
- Bonos de reforzamiento que no son eficientemente usados.
- Alta necesidad de reforzamiento estructural masivo.

**Experimentos para reproducir el  
comportamiento sísmico en edificaciones**

# ANTECEDENTES

Como resultado de los estudios de riesgo sísmico se ha podido identificar tipologías de viviendas de albañilería confinada no ingenieril.

Tipo de unidades de albañilería empleadas en viviendas no ingenieriles

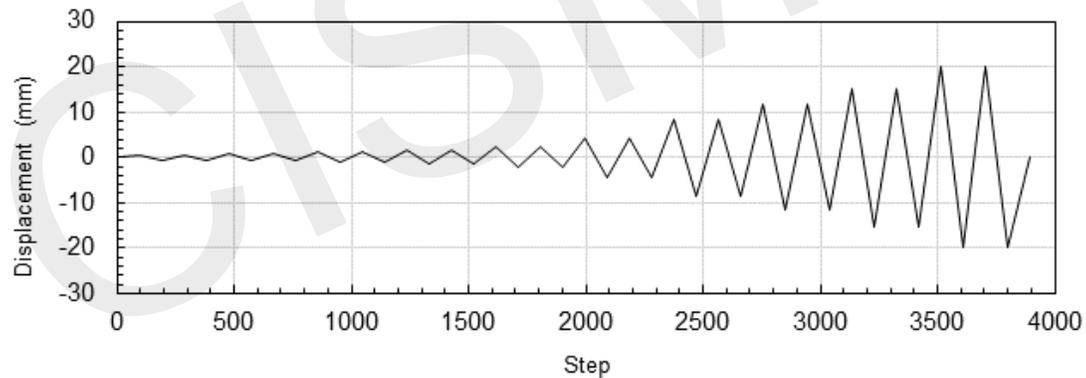
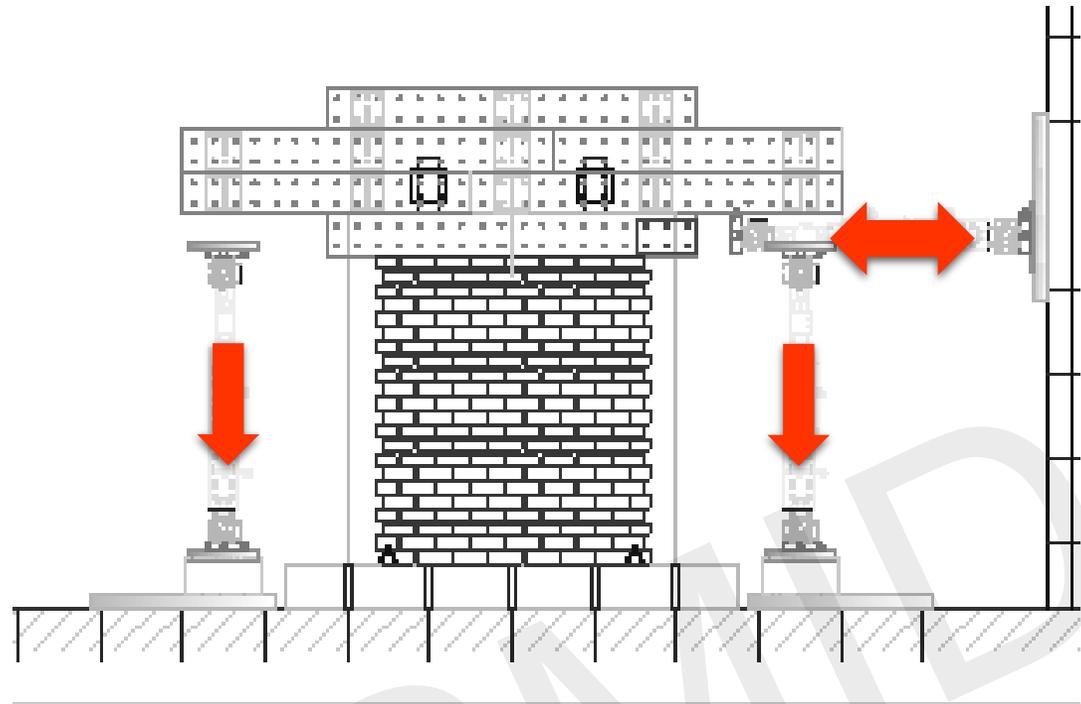
a) KK  
(Permitido)



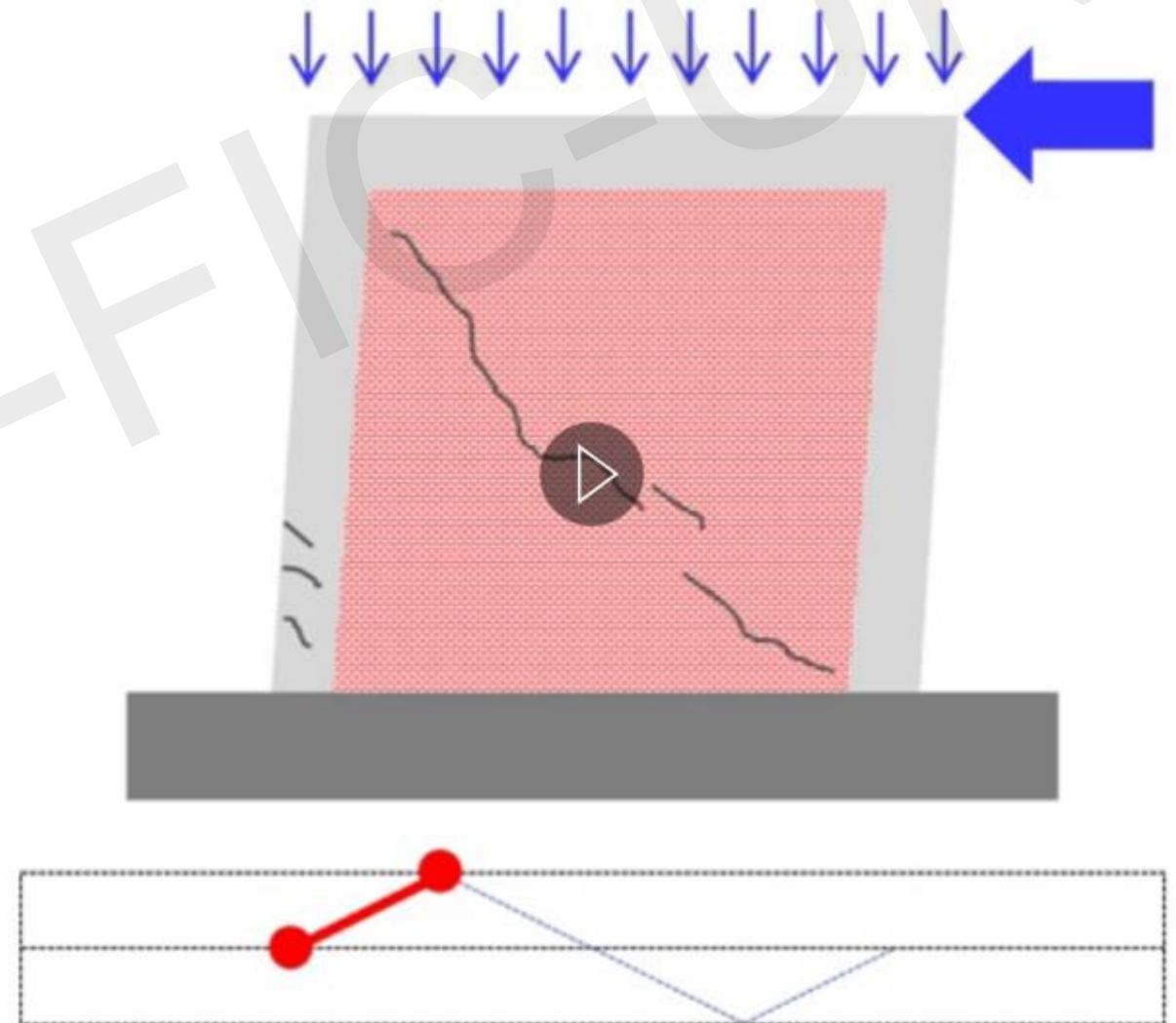
b) Sólido  
artesanal  
(Parcialmente  
permitido)  
c) Tubular  
(pandereta)  
(No permitido)



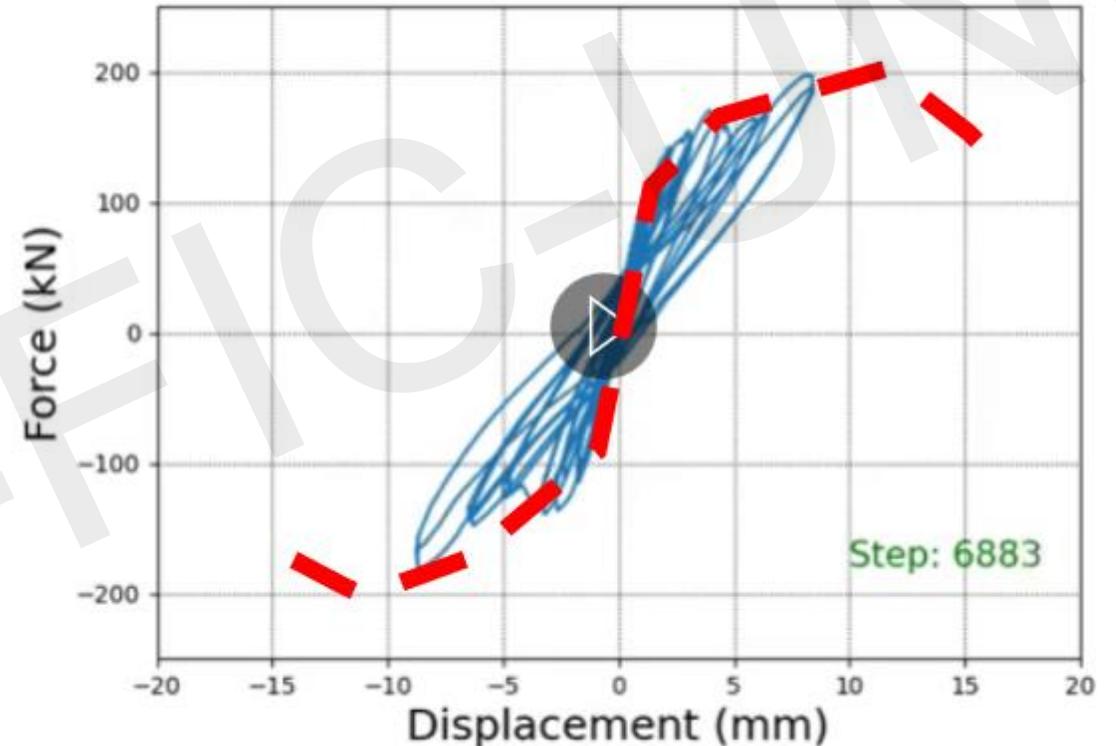
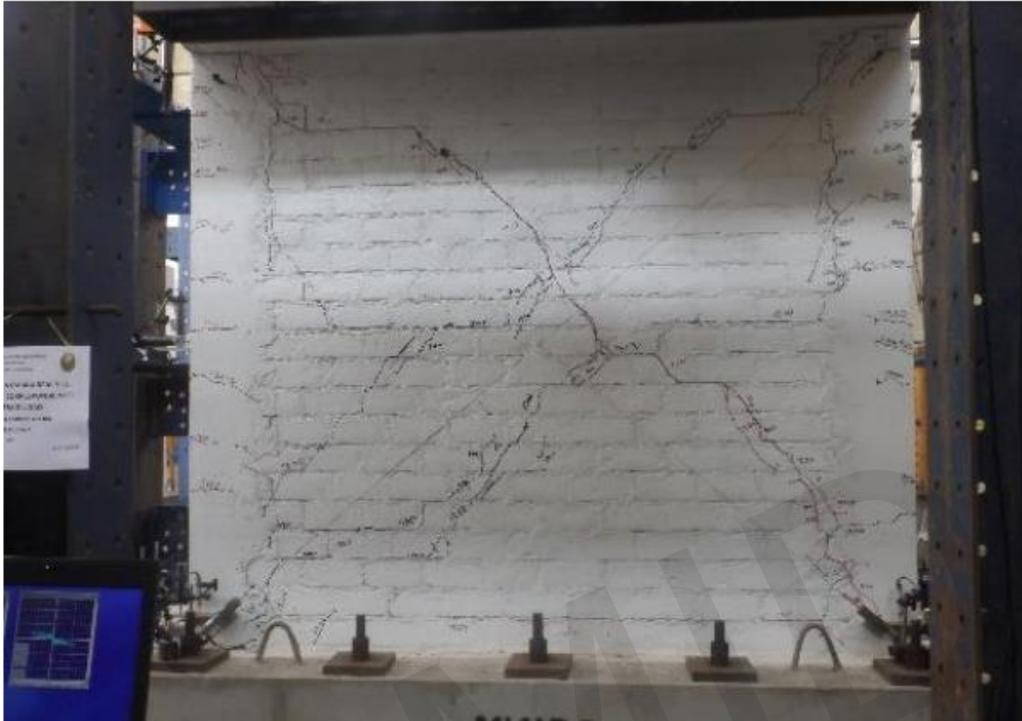
# ENSAYOS DE CARGA CÍCLICA



## Carga cíclica en muros



# ENSAYOS DE CARGA CÍCLICA



- El sistema de medición consiste en celdas de carga conectadas a actuadores y transductores de desplazamiento (LVDT). Alrededor de 20 canales.
- El control del experimento se realiza mediante desplazamientos objetivos (control de desplazamiento).
- Se aplica dos veces el mismo desplazamiento objetivo por ciclo. En los últimos ciclos se alcanza una distorsión de 1/100.

# ANTECEDENTES

- En el **2003**, una vivienda de albañilería confinada con ladrillos del tipo sólido artesanal a escala real fue sometido a cargas cíclicas estáticas (Zavala, Kaminosono et al., 2003).



Antes del ensayo



Durante el ensayo



Después del ensayo

- El área de techo de cada nivel es de  $54 \text{ m}^2$ . La máxima fuerza cortante registrada fue de  $1400 \text{ kN}$  ocurrido a un nivel de distorsión de  $1.5\%$ .

# Formulación propuesta para esfuerzos y distorsiones

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

Coeficientes para el cálculo de los esfuerzos cortantes promedios:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  and  $\beta_3$ .

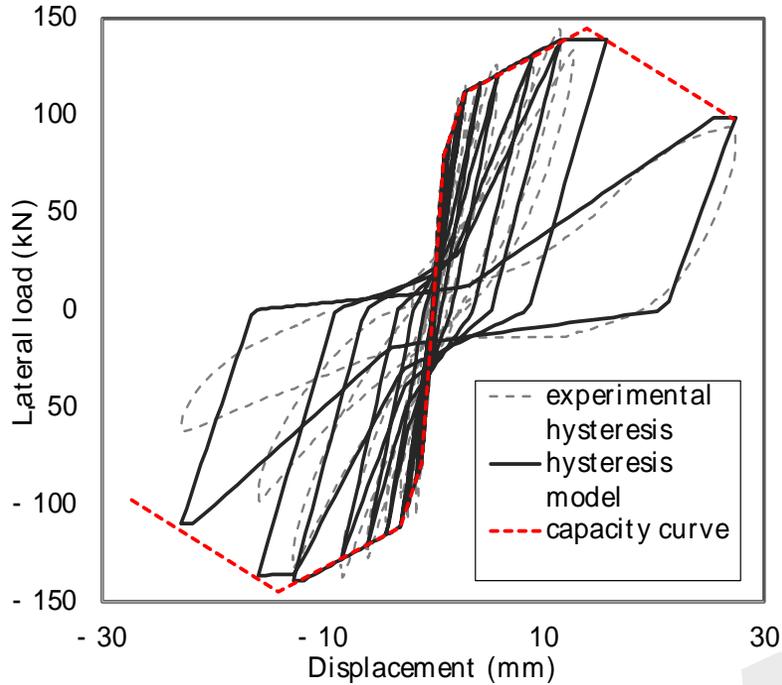
Coeficiente	Agrietamiento	Fluencia	Máximo	Último
$\beta_0$	0.000	0.000	0.000	0.000
$\beta_1$	0.000	0.000	0.054	0.221
$\beta_2$	0.249	0.426	0.432	0.077
$\beta_3$	0.221	0.175	0.290	0.503

## Distorsiones representativas ( $\times 10^{-3}$ )

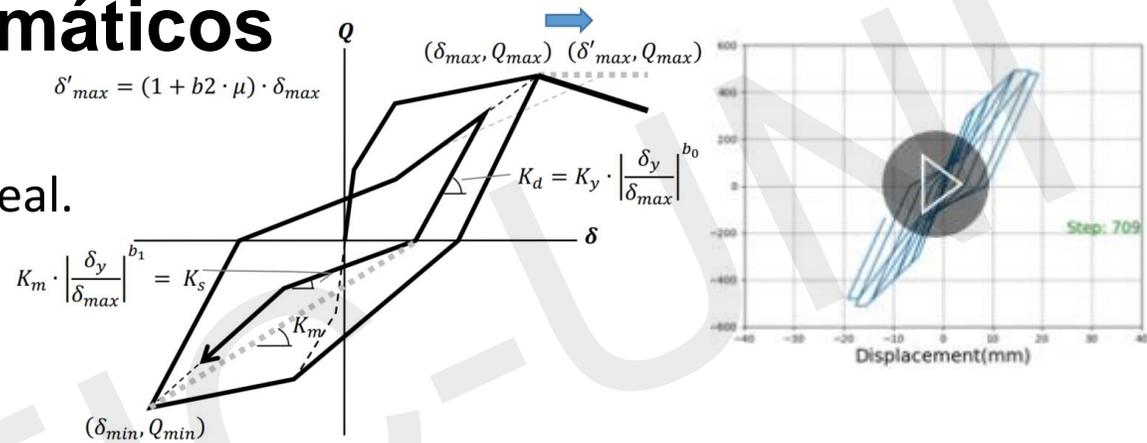
Type of brick	Agrietamiento	Fluencia	Máximo	Último
KK	0.6	1.9	7.6	11.7
Sólido artesanal	0.4	1.3	3.5	8.0
Tubular (pandereta)	0.4	0.6	1.9	3.7

La tabla resumen las distorsiones representativas agrupadas por unidad de albañilería de acuerdo a los resultados experimentales.

# Modelos matemáticos



- Curva primaria tetralineal.
- Modelo histerético tetralineal (con ablandamiento y endurecimiento).



Los modelos histeréticos se calibran con los resultados experimentales, con el objetivo de aproximar la respuesta real de la estructura.

Se han caracterizado para los diferentes tipos de muro.

