



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM**



TALLER INTERNACIONAL VIRTUAL

**AVANCES RECIENTES  
EN EL INCREMENTO DE LA  
RESILIENCIA Y LA SUSTENTABILIDAD  
DE LA INFRAESTRUCTURA  
FÍSICA EDUCATIVA**

Del 24 al 26 febrero de 2021

# PROPUESTA DE MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL EN CENTROS EDUCATIVOS EN PERÚ

**Dr. Ing. Carlos Zavala**

Director General - CISMID-FIC-UNI

[czavala@uni.edu.pe](mailto:czavala@uni.edu.pe)



**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y  
MITIGACIÓN DE DESASTRES  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**



# ANTECEDENTES



# ANTECEDENTES

El Terremoto de Nazca de 1996 produjo daños en muchos colegios, que fueron afectados principalmente por el efecto de columna corta.

El tipo de colegio que más fue afectado, fueron aquellos basados en el módulo 780 (“PRE”), diseñados con la norma de 1977.

Diseño típico basados principalmente en el tipo de suelo. Módulo de dos niveles, tres aulas por nivel; longitudinalmente conformado por pórticos de C.A. y tabiquería sin una adecuada junta de separación; y transversalmente por muros de albañilería y pórticos.



Fermin del Castillo School at Nazca after 1996 earthquake.



# ANTECEDENTES

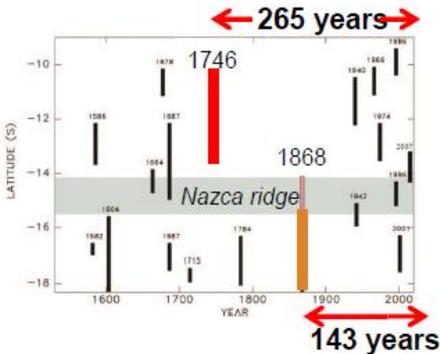
Este diseño fue aplicado sin una debida “supervisión”, en algunos casos “adaptado” por personas no calificadas que construyeron de manera no ingenieril.

Este **diseño** fue **mejorado**, módulo 780 “POST”, con mejor comportamiento sismorresistente. **Sin embargo**, existen un gran número de este tipo de colegios (módulos 780-PRE) en todo el país.

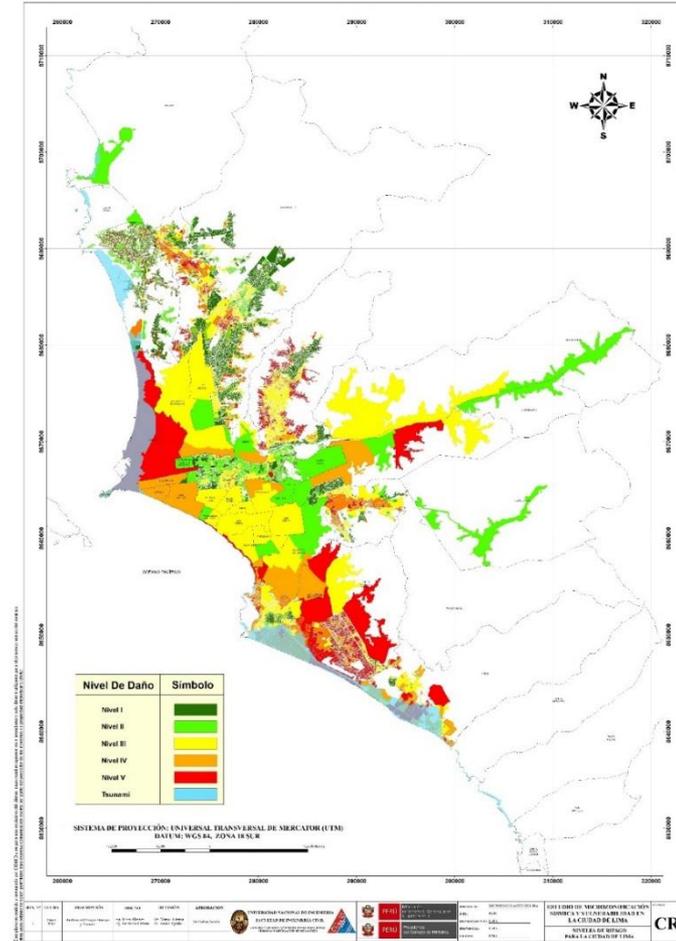
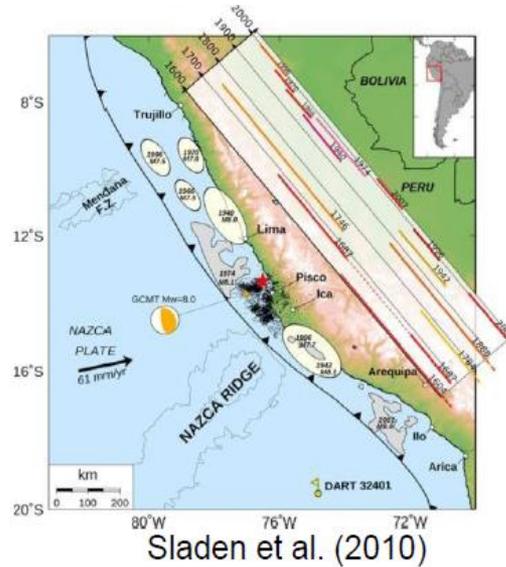
A la fecha el 44% del alumnado, en la zona sísmica cuatro (Z4), se encuentra estudiando en edificios construidos antes de 1977 y el número de edificios escolares del tipo 780-PRE es elevado, alrededor de 15 mil edificaciones.



# ANTECEDENTES



- 1940 05 24 Huacho, M8.2
- 1942 08 24 San Juan, M8.0
- 1966 10 17 Barranca, M8.1
- 1974 10 03 Lima, M8.1
- 2001 06 23 Atico, M8.4
- 2007 08 15 Pisco, M8.0

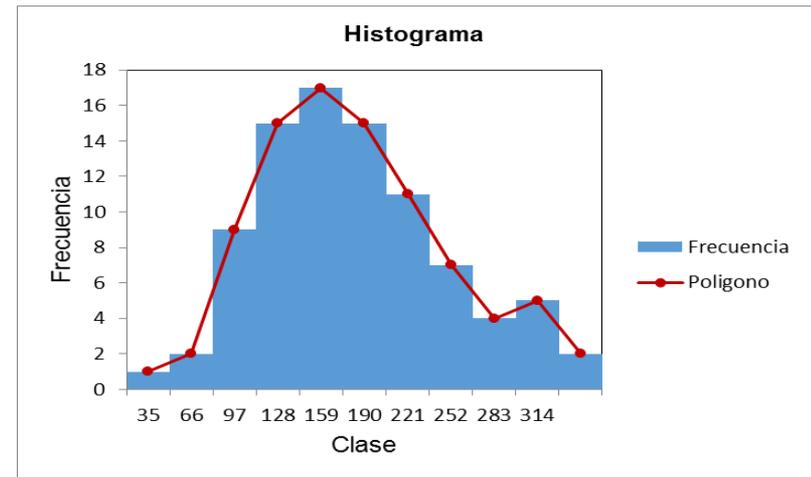
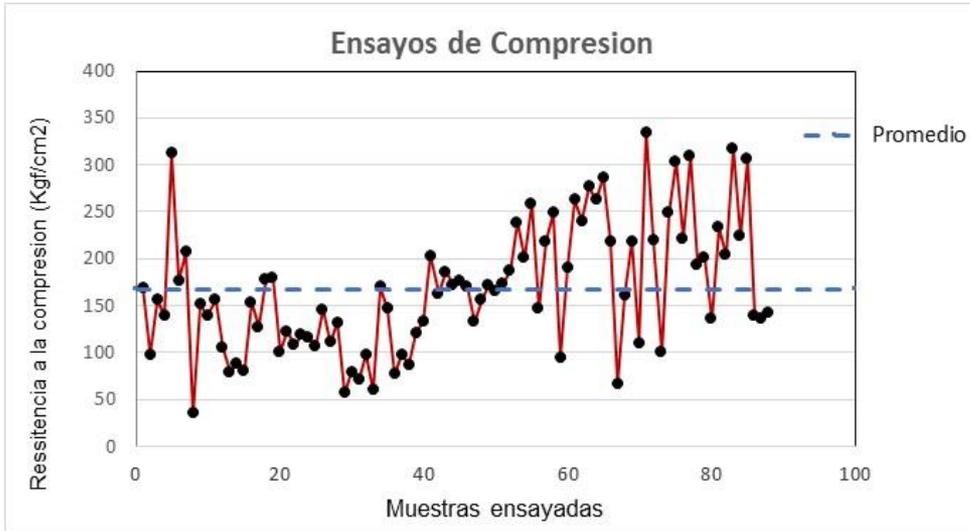


M8.6 – M8.9. PGA de 1G.  
**Riesgo Muy alto.**

**Proyecto SATREPS**



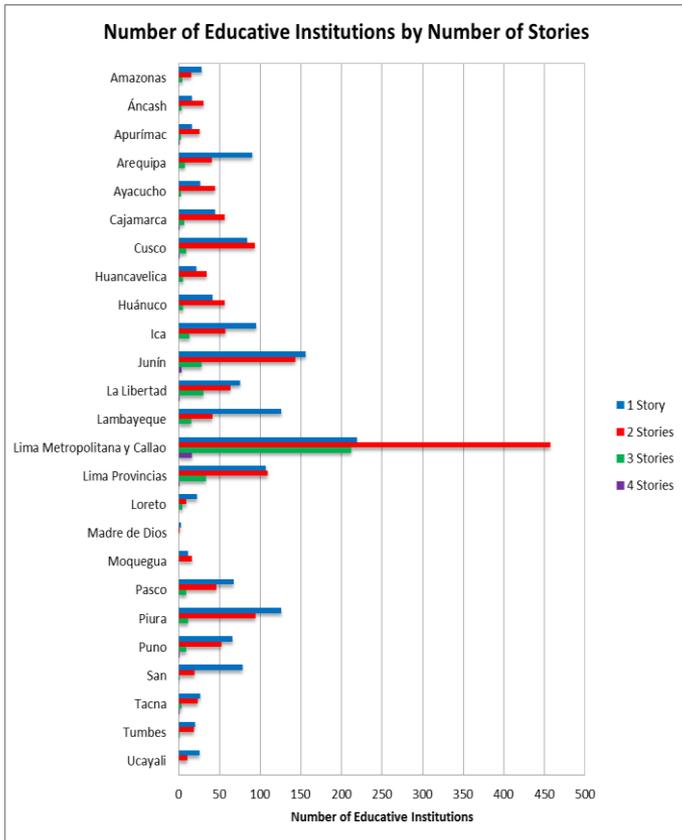
# ANTECEDENTES



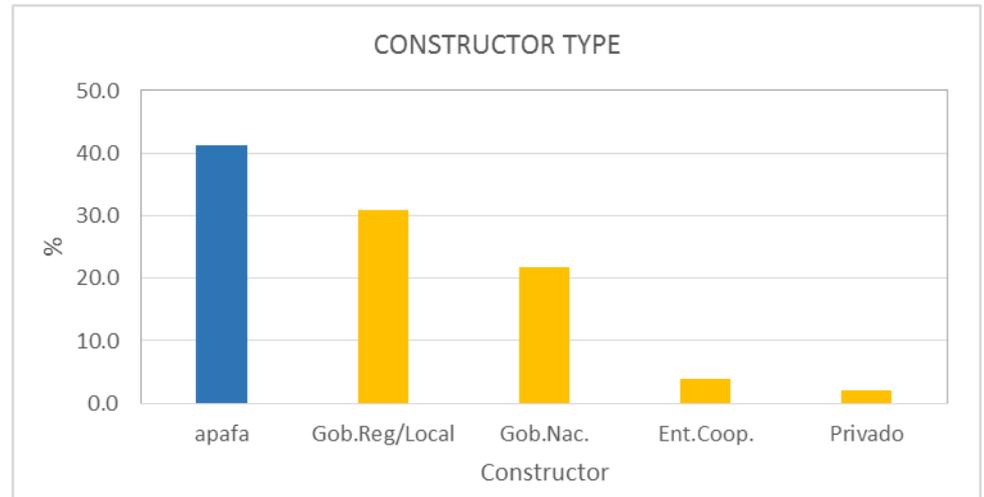
Laboratory DATA from Studies



# ANTECEDENTES



Material	Description	Number of buildings	Percentage
apafa	apafa/self-construction	77267	41.18%
Gob.Reg/Local	regional/local government	57885	30.85%
Gob.Nac.	national government/special project	41046	21.88%
Ent.Coop.	cooperating entities/ngo	7328	3.91%
Privado	private companies	3820	2.04%
NR	Not recognized	285	0.15%



Survey with BM-database



# MÓDULO 780-PRE

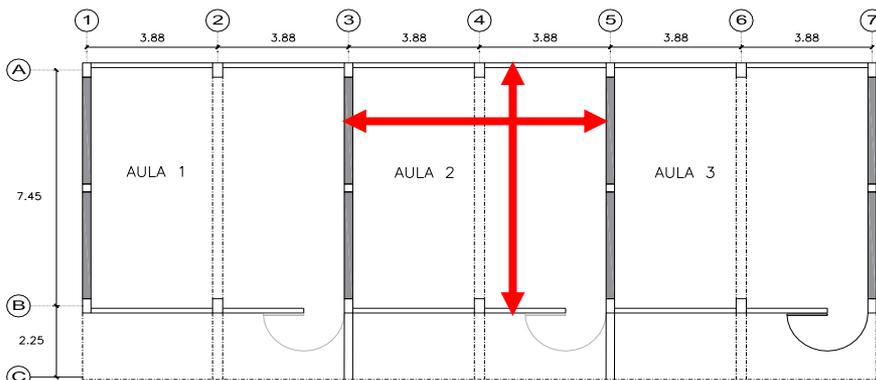


# Características del Módulo 780-PRE



Cuadro de Columnas 1° y 2° Nivel			
C-1	C-2, C-4	C-3	C-5
<p>60 3/4" 2 <math>\square</math> <math>\phi</math>3/8" @ 05, 10 @ 10, RTO @ 25 C/EXT.</p>	<p>80 3/4" 2 <math>\square</math> <math>\phi</math>3/8" @ 05, 10 @ 10, RTO @ 25 C/EXT.</p>	<p>60 5/8" 2 <math>\square</math> <math>\phi</math>3/8" @ 05, 10 @ 10, RTO @ 25 C/EXT.</p>	<p>40 1/2" 1 <math>\square</math> <math>\phi</math>3/8" @ 05, 10 @ 10, RTO @ 25 C/EXT.</p>

Secciones de vigas en ejes A-B		
	1° Nivel	2° Nivel
V-A	<p>70 5/8" 1 <math>\square</math> <math>\phi</math>3/8" @ 05, 7 @ 10, 10 @ 15, RTO @ 20 C/EXT.</p>	<p>60 1/2" 1 <math>\square</math> <math>\phi</math>3/8" @ 05, 7 @ 10, 10 @ 15, RTO @ 20 C/EXT.</p>



**Vista en planta**



**Vista en elevación**



# PROPUESTA DE REFORZAMIENTO



# Propuesta de Reforzamiento

Se estudiaron diferentes técnicas de reforzamiento incluyendo sistemas de control de la respuesta.

