



CONGRESO NACIONAL
DE **INGENIERÍA**

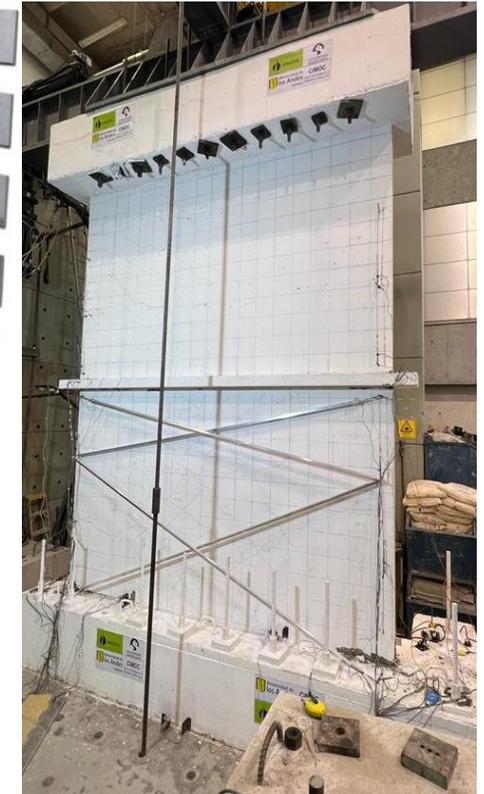


RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

PARADIGMAS EN MUROS PREFABRICADOS

Juan Francisco Correal Daza, PhD, P.E., FACI
Profesor Titular





CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Que es un paradigma?

Es una teoría o modelo explicativo de las realidades físicas. Con el significado de paradigma científico, se usa hoy en la investigación científica y fue introducido por Thomas Kuhn (1975) para explicar los cambios o “revoluciones científicas”.



Filósofo de Ciencia Estadounidense
Profesor de la Universidad de Princeton

Por que Prefabricados?



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Maquina del Tiempo → 50 años adelante

INGENIEROS

1. ELECTRICO
2. MECANICO
3. SISTEMAS
4. CIVIL



Prefabricados= + Productividad +Tecnología



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

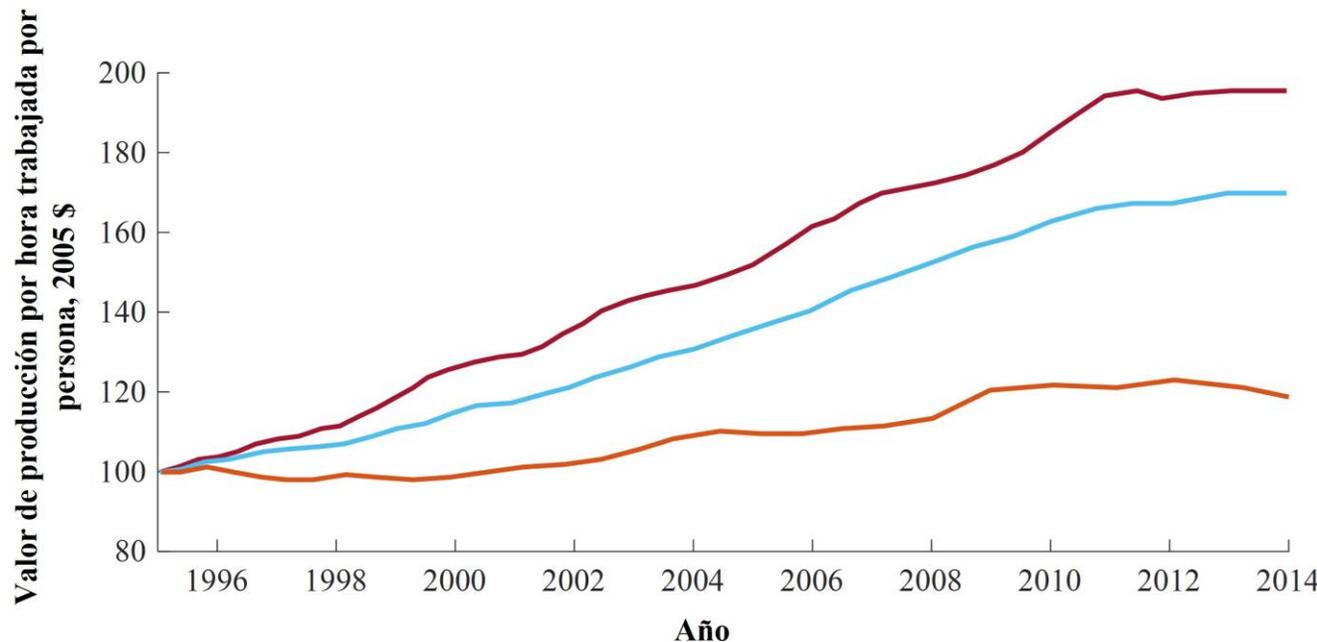


Basado en una muestra de 41 países que generan el 96% del PIB.
Índice: 100 = 1995

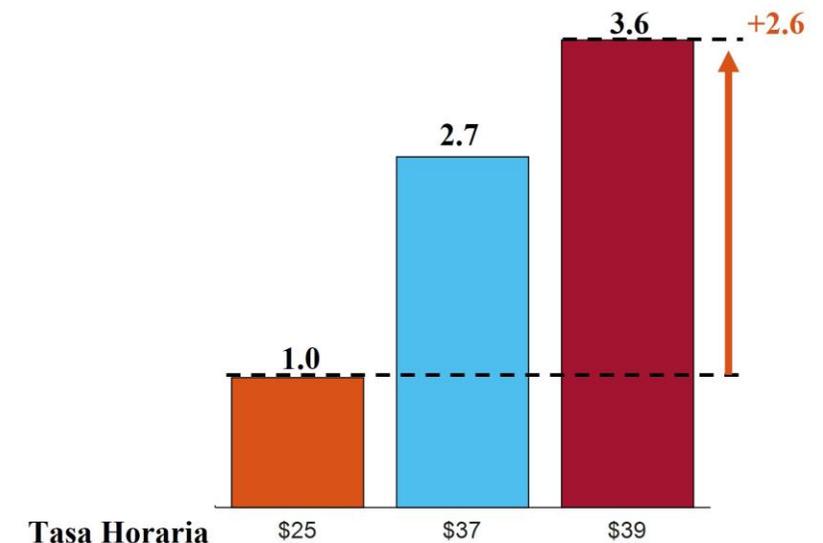
— Construcción

— Economía total

— Manufacturas



Tasa de crecimiento anual compuesta,
1995-2014
%



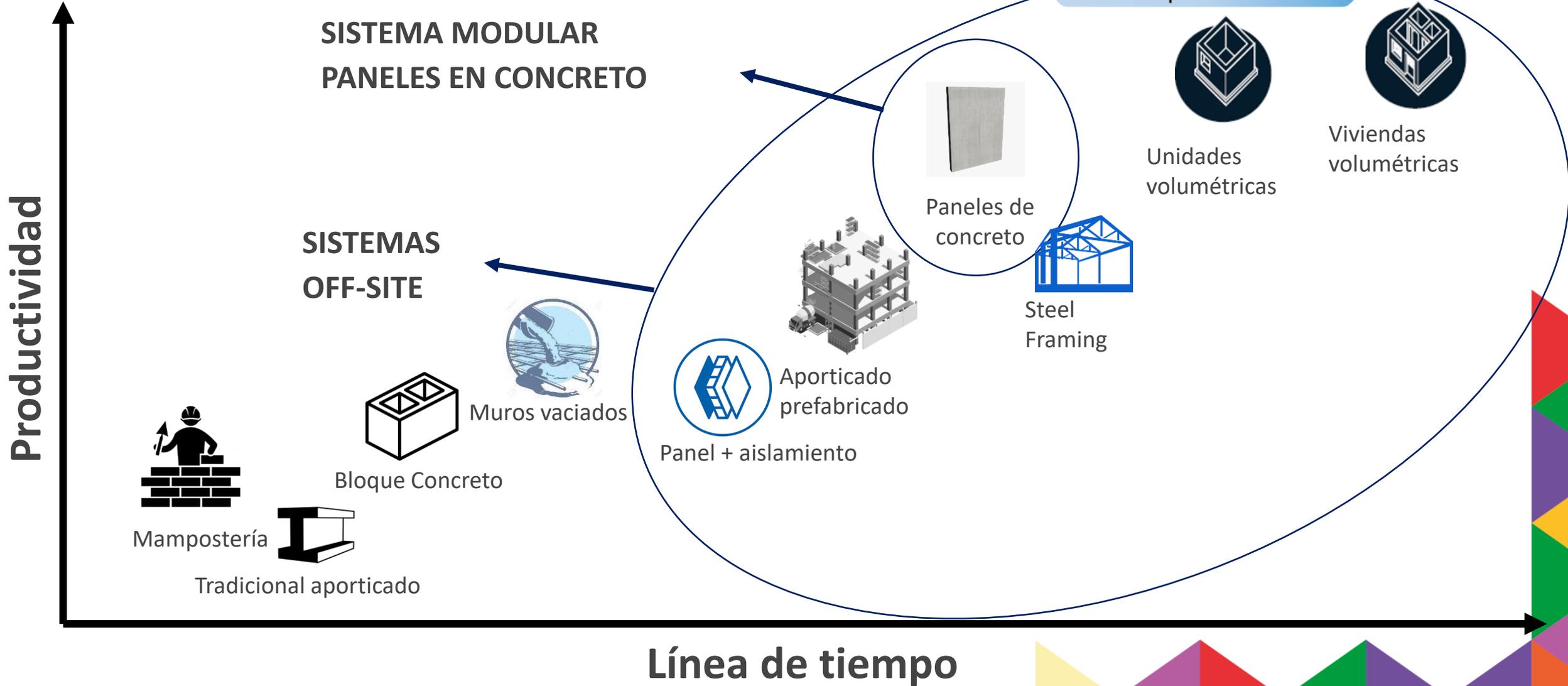


CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Paradigmas en Muros Prefabricados (Modulares en Concretos)



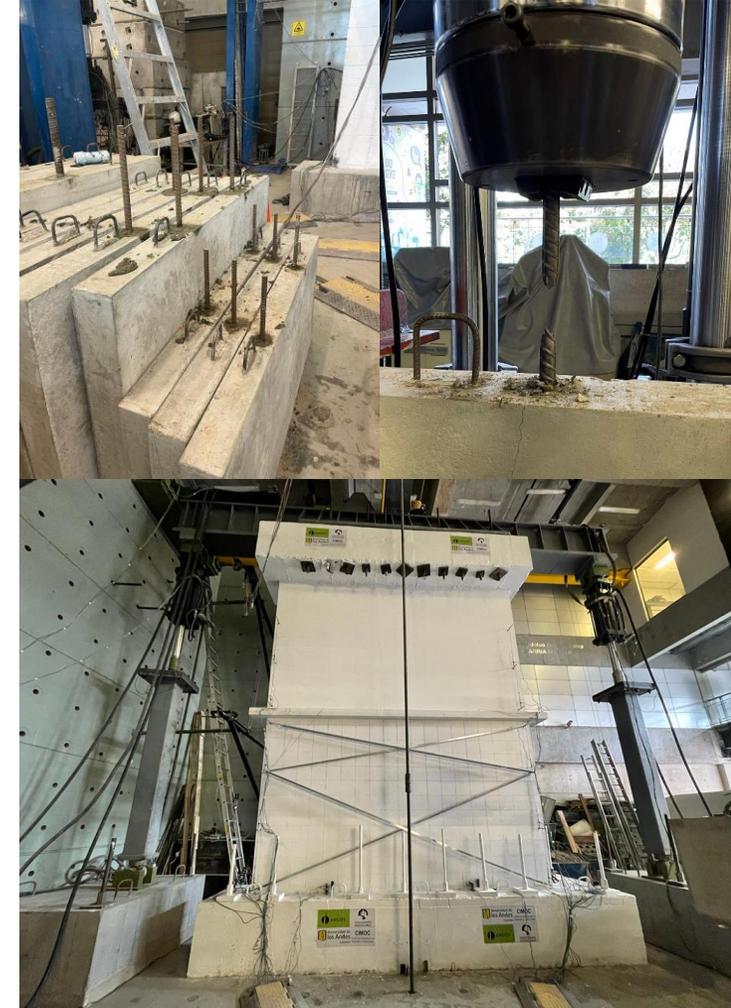
CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



1. Revisión normativa del sistema modular.
2. Antecedentes de ensayos realizados utilizando el sistema.
3. Ensayos experimentales sobre conexiones.
4. Validación del sistema para ser usado en Colombia.



Lo Anterior estuvo enmarcado en...

Estudio del comportamiento sísmico del sistema de muros modulares de ARGOS, con el fin de validar tanto analíticamente como experimentalmente el uso de este sistema en Colombia.

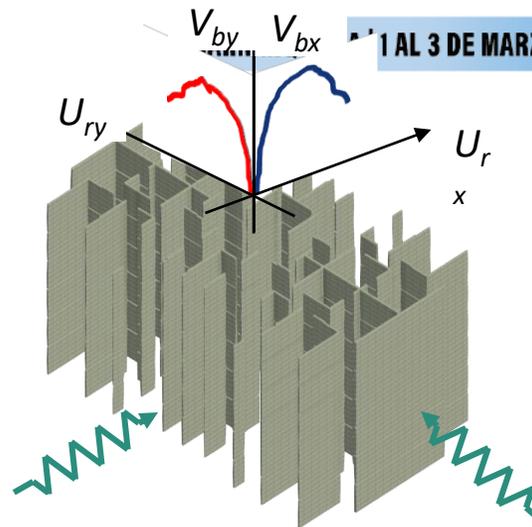


CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



1 AL 3 DE MARZO DE 2023



¿Cuáles son las disposiciones normativas?