Diaz et al., 2016

3D visualization of a confined masonry wall structure under seismic analysis. The structure is shown in blue and green, with a vertical axis Y and a horizontal axis X. The analysis results are displayed as follows:
 

- Time = 106.62 sec
- Amplitude (Amp) = 32.00
- Displacement ranges: 1 < U < 5 (yellow), 5 < U (red)
- Acceleration (gal) = 545.8 gal

 The text at the bottom reads:
 

Análisis no Lineal Tiempo Historia de una vivienda de albañilería confinada de dos pisos, sometida a un sismo de gran magnitud y su réplica máxima esperada.

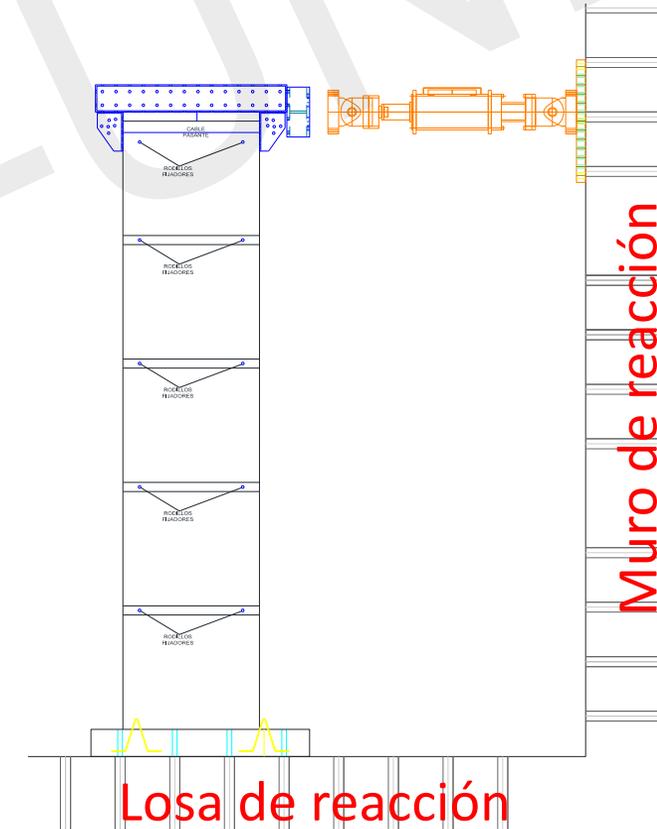
Programa STERA3D, Prof. Saito

# Ensayos en muros de ductilidad limitada

## Ensayos de Laboratorio



*Ensayo de carga lateral cíclica en muro de ductilidad limitada de 5 niveles. Laboratorio de Estructuras- CISMID-FIC-UNI.*



# Ensayo de carga lateral cíclica en Muros de ductilidad limitada



Estado final del espécimen



## CISMID Structural Labs Database Base de datos del Laboratorio de Estructuras SATREPS Project JICA - Gobierno del Perú PPR-068



Me gusta 4

Twitter 2

Muros de Albañilería Confinada sujetos a Carga Lateral  
Masonry Confined Walls subject to Lateral Load



Muros de Ductilidad Limitada  
Low Ductility Concrete Wall



Uno de los objetivos del Proyecto [SATREPS](#) "Mejora de Tecnologías Para la Reducción del Riesgo por Sismo y Tsunamis" es la creación de una base de datos de ensayos de laboratorio realizados en elementos estructurales. Pues creemos que es importante para un desarrollo efectivo de tecnologías que mejoren la resistencia de los edificios ante terremotos.

En esta sección de la página oficial del [CISMID](#) presentaremos los ensayos de laboratorio que se han realizado, que representa el resultado de dicho objetivo. En el cual se podrá encontrar la información de los materiales, propiedades geométricas y resultados experimentales.

Estudio desarrollado por:

MSC. Lourdes Cardenas  
MSC. Roy Reyna  
MSC. Luis Moya  
Dr. Carlos Zavala

Aplicación web:

Bach. Lucio Estacio Flores

# ENSAYOS EXPERIMENTALES DE MUROS DE ADOBE Y PROPUESTA DE REFORZAMIENTO (En Proceso)

(E. Moscoso, A. Otero, J. Gallardo)

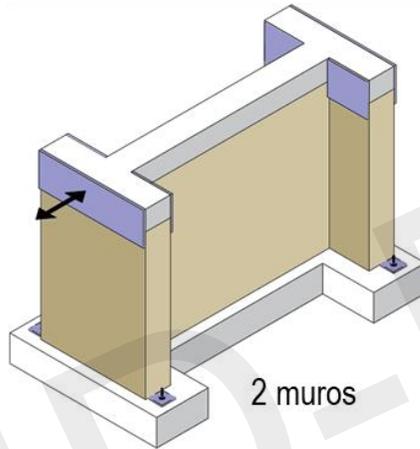
## PILAS



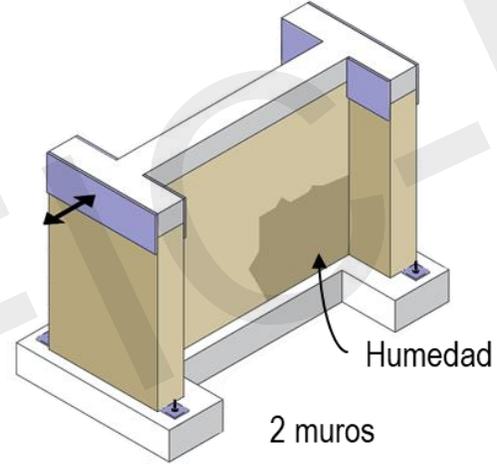
6 pilas

6 pilas humedecidas

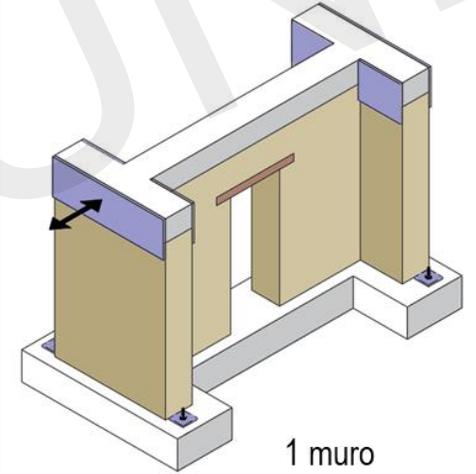
## MUROS



2 muros



2 muros



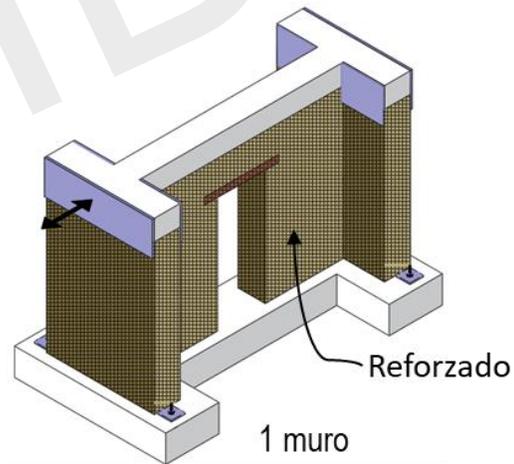
1 muro

## MURETES

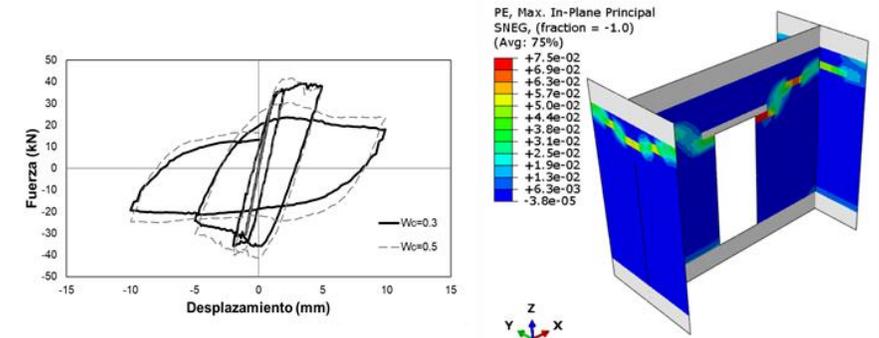


5 muretes

5 muretes humedecidos



1 muro



Parámetros para la modelación en EF

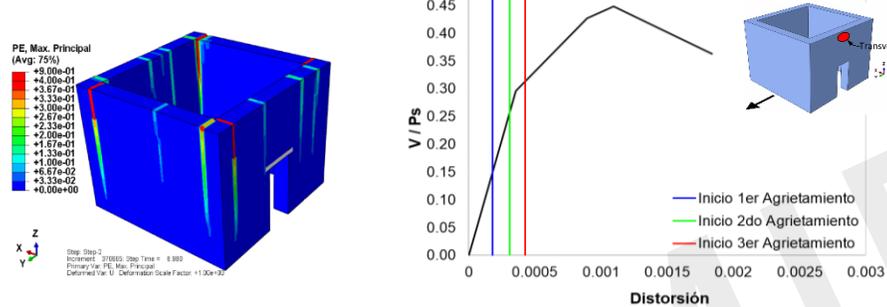
# COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE ADOBE INFLUENCIADOS POR LA RELACIÓN DE ASPECTO

Modelos propuestos con sus relaciones de aspecto

Modelo	L (m)	H (m)	Relación de aspecto (H/L)
M1	8	6	0.75
M2	12	6	0.50
M3	24	6	0.25
M4	52	6	0.12

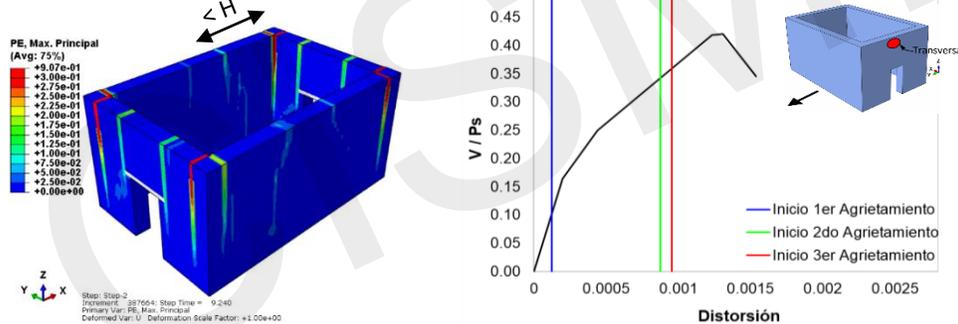
H: Altura de muro  
L: Longitud del muro

Modelo M1



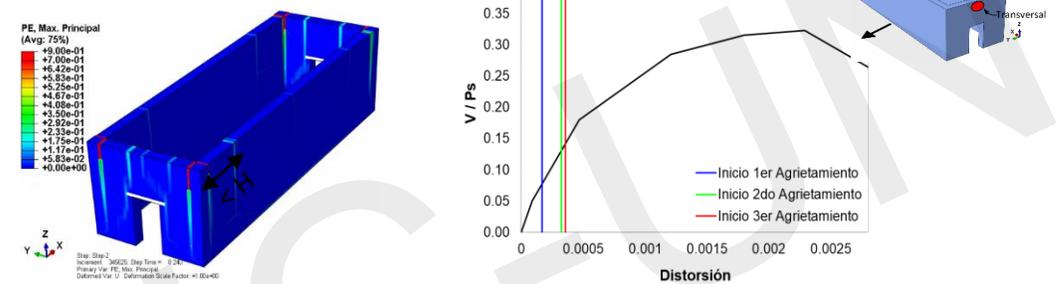
Agrietamiento. Curva  $V/P_S$  (g) vs Distorsión de entrespiso para el muro transversal.

Modelo M2



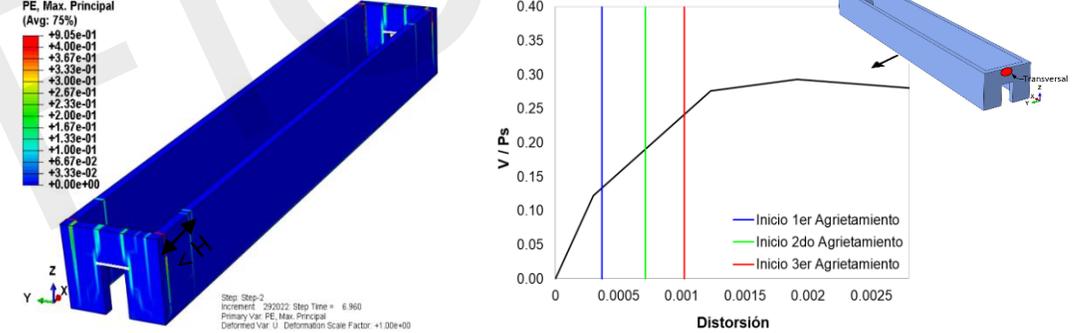
Agrietamiento. Curva  $V/P_S$  (g) vs Distorsión de entrespiso para el muro transversal.

Modelo M3



Agrietamiento. Curva  $V/P_S$  (g) vs Distorsión de entrespiso para el muro transversal.

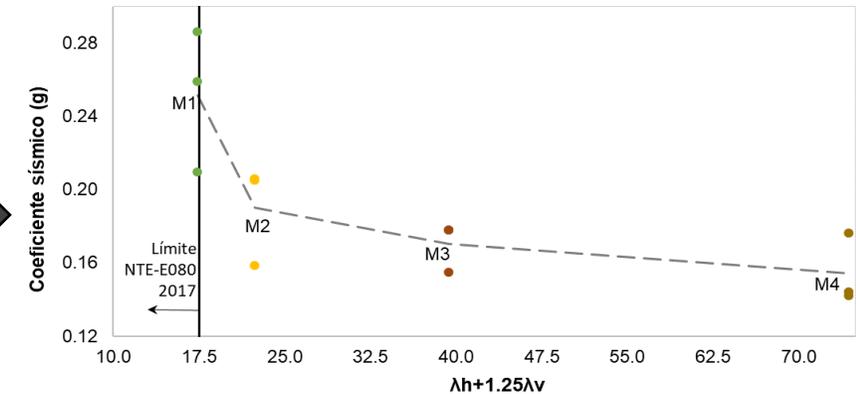
Modelo M4



Agrietamiento. Curva  $V/P_S$  (g) vs Distorsión de entrespiso para el muro transversal.

Expresión que limita la geometría del muro:  
(NTE-E080)  $\lambda h + 1.25 \lambda v \leq 17.5$

Modelo	$\lambda h + 1.25 \lambda v$
M1	17.38
M2	22.38
M3	39.38
M4	74.38



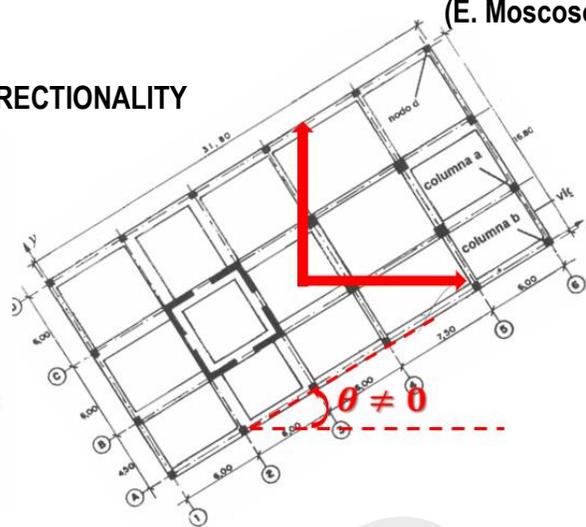
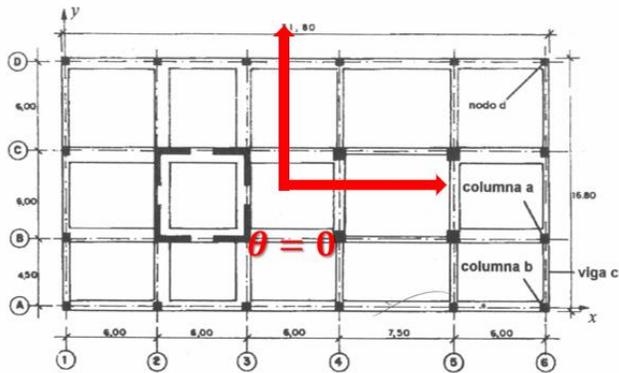
Capacidades global de las edificaciones en función del factor de esbeltez

# PROPOSAL FOR PERUVIAN STANDARD CONSIDERING THE EFFECT OF BIDIRECTIONALITY AND THE ANGLE OF INCIDENCE OF AN EARTHQUAKE

E. Moscoso, L. Quiroz

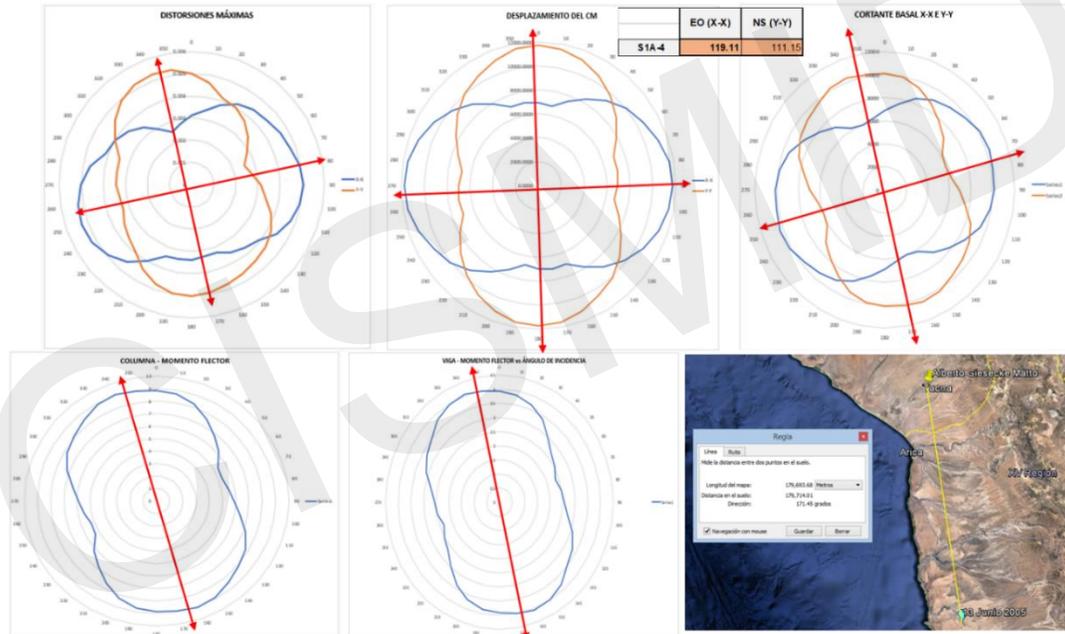
(E. Moscoso & L. Quiroz)