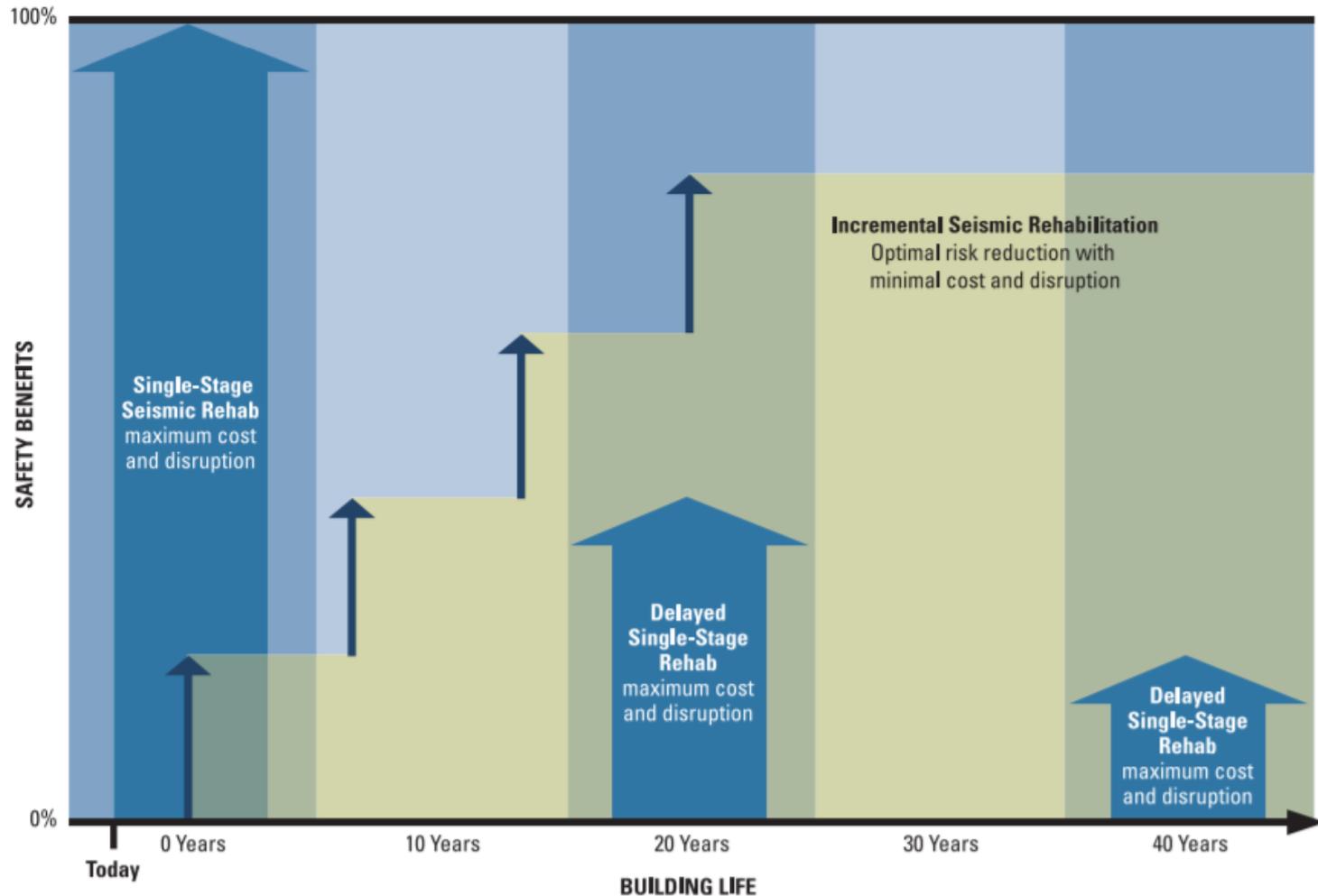
Después de un análisis de factibilidad de implementación por parte de profesionales relacionados con infraestructura educativa, se seleccionaron tres técnicas de reforzamiento.

1. Marco y arriostres concéntricos de acero, **P780-ACMAC**
2. Muro de albañilería reforzada con malla, **P780-MARM**
3. Incorporación de muros acoplados de concreto armado, **P780-IMACA.**

Con la versatilidad para poder adaptarse a los criterios de **reforzamiento incremental.**



# Reforzamiento Incremental

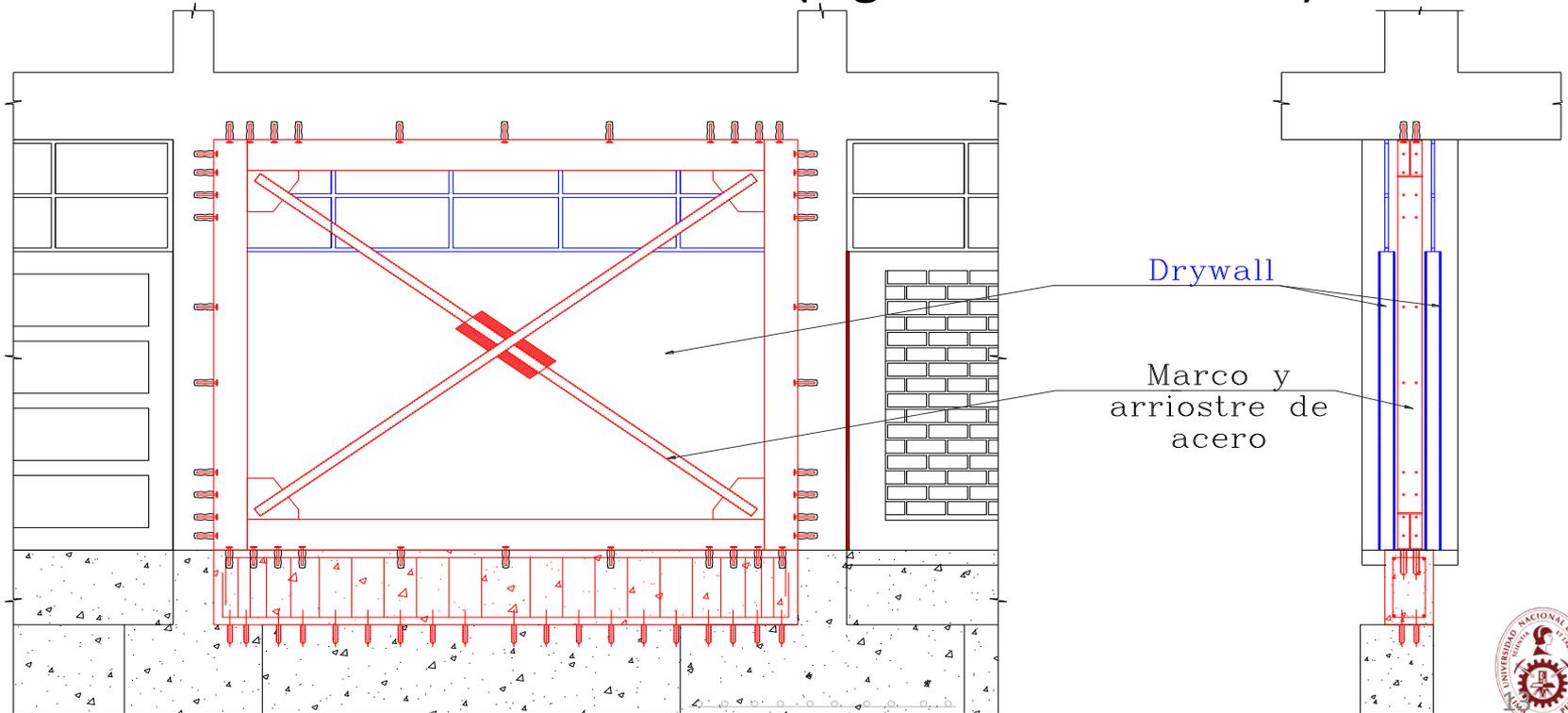


Ref.: Incremental Seismic Rehabilitation of School Buildings - FEMA395

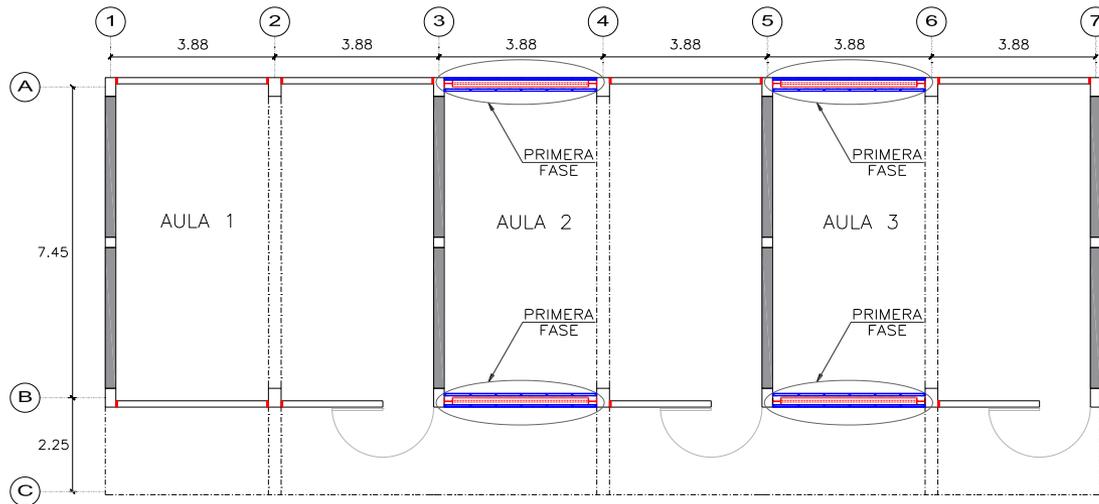


# Marco y arriostres concéntricos de acero P780-ACMAC

Inserción del marco metálico de secciones W8x18 (A-36) con arriostres concéntricos HSS2.5x2.5x3/16 (A-36), unidos a vigas y columnas con pernos de 5/8" (A-325). En el caso de la cimentación se utilizó un "Kit de reforzamiento" (viga de cimentación).

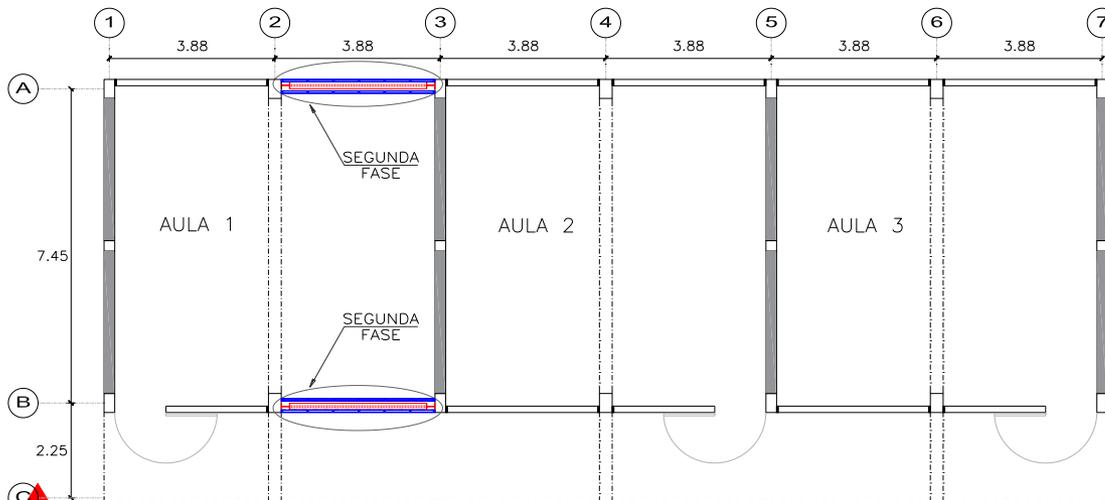


# Marco y arriostres concéntricos de acero P780-ACMAC



## Fase 1

Inserción cuatro marcos metálicos en el segundo nivel.



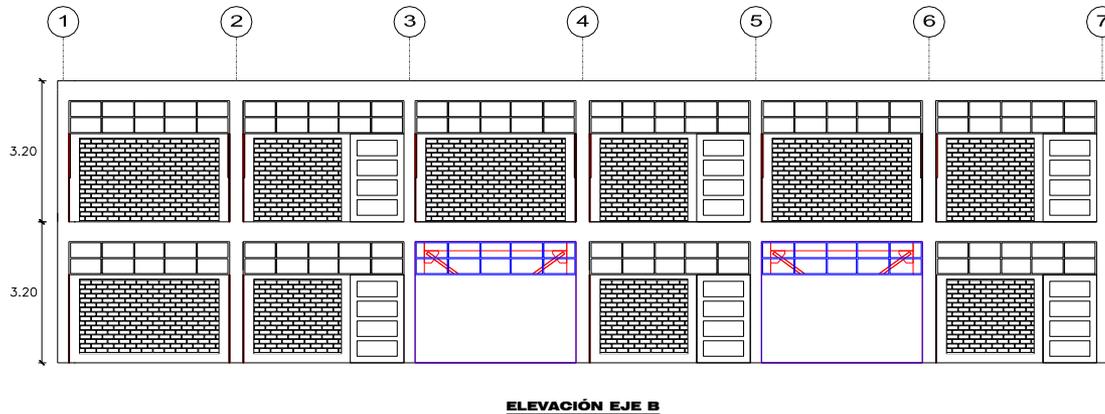
## Fase 2

Inserción dos marcos metálicos en el segundo nivel.

VISTA EN PLANTA 2° nivel

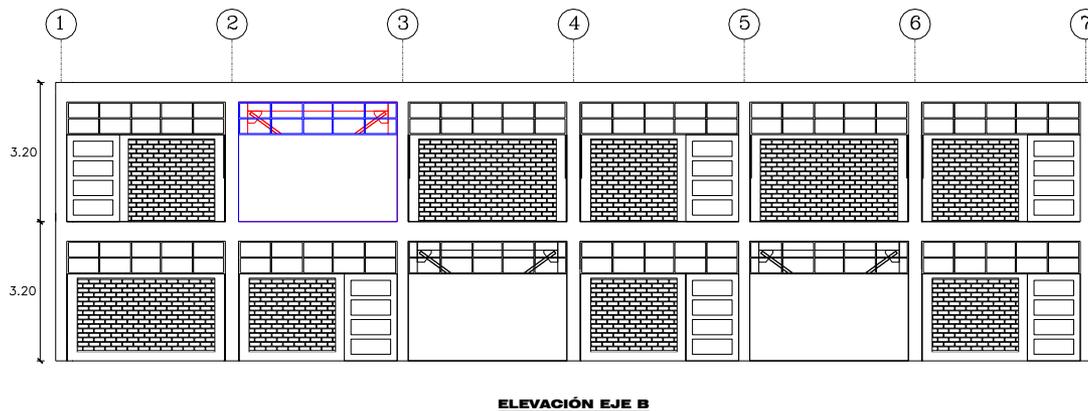


# Marco y arriostres concéntricos de acero P780-ACMAC



## Fase 1

Inserción cuatro  
marcos metálicos en el  
segundo nivel.