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

Actualmente las estructuras modulares (prefabricadas) se encuentran incorporadas en diferentes códigos de diseño para diferentes países.

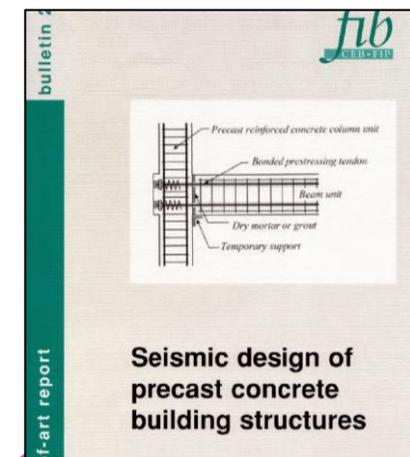
Sistema resistente	R
5. Estructuras de hormigón armado prefabricado	
5.1 Estructuras prefabricadas puramente gravitacionales	5
5.2 Estructuras prefabricadas con uniones húmedas, no dilatadas de los elementos no estructurales e incorporados en el modelo estructural	3
5.3 Estructuras prefabricadas con uniones húmedas, dilatadas de los elementos no estructurales	5
5.4 Estructuras prefabricadas con uniones secas, dilatadas y no dilatadas, con:	
Conexiones apemadas y conexiones mediante barras embebidas en mortero de relleno ³⁾	4
Conexiones soldadas ³⁾	4

4.6.6 Recommendations for equivalent-monolithic precast systems

Force-Reduction Factors

Limits on R factors depend on structural form, and amount and distribution of transverse reinforcement in potential plastic hinges. Assuming validity of the equal displacement approximation, the limit for R is equal to the displacement ductility capacity. Based on this, reasonable limits to R are:

Frames:	$R < 5$
Walls:	$R < 4$



¿Cuáles son las disposiciones normativas?

Se aceptan como un sistema de resistencia sísmica y se asignan coeficientes de diseño iguales a los de concreto convencional.

$R_o=4.0$ para muros prefabricados DMO en amenaza sísmica intermedia



CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

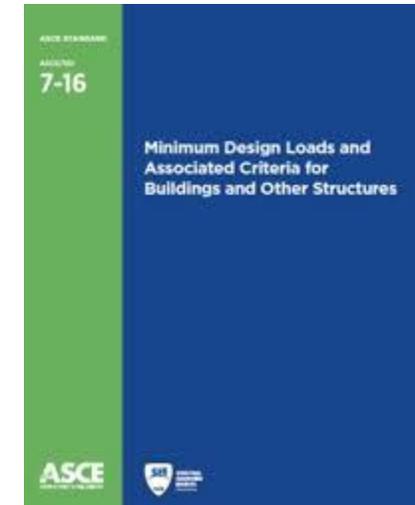
Table 12.2-1 Design Coefficients and Factors for Seismic Force-Resisting Systems

Seismic Force-Resisting System	Response Modification Coefficient, R^a	Overstrength Factor, Ω_0^b	Structural System Limitations Including Structural Height, h_n (ft) Limits ^d				
			Seismic Design Category				
			B	C	D ^e	E ^e	F ^f
A. BEARING WALL SYSTEMS							
1. Special reinforced concrete shear walls ^{g,h}	5	2½	NL	NL	160	160	100
2. Ordinary reinforced concrete shear walls ^g	4	2½	NL	NL	NP	NP	NP
3. Detailed plain concrete shear walls ^g	2	2½	NL	NP	NP	NP	NP
4. Ordinary plain concrete shear walls ^g	1½	2½	NL	NP	NP	NP	NP
5. Intermediate precast shear walls ^g	4	2½	NL	NL	40'	40'	40'
6. Ordinary precast shear walls ^g	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP

^hIn Section 2.3 of ACI 318. The definition of "special structural wall" includes precast and cast-in-place construction.

C.21.4.1 — Alcance

vaciados en sitio. Los muros prefabricados que cumplan la totalidad de la sección C.21.4 se pueden diseñar para las fuerzas sísmicas obtenidas de acuerdo con el Título A de este Reglamento usando el coeficiente de capacidad de disipación de energía básico R_o correspondiente a muros de concreto monolíticos para capacidad moderada de disipación de energía (DMO) según se prescribe en el Capítulo A.3, deben cumplirse los requisitos del Capítulo C.16 y no hay necesidad de cumplir lo prescrito en A.1.4.2 ni en A.3.1.7. Los muros vaciados en sitio deben cumplir con C.21.4.4.



NSR-10



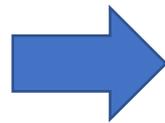
CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

NSR-10 reconoce los sistemas de muros prefabricados con R_0 igual al los muros fundidos en sitio (C.21.4 y C.21.10), cumpliendo C.21 y C.16.



Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Viceministerio de Vivienda
Dirección del Sistema Habitacional
República de Colombia

COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN
DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES
(Creada por la Ley 400 de 1997)

REGLAMENTO COLOMBIANO DE
CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE

NSR-10



TÍTULO C – CONCRETO ESTRUCTURAL

Secretaría de la Comisión:

ais Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
Carrera 19A N° 84-14, Oficina 502 • Bogotá, D. C., COLOMBIA • Teléfono: +57-1-630-0826 • Fax: +57-1- 630-0827 • asosismica@gmail.com

CAPÍTULO C.16 – CONCRETO PREFABRICADO

- C.16.1 – Alcance
- C.16.2 – Generalidades
- C.16.3 – Distribución de fuerzas entre elementos
- C.16.4 – Diseño de los elementos
- C.16.5 – Integridad estructural
- C.16.6 – Diseño de conexiones y apoyos
- C.16.7 – Elementos embebidos después de la colocación del concreto..
- C.16.8 – Marcas de identificación
- C.16.9 – Manejo
- C.16.10 – Evaluación de la resistencia de estructuras prefabricadas

Muro estructural especial – DES (Special structural wall) — Un muro construido en sitio o prefabricado con capacidad especial de disipación de energía (DES) que cumple con los requisitos de C.21.1.3 hasta C.21.1.7, C.21.9 y C.21.10, como sea aplicable, además de los requisitos para los muros estructurales ordinarios de concreto reforzado con capacidad mínima de disipación de energía (DMI) contenidos en los Capítulos C.1 al C.18.

Muro estructural intermedio – DMO (Intermediate structural wall) — Muro construido en sitio o prefabricado con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) que cumple con todos los requisitos aplicables de los Capítulos C.1 al C.18, además de lo especificado en C.21.4.

NSR-10



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



NSR-10 C.16 (ACI 318-19)

16.6.1 Se permite que las fuerzas sean transmitidas entre los elementos a través de **juntas inyectadas con mortero**, llaves de cortante, conectores mecánicos, conexiones con refuerzo de acero, afinado reforzado o combinaciones de estos.

16.6.1.1 La efectividad de las conexiones se debe **verificar por análisis o ensayos**.

16.2.1.3 No se permite conexiones que dependan únicamente por fricción.

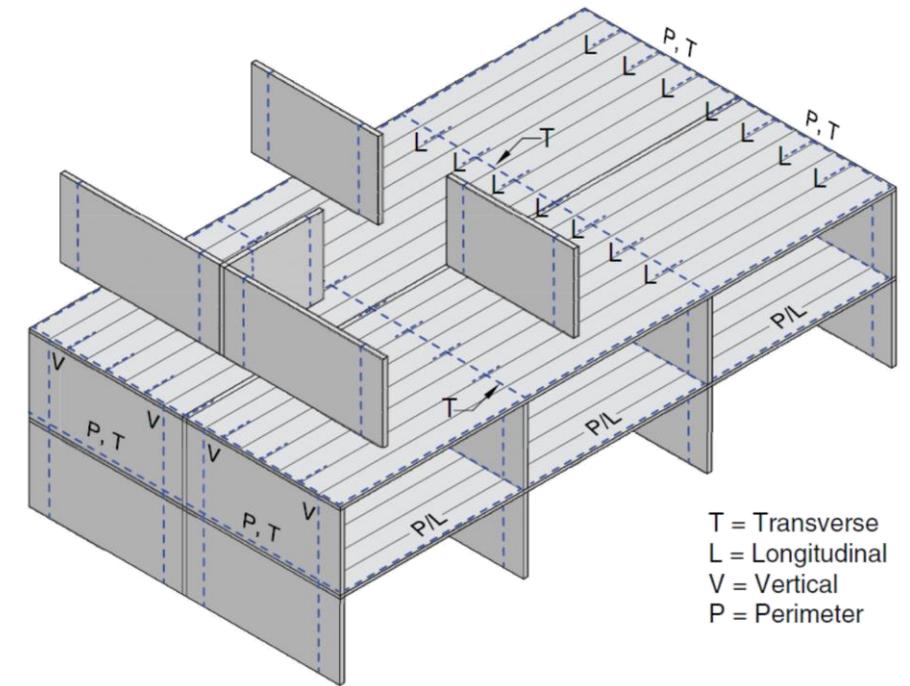
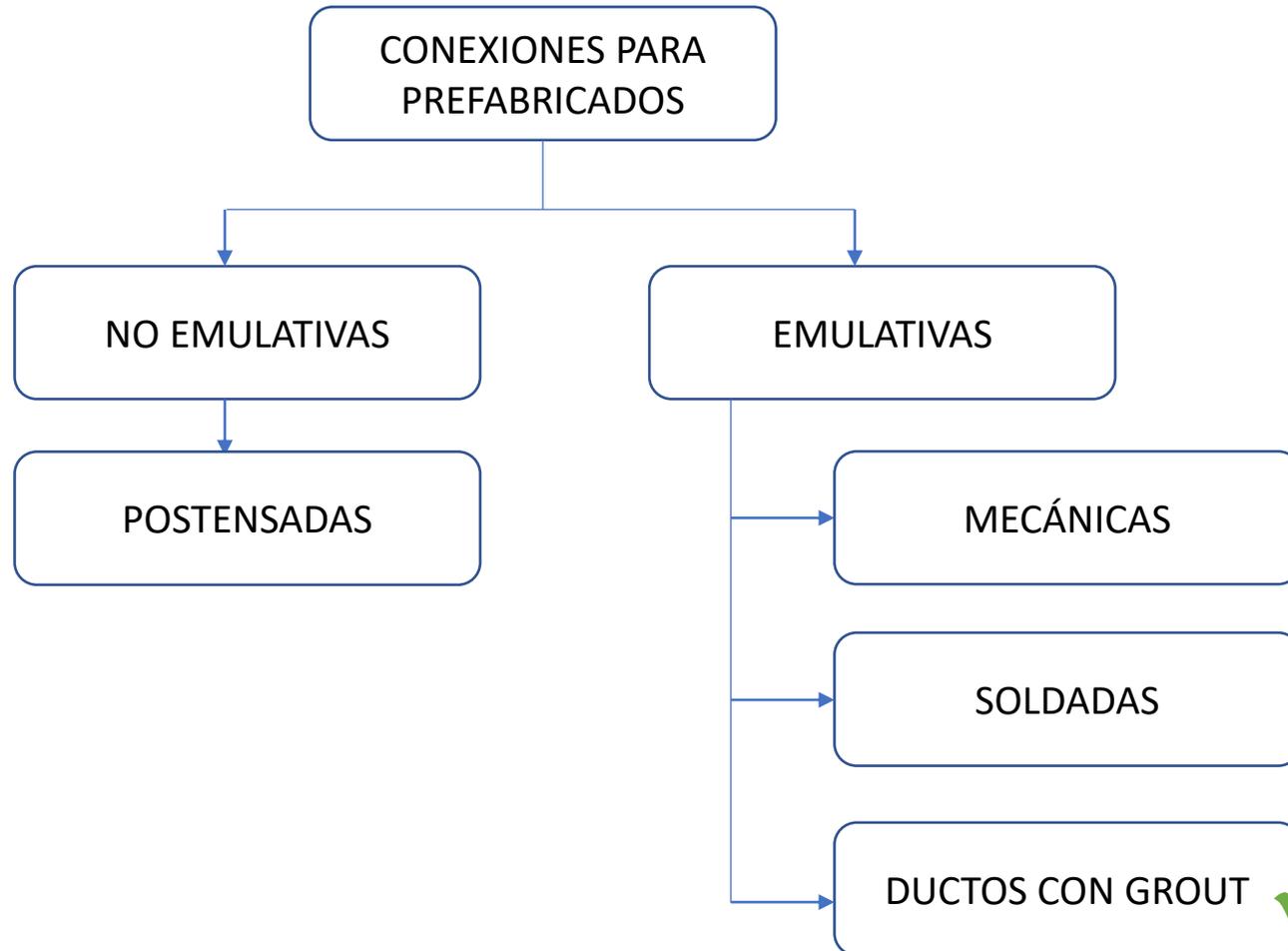


Fig. R16.2.5—Typical arrangement of integrity ties in large panel structures.

La implementación de estas estructuras requiere la evaluación de sus conexiones

Conexiones-NSR-10



El diseño de edificaciones prefabricadas (Sistemas modulares) utilizando el **Título C de la NSR-10 o el Título 18 (ACI 318-19)** pretende emular el comportamiento del concreto fundido en sitio (**R16.1 o R18.1-Alcance**).