## DEFINITION OF INCIDENCE ANGLE AND BIDIRECTIONALITY



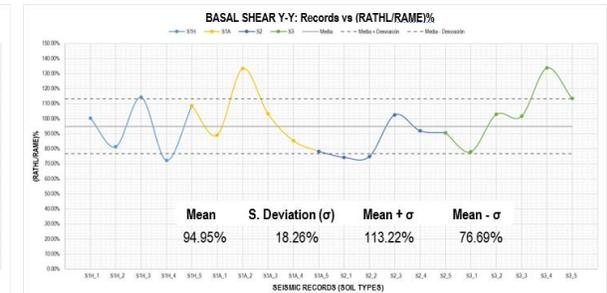
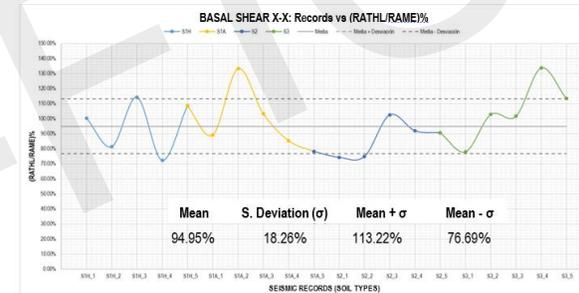
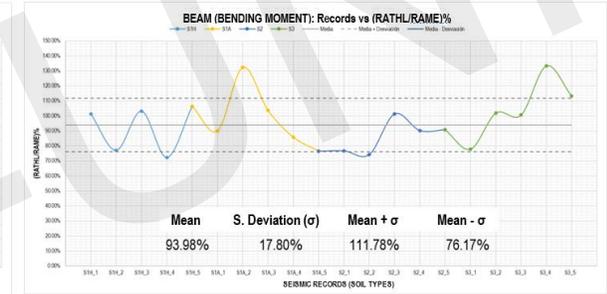
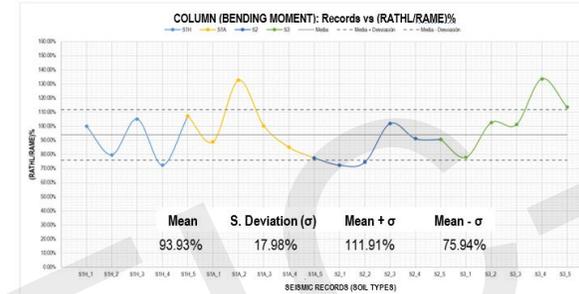
### Bidirectionality

### Angle of incidence



### RESPONSE DIRECTION OF INCIDENCE ANGLE

## MAXIMUM AVERAGE RESPONSE OF TIME-HISTORY DYNAMIC ANALYSIS



## PROPOSAL FOR PERUVIAN STANDARD

When performing a spectral modal dynamic analysis:

The Amplification Factor (FA) of the response of the structure by the bidirectionality and angles of incidence will be the greatest factor of amplification due to difference of stiffness and eccentricity:

$$FA = \max(FA_k; FA_e)$$

$$FA_k = 0.23k + 0.87$$

$$FA_e = 1.68e + 1.08$$

The amplification factor for stiffness and eccentricity will be obtained from the following expressions:

✓ When performing a dynamic time history analysis:

Maximum responses are found with an angle of incidence equal to the direction that forms the epicenter of the earthquake considered and the accelerometric station that recorded it, as well as the direction perpendicular to it.

# PROPOSAL FOR PERUVIAN STANDARD CONSIDERING THE EFFECT OF BIDIRECTIONALITY AND THE ANGLE OF INCIDENCE OF AN EARTHQUAKE

(E. Moscoso & L. Quiroz)

E. Moscoso, L. Quiroz

E. Moscoso et al.

99

## PROPOSAL FOR PERUVIAN STANDARD CONSIDERING THE EFFECT OF BIDIRECTIONALITY AND THE ANGLE OF INCIDENCE OF AN EARTHQUAKE

Edisson MOSCOSO <sup>1,2\*</sup>, Luis QUIROZ <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Civil Engineering Faculty, National University of Engineering, Lima, Peru.

<sup>2</sup> Japan-Peru Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation, Lima, Peru.

Received: 29/06/2019 Accepted: 07/08/2019

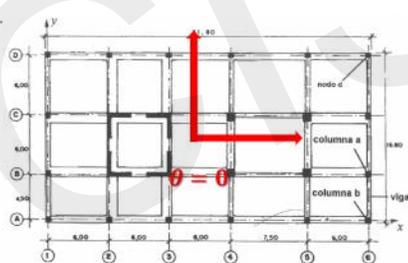
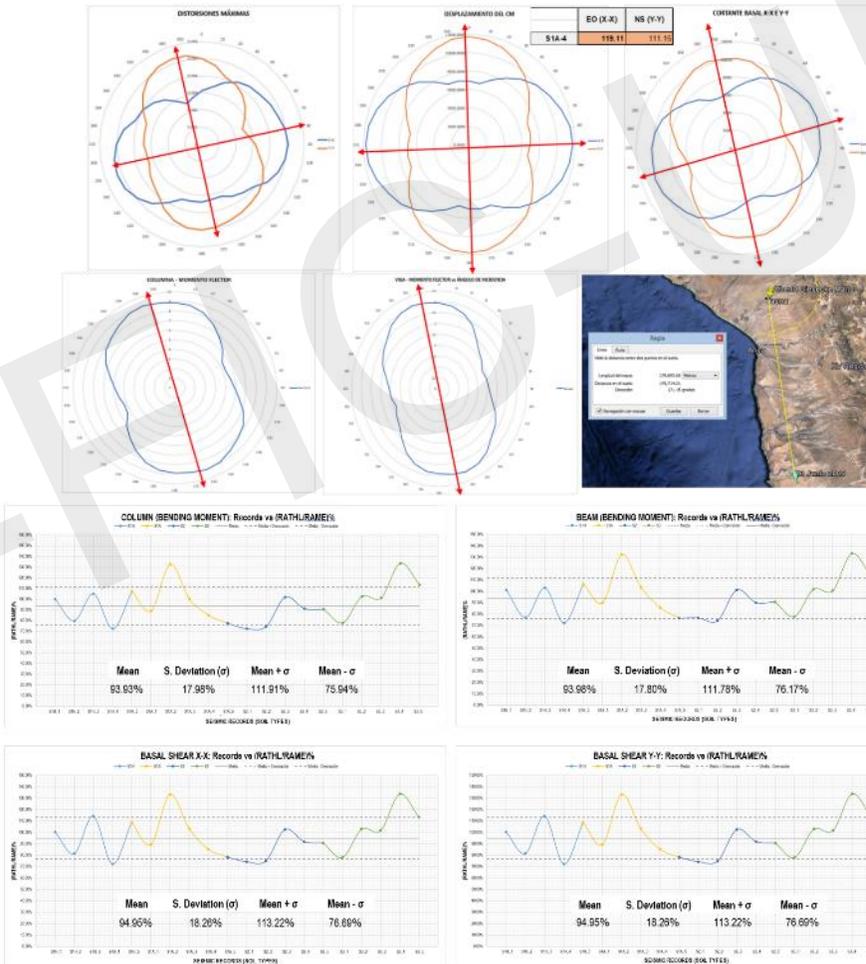
### ABSTRACT

Currently, it is assumed that seismic force applied to the building acts independently in two or three principal directions, orthogonal to each other, this assumption is not necessarily correct, because seismic analysis of buildings should consider the bidirectional effects of an earthquake. This consideration takes place if an angle of real incidence and the seismic force acting in each orthogonal direction is taken into account to estimate the maximum response of the building.

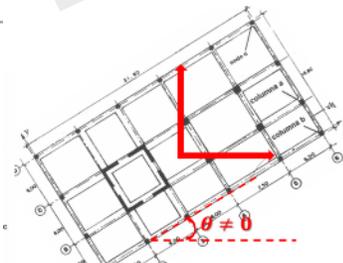
These effects will be analyzed by using the linear time-history analysis of 11 structures with different rigidities and eccentricities in two orthogonal directions, using angles of incidence each 10 degree and 20 Peruvian seismic records for rigid, intermediate and flexible soils obtained from database of Japan-Peru Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation (CISMID) and Geophysical Institute of Peru (IGP). Furthermore, a non-linear time-history analysis will be carried out, which will be applied to one of the 11 structures and will use angles of incidence each 10 degree and one seismic record. The maximum seismic response will be compared with the maximum modal response spectral analysis obtaining a linear equation. to obtain a propose based on amplification factors.

Finally, amplification factors are proposed to obtain a relationship between modal spectral analysis and time-history analysis that consider the effects of the bidirectionality and the angle of incidence in reinforced concrete structures.

Keywords: Bidirectionality, Angle of incidence, Time-History Analysis.



Bidirectionality



Angle of incidence

When performing a spectral modal dynamic analysis:

The Amplification Factor (FA) of the response of the structure by the bidirectionality and angles of incidence will be the greatest factor of amplification due to difference of stiffness and eccentricity:

$$FA = \max(FA_k; FA_e)$$

$$FA_k = 0.23k + 0.87$$

The amplification factor for stiffness and eccentricity will be obtained from the following expressions:

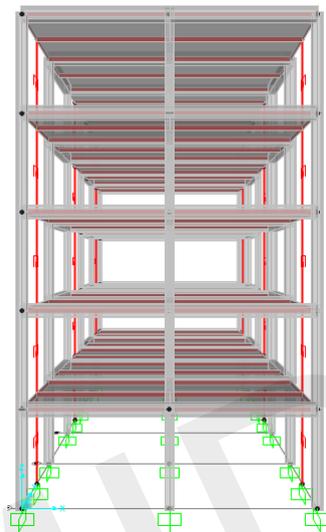
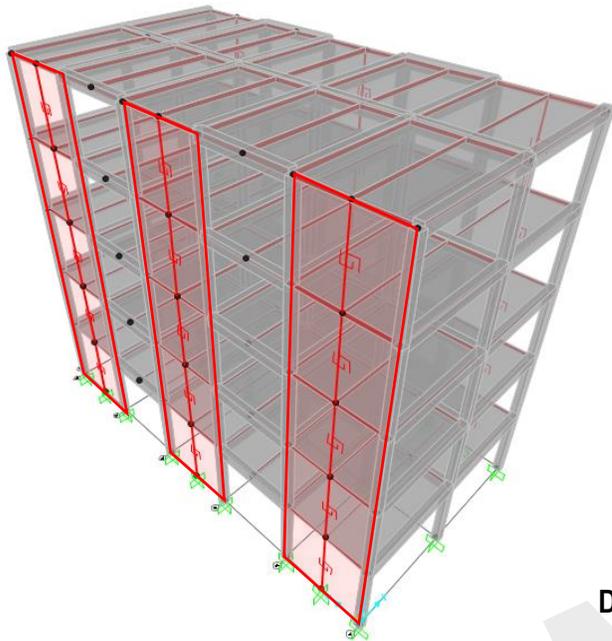
$$FA_e = 1.68e + 1.08$$

# DESEMPEÑO DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA PERUANA CONSIDERADO EL EFECTO DE LA BIDIRECCIONALIDAD Y ÁNGULO DE INCIDENCIA DEL SISMO

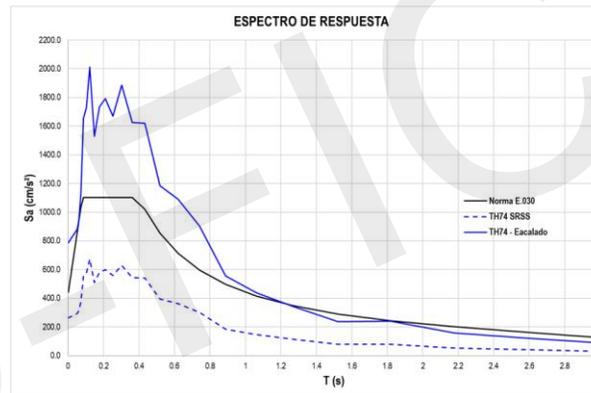
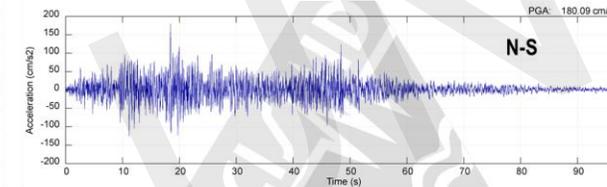
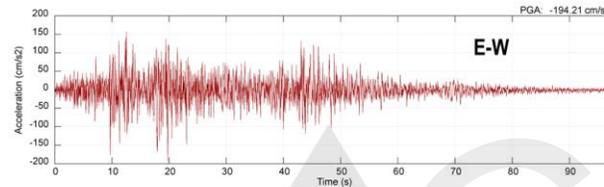
E. Moscoso

(E. Moscoso)

## MODELO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DE ALBAÑILERÍA Y PÓRTICOS DE CA

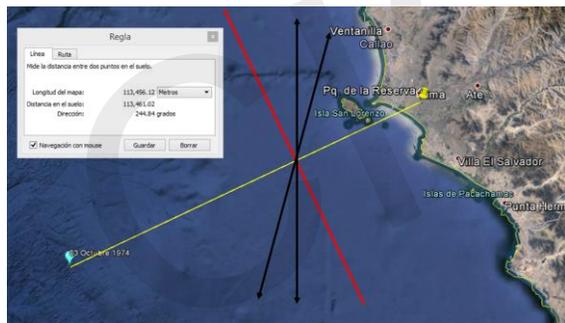


## MODELO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DE ALBAÑILERÍA Y PÓRTICOS DE CA

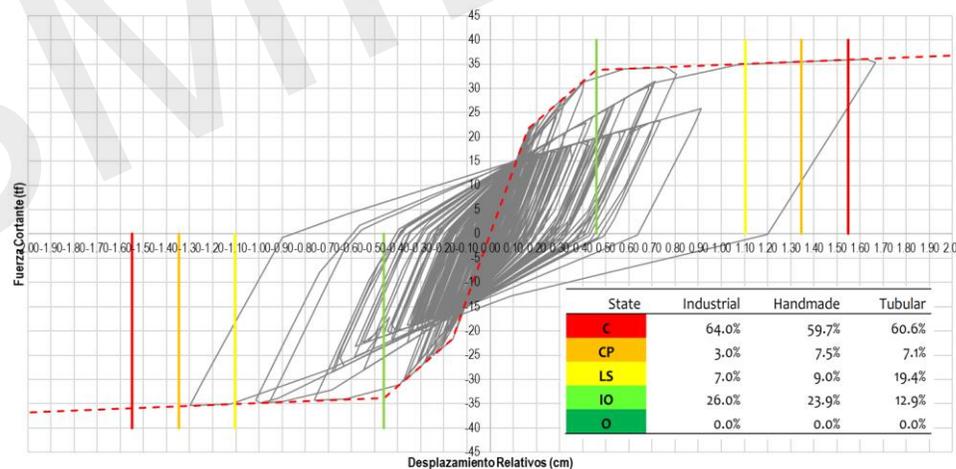


## DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DEL COMPONENTE DE ALBAÑILERÍA Y DEL NUDO DE CONTROL EN DIFERENTES ANGULOS DE INCIDENCIA

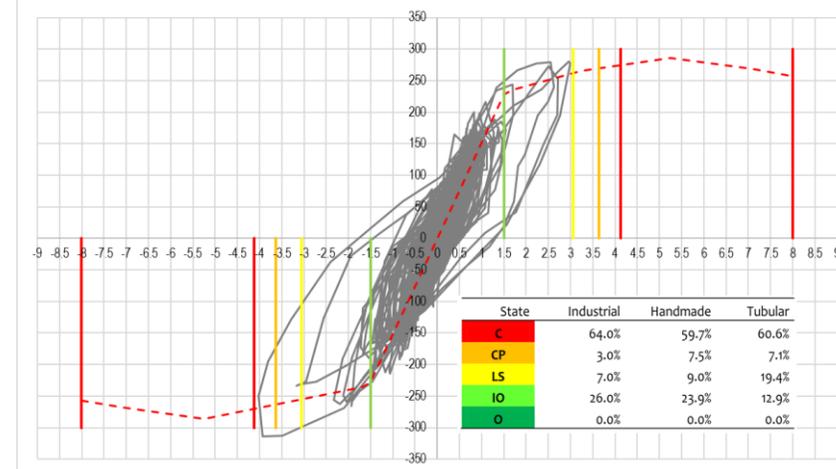
### RESPUESTA DE LA DIRECCIÓN DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA



Cortante vs Desplazamiento Relativo en Muro de 1er Nivel - 75°



CORTANTE EN LA BASE VS DESPLAZAMIENTO ÚLTIMO NIVEL



17th World Conference on Earthquake Engineering, 1  
Sendai, Japan - September 13th to 1.