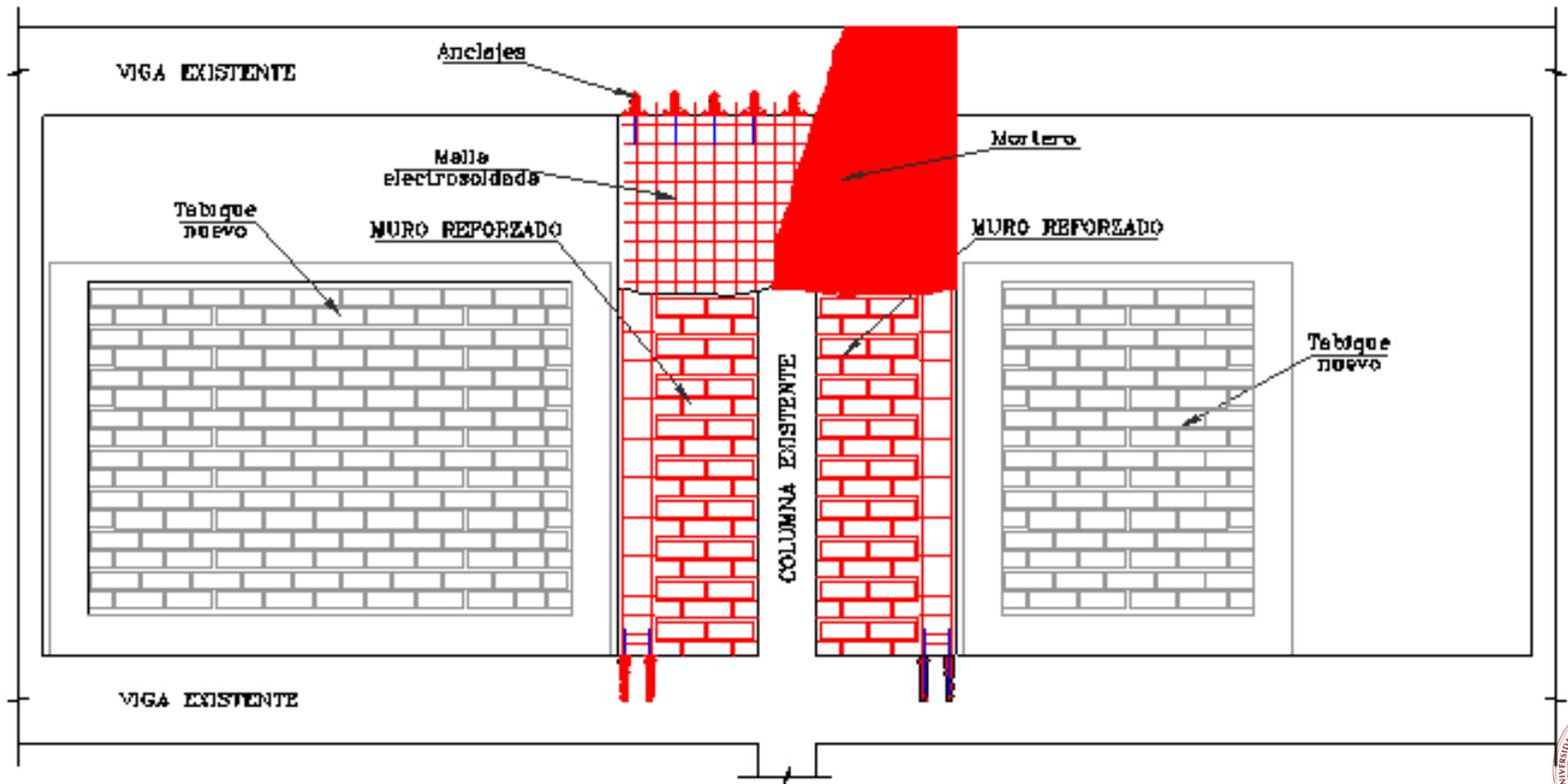


## Fase 2

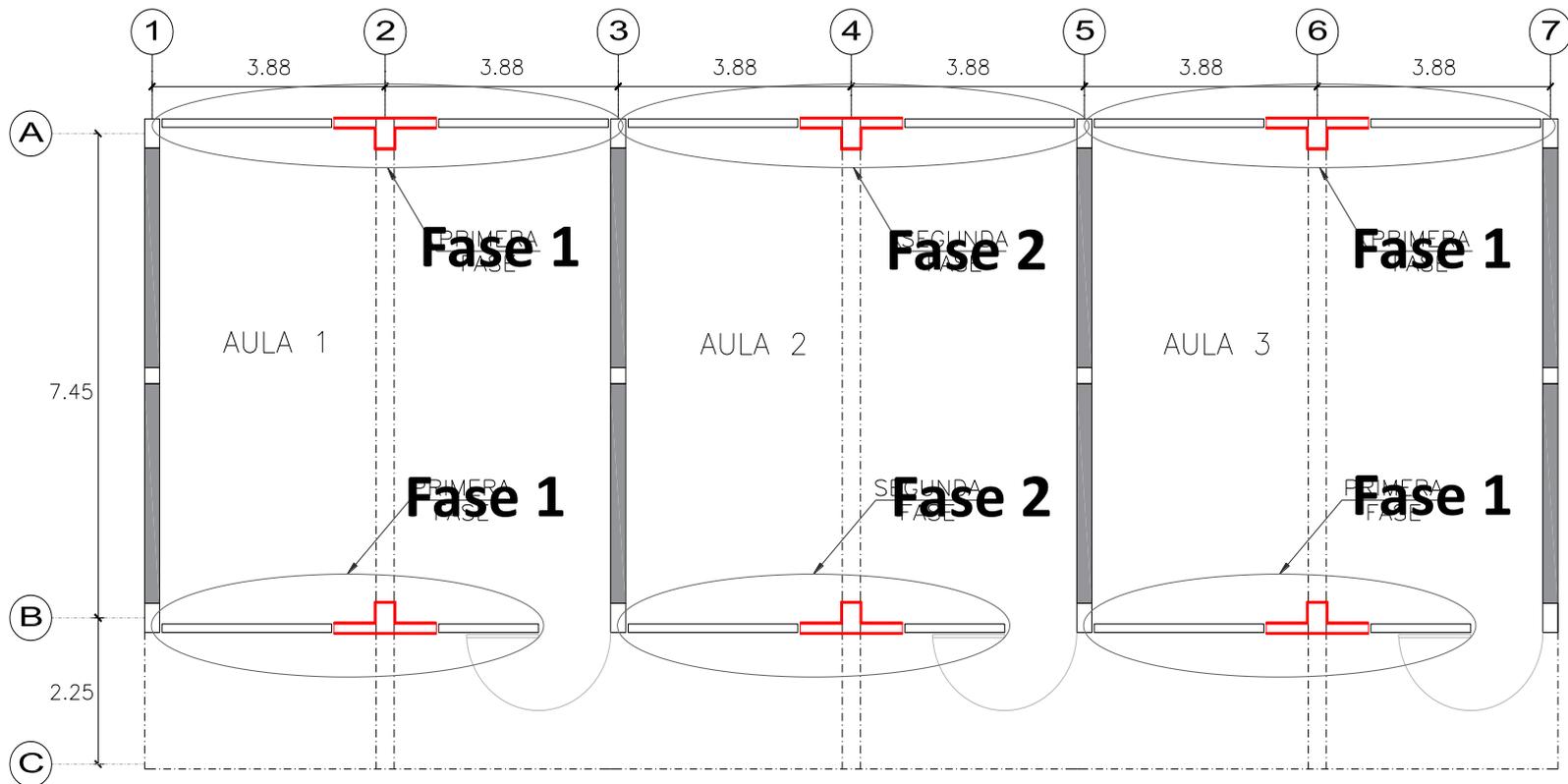
Inserción dos marcos  
metálicos en el  
segundo nivel.

# Muro de albañilería reforzada con malla P780-MARM

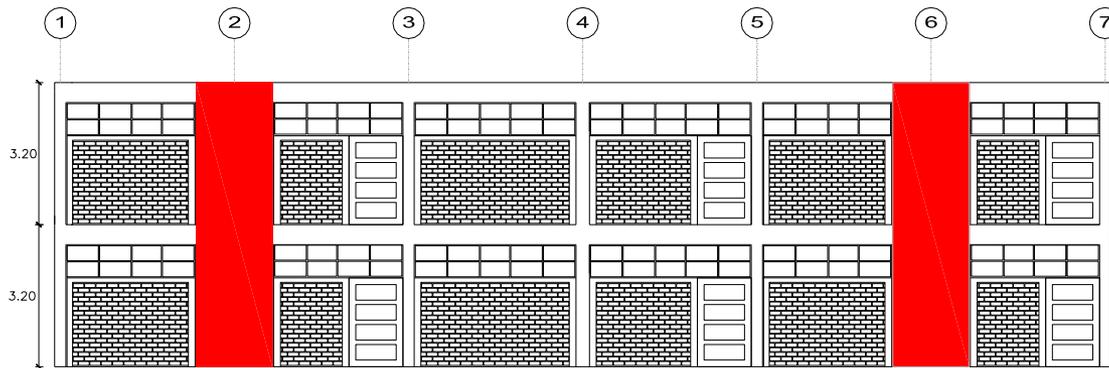
Inserción de muros de albañilería alrededor de las columnas de C.A., cubiertas por malla electrosoldada y mortero cemento-arena.



# Muro de albañilería reforzada con malla P780-MARM

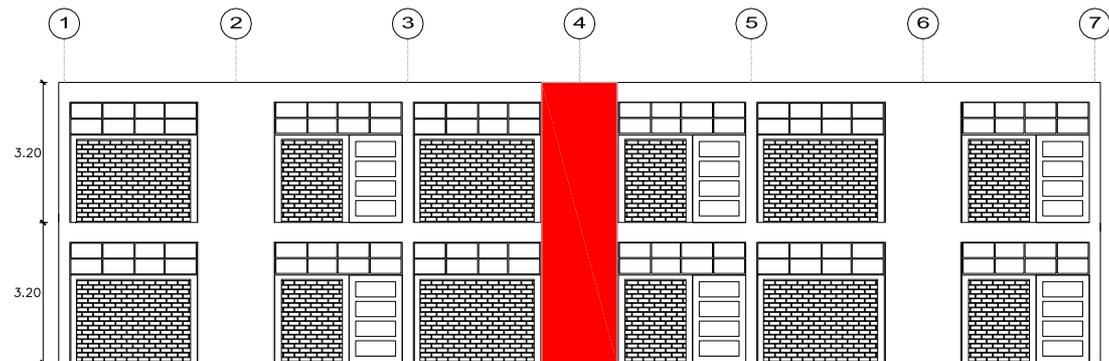


# Muro de albañilería reforzada con malla P780-MARM



## Fase 1

Intervención de cuatro columnas de C.A. en los dos niveles.



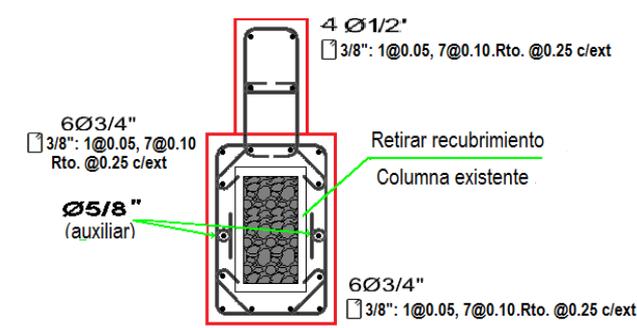
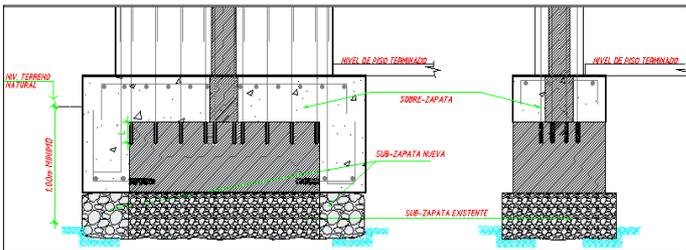
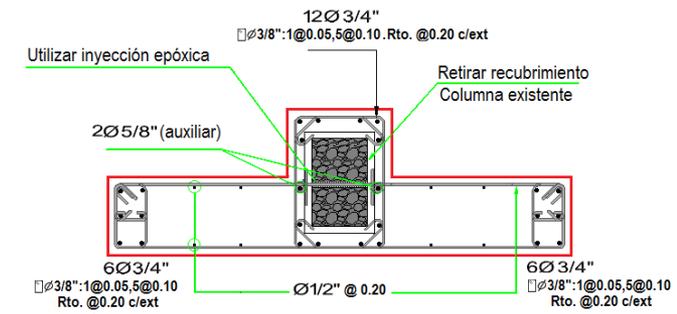
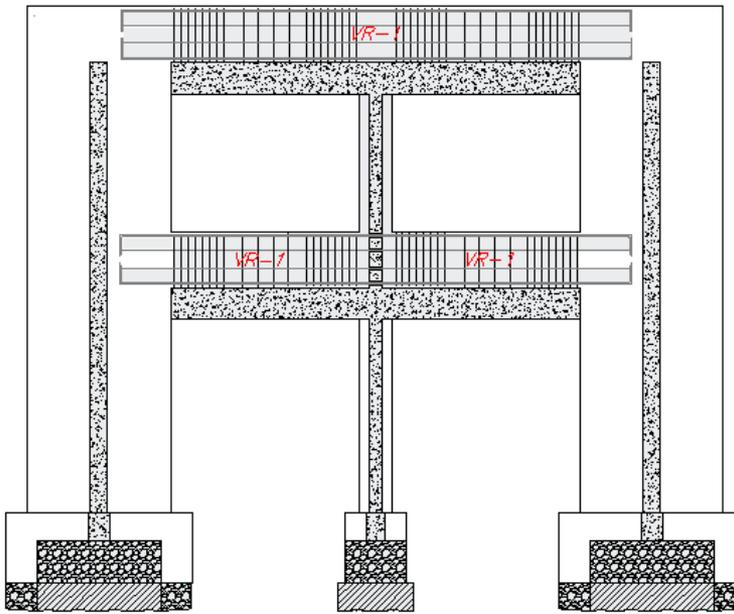
## Fase 2

Intervención de dos columnas de C.A. en los dos niveles.

# Incorporación de muros acoplados de concreto armado

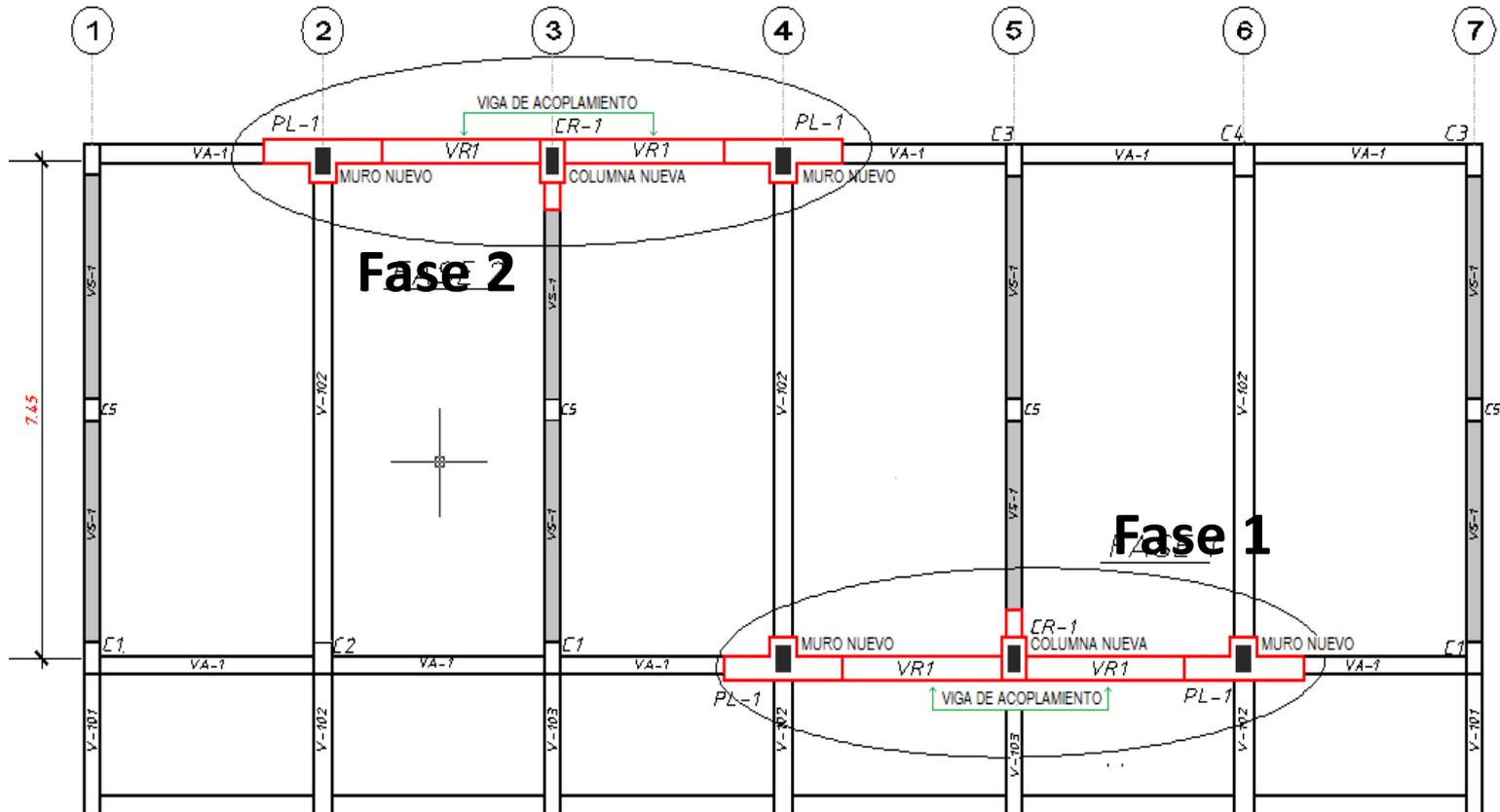
## P780-IMACA.

Incorporación de muros y vigas de concreto armado en la dirección longitudinal.

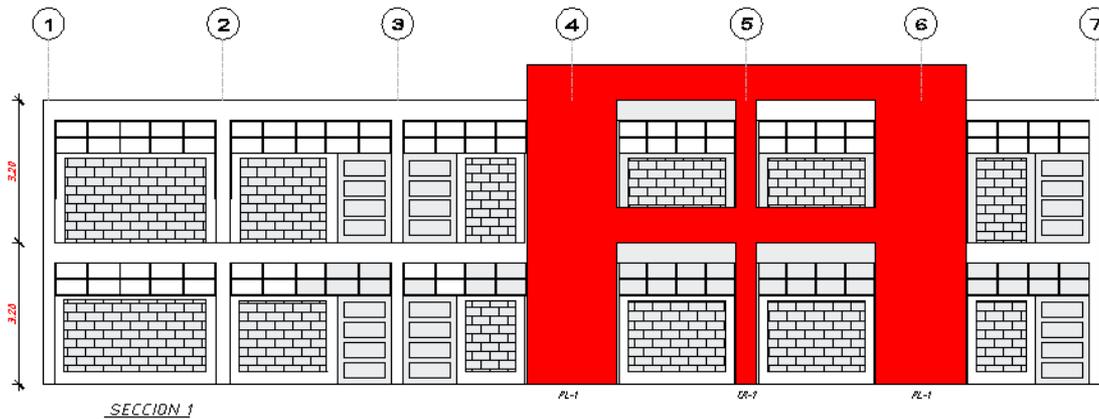


# Incorporación de muros acoplados de concreto armado

## P780-IMACA.

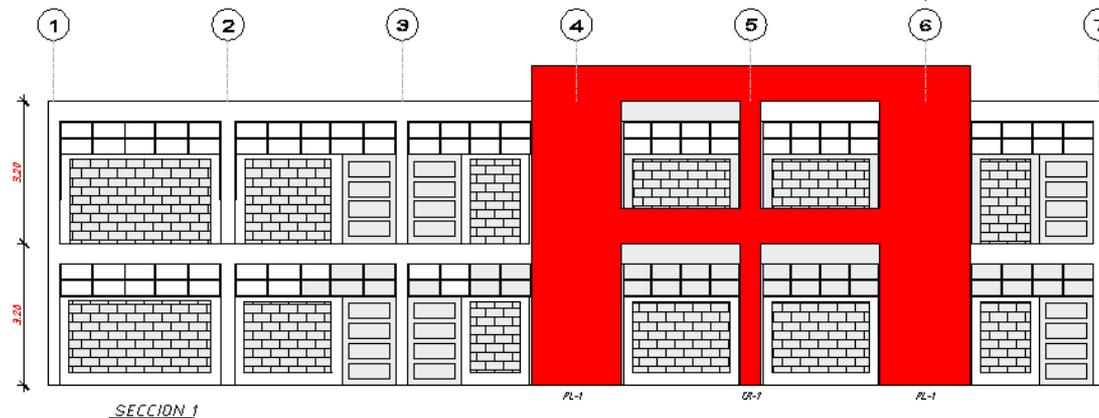


# Incorporación de muros acoplados de concreto armado P780-IMACA.



## Fase 1

Incorporación de muros acoplados en el frente.