Se eligen las **conexiones tipo ducto** por sus ventajas económicas y constructivas.

Ensayos de Conexiones



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



NSR-10 (ACI 318-19)

C.16.4.2 — En muros prefabricados no preesforzados, el refuerzo debe diseñarse de acuerdo con las disposiciones de los Capítulos C.10 ó C.14 excepto que el área de refuerzo vertical y horizontal debe, cada una, no ser menor de $0.001 A_g$, donde A_g es el área bruta del muro. El espaciamiento del refuerzo no debe exceder de 5 veces el espesor del muro ni 750 mm para muros interiores o 450 mm para muros exteriores.

Requisitos mínimos de área del refuerzo transversal y longitudinal y máximos de espaciamiento

C.21.4.2 — En las conexiones entre los paneles de muro, o entre los paneles de muro y la cimentación, se debe restringir la fluencia a los elementos de acero o al refuerzo.

Conexiones deben garantizar fluencia al menos



www.icc-es.org | (800) 423-6587 | (562) 699-0543 A Subsidiary of the International Code Council®

ACCEPTANCE CRITERIA FOR MECHANICAL CONNECTOR
SYSTEMS FOR STEEL REINFORCING BARS

AC133

NORMATIVA PARA ENSAYOS DE CONEXIONES

- Permite validar **conexiones tipo 2 (fluencia)**.
- Apéndice A para **conexiones con grout**.

Programa experimental de conexiones



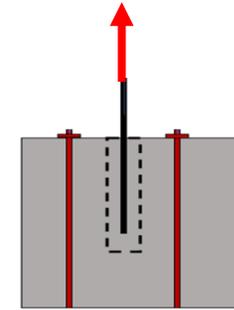
CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

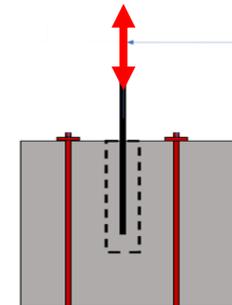


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

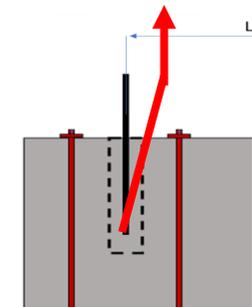
Monotónico:



Cíclico:



Desalineamiento:



115 ensayos de segmentos de muros con barra #4 a #8

ESTÁTICOS						
Conf.*	Rec. Min* [cm]	Espesor [cm]	No.Barra	Refuerzo transversal	Ld* [cm]	# Ensayos
No	[R=1.6cm]	10	4	1 Malla	25	3
			4	1 Malla	30	2
			4	1 Malla	45	5
			5	1 Malla	30	2
			5	1 Malla	36	3
			5	1 Malla	55	5
		6	1 Malla	65	4	
		12	6	2 Mallas	65	5
		15	5	1 Malla	55	3
			7	2 Mallas	75	5
8	1 Malla		50	2		
8	1 Malla		90	4		
8	1 Malla		110	4		
8	2 Mallas	90	5			
Si	15	5	1 Malla	55	3	
		8	1 Malla	90	3	
		20	8	2 Mallas	90	3

DINÁMICOS						
Conf.*	Rec. Min* [cm]	Espesor [cm]	No.Barra	Refuerzo transversal	Ld* [cm]	# Ensayos
No	[R=1.6cm]	10	4	1 Malla	45	7
			5	1 Malla	55	6
		12	6	2 Mallas	65	6
		15	7	2 Mallas	75	5
			8	1 Malla	90	2
8	2 Mallas	90	5			
Si	15	8	1 Malla	90	5	

Programa experimental de conexiones



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

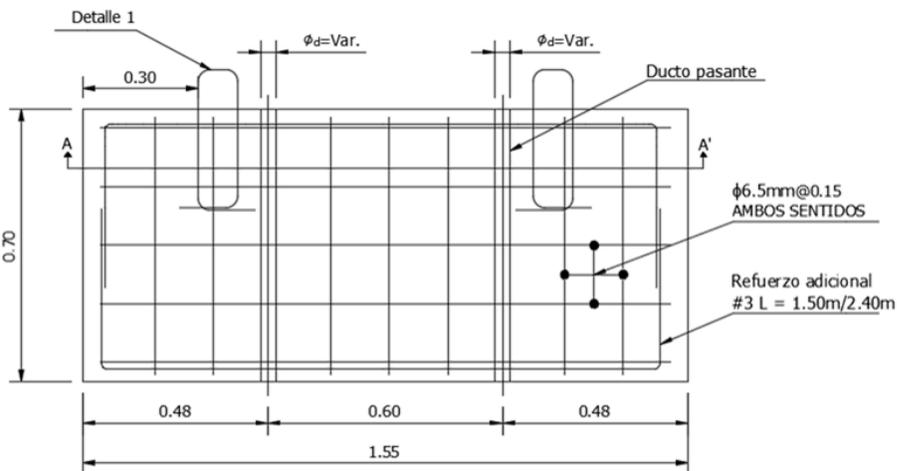
RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



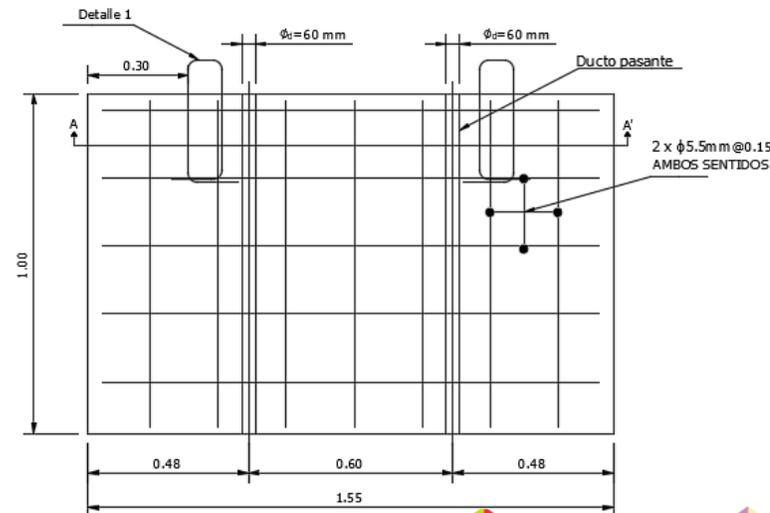
BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

- Longitudes de desarrollo.
- 4 espesores de muros (20cm, 12cm, 15cm)
- Con y sin confinamiento.
- 1 y 2 Mallas.

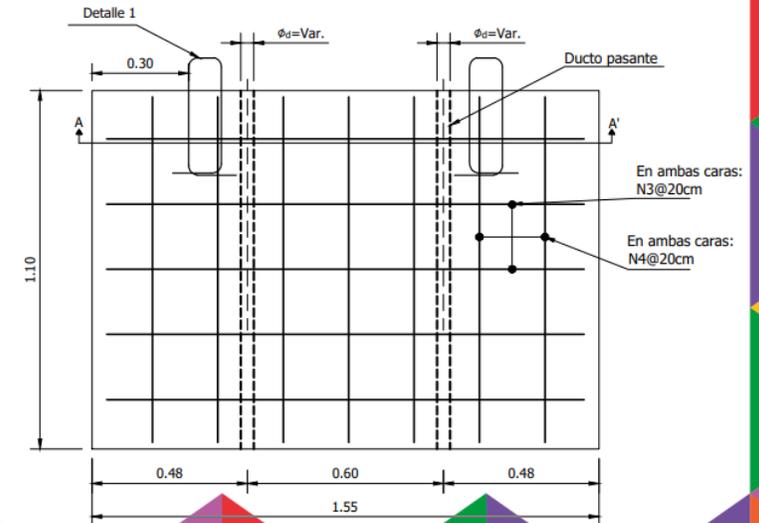
Barras #4 y #5:



Barras #6:



Barras #7 y #7:



Tipo de falla en ensayos de conexiones



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Deslizamiento de la barra

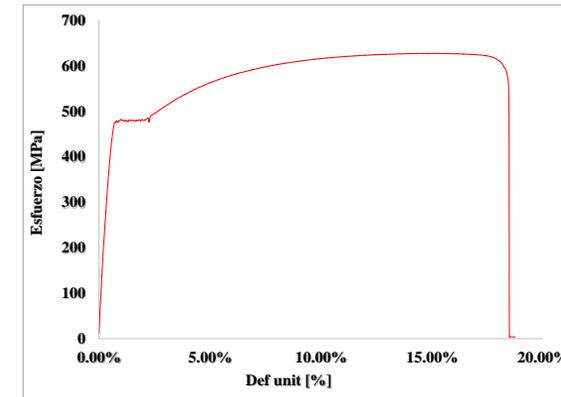
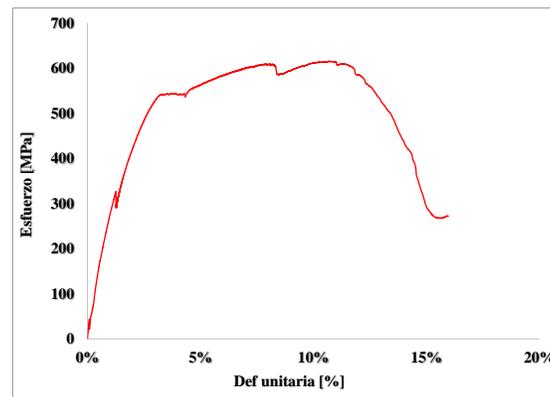
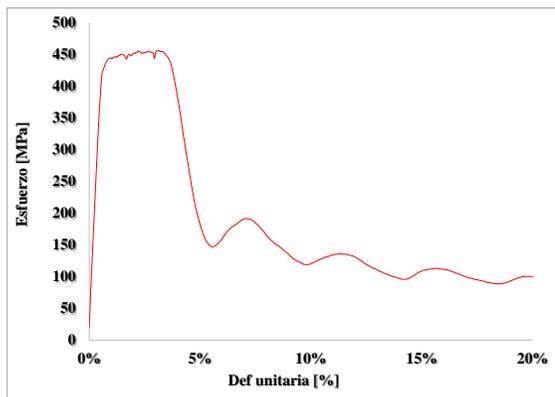


Hendimiento del concreto



Ruptura de la barra

CONEXIÓN
TIPO 2



Resultados para ensayos de conexiones



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



No.Barra	Le[cm]	L no adherida [cm]	Espesor [cm]	Refuerzo Transversal
4	45	6	10	1 Malla
5	55	7	10	1 Malla
6	65	9	12	2 Mallas
7	76	10	15	2 Mallas
8	90	12	15	2 Mallas / Confinado

Nota: -Resultados para concreto de 40MPa y acero de 420MPa.

-La malla electrosoldada no hace parte del refuerzo principal del muro.

¿Se han realizado más ensayos de sistemas modulares de muros con conexiones tipo ducto?

Antecedentes de muros prefabricados con ductos



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

(F. Crisafulli, et al. 2002)

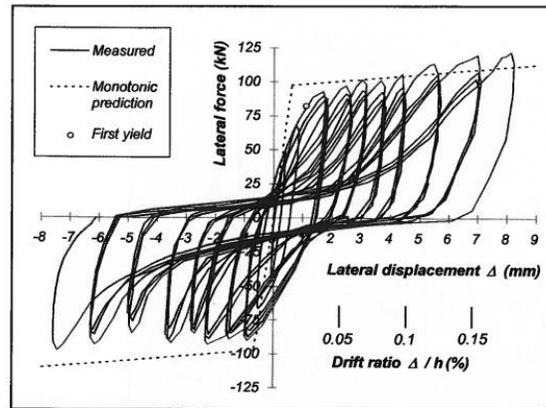
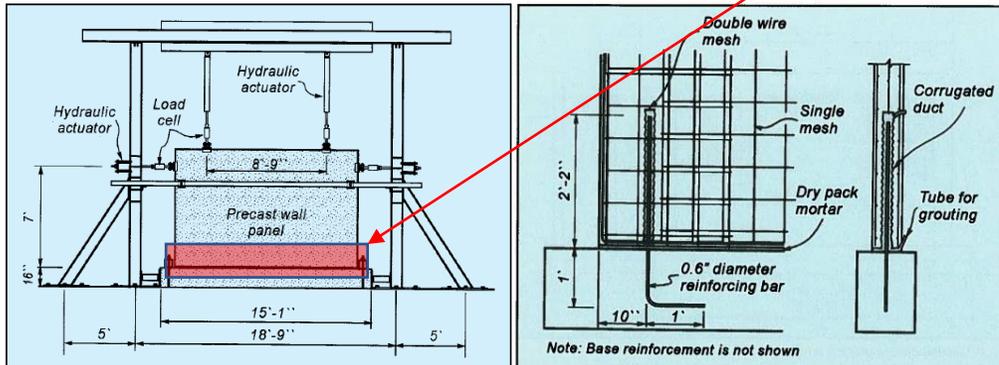


Fig. 12. Lateral force-lateral displacement response.



- Desde el primer ciclo se encontró un comportamiento no lineal la apertura de una grieta entre el panel y la cimentación.
- El panel presentó un alto comportamiento por deslizamiento en la base.
- El sistema puede ser diseñado para regiones de amenaza sísmica alta con edificaciones bajas y alto índice de muros.
- La ductilidad se concentra en la conexión y se genera una grieta con la cimentación, lo que previene los daños en el panel.