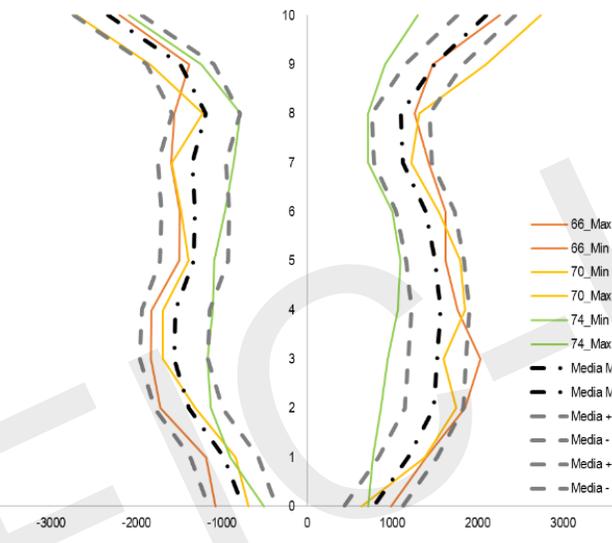


# COMPARATIVE ANALYSIS OF SEISMIC DESIGN FORCES IN DIAPHRAGMS OF PERUVIAN RC BUILDINGS

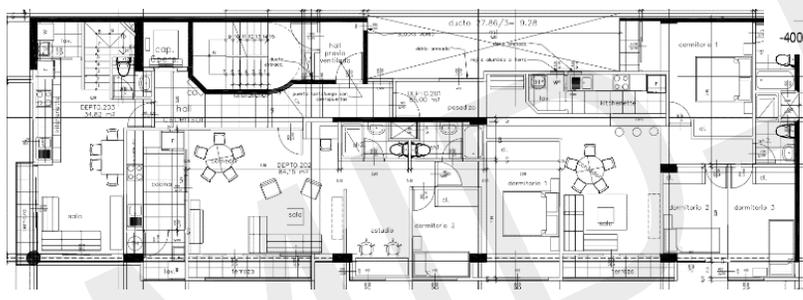
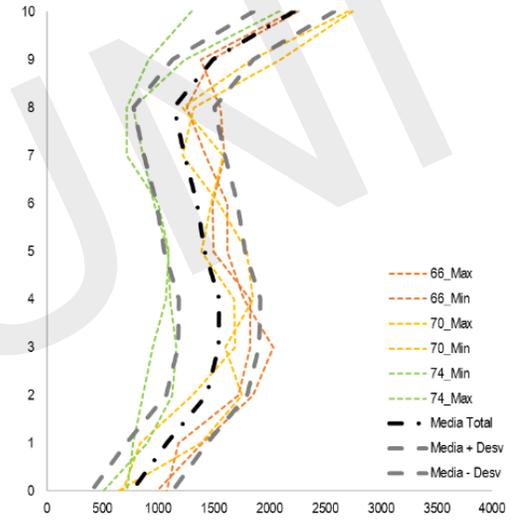
E. Moscoso<sup>(1)</sup>, J. Palacios<sup>(2)</sup>

(1) Researcher, Japan-Peru Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation, emoscosoa@uni.edu.pe  
(2) Research Assistant, Japan-Peru Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation, jpalacios@uni.p

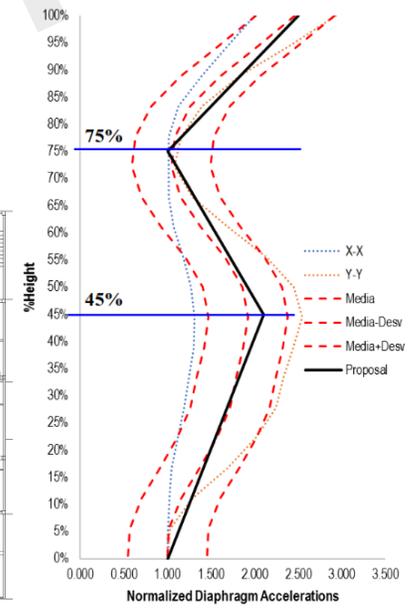
Accelerations in diaphragms of 2<sup>ND</sup> Peruvian Building - Y-Y



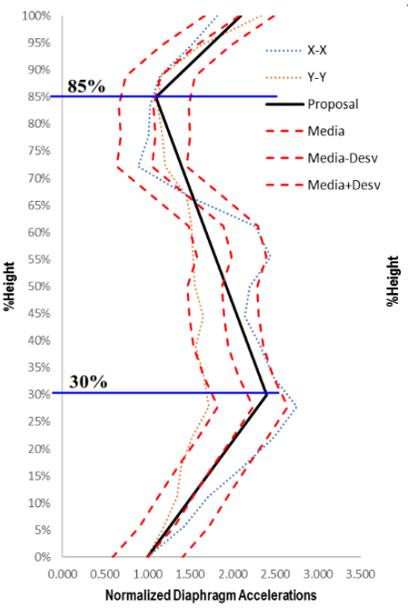
Absolute Accelerations in diaphragms of 2<sup>ND</sup> Peruvian Building - Y-Y



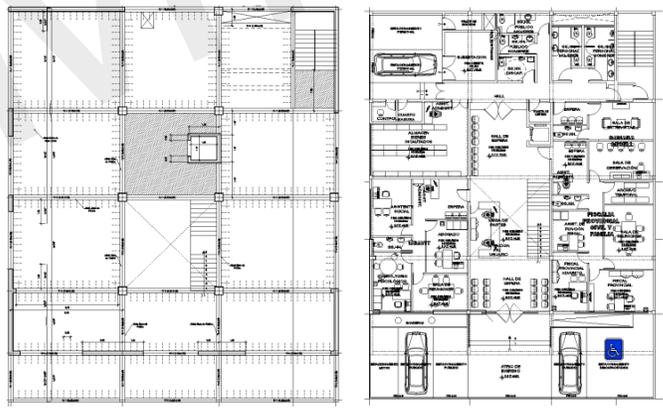
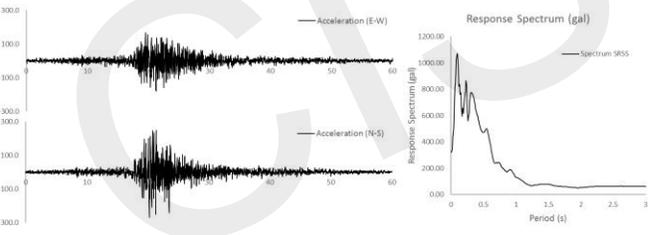
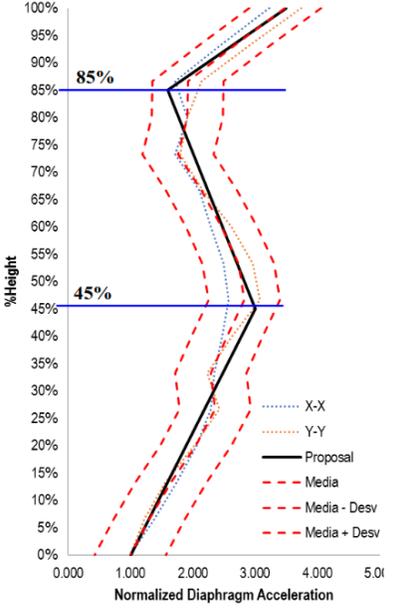
Normalized Diaphragm Accelerations of 3<sup>RD</sup> Peruvian Building



Normalized Diaphragm Accelerations of 4<sup>TH</sup> Peruvian Building



Normalized Diaphragm Accelerations of 5<sup>TH</sup> Peruvian Building



# EVALUATION OF THE SEISMIC PERFORMANCE OF RC DUAL SYSTEM BUILDINGS USING THE PERUVIAN SEISMIC CODE E.030-2018

(J. Gresia, L. Quiroz)

L. Quiroz

2b-0081



The 17th World Conference on Earthquake Engineering  
 17<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE  
 Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020

## EVALUATION OF THE SEISMIC PERFORMANCE OF RC DUAL SYSTEM BUILDINGS USING THE PERUVIAN SEISMIC CODE E.030-2018

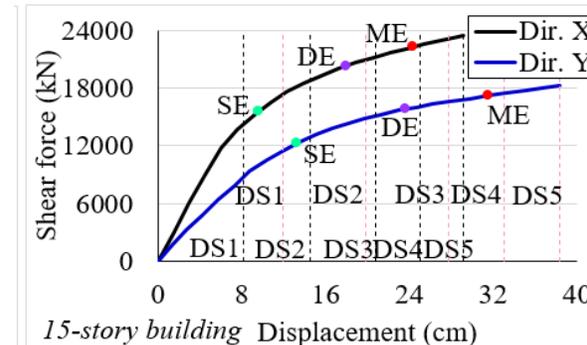
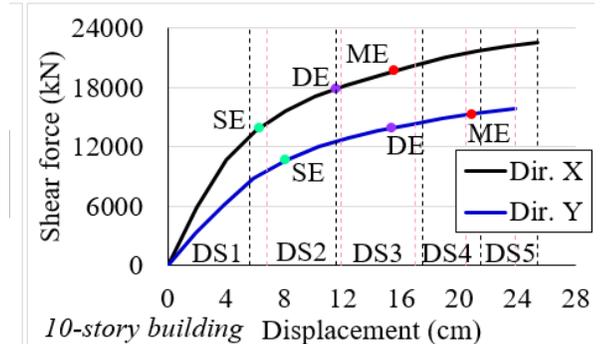
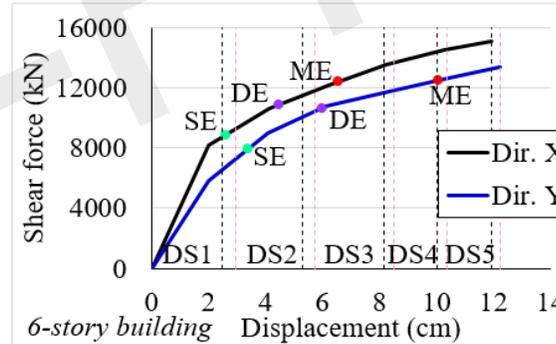
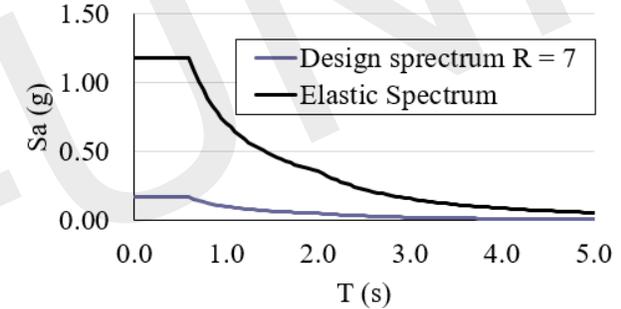
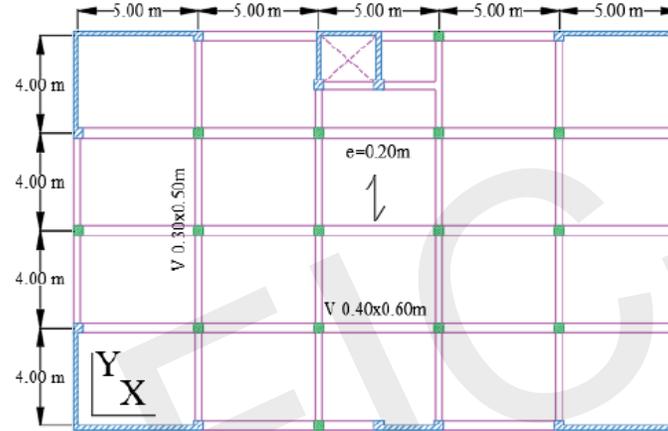
J. Gresia<sup>(1)</sup>, L. Quiroz<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Graduate Student, Faculty of Civil Engineering, National University of Engineering, Lima-Peru, jgresiam@uni.pe  
<sup>(2)</sup> Associate Researcher, Department of Earthquake Engineering, Japan-Peru Earthquake Engineering and Disaster Mitigation Center, Faculty of Civil Engineering, National University of Engineering, Lima-Peru, lquiroz@uni.edu.pe

### Abstract

In recent years, the real estate demand of medium and high-rise buildings in Peru have been increasing in different regions of the country, especially in the city of Lima. These buildings, mostly of reinforced concrete and dual system, at past seismic events have presented different behaviors and failures than those assumed in the design stage. This is due to the methodology that has been applying does not contemplate the performance of the buildings in a nonlinear range. Hence, it is necessary to analyze the buildings in a nonlinear range in order to determine their structural performance. Furthermore, with a determined seismic demand, obtain their damage state and quantify the damage of the structural elements. In this paper, three dual system buildings of reinforced concrete of 6, 10 and 15 stories with similar characteristics and geometric configurations are evaluated in a nonlinear range in order to obtain their structural performances. First, through the methodology of "Resistance Design" it is obtained the design of the structural elements of the buildings. Then, the performance points are calculated through a nonlinear analysis following the methodology of "Performance Based Design". The capacity of the buildings is calculated applying a static nonlinear analysis (Pushover Analysis). The elastic demand spectrum is obtained according to the requirements of the peruvian seismic code E.030 and the inelastic demand spectrum is obtained according to ATC-40. Once the capacity and demand spectrum are defined, the performance points are obtained based on the methodology proposed by ATC-40. The structural performances of the buildings associated to a damage state are obtained according to the performance objectives proposed by Vision 2000. As a result, for a design earthquake demand, the buildings present a damage state of life safety (LS), which represents an adequate design and performance of the buildings in accordance with the requirements indicated in the peruvian seismic code E.030.

**Keywords:** structural performance, nonlinear analysis, reinforced concrete, dual system



# INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON SÓTANOS (En Proceso)

(J. Pulch, L. Quiroz)

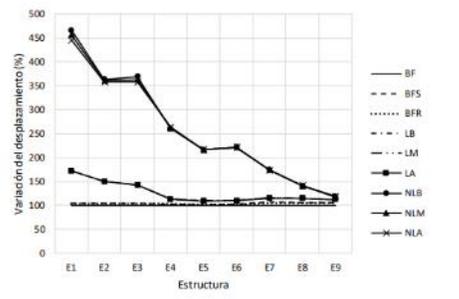
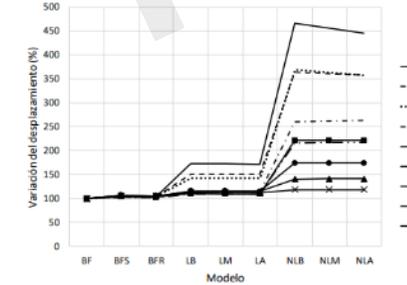
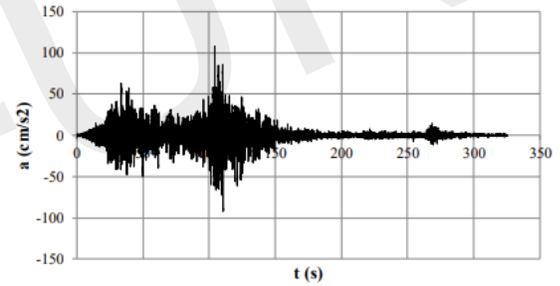
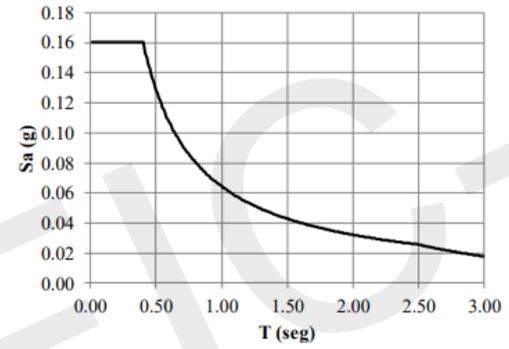
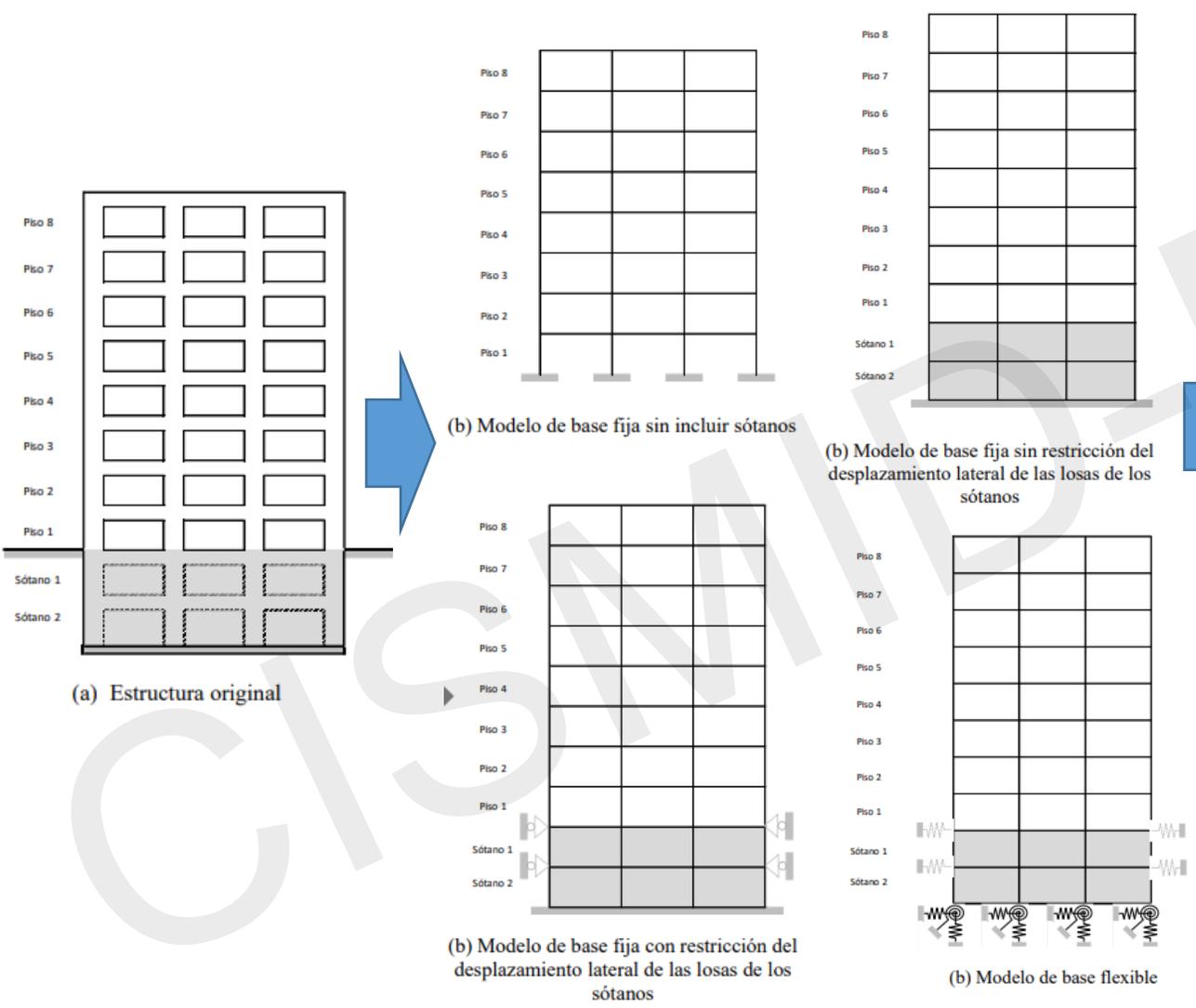


Figura 6.59 Variación de desplazamientos entre modelos dirección X

Figura 6.60 Variación de desplazamientos entre estructuras dirección X

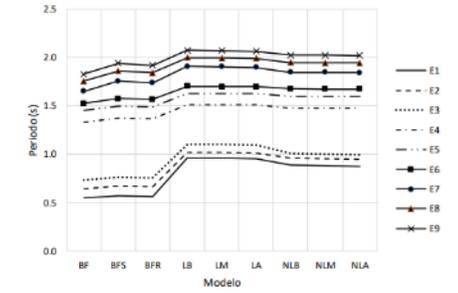
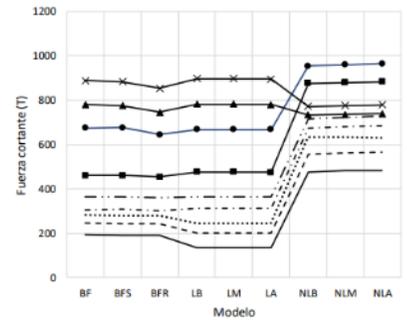


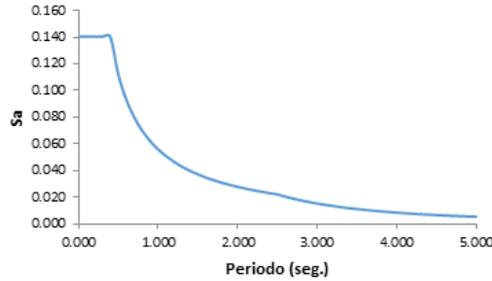
Figura 6.65 Fuerza cortante según modelo dirección X