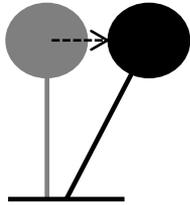
## Fase 2

Incorporación de muros acoplados en el fondo.

# **ENSAYOS CÍCLICOS A ESCALA REAL EN PÓRTICO REPRESENTATIVO**



# ENSAYO CÍCLICO ESTÁTICO



Estructura

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = -m \cdot \ddot{x}_g$$

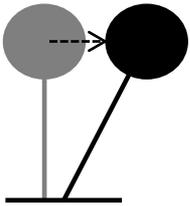
Cargas de reversas debido al sismo

Sismo (vibración no estacionaria)



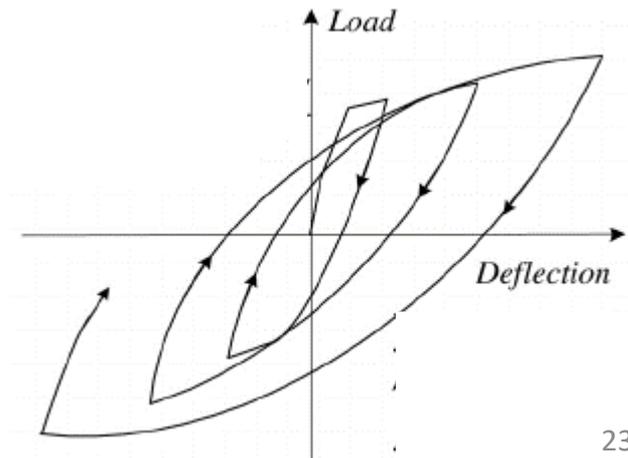
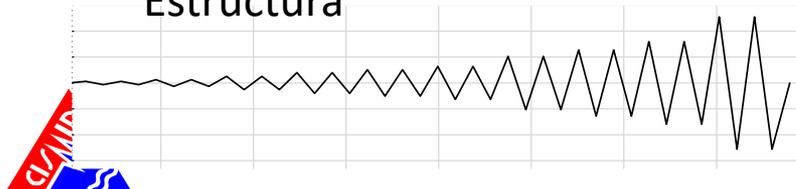
—Lima, 1966

Ensayo estático cíclico: Cargas estacionarias incrementales con una amplitud objetivo en cada ciclo: **Carga o desplazamiento.**



Estructura

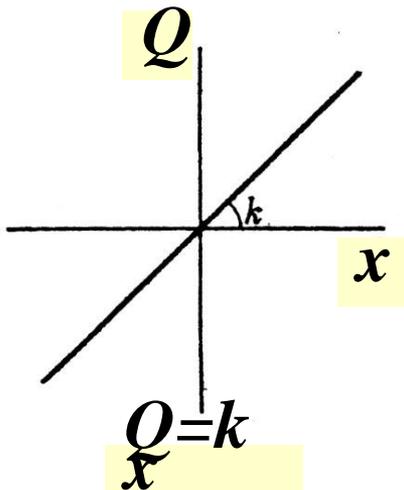
Normalizado para cada tipo ensayos y encontrar los puntos críticos.



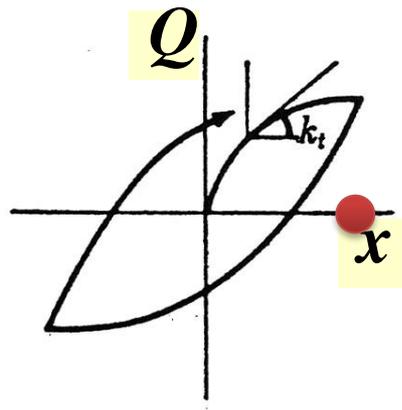
# ENSAYO CÍCLICO DE CARGA LATERAL

$$c \cdot \dot{x} + Q(x) = -(m \cdot \ddot{x}_g + m \cdot \ddot{x})$$

Al alcanzar la amplitud,  $\dot{x}=0$ . Se obtiene la curva de capacidad con las amplitudes.

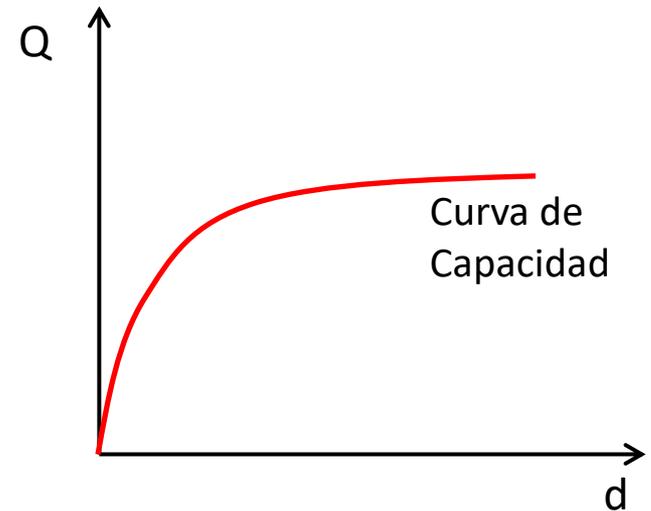


Elástico



K instantánea

Inelástico



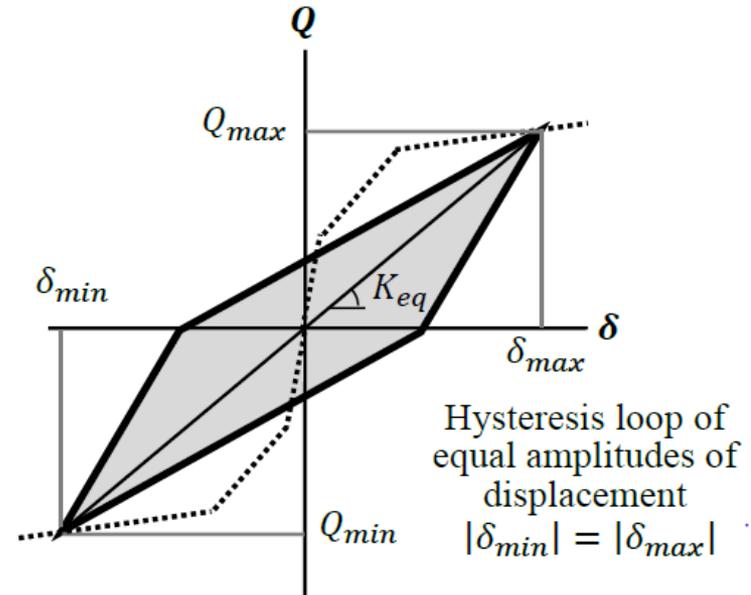
Curva de capacidad

# Lazos histeréticos

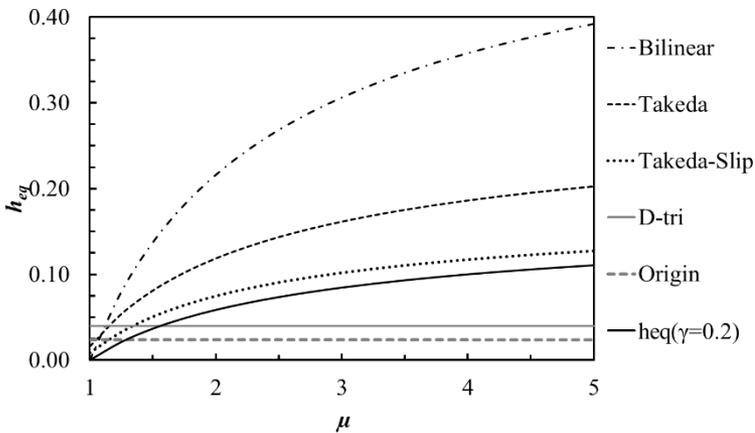
$$h = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\omega}{p} \cdot \frac{\Delta W}{W}$$

$$\omega = p$$

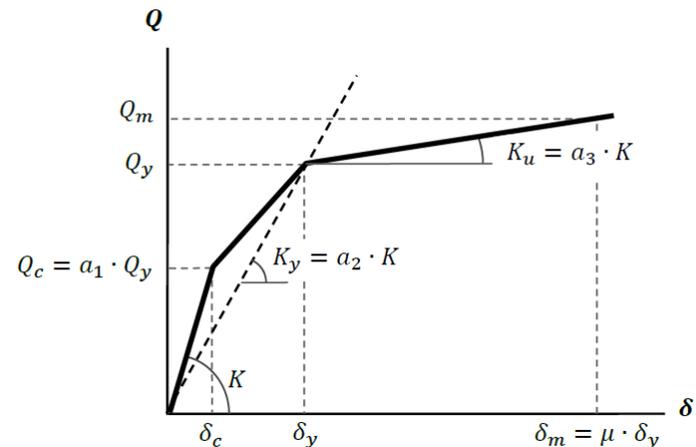
$$sth_{eq} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W}$$



$$sth_{eq} = 1/\pi \cdot (1 - 1/\sqrt{\mu})$$

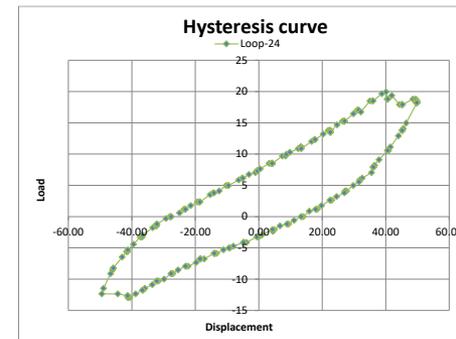
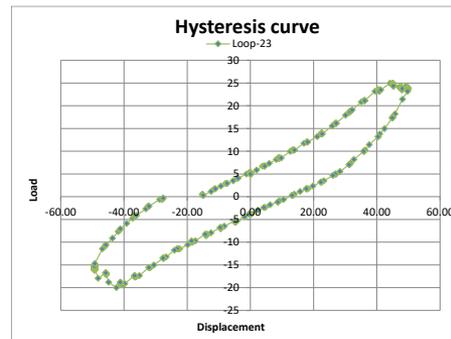
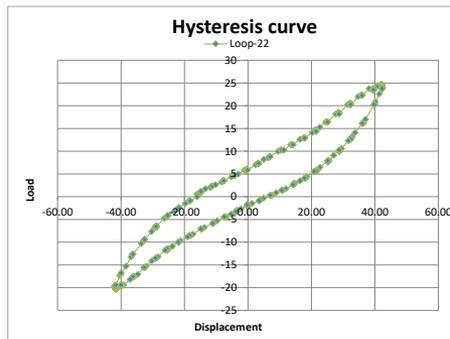
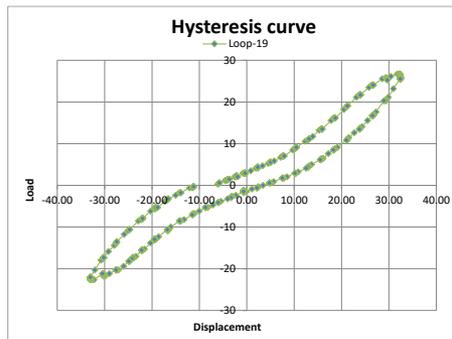
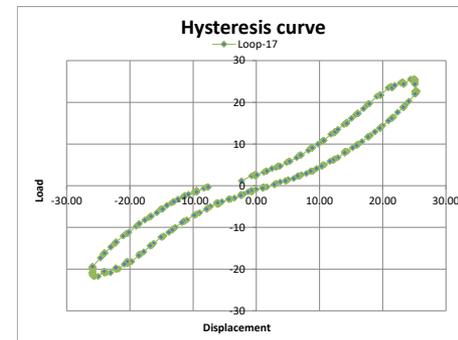
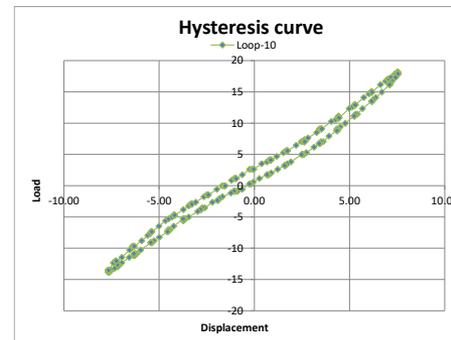
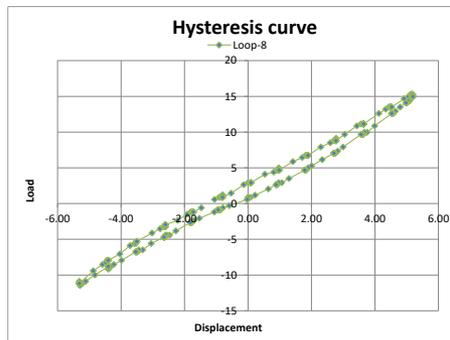
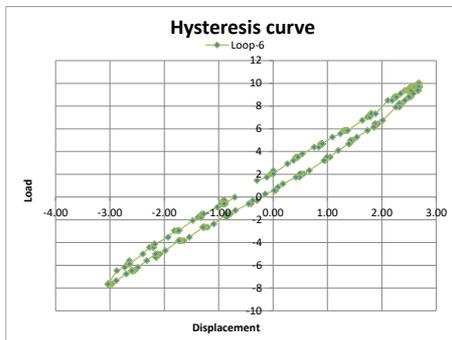


$$sth_{eq} \propto (1 - 1/\sqrt{\mu})$$

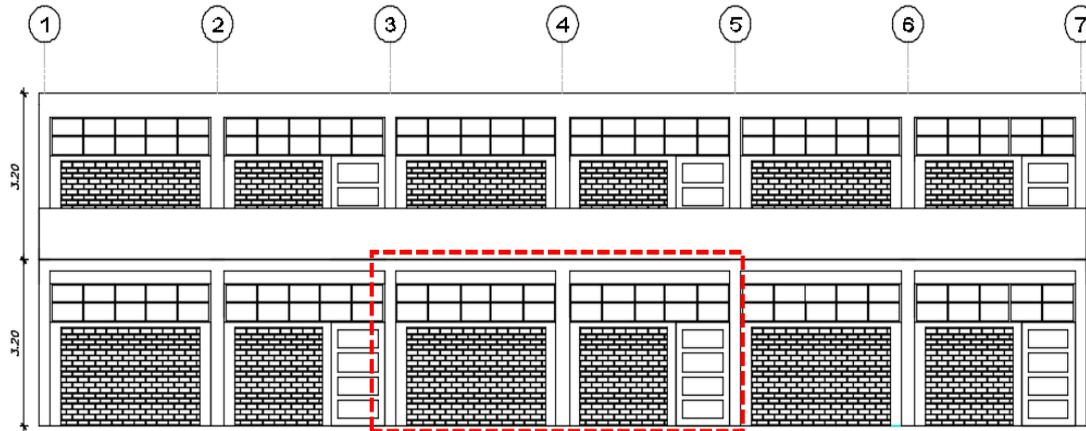
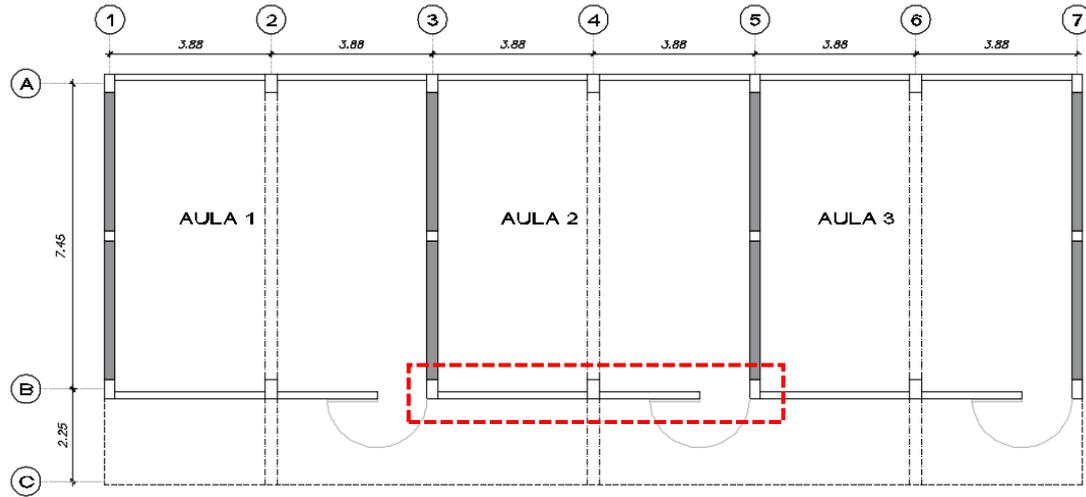


# Lazos histeréticos

Ciclos obtenidos durante el ensayo:

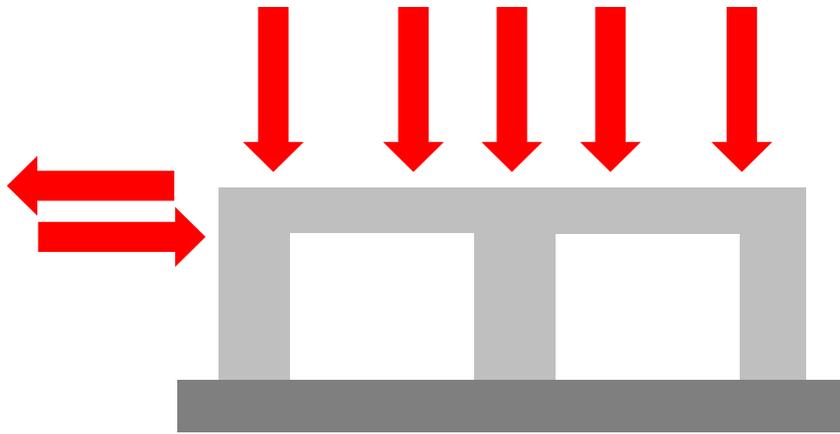


# Pórtico representativo P780



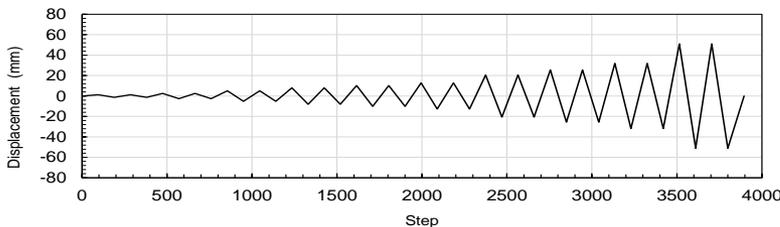
# IDEALIZACIÓN DEL ENSAYO

## Aplicación de cargas



## Representación de cargas mediante Actuadores hidráulicos

Fuerza cortante



P

Carga axial



Carga axial

Configuración regular para ensayos cíclicos

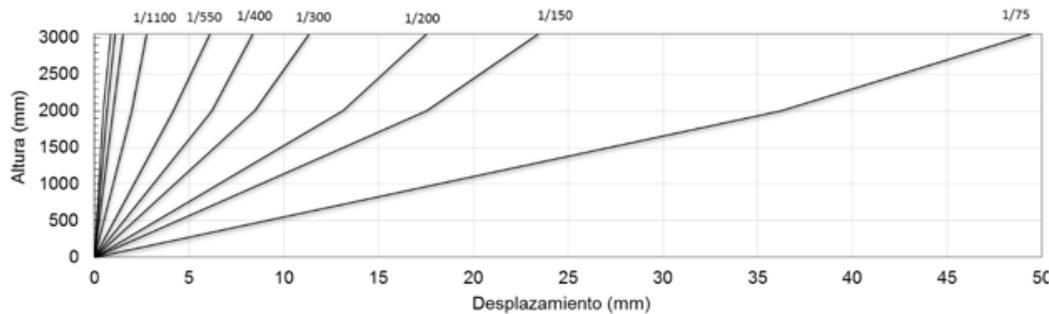




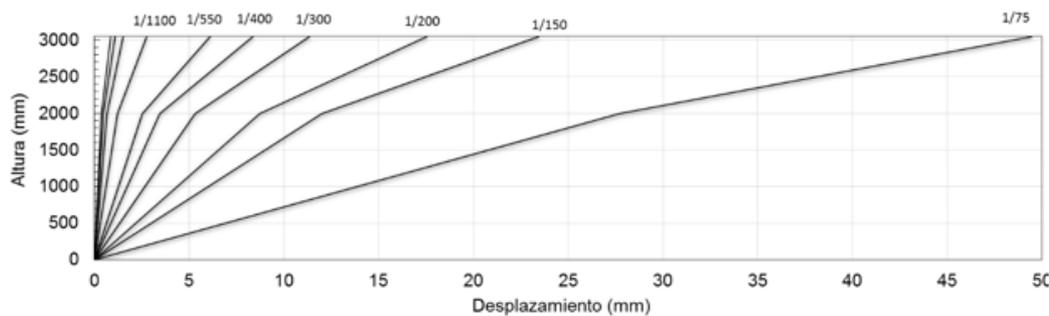
# Ensayo a Escala Real



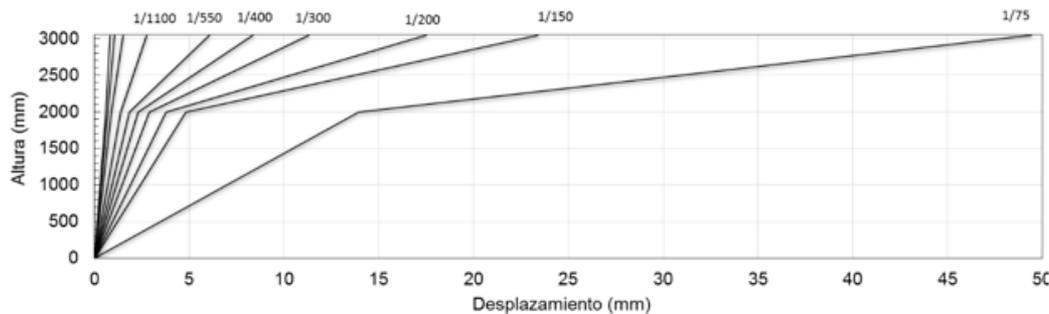
# Espécimen P780



a) Columna este (CH-08)



b) Columna central (CH-09)

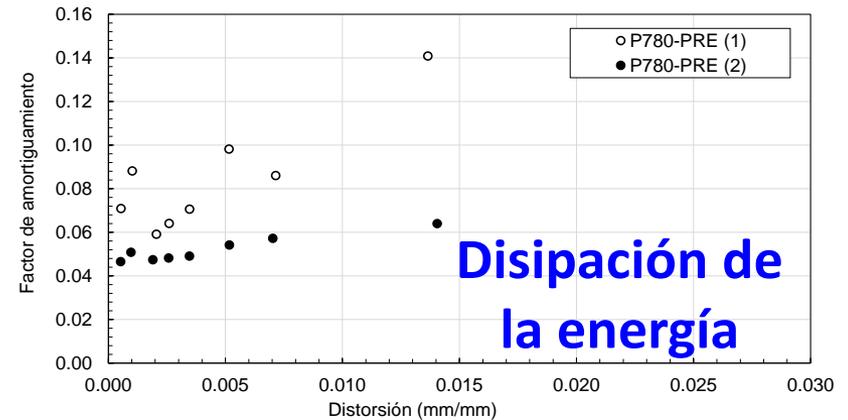
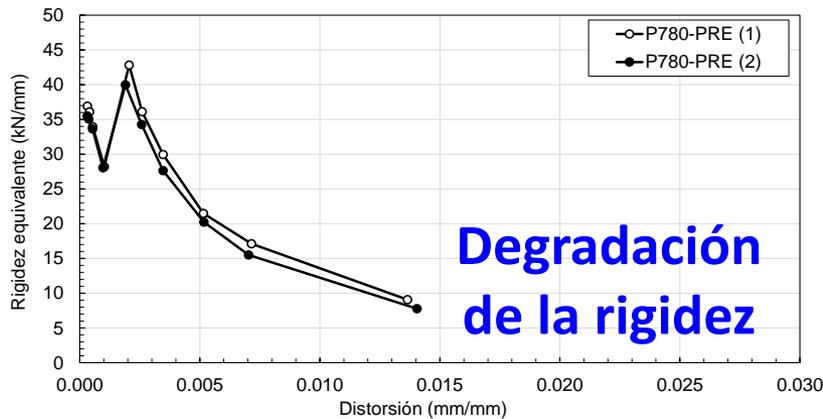
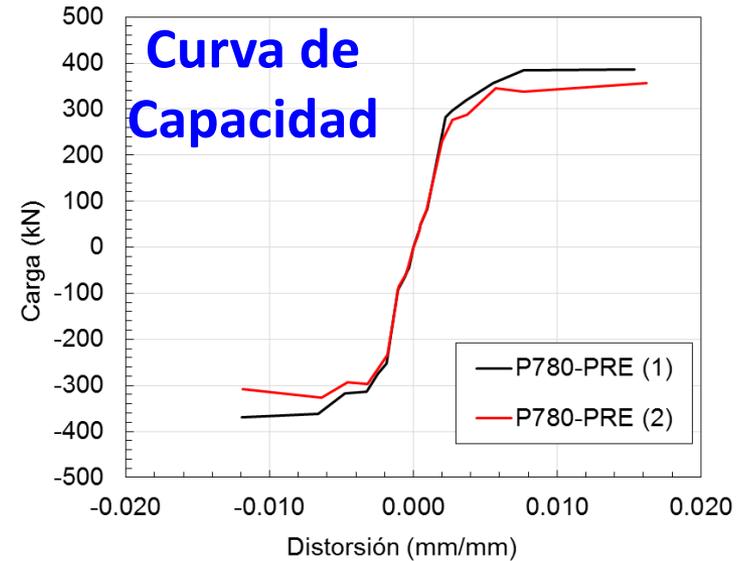
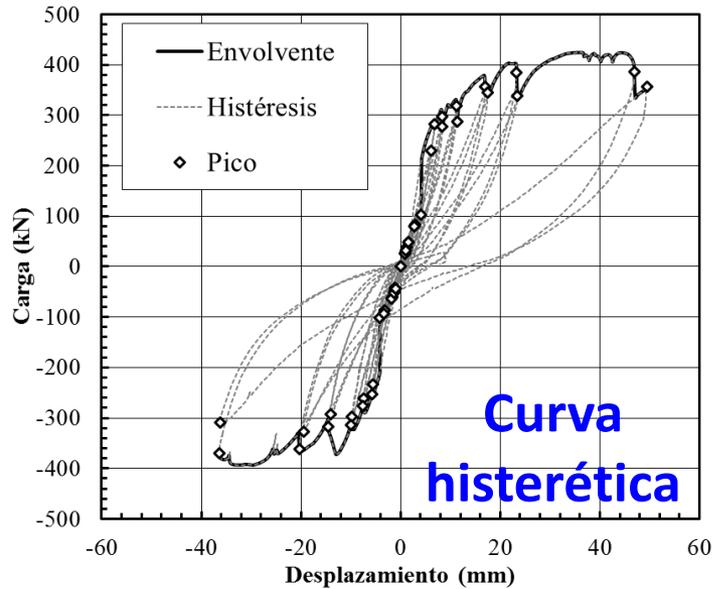


c) Columna oeste (CH-10)

Formación de la columna corta



# Espécimen P780

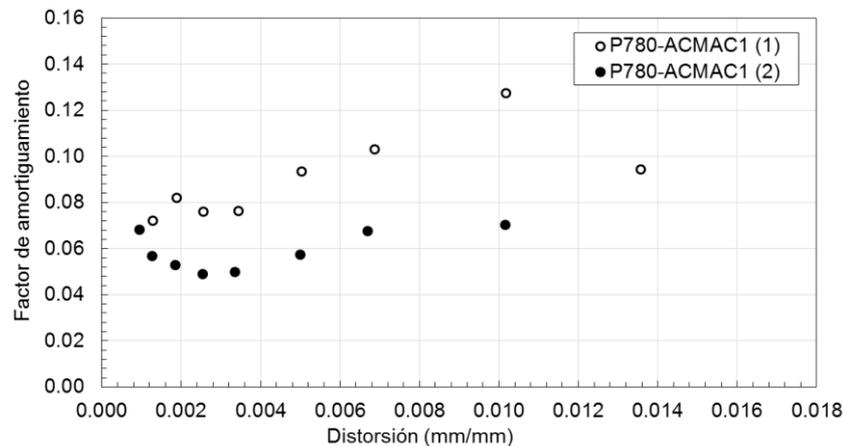
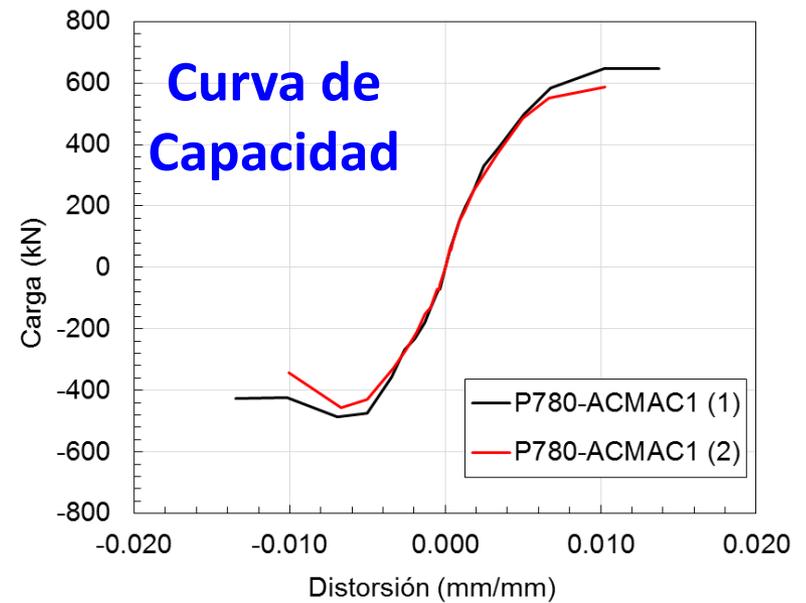
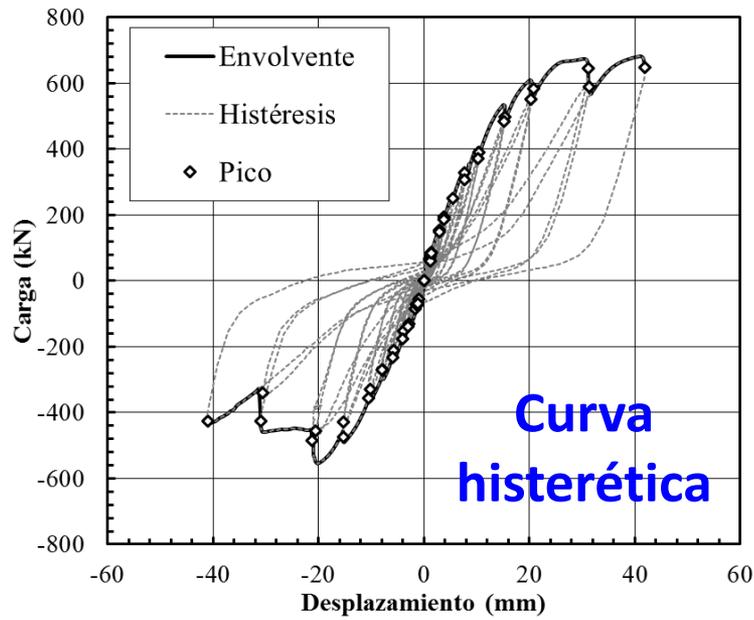


# Reforzamiento - ACMAC

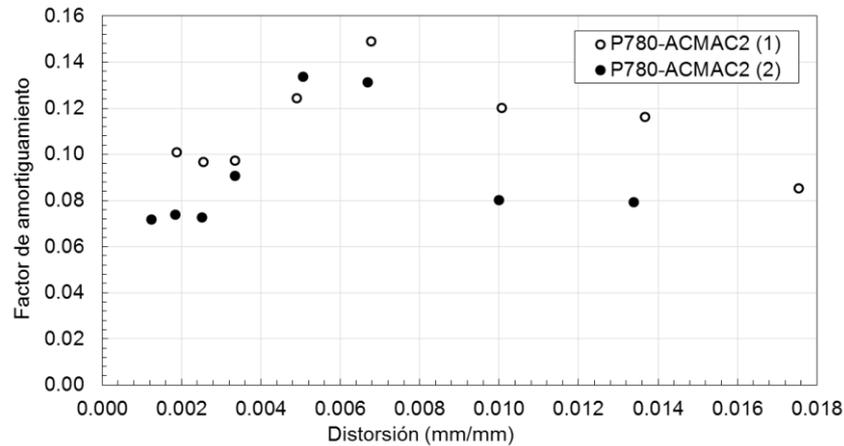
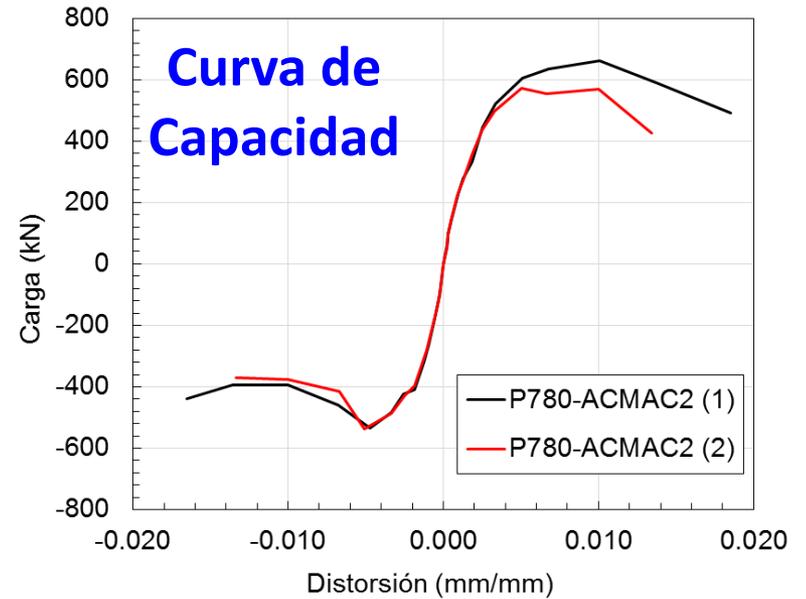
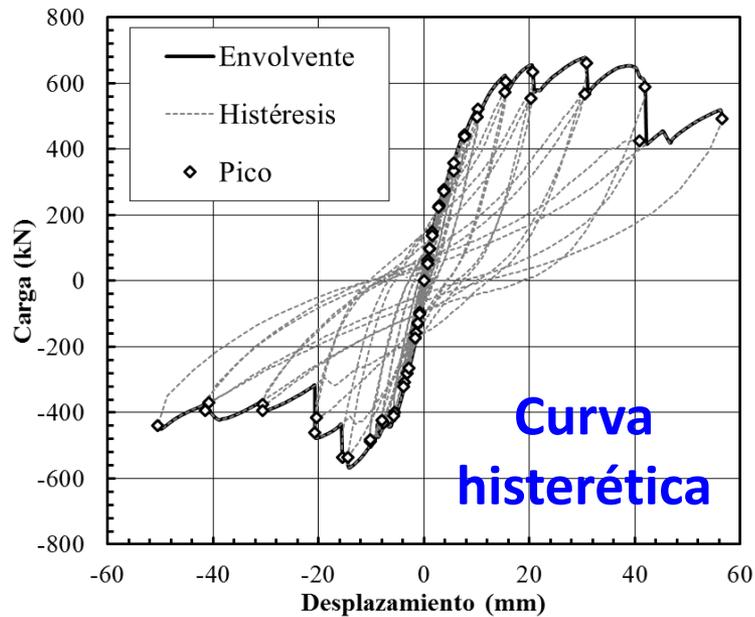