Antecedentes de muros prefabricados con ductos



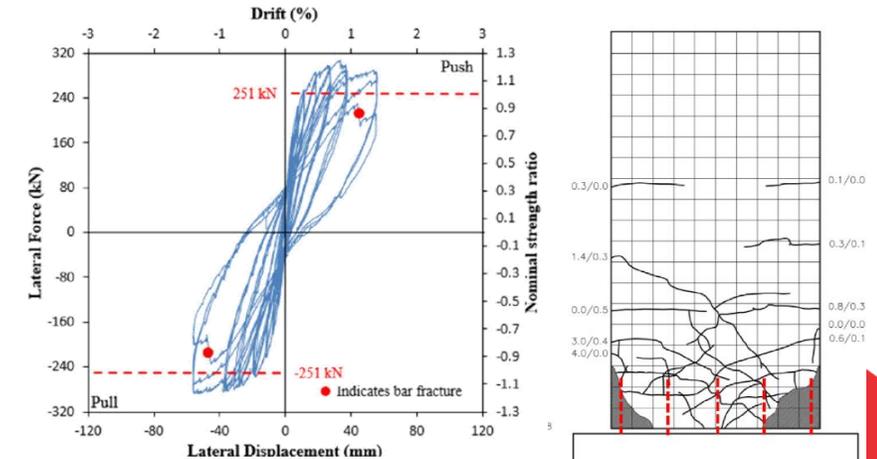
CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

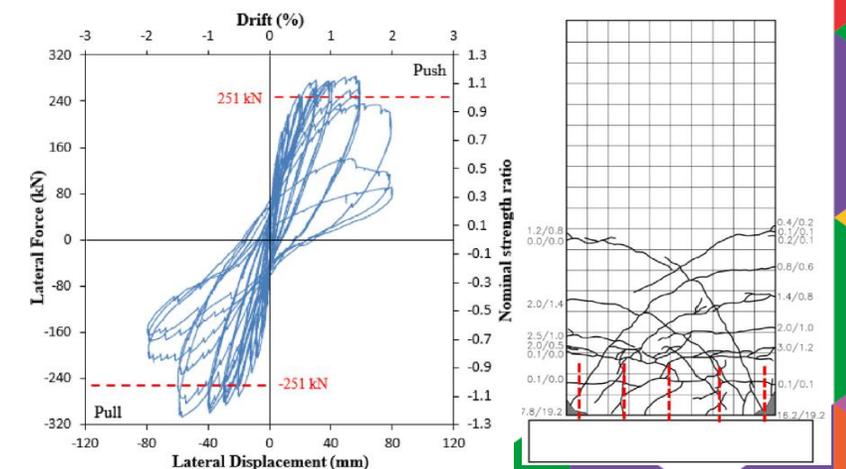


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

Con confinamiento



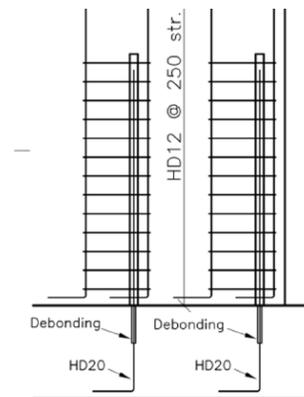
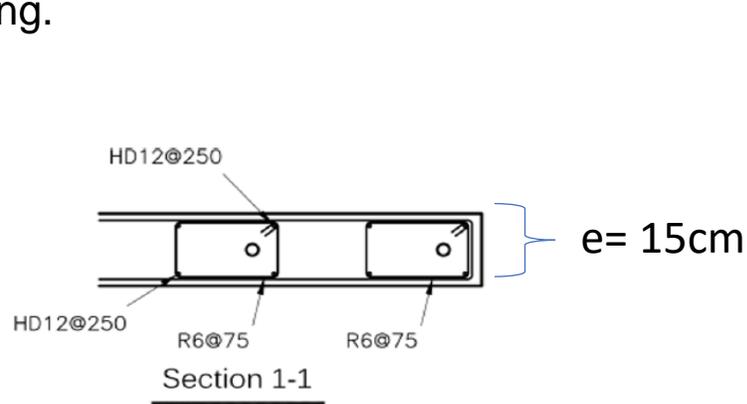
Sin confinamiento



(P. Seifi, R.S.Henry, Et al. 2019)



- El comportamiento general de los paneles es consistente con el de un muro monolítico.
- El uso de confinamiento para en forma de estribos alrededor de los ductos limita los daños en las esquinas de los paneles.
- El uso de confinamiento en forma de estribos no incrementa la capacidad a deformación del muro.
- Muros muy cortos y sin carga axial pueden presentar comportamiento de rocking.



Front view

Antecedentes de muros prefabricados con ductos



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

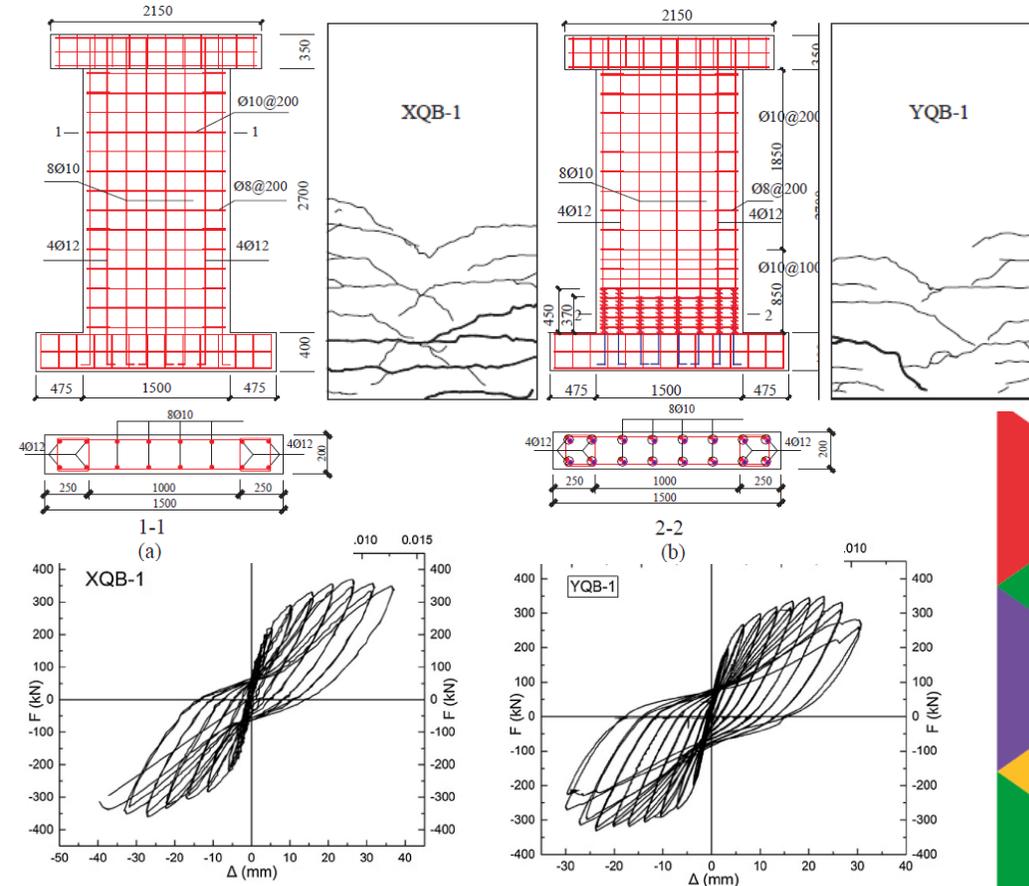


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

(Qian Gu, et al. 2019)



- El modo de falla de los muros prefabricados con ductos ensayados es el mismo que el de un muro fundido en sitio ($\Delta=1,0\%$ con espesor de 20cm).
- El mortero de la conexión se utilizó de 80MPa y se probaron muros con la totalidad de la longitud de desarrollo y la mitad de la misma.
- Tanto la carga de fluencia como la carga última es similar en los muros conectados con ducto, en comparación con los muros fundidos en sitio
- Los muros donde la conexión tiene la mitad de la longitud de desarrollo presentan una caída en capacidad muy rápida después de alcanzar el pico.



Fundido en Sitio

Prefabricado con ductos

Antecedentes de muros prefabricados con ductos



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA
RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

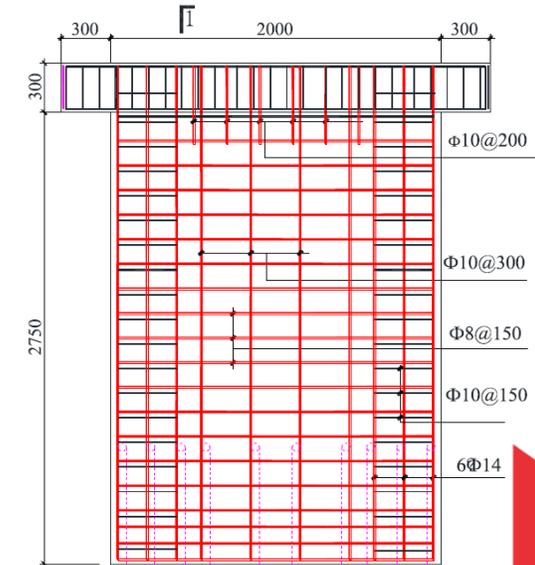
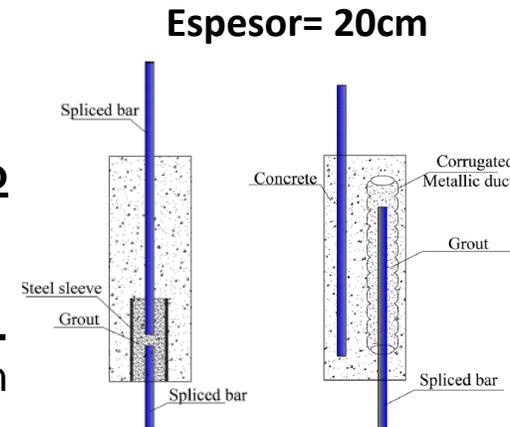


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

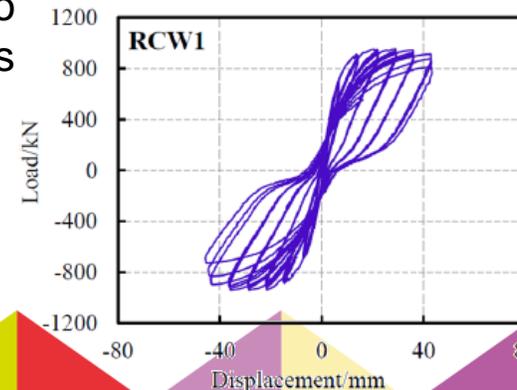
(W.Xue et al. 2022)



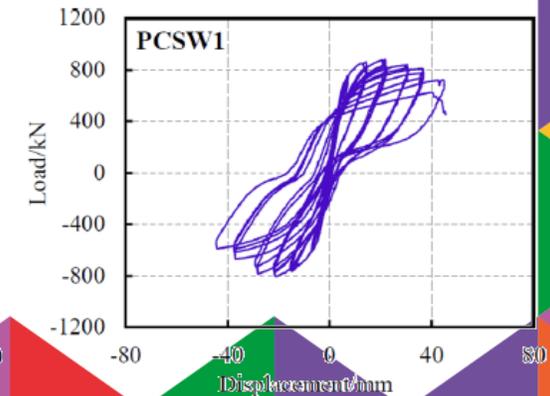
- El comportamiento y modos de falla de los muros con **conexiones tipo ducto es similar al de un muro fundido en sitio ($\Delta=1,45\%$)**.
- **La disipación de energía es mayor en los muros prefabricados.** Estos puede ser el resultados del efecto de confinamiento que aportan los ductos metálicos.
- La evaluación de los muros prefabricados de acuerdo con los criterios de aceptación del NEHRP valida que tienen un comportamiento sísmico aceptable y pueden ser considerados como estructuras emulativas.



Fundido en Sitio



Prefabricado con ductos





CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



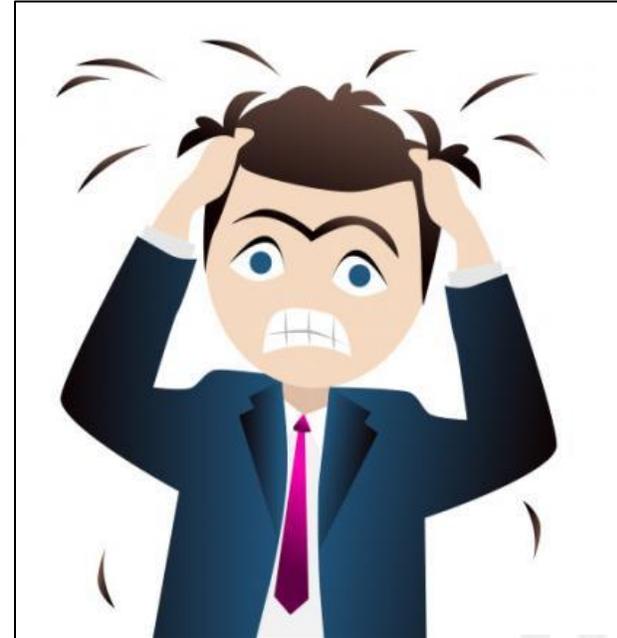
BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

A pesar del buen comportamiento de las conexiones, aún existen dudas de exceptivos sobre un buen desempeño sísmico del sistema prefabricado completo.

¿Cómo verificar este comportamiento?