Figura 6.63 Periodo fundamental según modelo

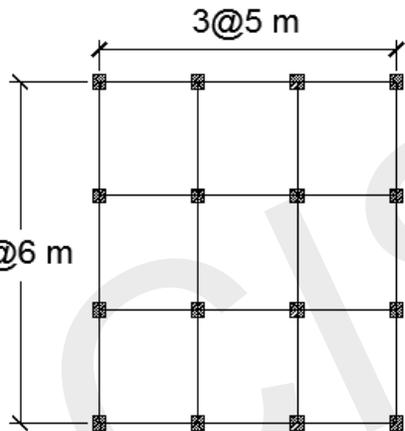
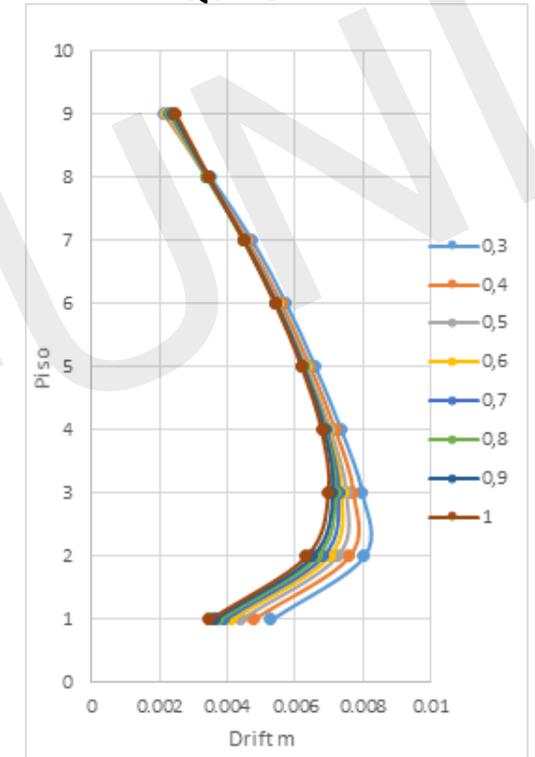
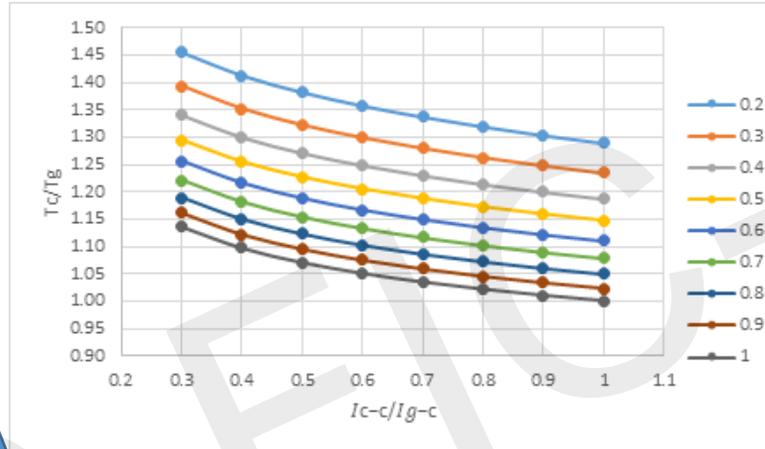
# INFLUENCIA DEL AGRIETAMIENTO EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO (En Proceso)

(J. Gallegos, L. Quiroz)

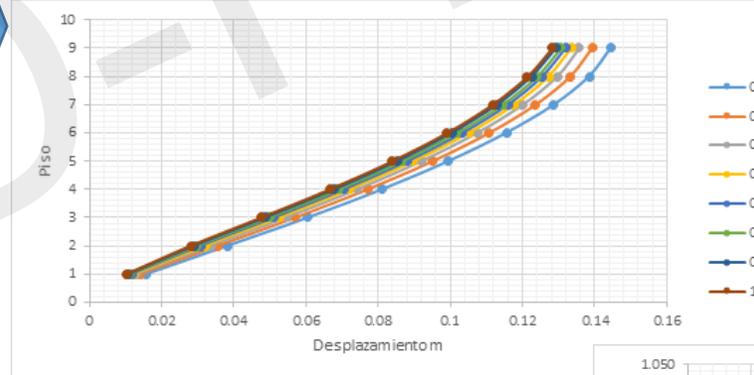
L. Quiroz



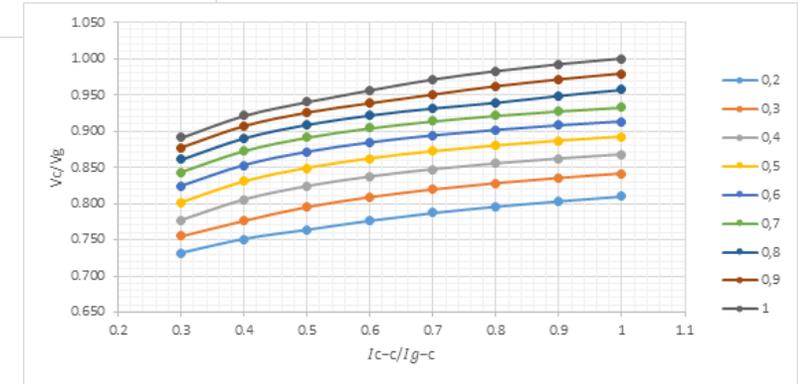
Componente	Rigidez de flexión
Vigas no pre-esforzadas	$0.5EcIg$
Columnas con compresión debidas a las cargas de diseño de gravedad $0.5f'cAg$	$0.7EcIg$
Columnas con compresión debidas a las cargas de diseño de gravedad $0.3f'cAg$	$0.5EcIg$



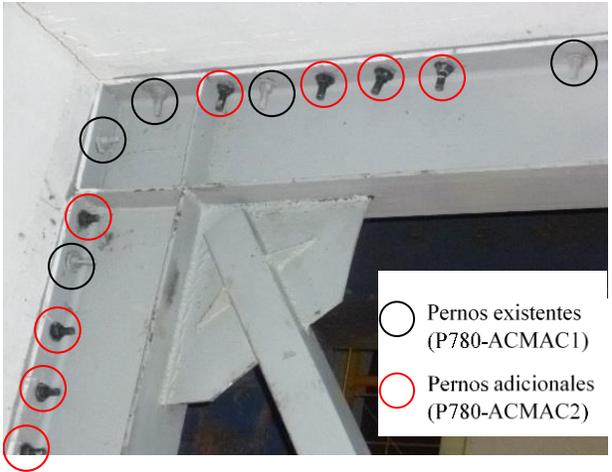
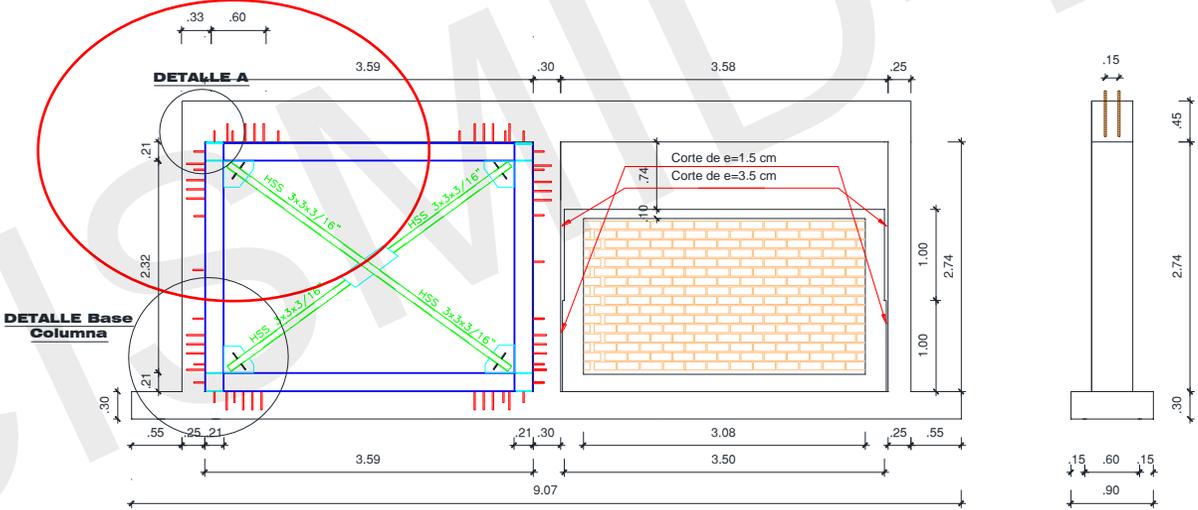
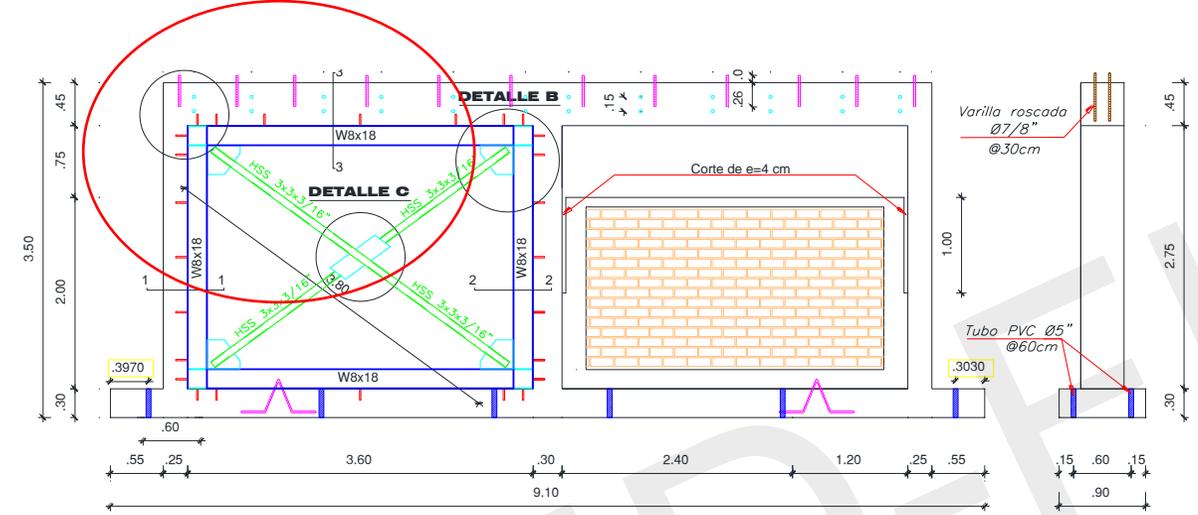
Elemento	Rango de $I_c$
Vigas rectangulares	$0.30 - 0.50 I_g$
Columnas	
$P > 0.5f'cAg$	$0.70 - 0.90 I_g$
$P = 0.2f'cAg$	$0.50 - 0.70 I_g$
$P = -0.05f'cAg$	$0.30 - 0.50 I_g$



Códigos y/o estudios	Factor de reducción de la inercia bruta	
	Vigas	Columnas
Código de diseño ACI318-05	0.35	0.70
Código de diseño de Nueva Zelanda	0.35	0.40 - 0.70
Fema 356	0.5	0.5
Paulay y Priestley (1992)	0.30 - 0.50	0.30 - 0.50



# Reforzamiento colegios: Espécimen P780-ACMAC 1&2





**PRONIED**  
PROGRAMA NACIONAL  
DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA

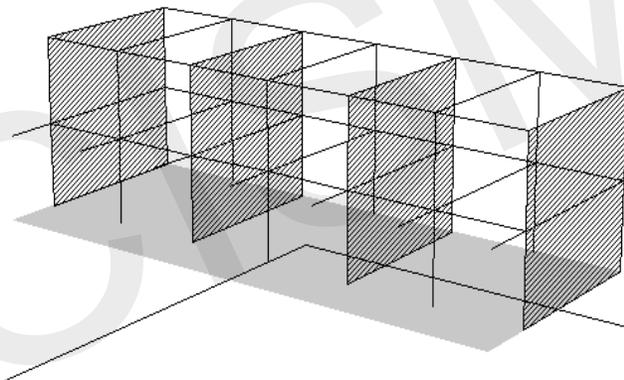
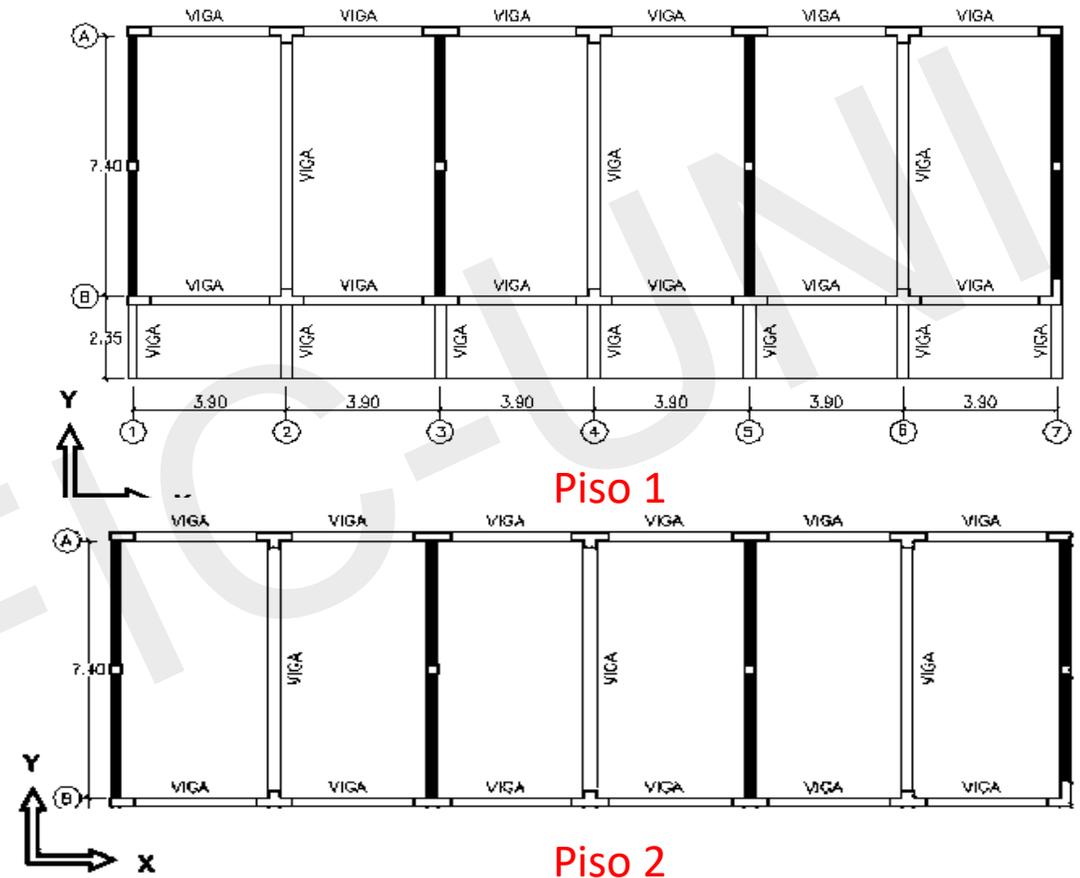


**PERÚ** Ministerio de Educación

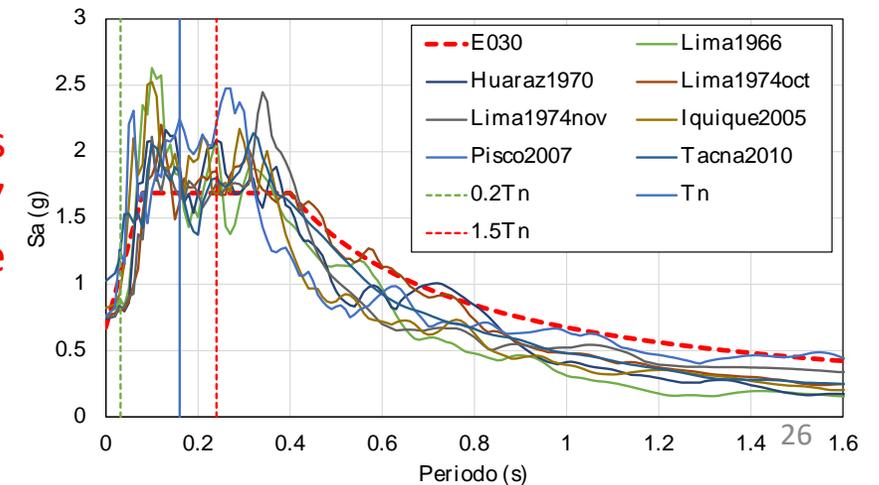
**EL PERÚ PRIMERO**

Inversión de S/ 1 007 256,57, mejoramos y reforzamos la estructura de uno de los pabellones de la IE N.º 7219 Aristóteles de San Juan de Miraflores. (PRONIED)

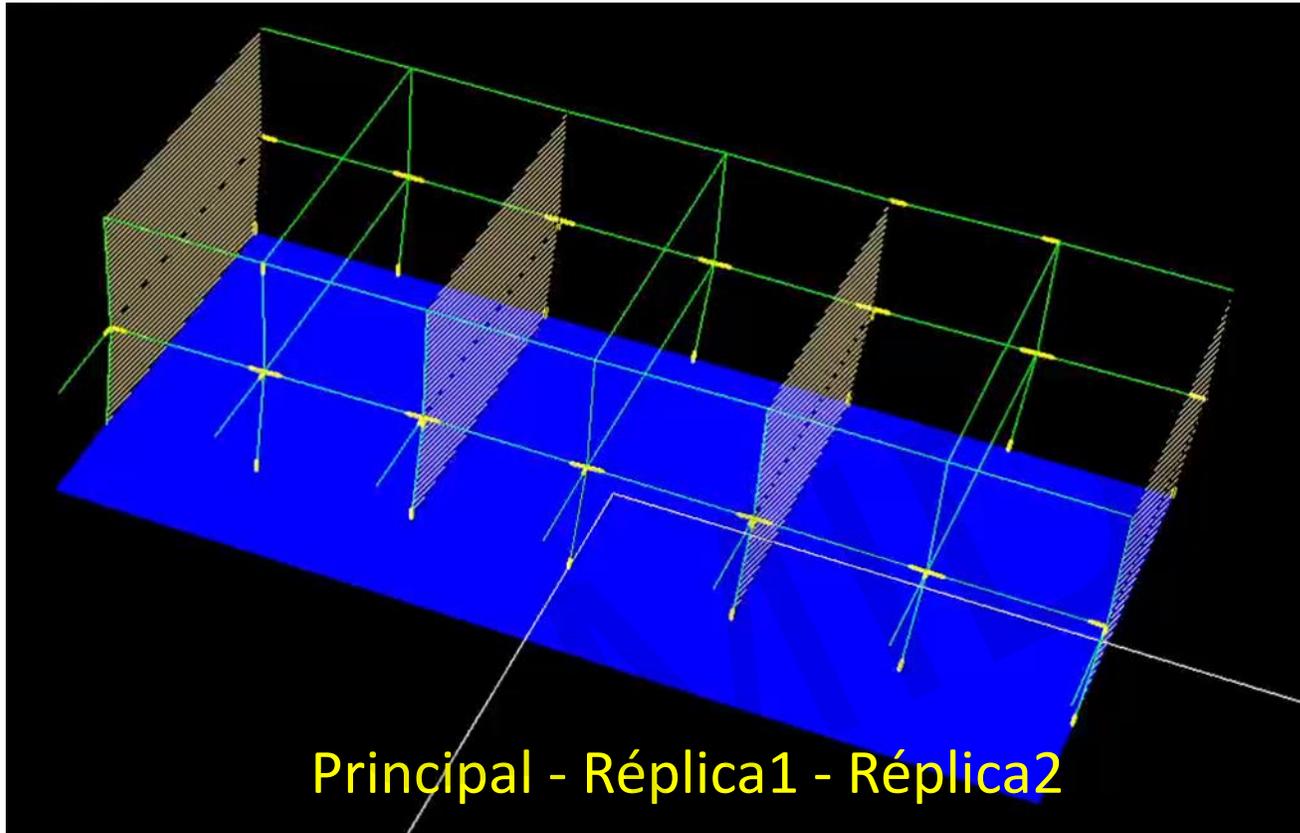
# Análisis Sísmico 780 POST



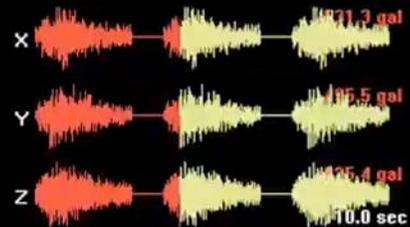
Estructura sometida a un análisis tiempo historial no lineal con 7 juegos de registros amplificados de acuerdo a la E030-2018.