# Espécimen P780-ACMAC 1



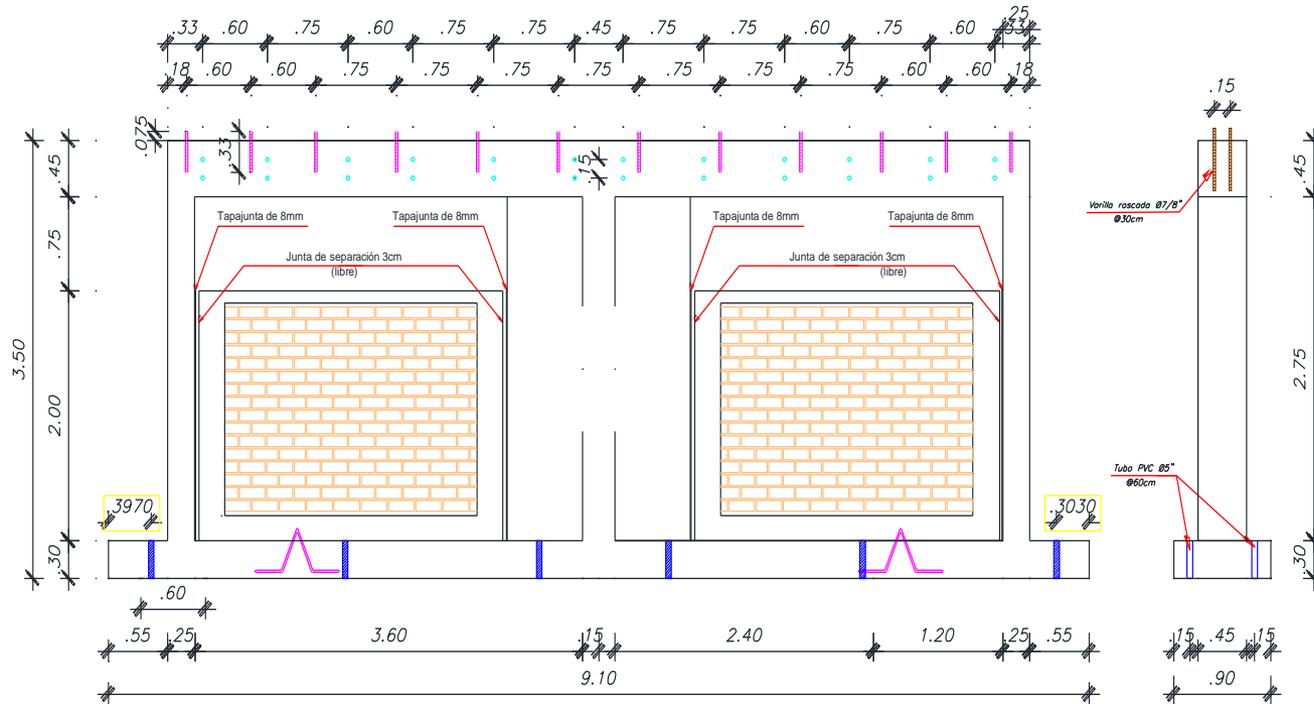
# Espécimen P780-ACMAC 2



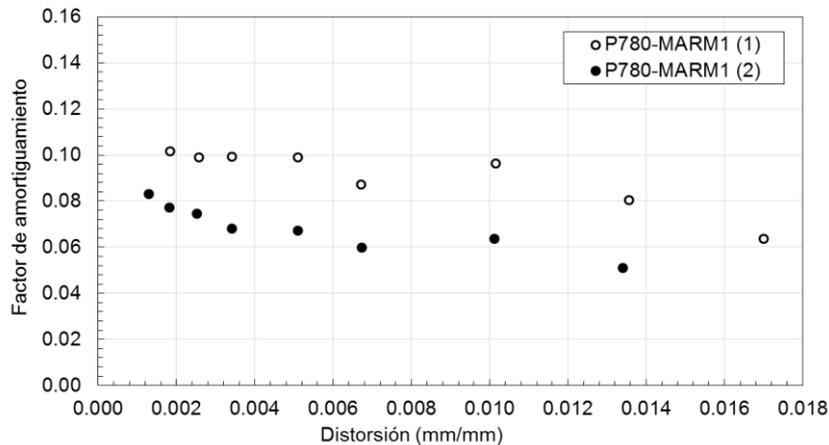
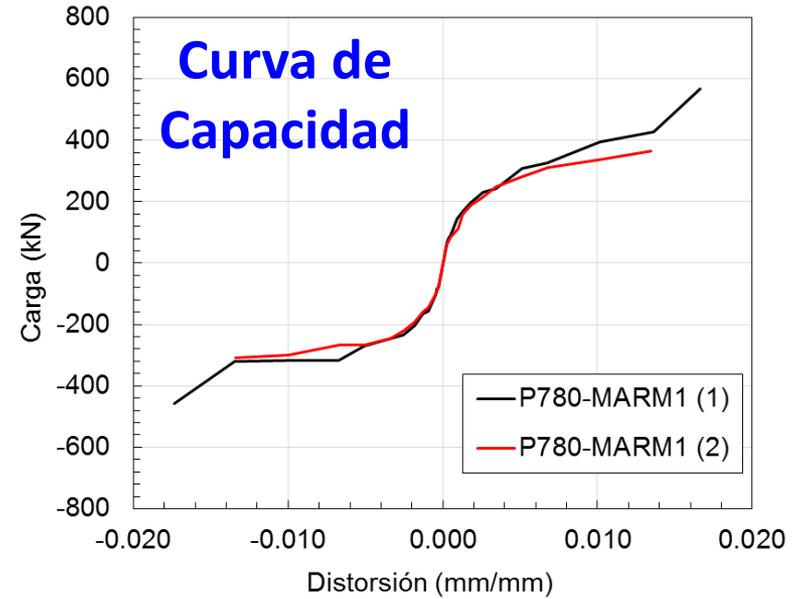
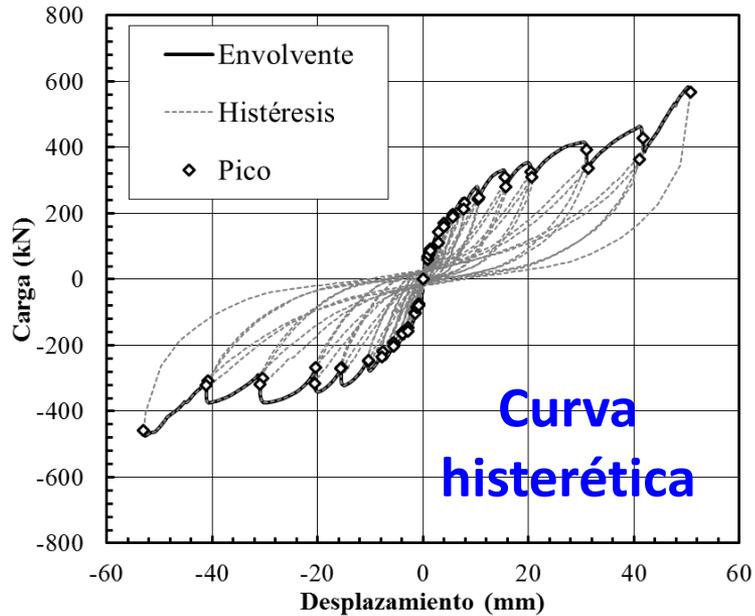
Disipación de la energía



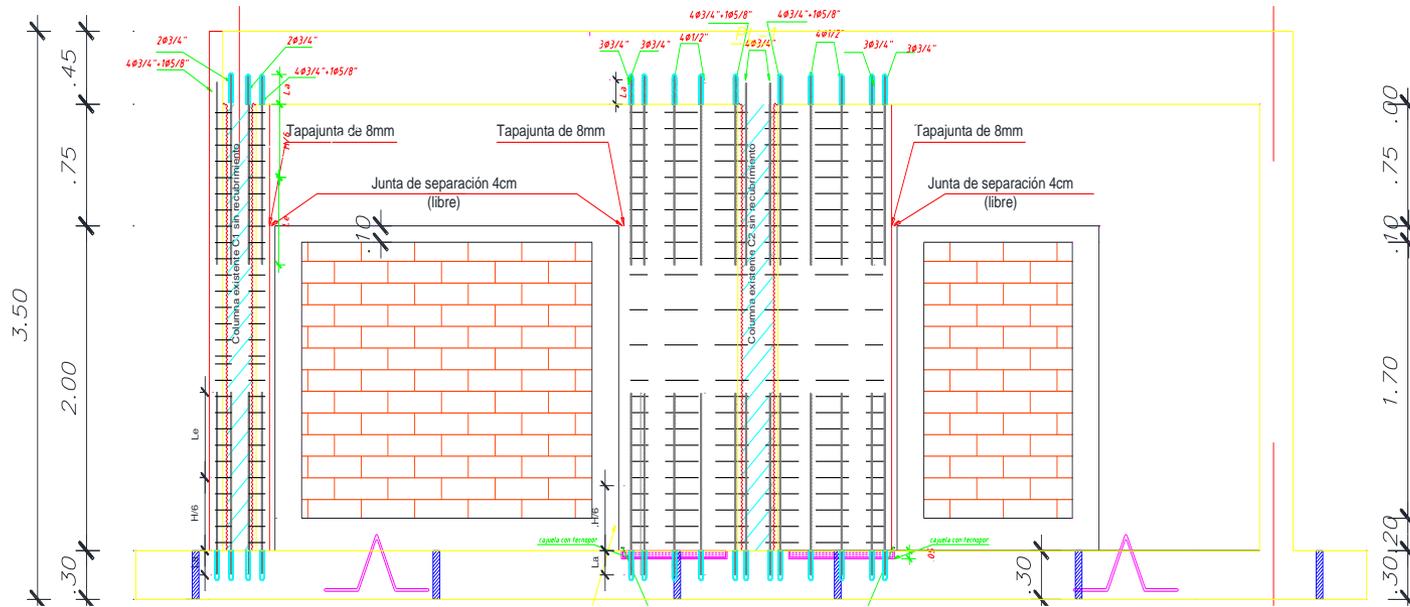
# Espécimen P780-MARM



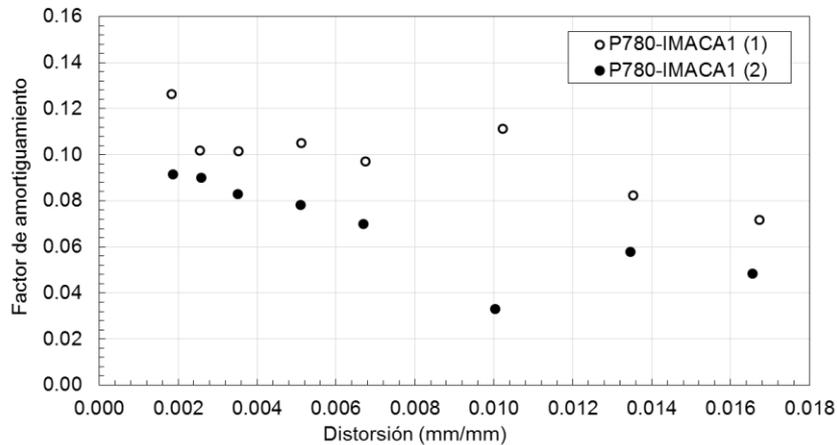
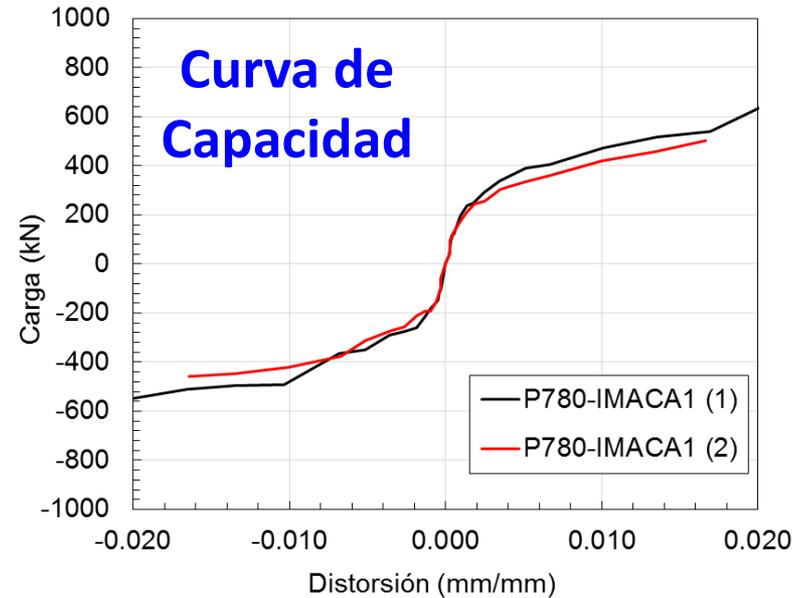
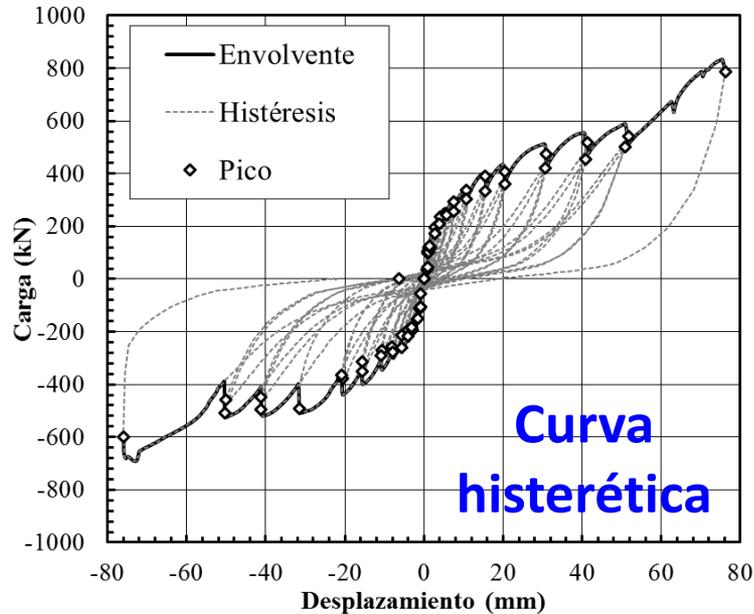
# Espécimen P780-MARM