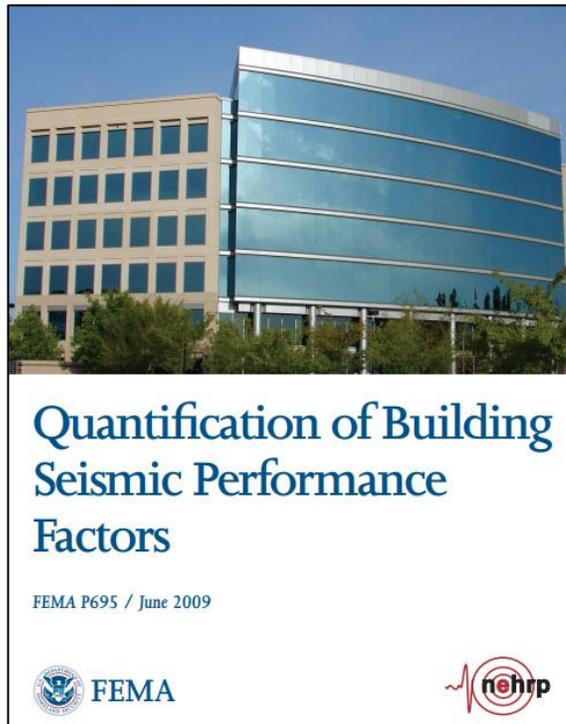
FEMA P-695



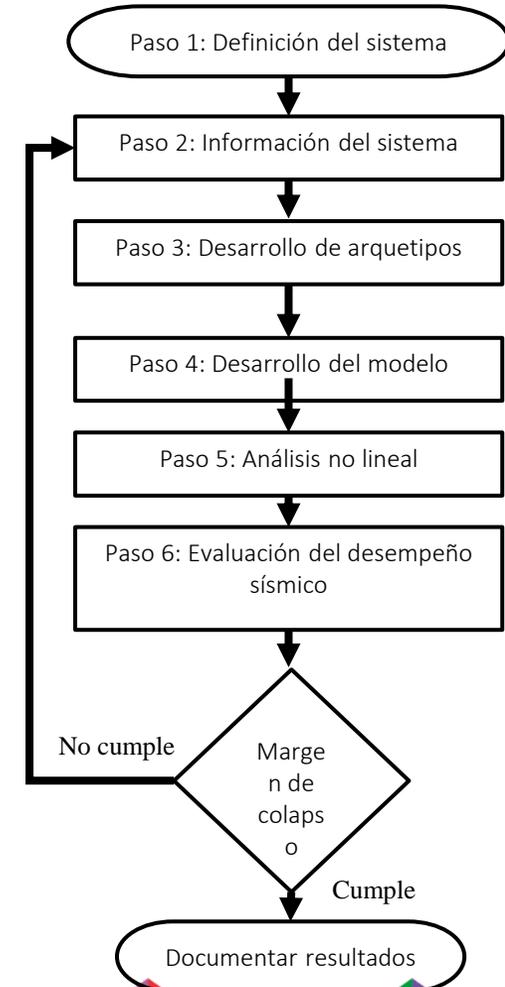
Metodología – FEMA P695

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

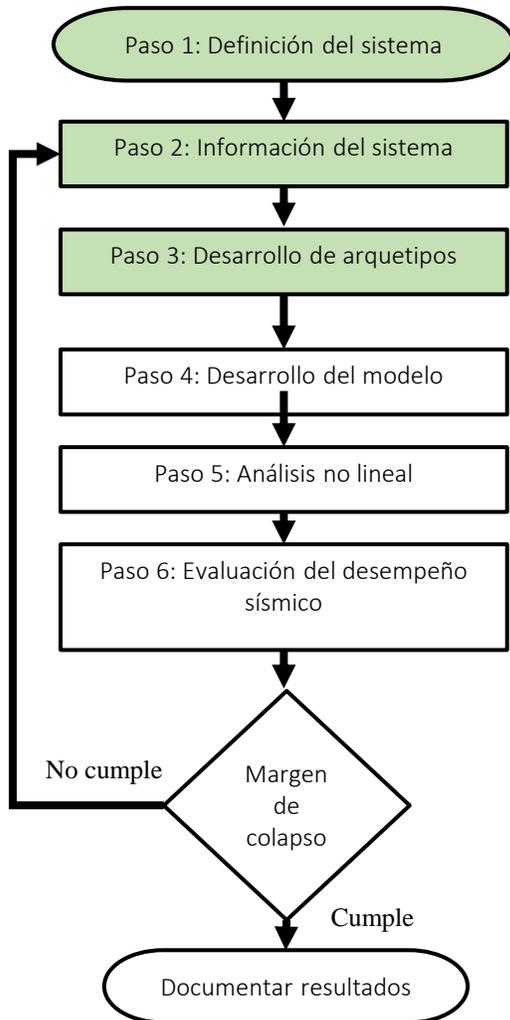
FEMA P-695



Especifica una metodología que permite cuantificar de manera confiable el comportamiento sísmico de un sistema estructural y sus coeficientes de respuesta (R, Ω).



Metodología – FEMA P695



Paso 1: Sistema de muros prefabricados DMO con conexiones tipo ductos.

Paso 2: 2.1. Información de normativa para prefabricados y conexiones.

2.2. Caracterización y estudio de conexiones.

2.3. Desarrollo de ensayos de muros a escala real.

DMO hasta 6 pisos

Paso 3: Elección de edificaciones representativas de diferentes alturas y demandas

No. Grupo	Tipo Configuración Estructural	Demanda Gravitacional / Amenaza sísmica	Número de modelo	#Pisos/Periodo*	
1	Tipo 1 (Muros Estructurales prefabricados)	Baja / Intermedia baja	1	4/0.1s	
			2	5/0.2s	
			3	6/0.3s	
2		Baja / Intermedia alta	Baja / Intermedia alta	4	4/0.1s
				5	5/0.2s
				6	6/0.3s
3		Baja / Intermedia baja	Baja / Intermedia baja	7	10/0.6s
				8	12/0.7s
				9	18/0.9s
4		Baja / Intermedia alta	Baja / Intermedia alta	10	10/0.6s
				11	12/0.7s
				12	18/0.9s

* Los periodos propuestos son aproximados

Metodología – FEMA P695

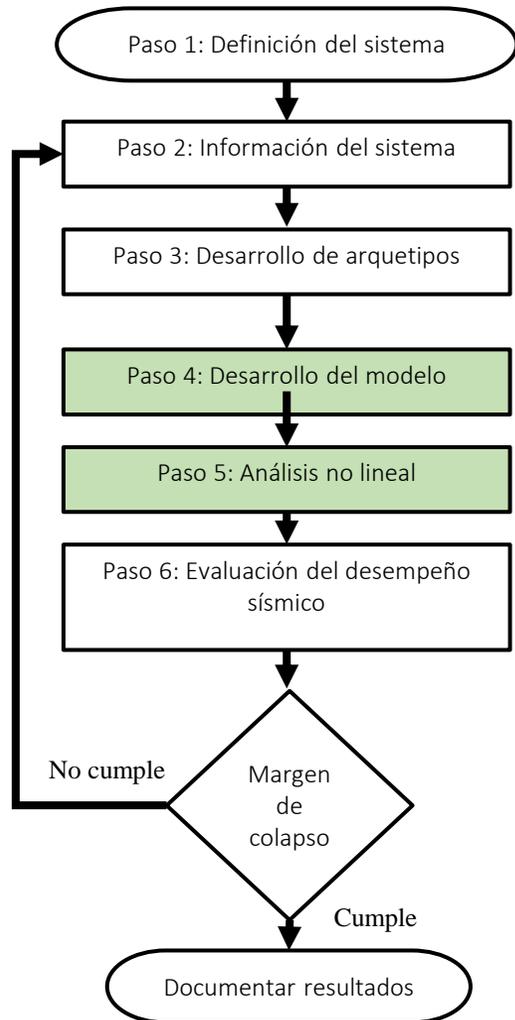


CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

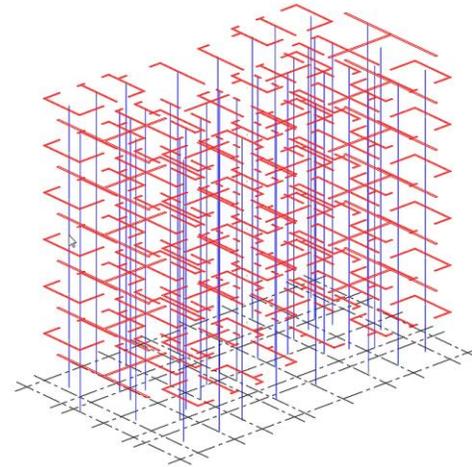
RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

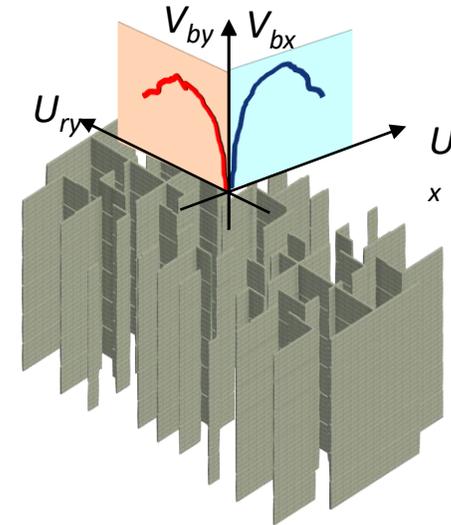


Paso 4 (Modelación)



- **Calibración del modelo de acuerdo con ensayos de muros.**
- Modelación computacional de la edificación con OpenSees.

Paso 5 (PushOver)



- Análisis no lineal de la estructura para encontrar factores de desempeño.
- Ω → Sobre resistencia
- μ → Ductilidad

Paso 5 (Análisis dinámica incremental)



- 22 señales de sismos reales en las dos direcciones, para **aproximadamente 440 corridas por edificio.**

Ensayos experimentales



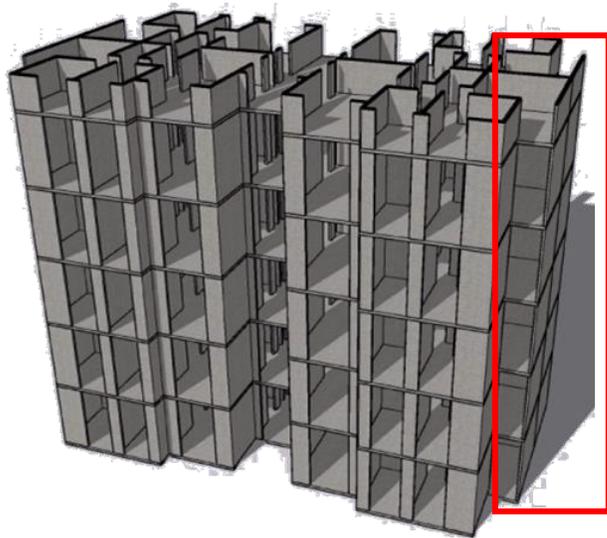
CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

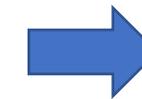
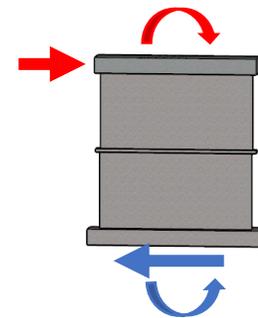
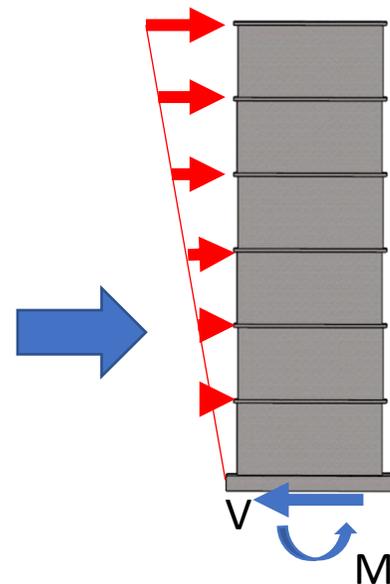


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

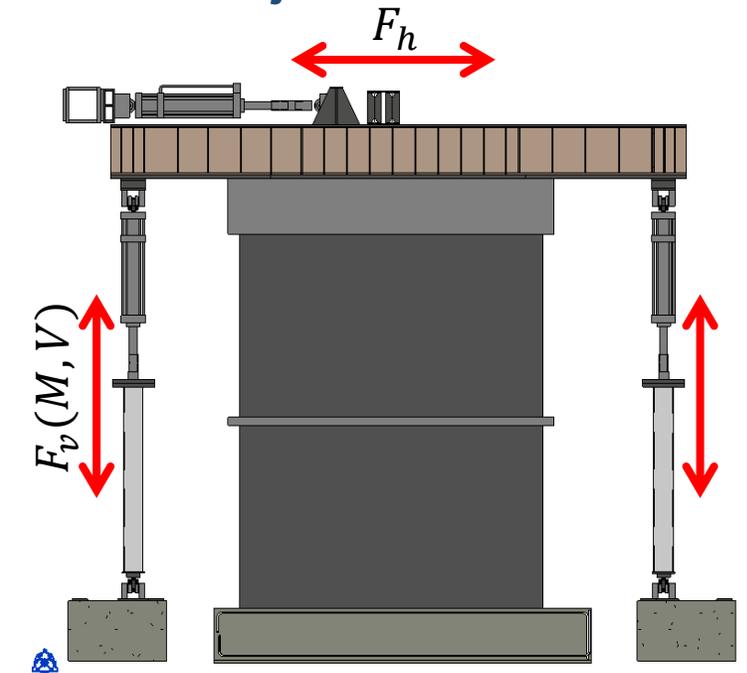
Edificación representativa



Muro crítico a escala real



Montaje de laboratorio



Ensayo	Pisos	Forma	Longitud [m]	Espesor [m]	Relación M/V [m]	Refuerzo
M1	6	Lineal	3.88	0.12	10	Dovelas distribuidas en la longitud, sin traslazo en primer piso
M2	6	Lineal	3.88	0.12	10	Dovelas distribuidas en la longitud, con traslazo en primer piso