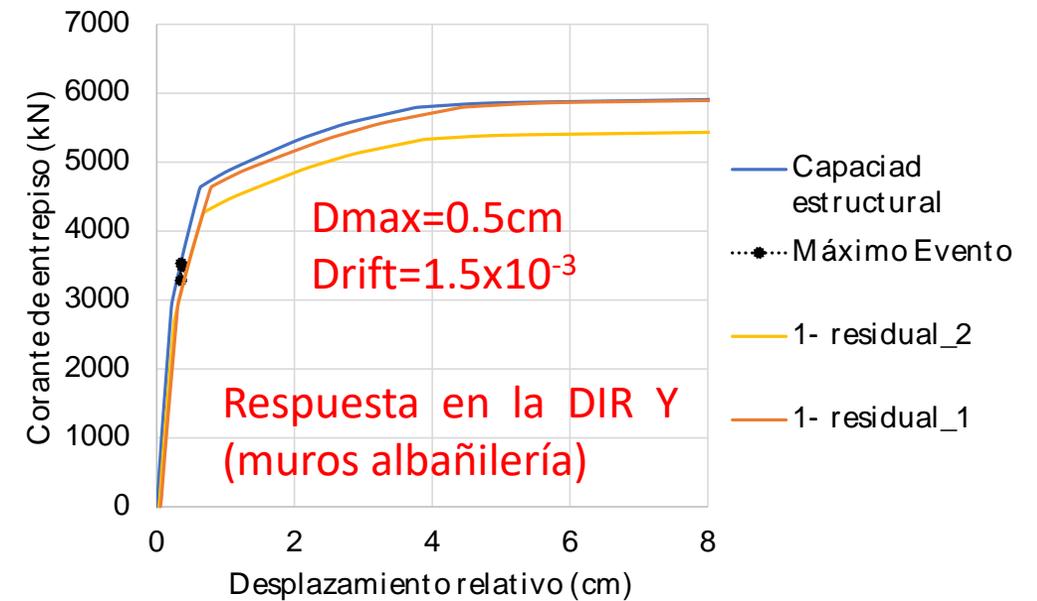
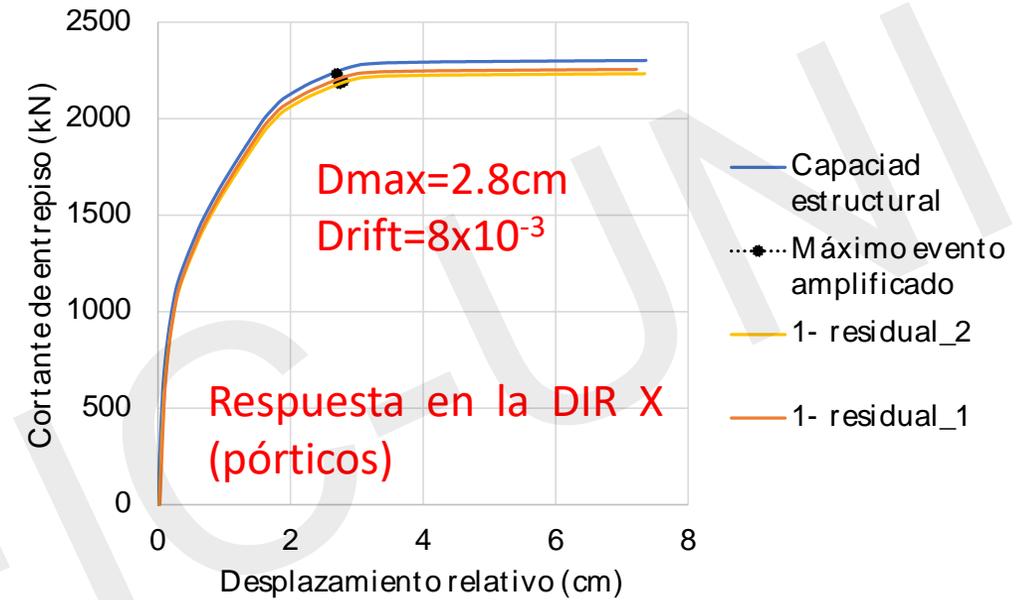
# Análisis Sísmico



3 direcciones  
ortogonales en  
simultáneo:  
NS-EW-UD

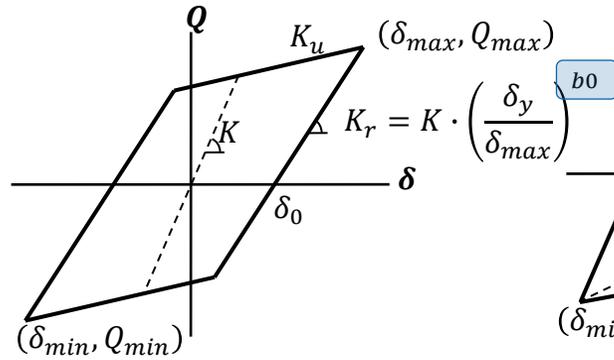


Programa STERA3D  
Saito 2020

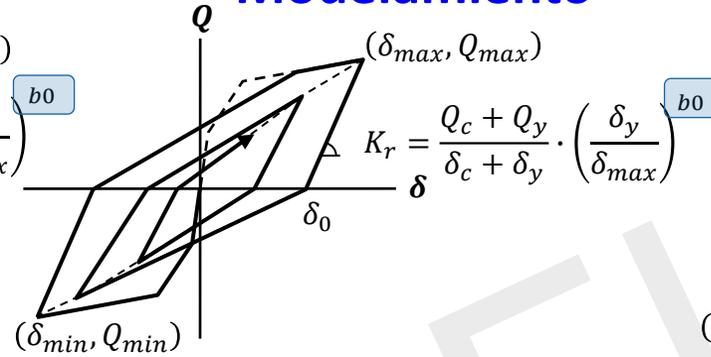


# Obtención de la curva histerética

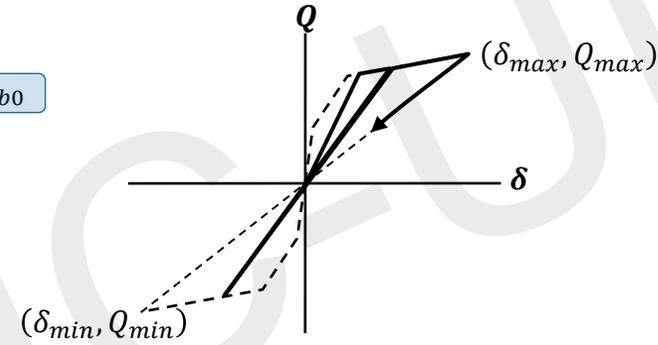
## Modelamiento



Bilinear



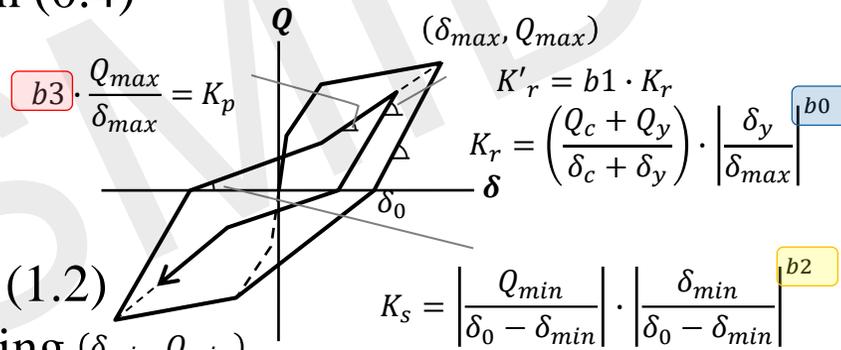
Takeda



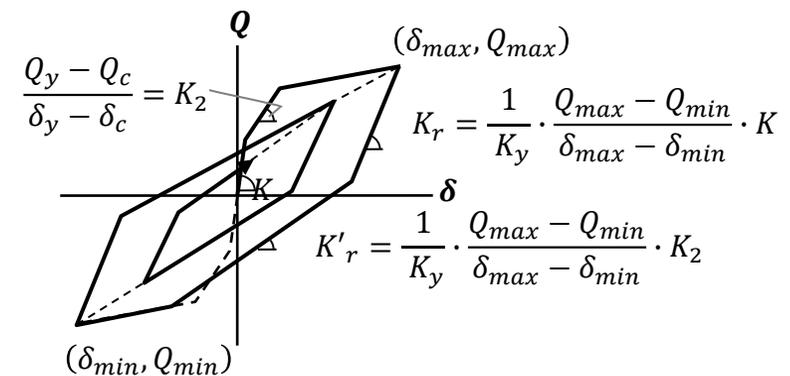
Orientado al origen

- $b_0$ : Unloading stiffness degradation (0.4)

- $b_2$  &  $b_3$ : Softening (1.2) & Hardening (1.1) of stiffness (Takeda-slip)



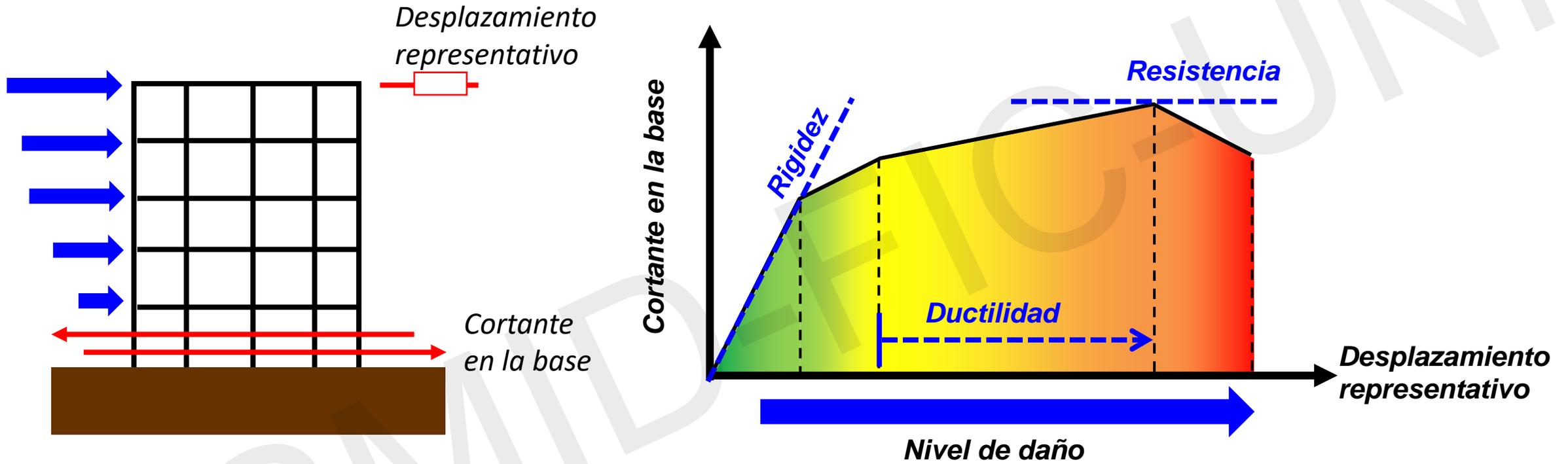
Takeda-slip



D-tri

# Metodologías para la estimación del nivel de daño

# Comportamiento estructural frente a sismos



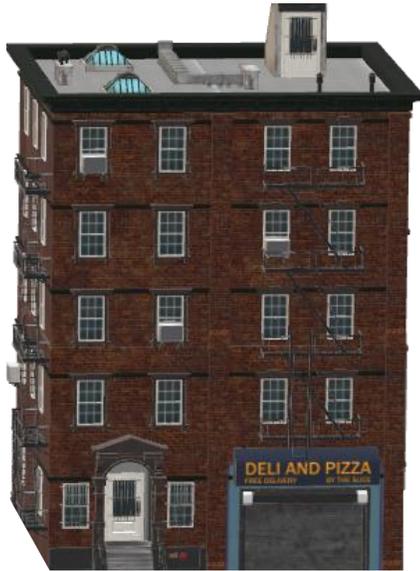
La curva de capacidad representa el comportamiento global de la estructura frente a una carga lateral incremental. Usualmente el desplazamiento representativo es el del techo.

Se representan los parámetros más importantes que proveen sismorresistencia a la estructura.

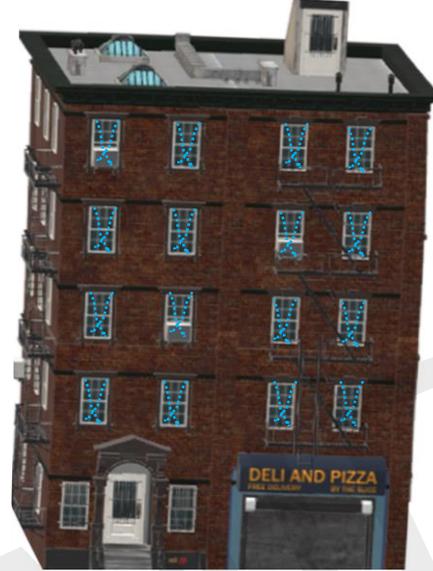
La rigidez y resistencia se pueden determinar mediante análisis elásticos, sin embargo, la ductilidad (capacidad de deformación) se determina mediante análisis inelásticos.

# Estados de daño

Operacional



Ocupación Inmediata



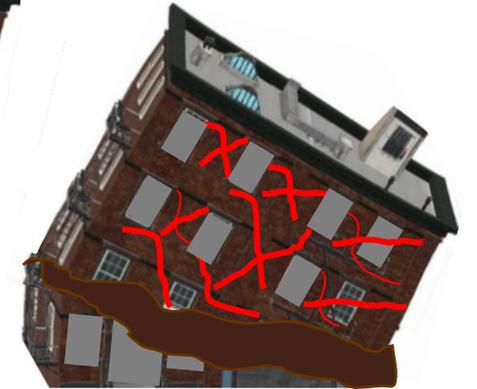
Seguridad de la vida



Prevención del colapso

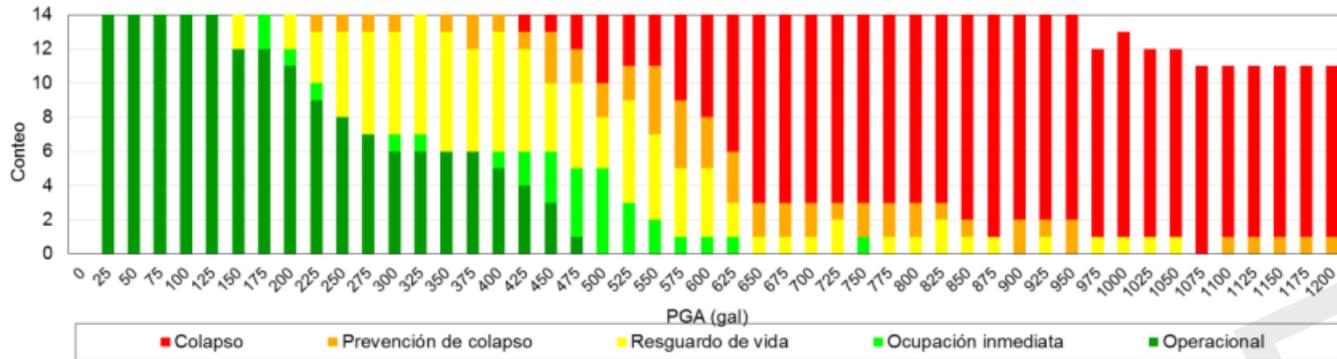


Colapso



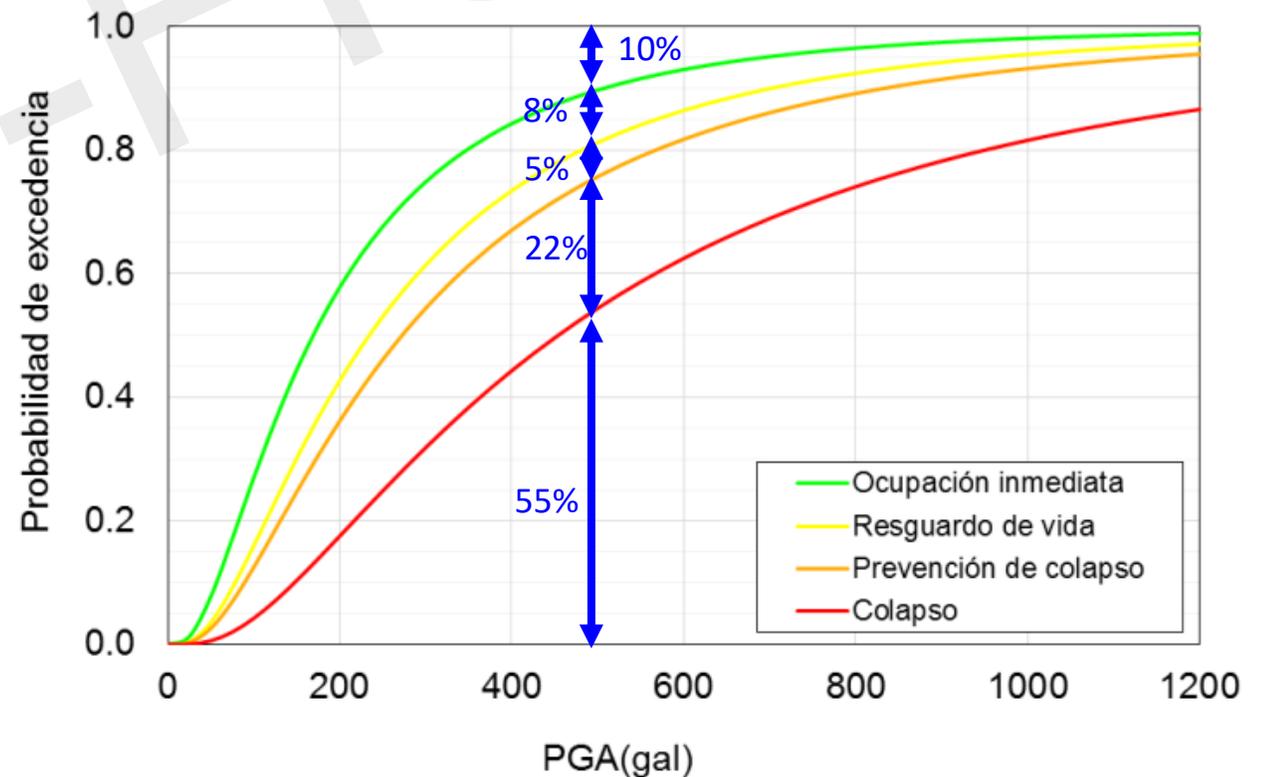
El nivel de daño por lo general se asocia a la deformación lateral que ha sufrido la estructura. Sin embargo, otros parámetros de respuesta como la velocidad intervienen para medir el daño en contenido.