# Espécimen P780-IMACA



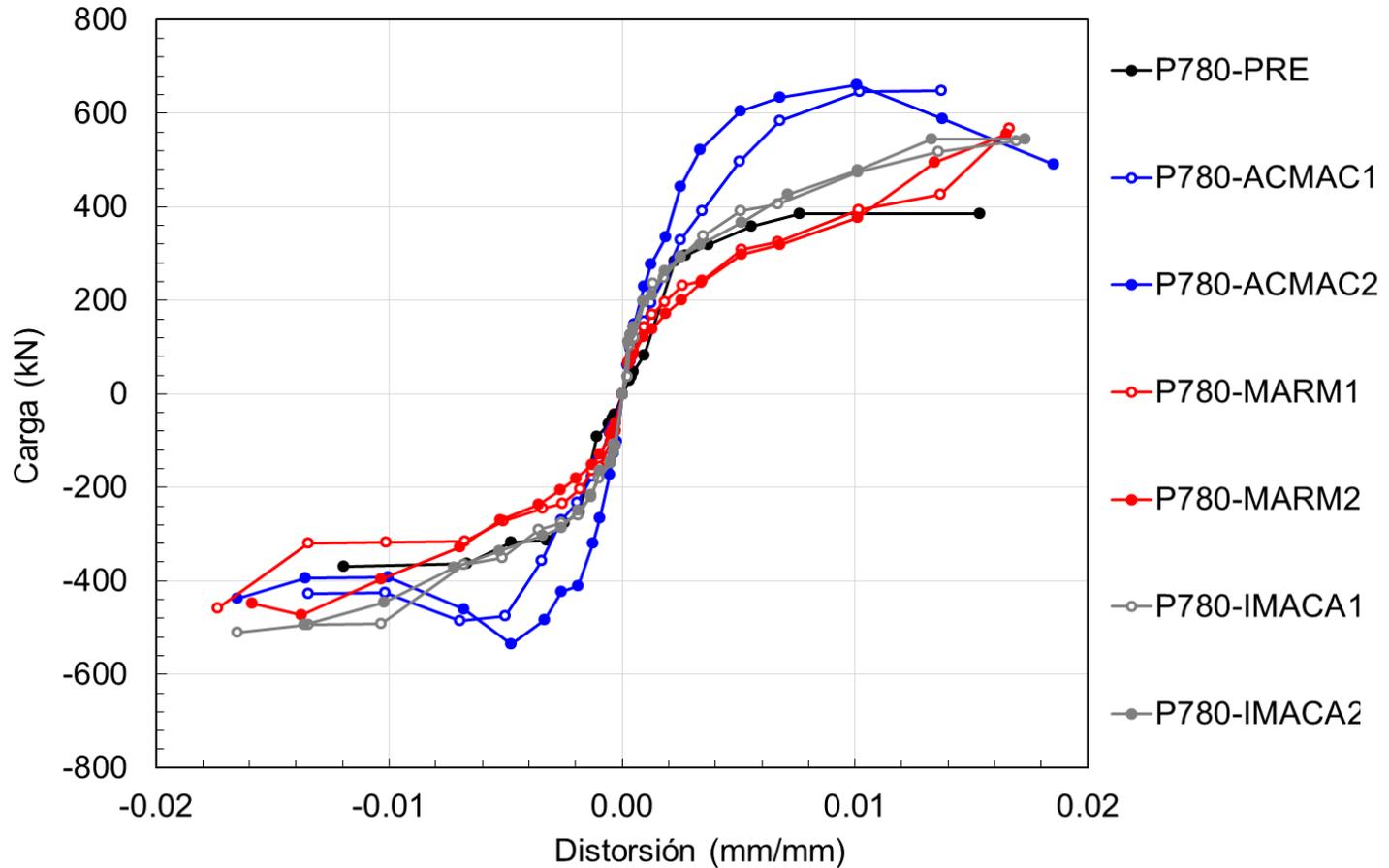
# Espécimen P780-IMACA



# COMPARACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES



# Curvas de capacidad



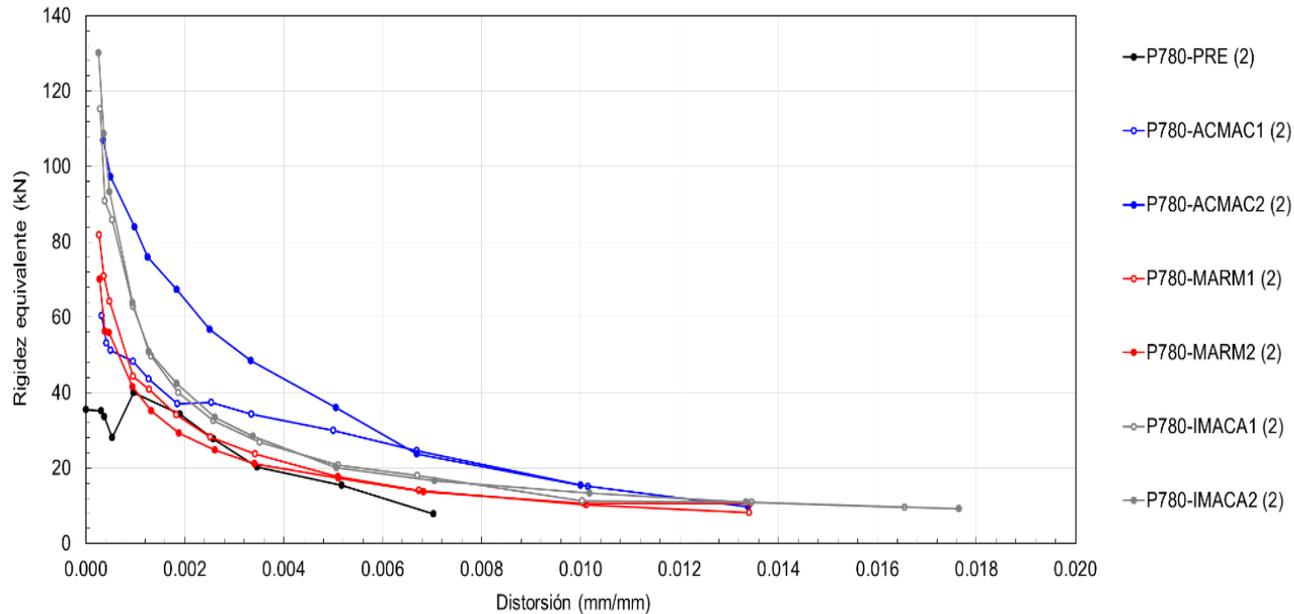
# Ensayo a Escala 1/2 ACMAC



Ensayo de simulación sísmica del módulo reforzado, 4 fases - registro sísmico MAYO70 (1970)



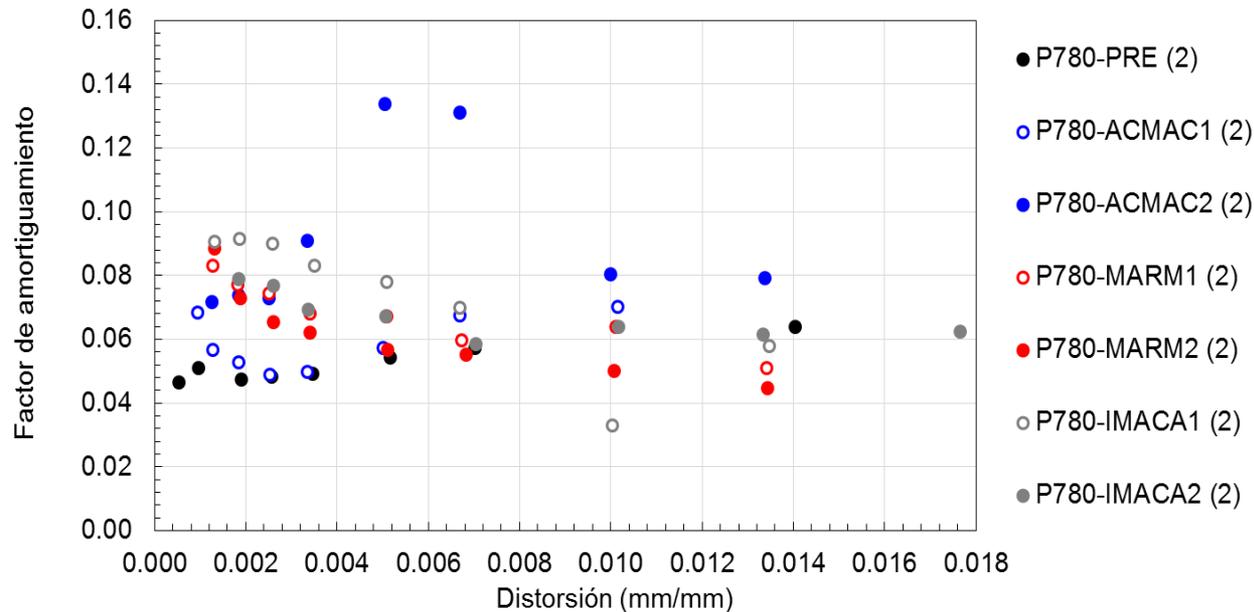
# Lazos histeréticos



Degradación de la rigidez



# Lazos histeréticos



Factor de amortiguamiento

Amortiguamiento histerético al límite de iniciación de daño: 4.5%

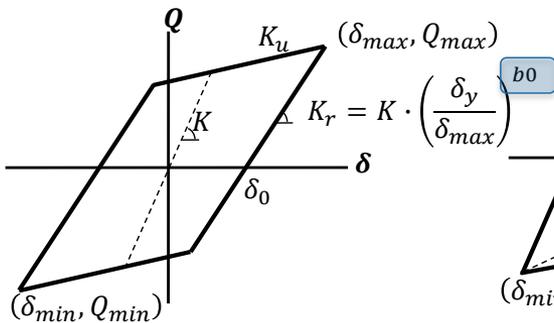
En el estado final: 13.5%



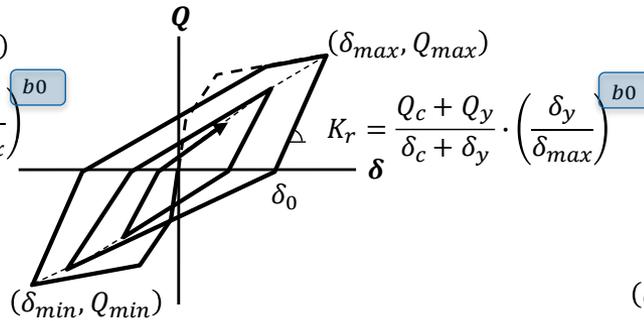
# CALIBRACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS



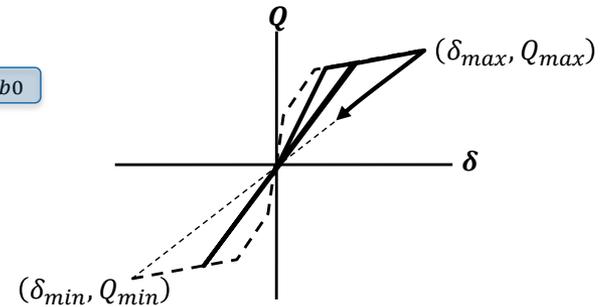
# Modelos histeréticos



Bilinear

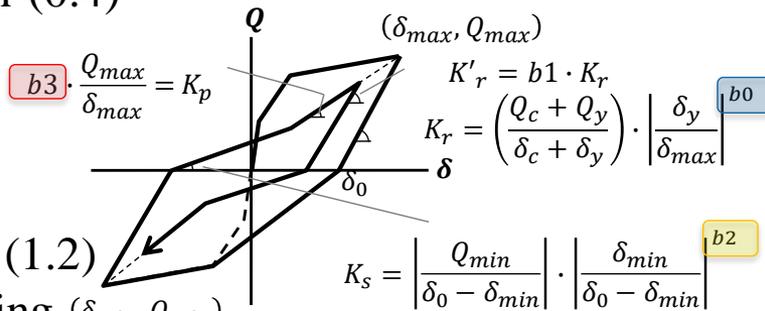


Takeda



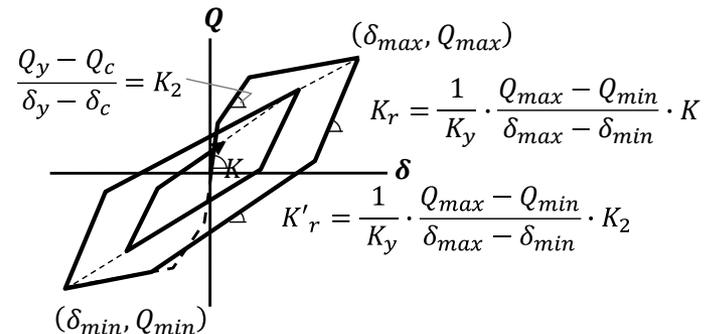
Orientado al origen

- $b_0$ : Unloading stiffness degradation (0.4)



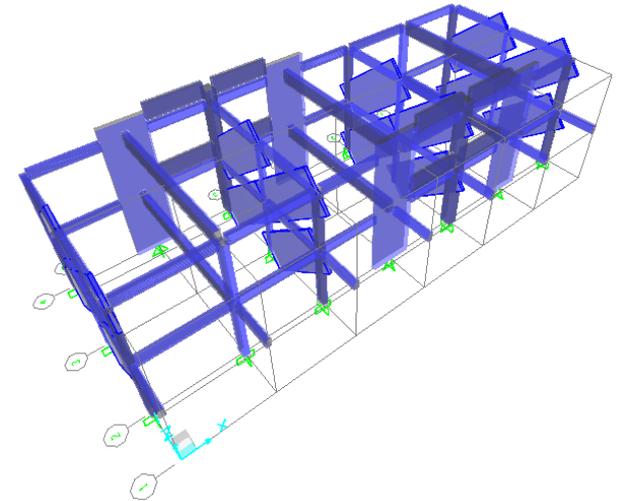
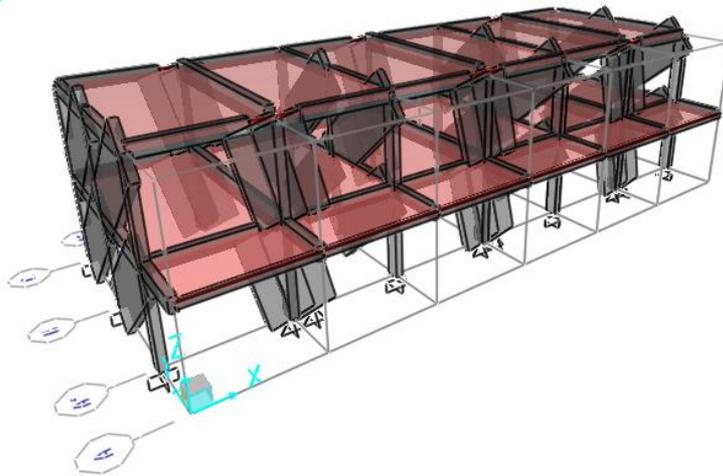
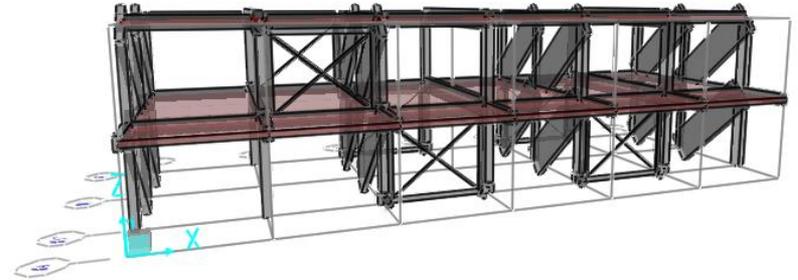
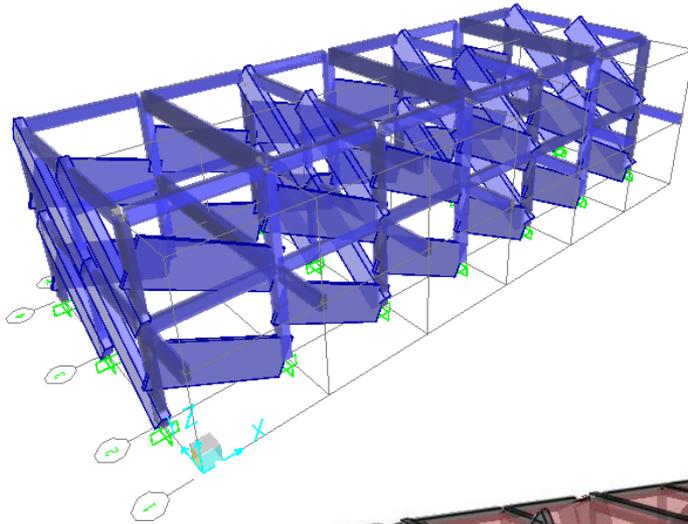
Takeda-slip

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



D-tri

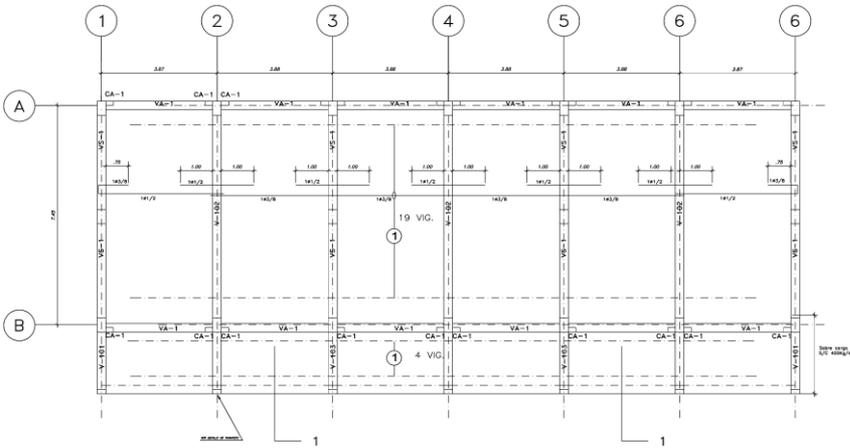
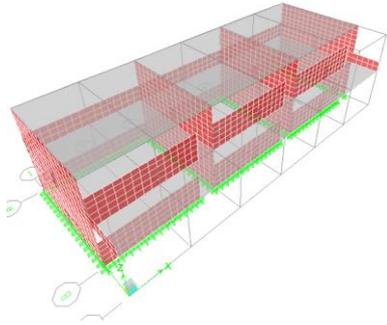
# Modelos matemáticos