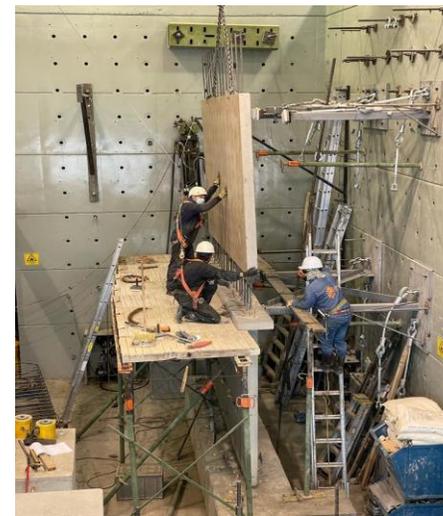
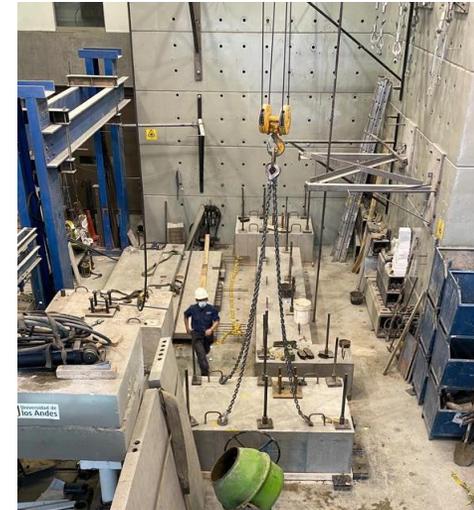
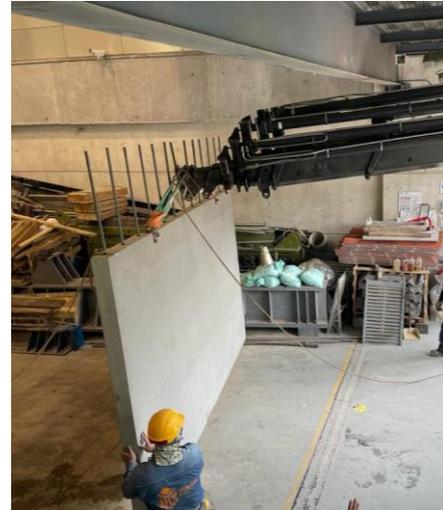
Construcción del muro de ensayo



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



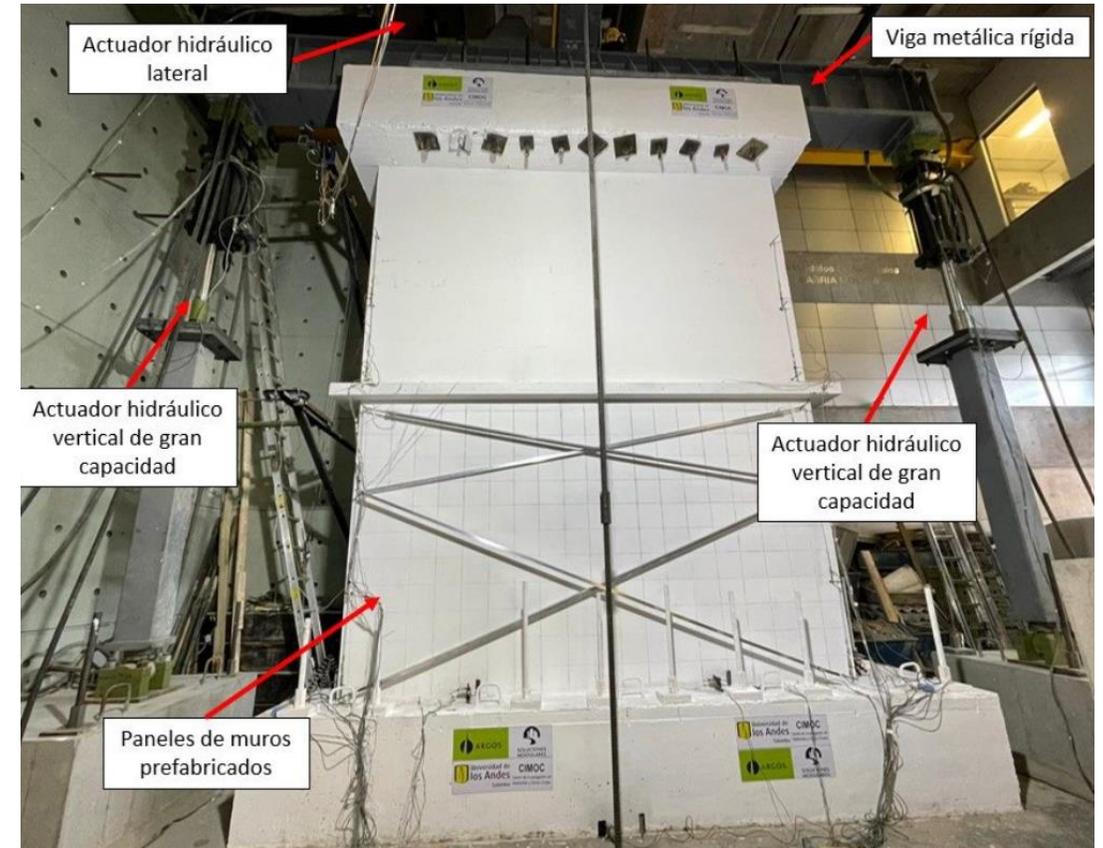
Montaje experimental (Ensayo de muros)



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Resultados



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

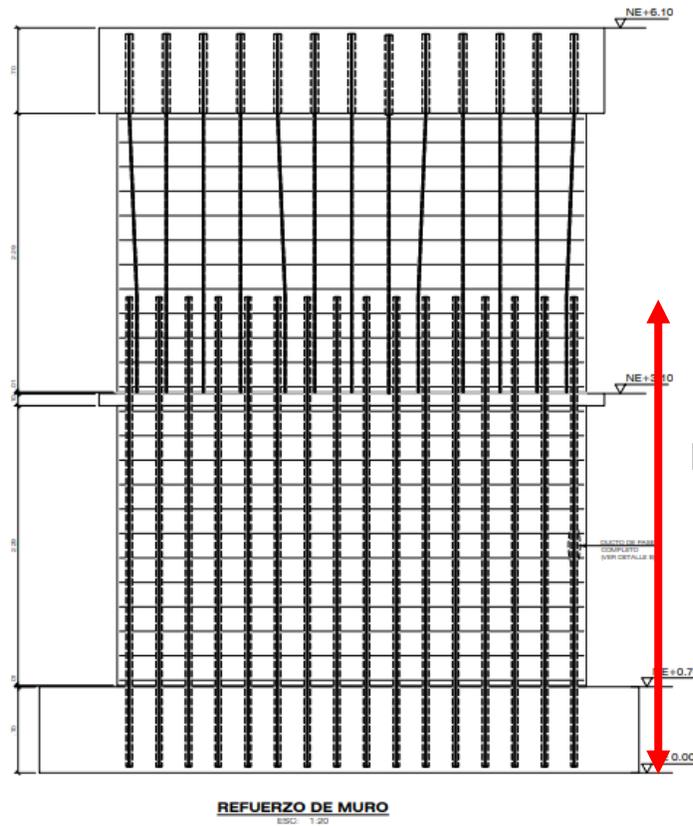
RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

Muro de paneles prefabricados
sin malla electrosoldada

M1



Muro sin traslapos en
el primer piso

M2



Muro con traslapos en
el primer piso

Resultados



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

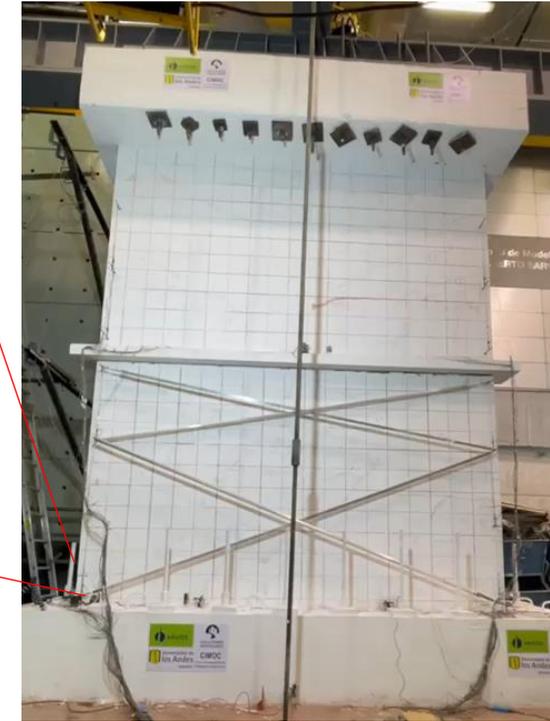


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

M1



M2



Resultados



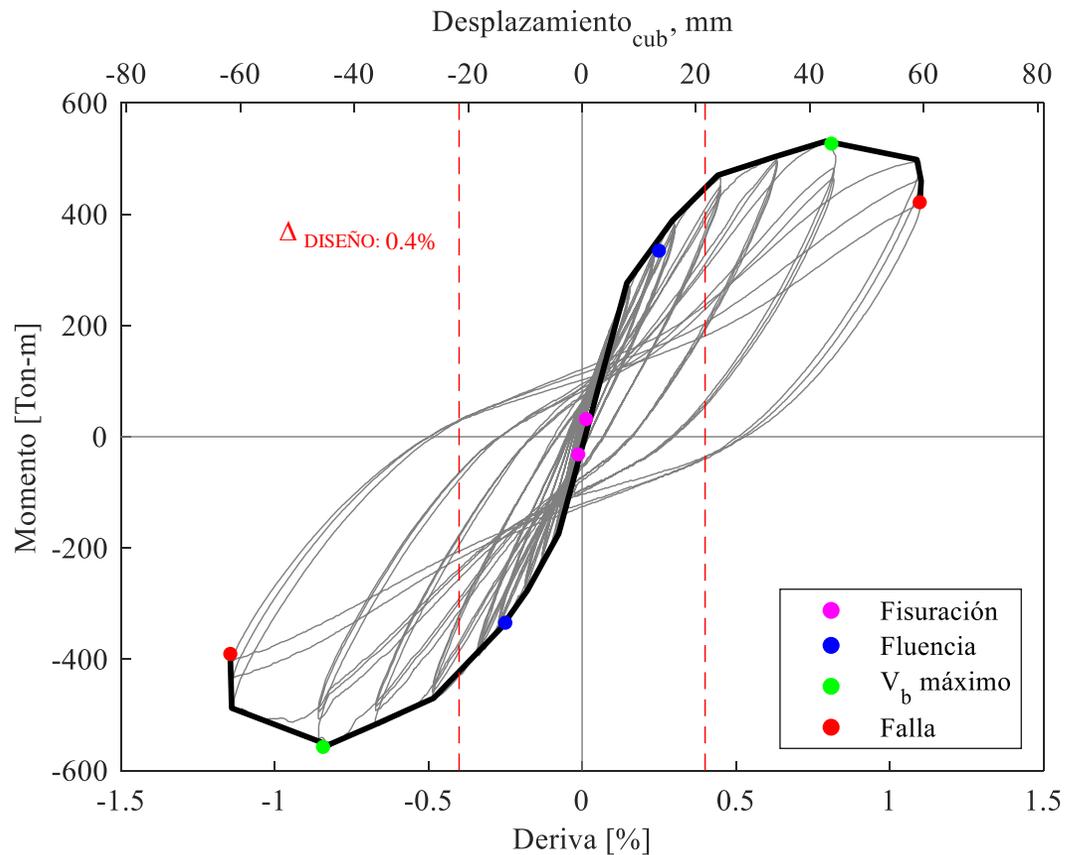
CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