# Metodología común: Curva de fragilidad

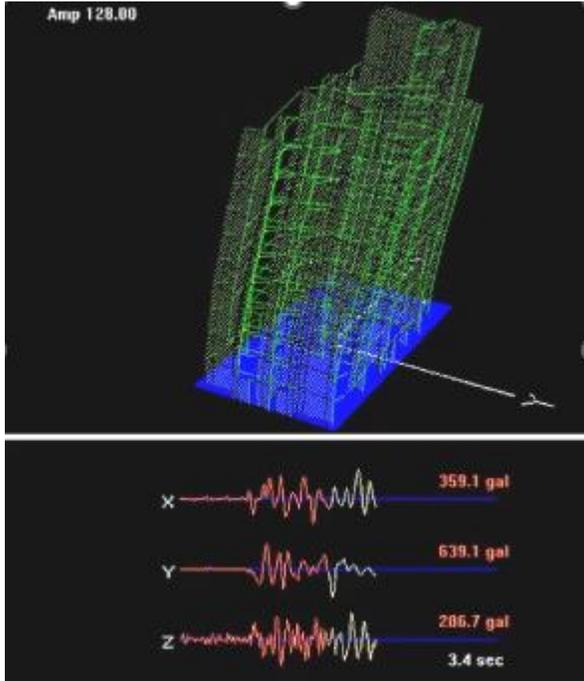


Un grupo de edificaciones con una misma tipología estructural con ciertas variaciones bajo diferentes demandas sísmicas con ciertas variaciones.

Probabilidad de excedencia de un estado de daño en términos de la demanda sísmica (máxima aceleración en el suelo)

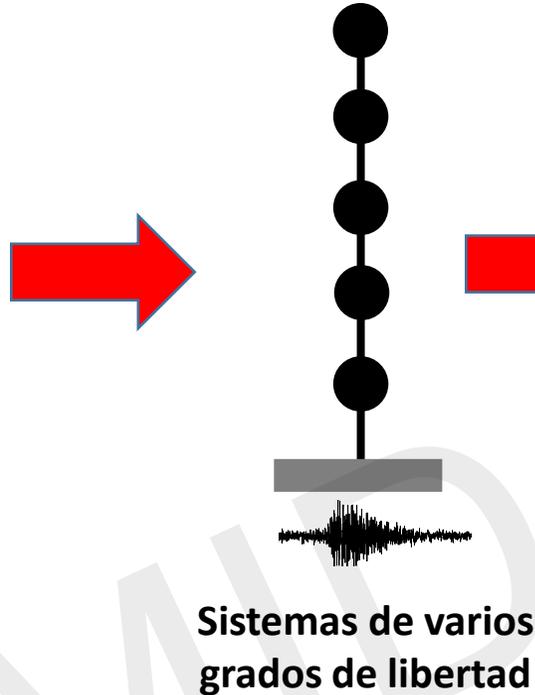


# Modelamiento matemático



Modelo tridimensional

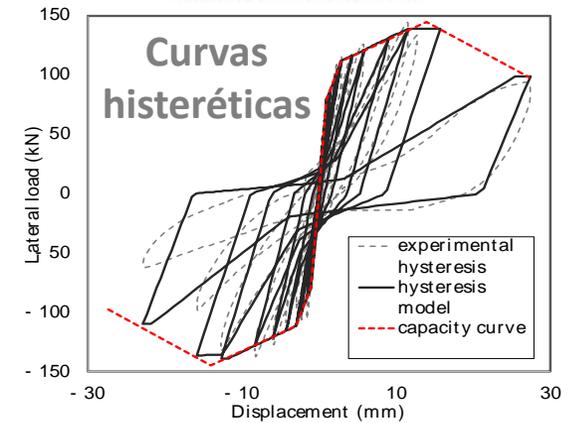
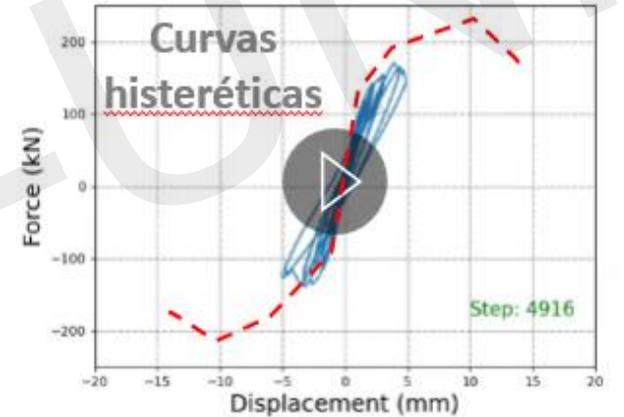
Se calculan factores  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ , a partir de análisis no lineal tiempo-historia de cientos de miles de tipologías estructurales, usando parámetros histeréticos calibrados con resultados experimentales para 14 sistemas estructurales



$$\left( \frac{\Delta \delta_j}{h_j} \right) = \frac{\beta_1 \beta_2 \cdot \beta_3 \beta_4}{H} S_d$$

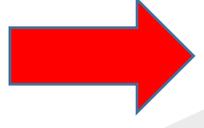
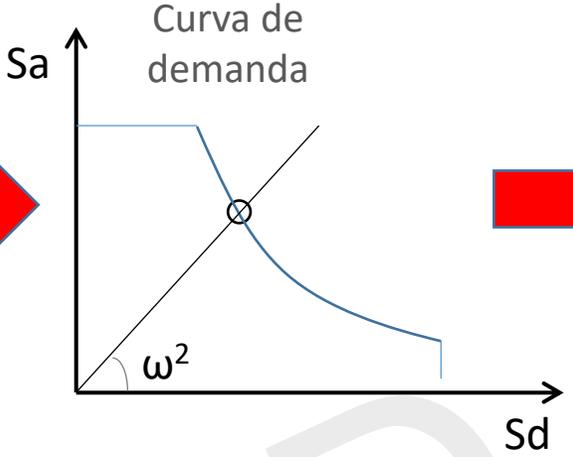
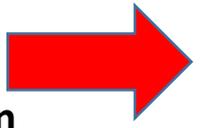
Expresión para el cálculo de la respuesta sísmica en base a modelos equivalentes

## Resultados experimentales

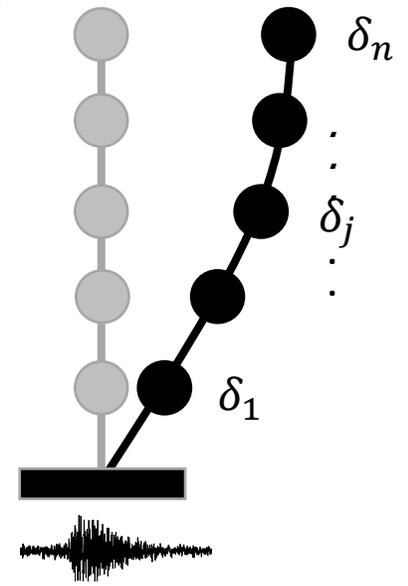
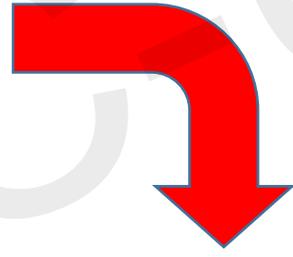


# Procedimiento SRSND (Simulador de la Respuesta Sísmica y Nivel de Daño)

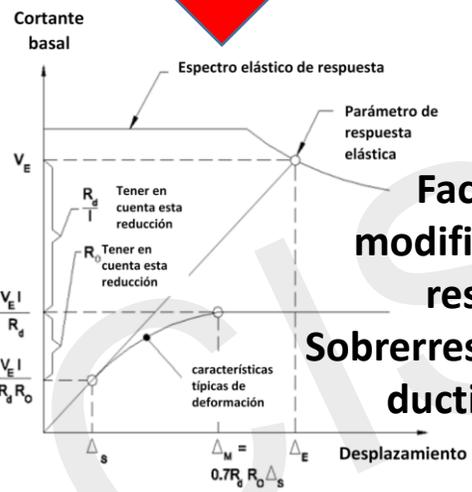
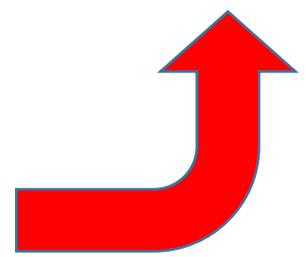
- ✓ Sistema estructural
- ✓ Número de pisos
- ✓ Estado de conversación
- ✓ Demanda sísmica



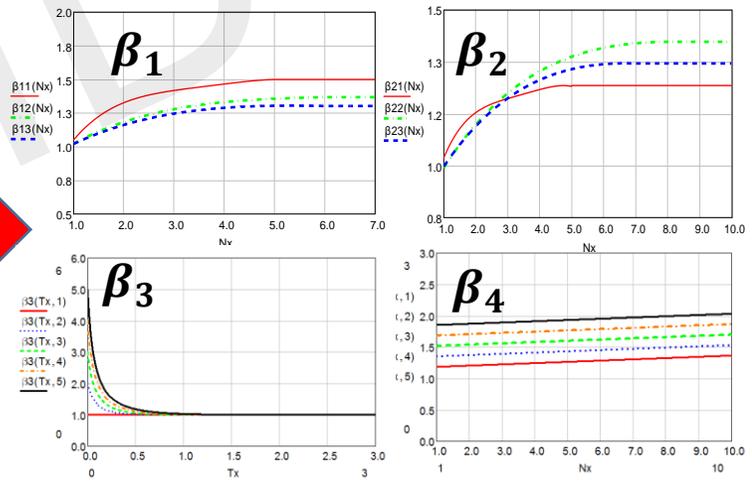
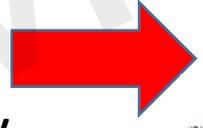
$S_a$   
 $S_d$



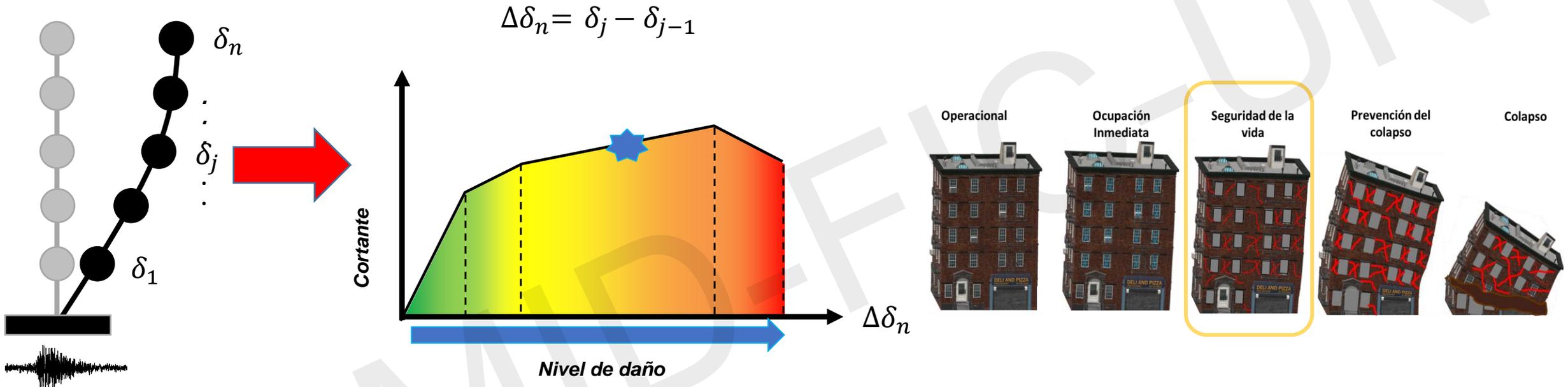
$$\left(\frac{\Delta\delta_j}{h_j}\right) = \frac{\beta_1\beta_2\cdot\beta_3\beta_4}{H} S_d$$



**Factores de modificación de la respuesta:  
Sobrerresistencia ( $R_o$ ) y ductilidad ( $R_u$ )**



# ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO (VULNERABILIDAD)

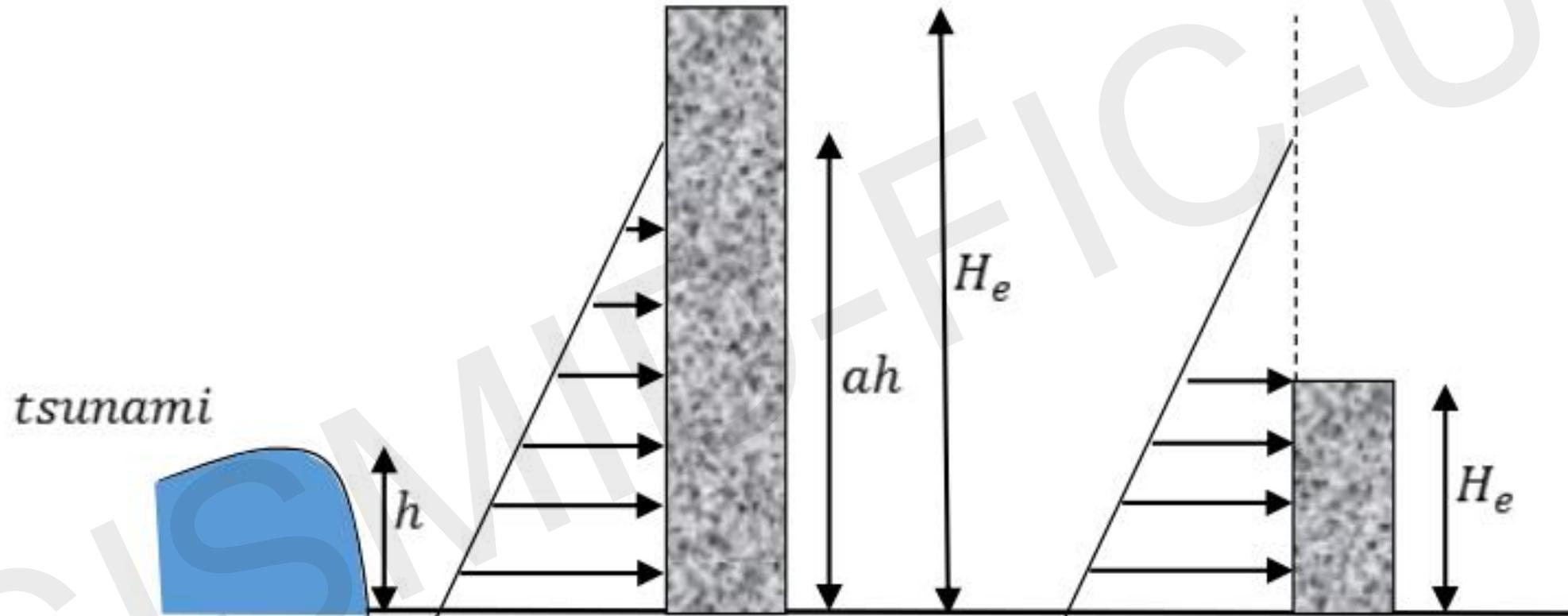


## ¿Cuánto se perdió?

- ✓ Estructura
- ✓ Acabados
- ✓ Contenido
- ✓ Paralización de actividades
- ✓ Otros

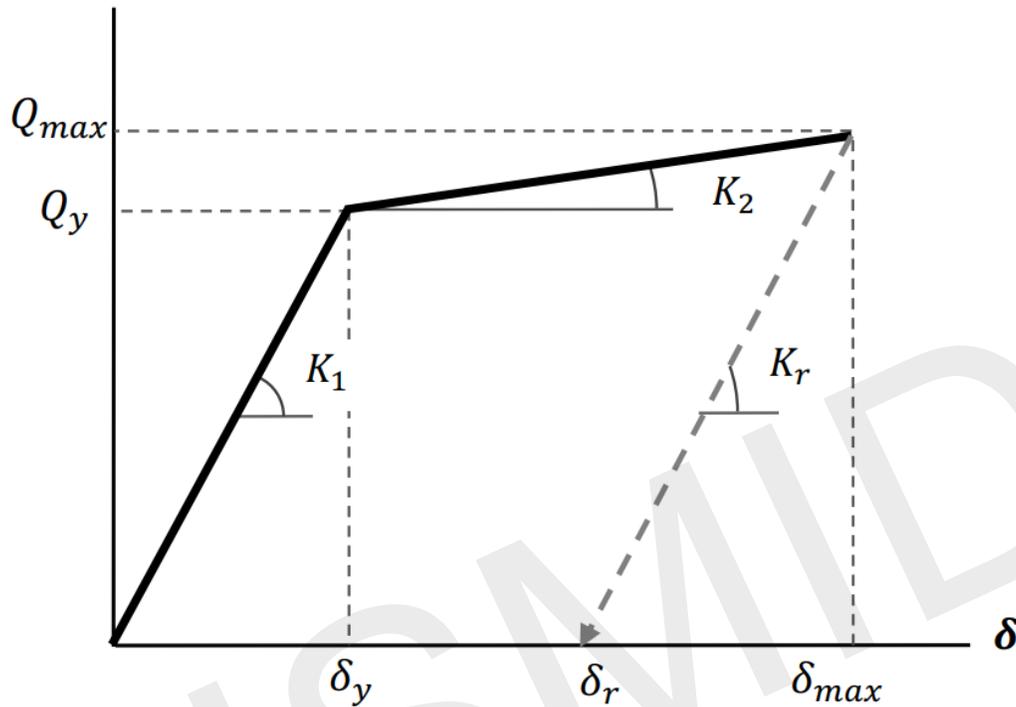
# Evaluación de la vulnerabilidad por tsunami