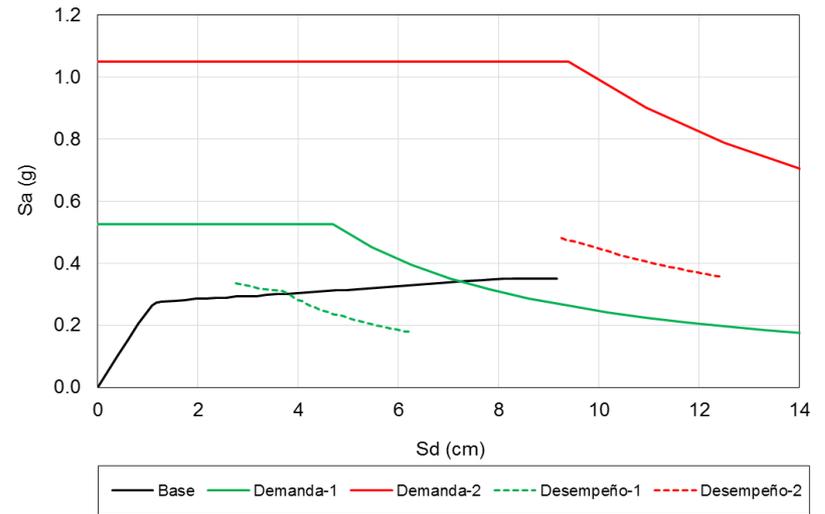
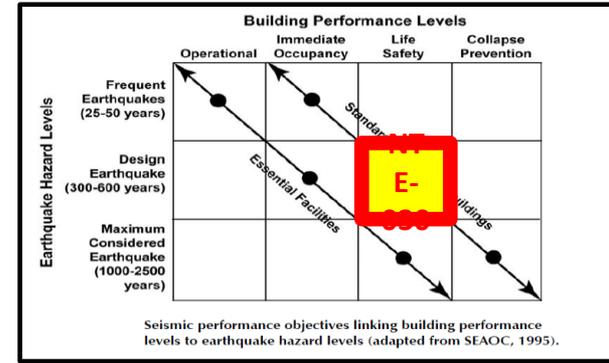
Modelos debidamente calibrados: curvas de capacidad e histéresis (disipación de energía)

# EDIFICIO EN EL ESTADO ACTUAL

## EDIFICIO SIN REFUERZO (BASE)

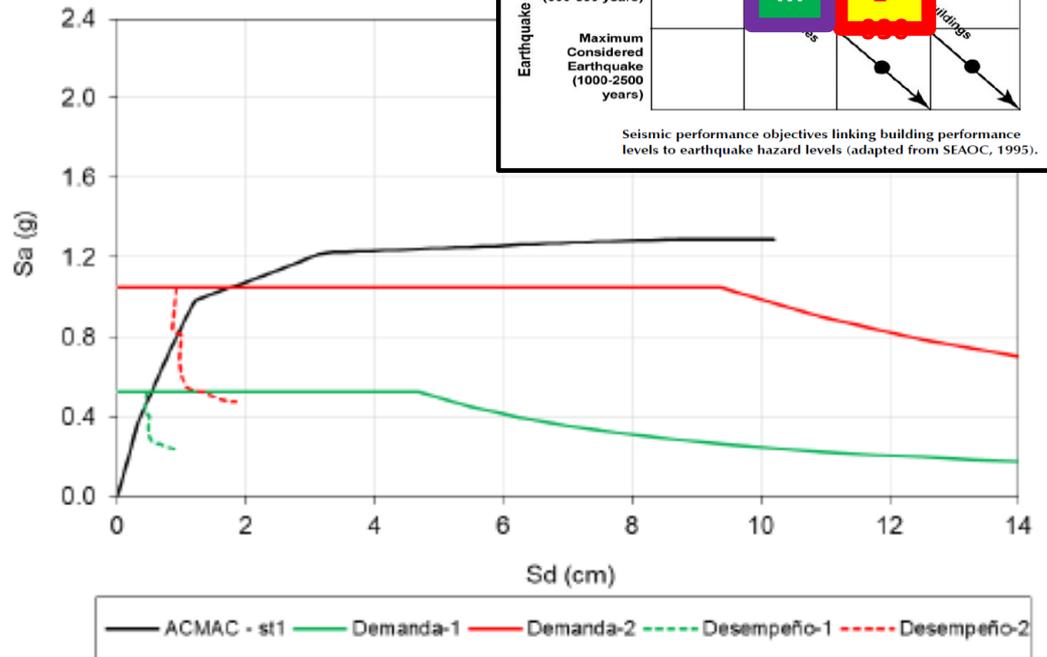
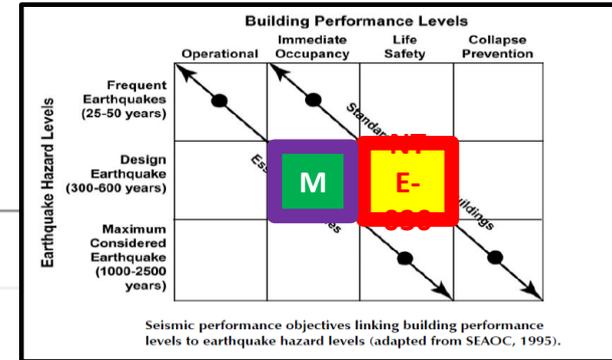
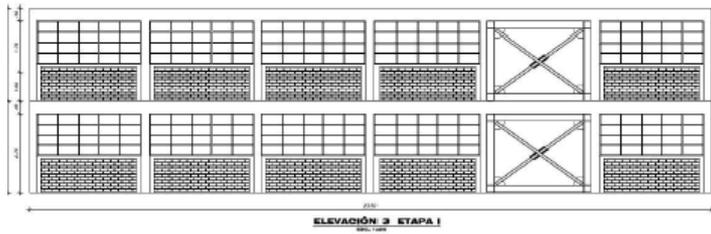
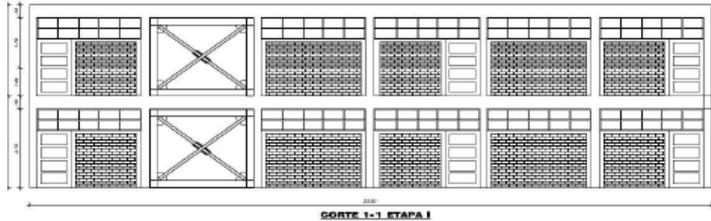
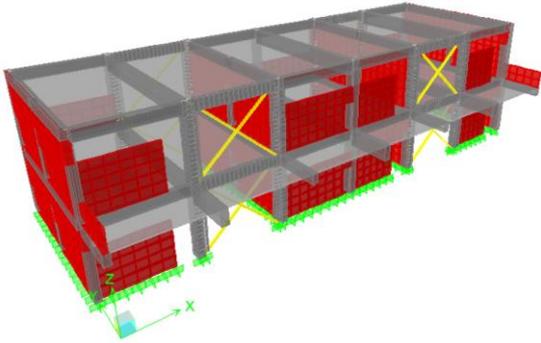


ENCOFRADO TECHO PRIMER PISO  
 Aligerado  $h = 20 \text{ cm}$   
 s/c  $300 \text{ kg/m}^2$  (excepto parcpeto)



# REFORZAMIENTO ETAPA 1

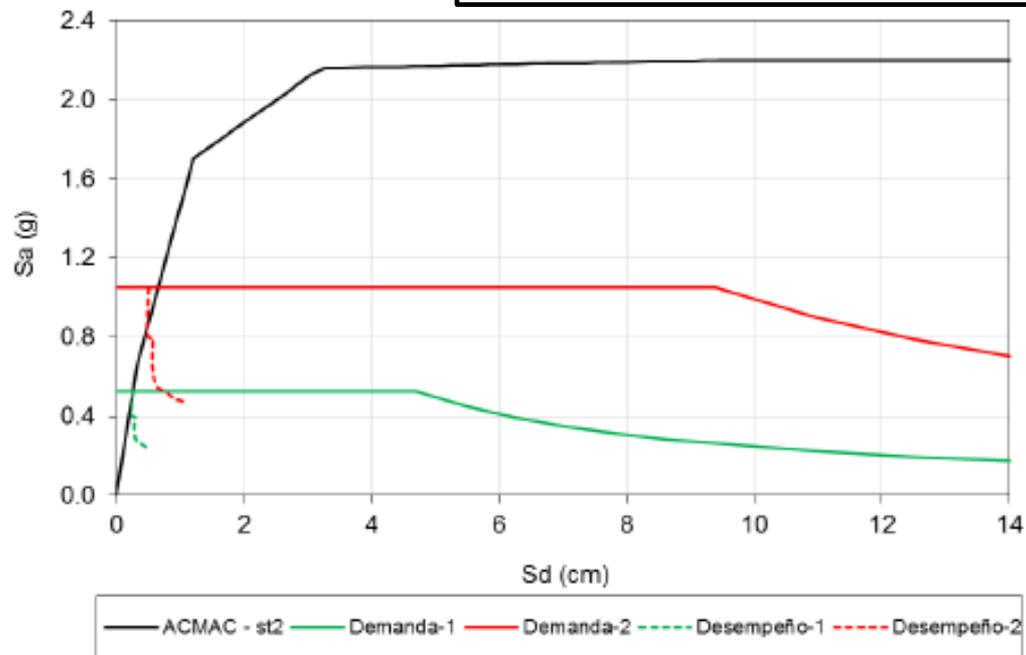
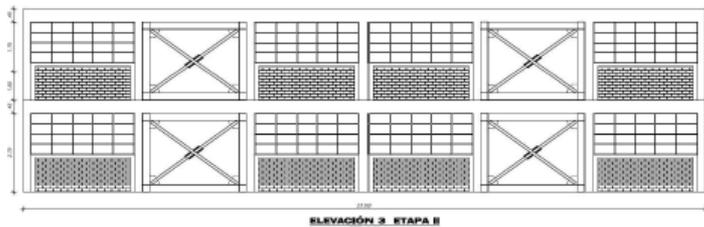
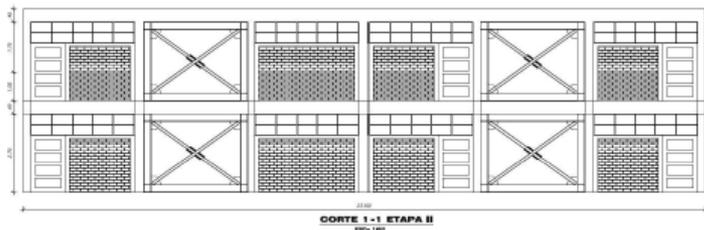
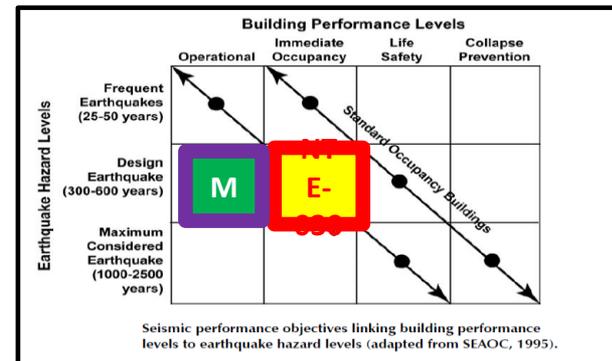
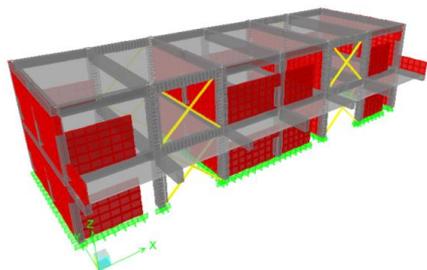
## SOLO DOS VANOS CON ARRIOSTRES - MEJORA



# REFORZAMIENTO ETAPA 2

## CUATRO VANOS CON ARRIOSTRES

### MEJORA CON REFUERZO



# Ejemplo de Reforzamiento Iniciativa Privada



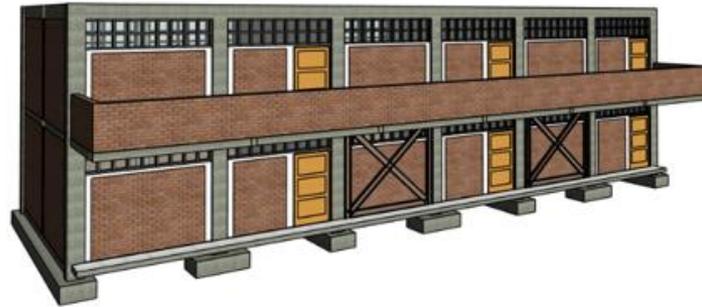
Reforzamiento Colegio La Unión – C.Zavala

# IMPLEMENTACIÓN EN COLEGIOS EXISTENTES



## GUÍA TÉCNICA

### DISEÑO DEL REFORZAMIENTO SÍSMICO INCREMENTAL DE EDIFICACIONES ESCOLARES: APLICACIÓN AL SISTEMA MODULAR 780 PRE



Marzo, 2017



Tabla 1-1. Lista de verificación para la aplicabilidad de las tres técnicas de reforzamiento incremental

+

ID	Descripción	Situación
01	El edificio escolar es un módulo 780PRE, de dos niveles y tres aulas por nivel.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> Si No
02	El edificio escolar está separado de otros edificios. Presenta una junta de separación no menor de 10cm.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> Si No
03	Las dimensiones de los elementos estructurales del edificio escolar se encuentran dentro del rango del $\pm 5\%$ con respecto a lo indicado en el plano del "Módulo 780PRE" <sup>1</sup>	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> Si No
04	El edificio escolar no presenta signos de corrosión en el refuerzo que comprometan la estructura.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> Si No
05	El edificio escolar no presenta exposición del refuerzo de acero en columnas y vigas.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> Si No
06	Los elementos estructurales no presentan deterioro por humedad en elementos estructurales (por capilaridad).	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> Si No
07	Los muros de albañilería no presentan eflorescencia u otra deficiencia que pueda afectar la aplicabilidad del proceso de reforzamiento.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> Si No
08	La capacidad portante del suelo es mayor o igual a $1 \text{ kgf/cm}^2$ . Este valor deberá ser justificado con un estudio de suelo existente del lugar de construcción o en su defecto con un ensayo de capacidad de suelo.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> Si No
09	La resistencia mínima de concreto existente es $175 \text{ kgf/cm}^2$ , que deberá comprobarse con ensayos a compresión de núcleos de concreto endurecido, tomando como mínimo dos muestras en columnas y dos muestras en vigas.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> Si No

Nota: 1. Plano del Módulo 780PRE estandarizado (Ver Anexos).



# AGRADECIMIENTOS

Banco Mundial

Ministerio de Educación

Universidad Nacional de Ingeniería  
(Laboratorio de Estructuras de CISMID)

Pontificia Universidad Católica del Perú

Universidad de Los Andes

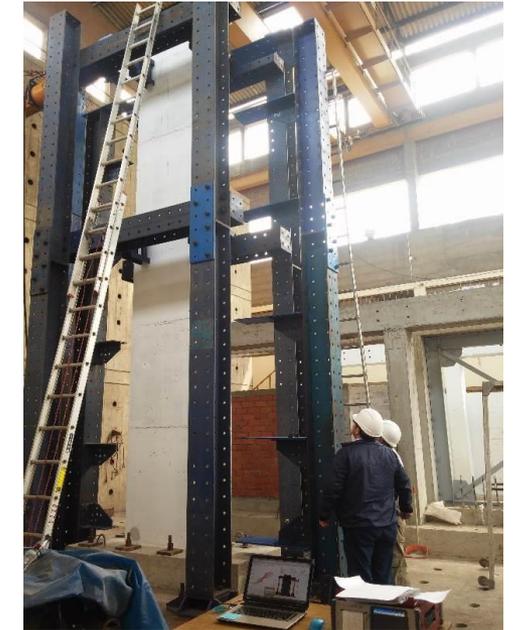


# CONCLUSIONES

- La Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad Nacional de Ingeniería (Laboratorio de Estructuras de CISMID) bajo la lupa de la Universidad de Los Andes unieron esfuerzos para la mejora estructural de los colegios en Perú.
- Se desarrollaron tres alternativas de refuerzo para eliminar la columna corta de los colegios 780PRE.
- A iniciativa del Ministerio de Educación y el Banco Mundial se desarrollo una guía para el reforzamiento con aplicabilidad condicionada.
- La aplicabilidad demuestra que es posible realizar el refuerzo en tres meses época de vacaciones en Perú.



# Muchas gracias



Laboratorio de Estructuras de  
CISMID –FIC-UNI