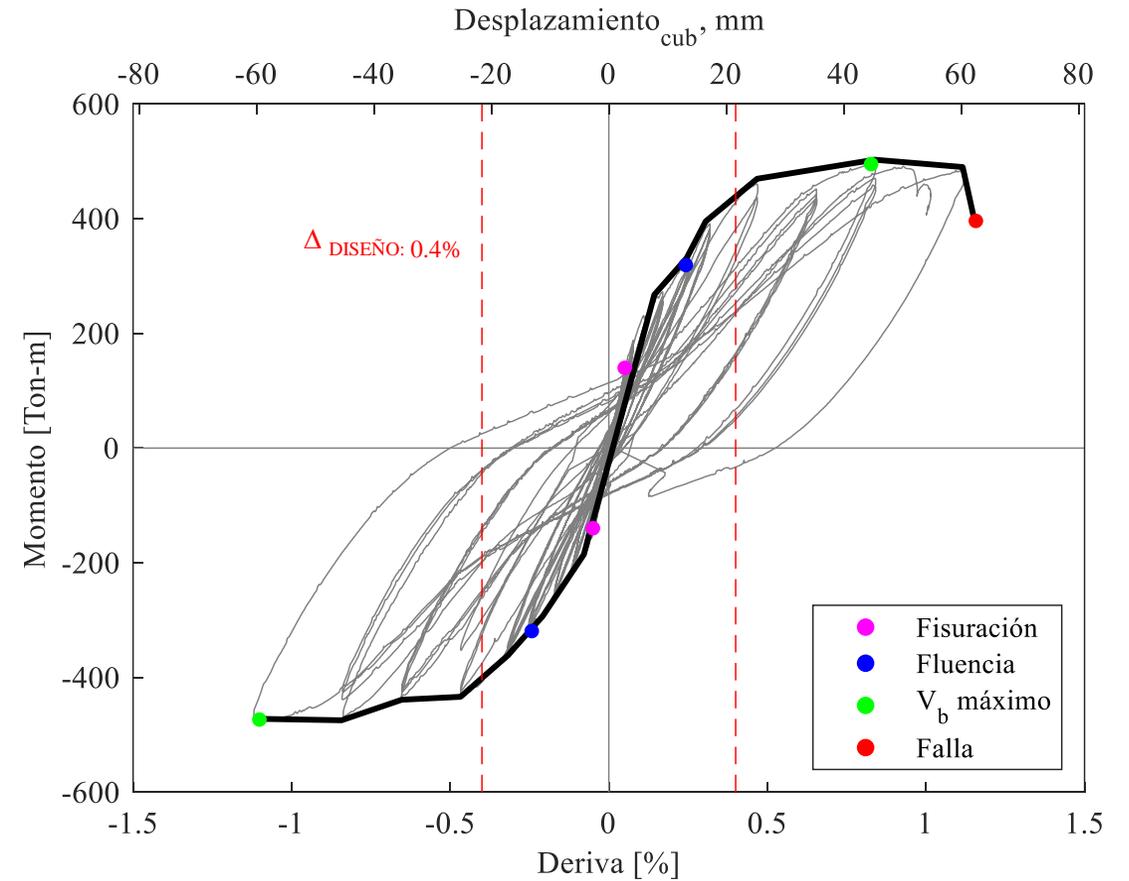


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

M1



M2



Resultados



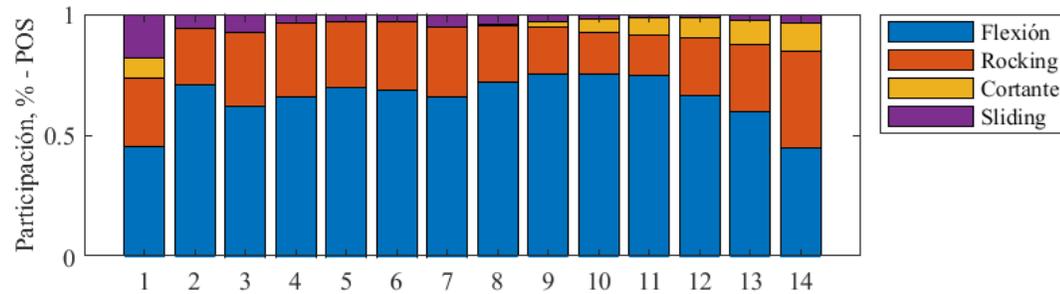
CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

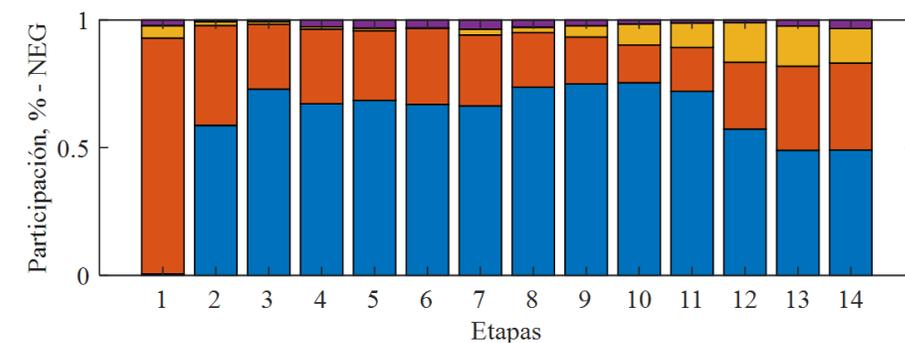
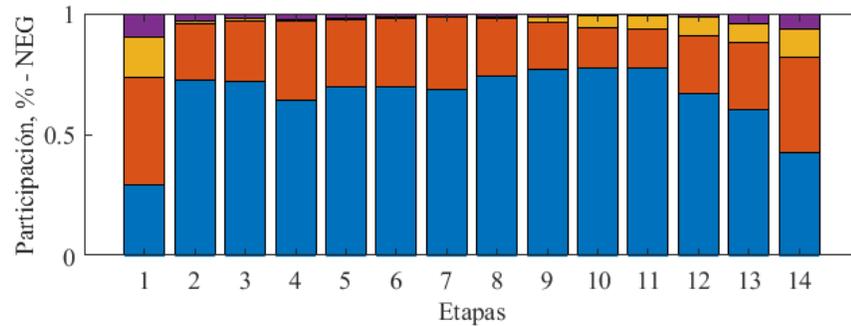
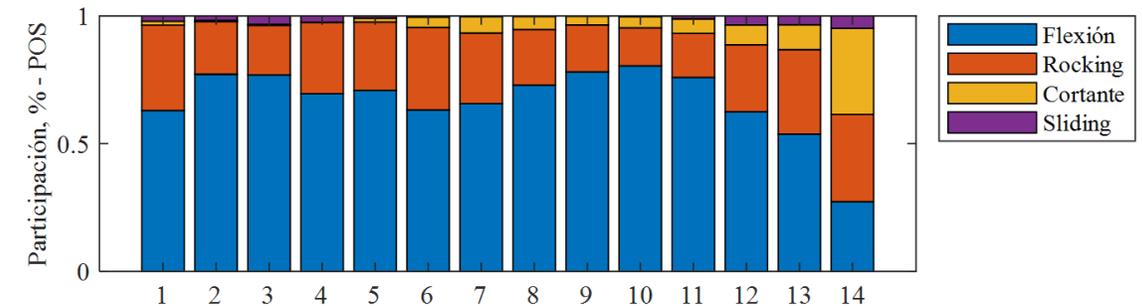


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

M1



M2



Muro controlado principalmente por flexión con un porcentaje del 66% en promedio.

Resultados



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

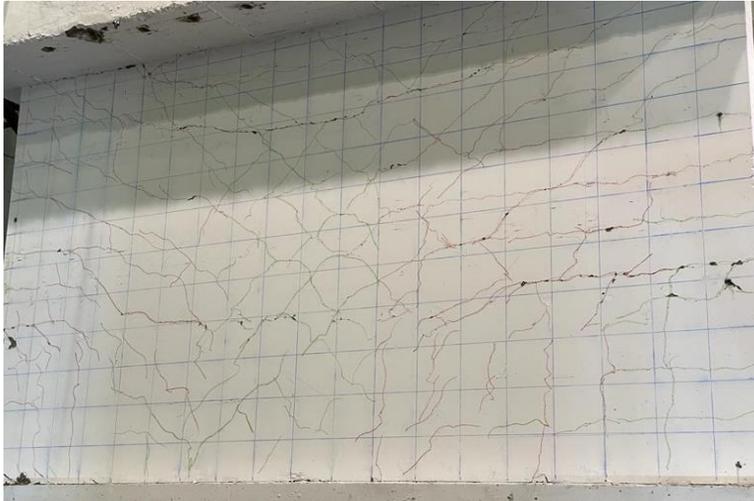
RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

M1

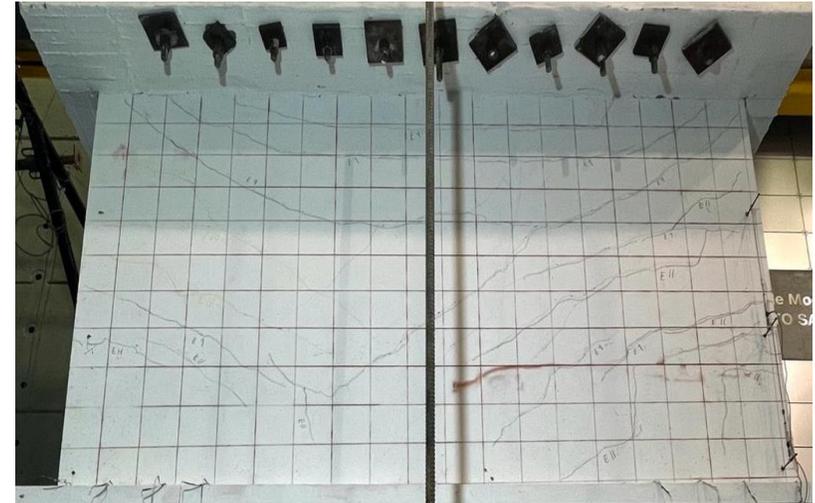
2do Piso



1er Piso



M2



Calibración computacional



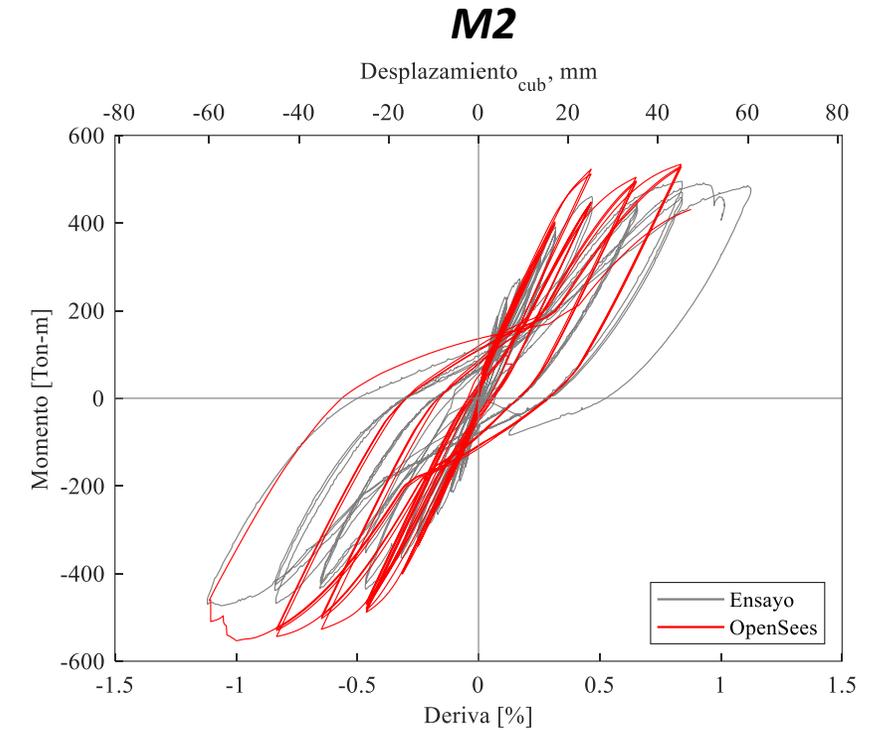
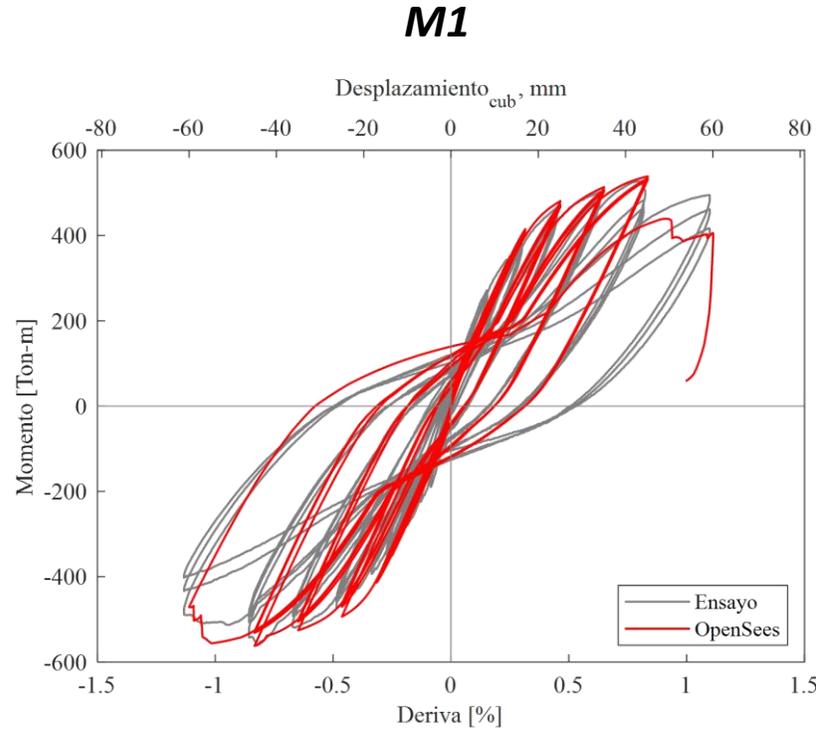
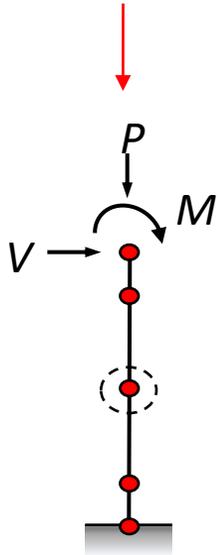
CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

OpenSees



Modelo computacional que representa los resultados del ensayos

Implementación del FEMA P-695 (PushOver)