Demanda

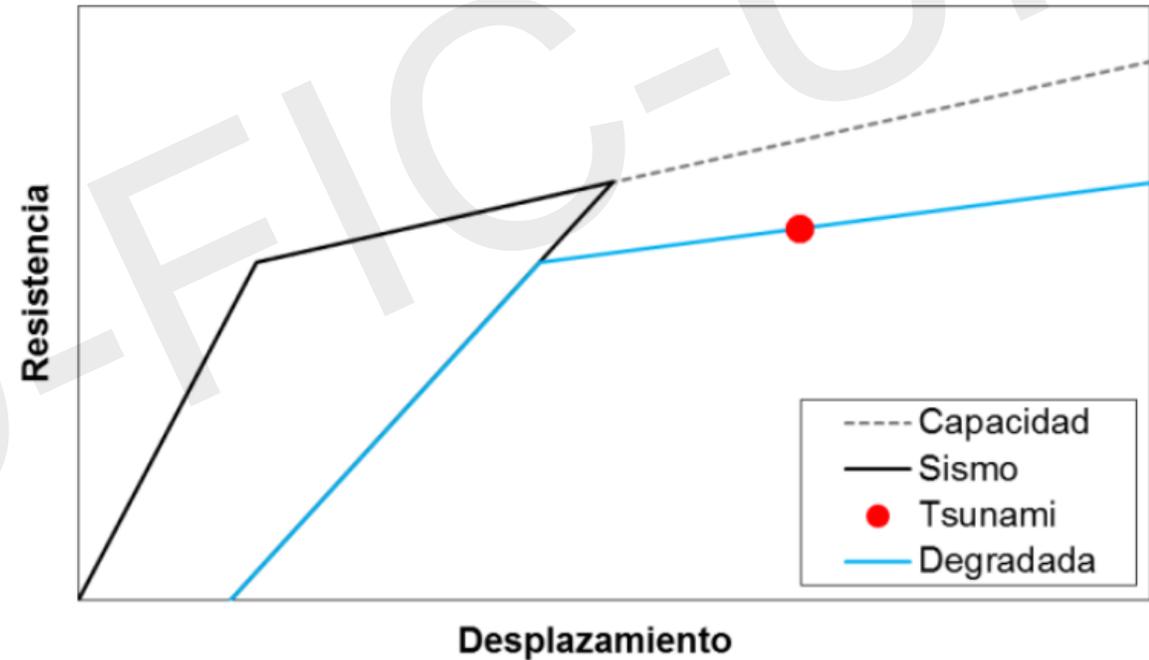


Demanda de cargas por tsunami en términos de altura de inundación (Prof. Nakano)

# Evaluación de la vulnerabilidad por tsunami



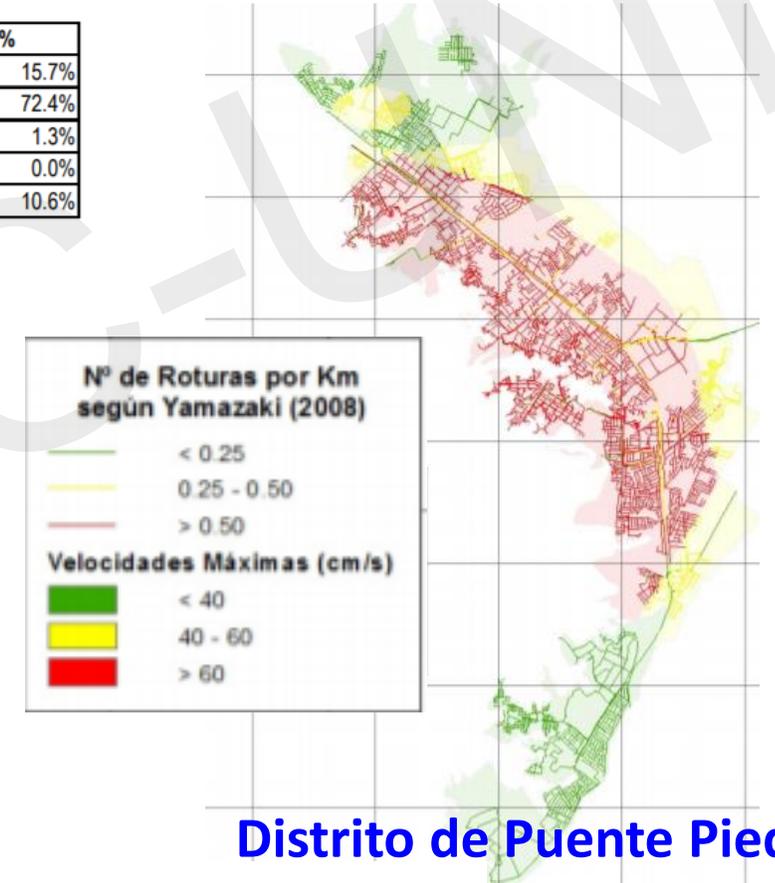
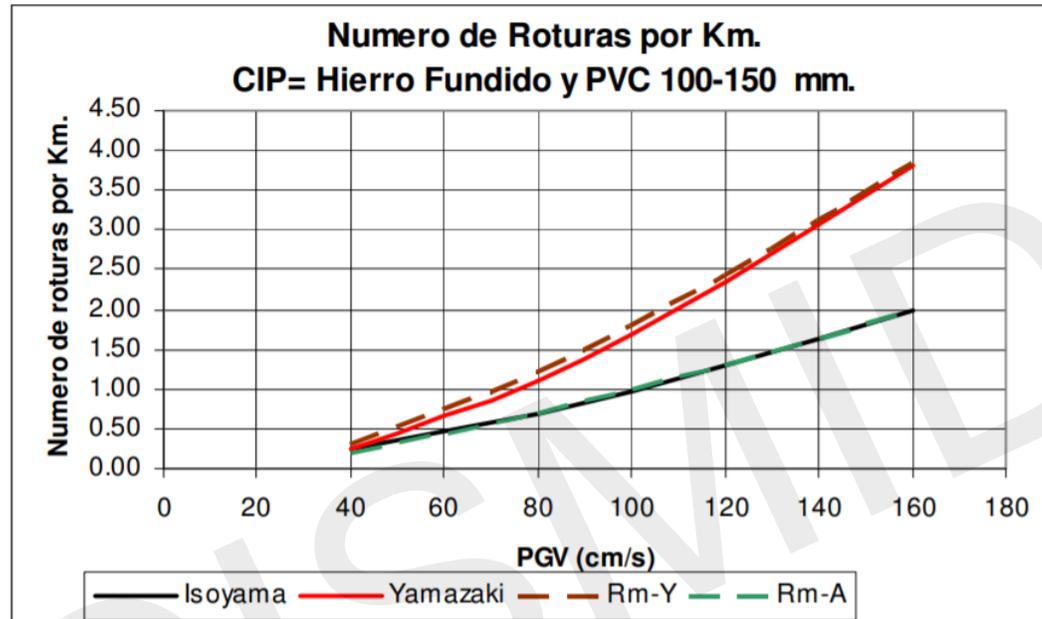
Capacidad inicial de la estructura



Capacidad residual de la estructura (capacidad degradada)

# Rotura de tuberías del sistema de agua potable y alcantarillado

Material	Tipos de Diámetros	Diámetro (mm)	Diámetro+Frecuente	Long. Total (m)	Long.Total (Km)	%
Asbesto-Cemento	10	50 - 400	100	78672.97	78.67	15.7%
PVC	15	25 - 500	110	361997.05	362.00	72.4%
Concreto Pretensado	1	600	600	6273.12	6.27	1.3%
Fierro Fundido	1	300.0000	300	68.50	0.07	0.0%
Hierro Ductil	16	80 - 1000	500	53176.84	53.18	10.6%
<b>Longitud Total =</b>				<b>500188.48</b>	<b>500.19</b>	



Tubería	Longitud (Km)	Yamazaki	Yamazaki	Isoyama	Isoyama
		PromRotuxKm	NumRoturasTotales	PromRotuxKm	NumRoturasTotales
Asbesto-Cemento	78.67	0.416	33	0.441	35
PVC	362.00	0.510	184	0.514	186
Concreto Pretensado	6.27	0.236	1	0.173	1
Fierro Fundido	0.07	0.407	0	0.259	0
Hierro Ductil	53.18	0.238	13	0.174	9

**Reducción de la vulnerabilidad**

# ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

*Riesgo* ← función (*Peligro*, *Exposición*, *Vulnerabilidad*)

## **Peligro:**

Sismo, Tsunami,  
Inundación, huracanes, etc.

## **Vulnerabilidad:**

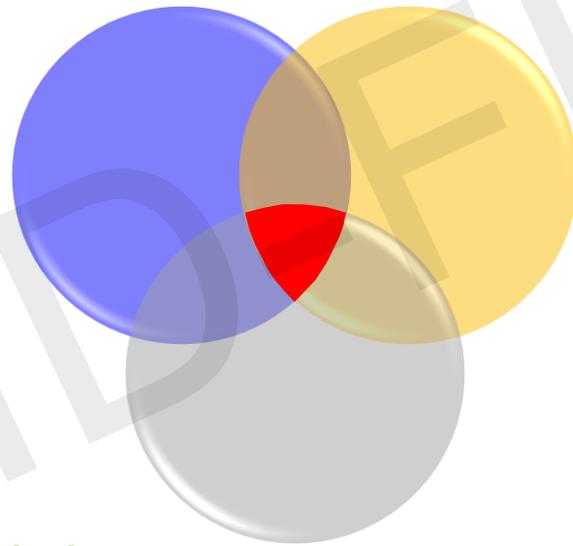
Susceptibilidad a  
peligros.

## **Exposición:**

Personas, pertenencias.

## **Riesgo:**

Grado de pérdida, destrucción  
o daño esperado debido a la  
ocurrencia de un sismo  
especificado.



# ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

*Riesgo* ← función (*Peligro*, *Exposición*, *Vulnerabilidad*)

## **Peligro:**

Sismo, Tsunami,  
Inundación, huracanes, etc.

## **Exposición:**

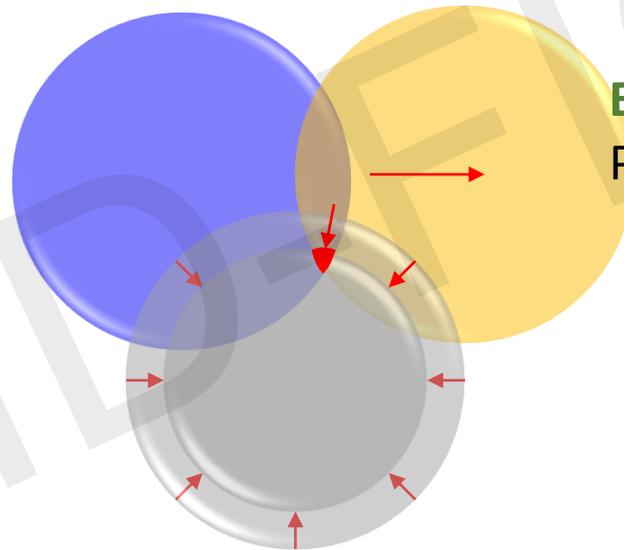
Personas, pertenencias.

## **Vulnerabilidad:**

Susceptibilidad a  
peligros.

## **Riesgo:**

Grado de pérdida, destrucción  
o daño esperado debido a la  
ocurrencia de un sismo  
especificado.



# Reforzamiento en una muestra de viviendas reforzadas

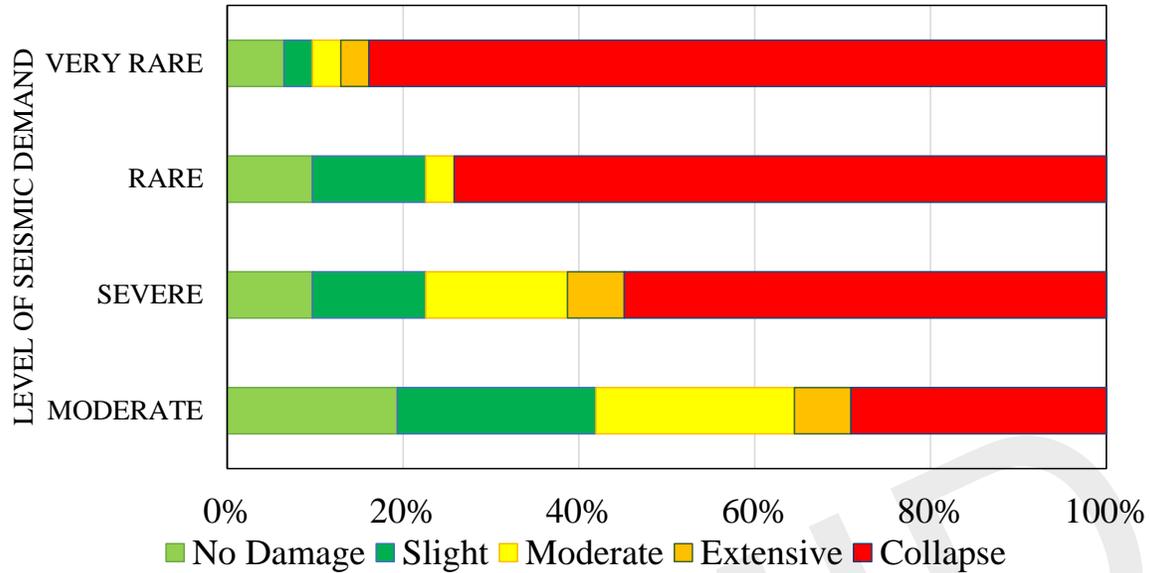
	Estructura en estudio	Criterio de reforzamiento		
		a)	b)	c)
1	1ML1	1ML1 R (1)	1ML1 R (2)	-
2	1ML2	1ML2 R (1)	1ML2 R (2)	-
3	2M2L1	2M2L1 R (1.1)	2M2L1 R (2.1)	2M2L1 R (2.2)
4	2ML1.L2	2ML1.L2 R (1.1)	2ML1.L2 R (2.1)	2ML1.L2 R (2.2)
5	2M2L2	2M2L2 R (1.1)	2M2L2 R (2.1)	2M2L2 R (2.2)
6	3M2L1.L2	3M2L1.L2 R (2.2.1)	3M2L1.L2 R (2.2.2)	-
7	3ML1.2L2	3ML1.2L2 R (2.2.1)	3ML1.2L2 R (2.2.2)	-
8	3M3L2	3M3L2 R (2.2.1)	3M3L2 R (2.2.2)	-
9	4M2L1.2L2	4M2L1.2L2 R (2.2.2.1)	4M2L1.2L2 R (2.2.2.2)	-
10	4ML1.3L2	4ML1.3L2 R (2.2.2.1)	4ML1.3L2 R (2.2.2.2)	-
11	4M4L2	4M4L2 R (2.2.2.1)	4M4L2 R (2.2.2.2)	-
12	5M2L1.3L2	5M2L1.3L2 R (2.2.2.1.1)	5M2L1.3L2 R (2.2.2.2.2)	-
13	5ML1.4L2	5ML1.4L2 R (2.2.2.1.1)	5ML1.4L2 R (2.2.2.2.2)	-
14	5M5L2	5M5L2 R (2.2.2.1.1)	5M5L2 R (2.2.2.2.2)	-

Nota:

Identificación de la estructura de estudio. Por ejemplo 3ML2, significa vivienda de 3 pisos con unidades pandereta. Identificación de estructura reforzada. Por ejemplo 4M2L1.2L2 R(2.2.2.1), significa vivienda de 4 pisos con unidades sólidas en los pisos 1 y 2, y con unidades pandereta en los pisos 3 y 4. Los tres primeros pisos son reforzados en 2 caras y el último piso en 1 cara.

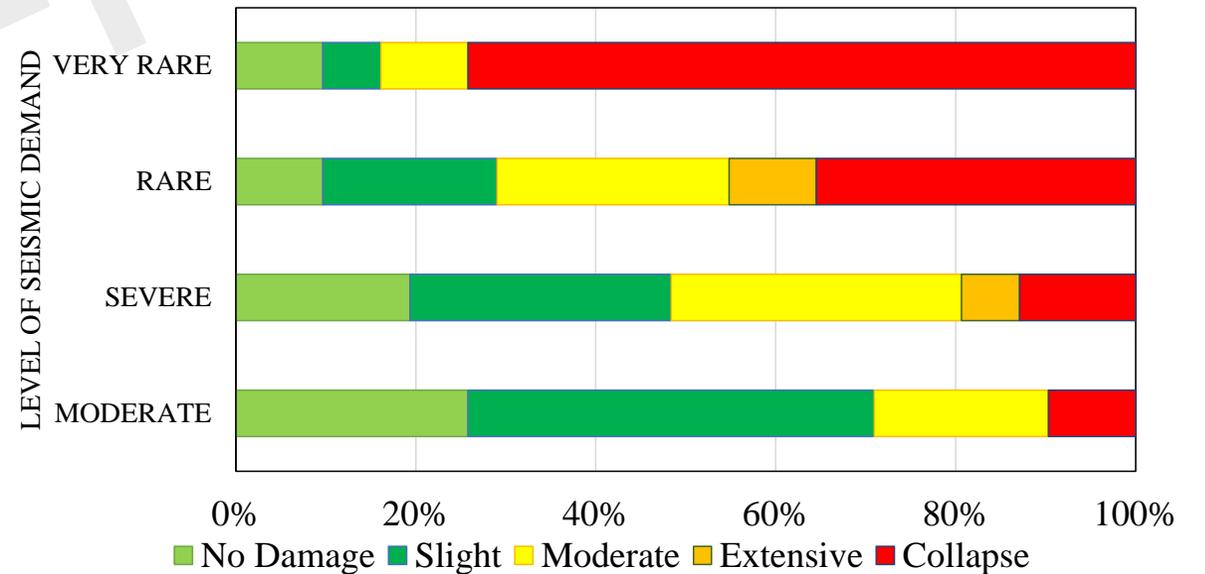
# Reforzamiento en una muestra de viviendas reforzadas

Viviendas con densidad de muros de 1.7%.



Muestra de viviendas **con reforzamiento**

Viviendas con densidad de muros de 2.9%.



Muestra de viviendas **con reforzamiento**

# Muchas gracias



Centro de Sensibilización y Aprendizaje  
sobre Terremotos y Tsunamis (**CESATT**)