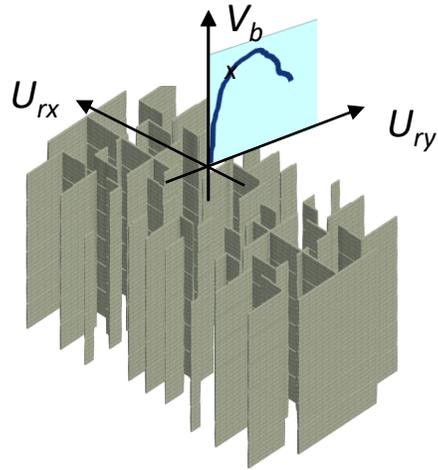
CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

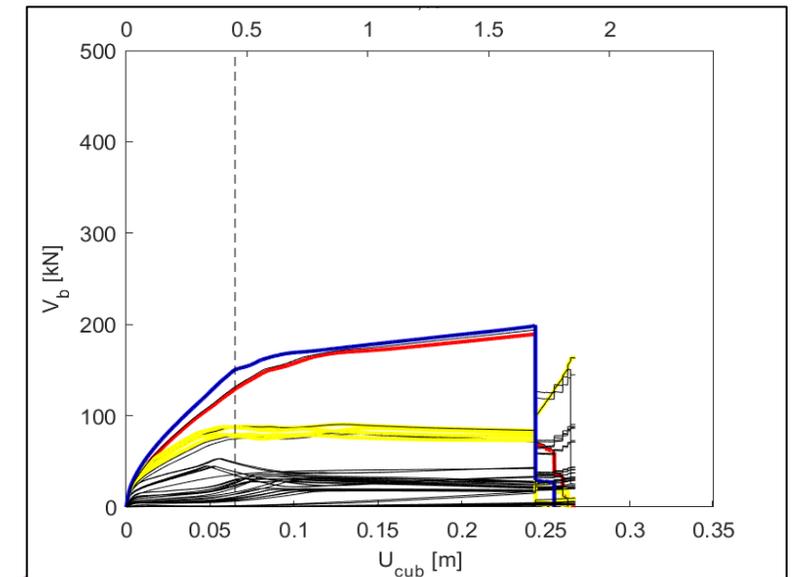
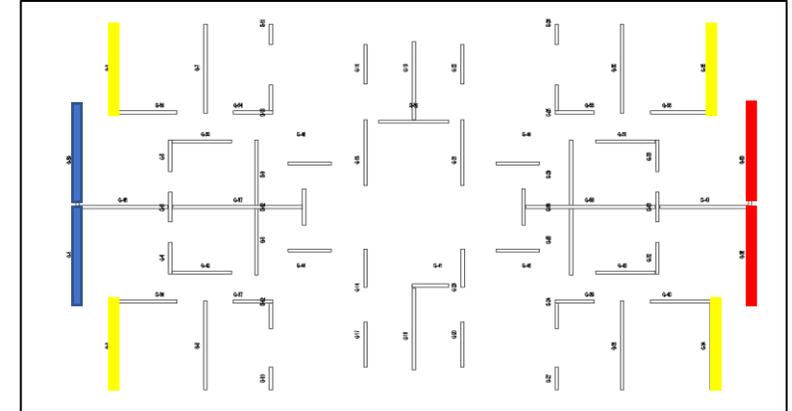
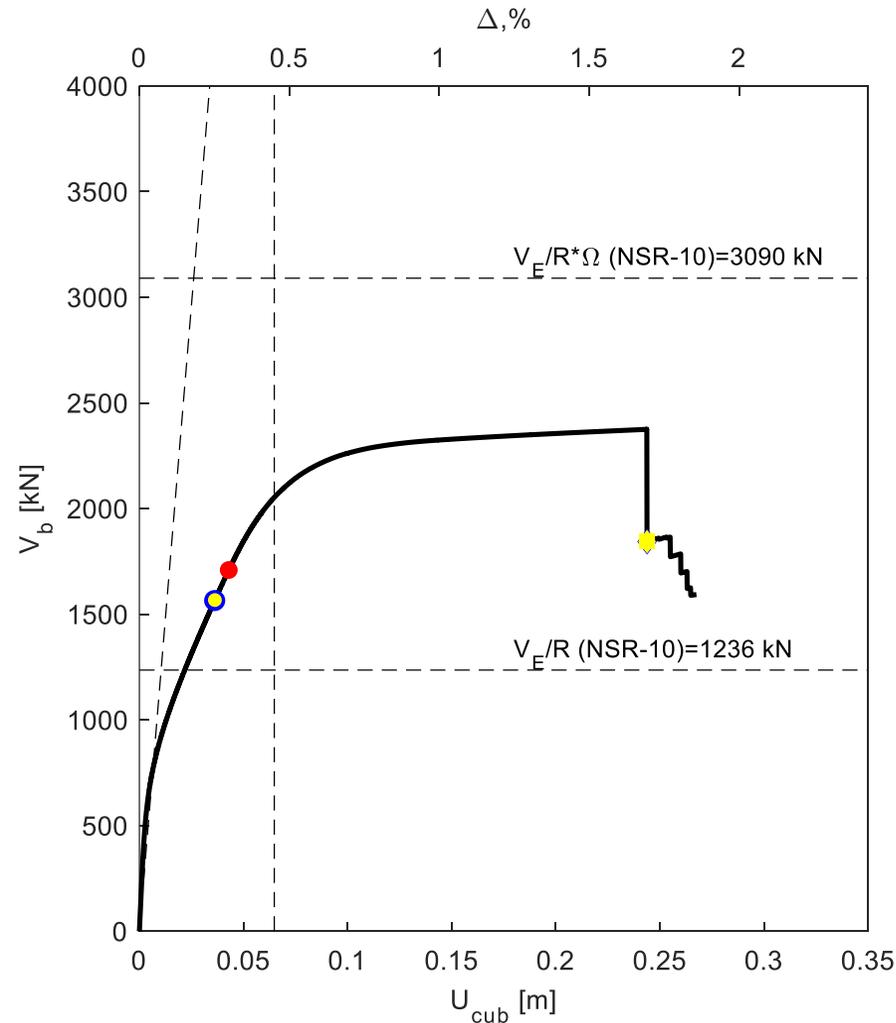


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

Sentido Y



- Fluencia
- ▲ Falla concreto
- ◆ Ruptura barra



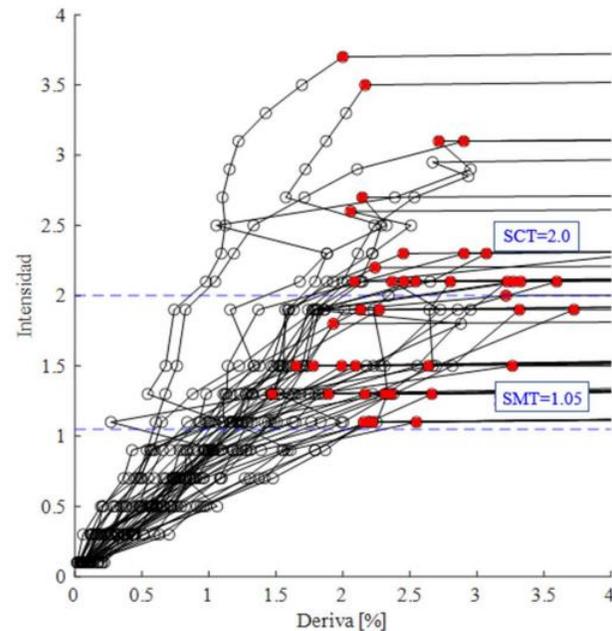
Implementación del FEMA P-695 (IDA)



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



22 señales de sismos reales en las dos direcciones, para más de 440 corridas por edificio (cada punto en la gráfica es una corrida computacional)

$$CMR = \frac{\hat{S}_{CT}}{S_{MT}}$$



CMR = Relación de Margen de Colapso (Collapse Margin Ratio)

Dado que la probabilidad de falla para el máximo sismo considerado es menor al 20%, **CUMPLE con FEMA P-695**

Análisis no lineal y evaluación del desempeño sísmico



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



No. Grupo	ARQUETIPO	NO.PISOS	T [s]	ACMR	ACMR _{20%}	> ACMR _{20%}	\overline{ACMR}	ACMR _{10%}	> ACMR _{10%}
1	1	4	0.22	3.82	1.66	CUMPLE	3.51	2.16	CUMPLE
	2	5	0.32	3.34		CUMPLE			
	3	6	0.4	3.36		CUMPLE			
2	4	4	0.22	2.42		CUMPLE	2.39		CUMPLE
	5	5	0.32	2.25		CUMPLE			
	6	6	0.4	2.49		CUMPLE			

ACMR = Adjusted Collapse Margin Ratio (SSF x CMR, SSF = spectral shape factor (T, μ))

ACMR_{xx} = Acceptable Adjusted Collapse Margin Ratio (probabilidad de 10% y 20%)

Todos los arquetipos pasan los requerimientos del FEMA P695 para las consideraciones de diseño del sistema ($R_o=4.0$)

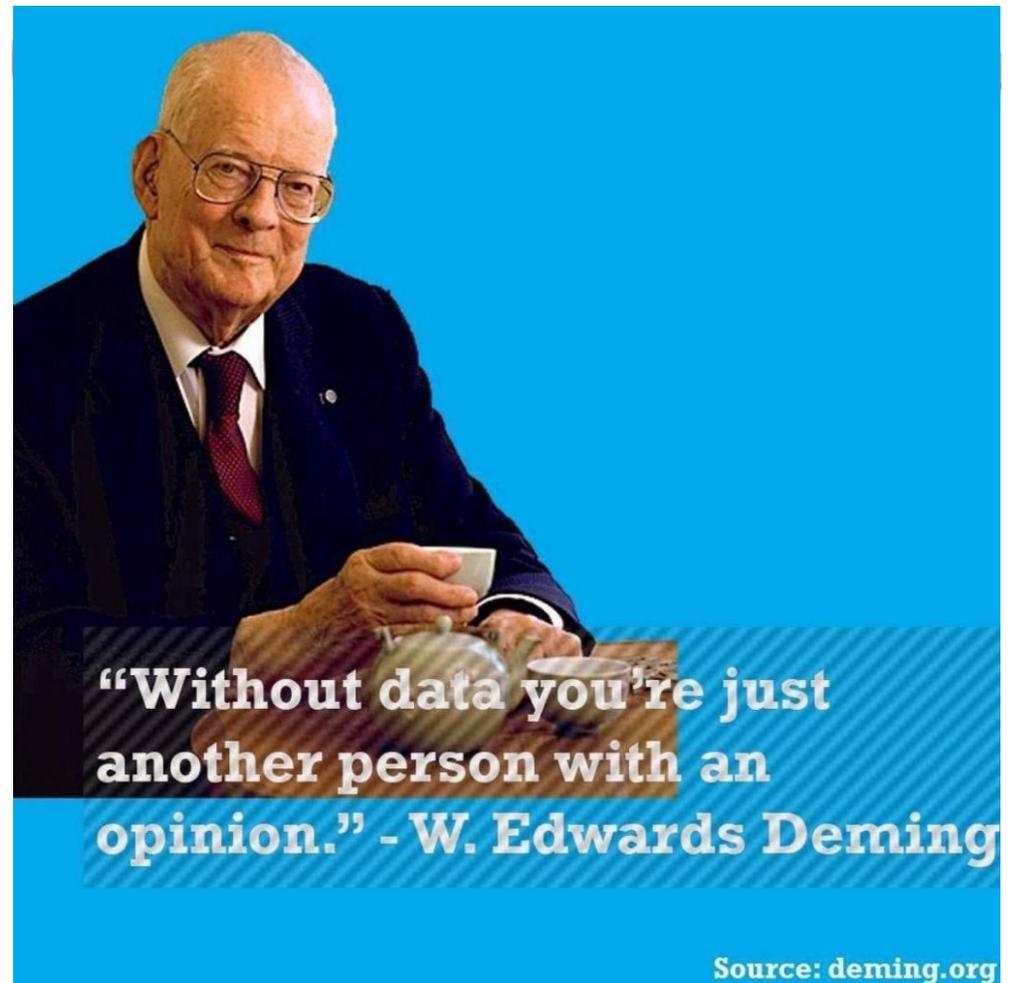
Conclusiones



- Los muros prefabricados con conexiones tipo ducto tienen un comportamiento emulativo adecuado y por tanto cumplan con los requisitos establecidos por el reglamento NSR-10 para edificaciones de baja altura (hasta 6 pisos) prefabricadas en amenaza sísmica intermedia.
- Basado en los **resultados de este estudio** se puede concluir que los coeficientes de respuesta sísmica (R_0 y Ω), y todos los **criterios de diseño utilizados (NSR-10)** para el diseño de las **edificaciones de muros prefabricados, en amenaza sísmica intermedia y con una altura máxima de 6 pisos, cumple con todos los requisitos del documento FEMA P-695** y tiene probabilidad de colapso menores al 10% para el Máximo Sismo Considerado (MCE, por sus siglas en inglés).

Investigación Futura

- Se están adelantando investigaciones para poder conectar los muros entre si (muros en forma de T, L, I, etc).
- Se provee incorporar doble fila de dovelas (ductos) que permitan aumentar la capacidad, así como incorporar elementos de borde.
- Se adelantará una verificación de muros prefabricados en mayor altura en DMO y en otras alturas en DES.



“Without data you’re just another person with an opinion.” - W. Edwards Deming

Source: deming.org

Gracias!

Juan F. Correal

jcorreal@uniandes.edu.co