



Código sismorresistente cubano. Investigaciones para su actualización

Dra. C. Ing. Grisel Morejón Blanco
Vice-Directora Científica CENSAIS





Falla por variación brusca de la rigidez a lo largo de la altura del edificio.



Fallo frágil debido al cortante y tensión diagonal en columnas y vigas.



Fractura del acero, escasa ductilidad



Colapso columna débil viga fuerte

El diseño sismorresistente permite que esto no suceda



- Argentina 1970, CONCAR 70.
- Chile 1933, Ordenanza de Urbanismo y construcción.
- Colombia 1983 AIS-100- 83.
- Costa Rica 1974 CSCR-74.
- Ecuador 1970, Reglamento Nacional de Construcciones.
- En Venezuela el primer documento normativo data de 1939.



Ambato, Ecuador, 1949



San Juan, Argentina, 1944



Caracas, Venezuela, 1967



Valdivia, Chile, 1960

- Evitar fallas mayores que puedan ocasionar las pérdidas humanas y no para limitar el daño, mantener el funcionamiento o permitir una reparación fácil.
- La metodología de diseño de los códigos se basa en un solo nivel de peligro sísmico, representado por un espectro de resistencia basal.
- El diseño de los elementos estructurales están basados en las fuerzas que se calculan usando solamente métodos elásticos de análisis en la estimación de las demandas.
- El nivel de comportamiento esperado se realiza a través de una serie de factores empíricos y requerimientos de detallado que oscurecen la verdadera naturaleza del problema del Diseño Sísmico por Desempeño.

Principales limitaciones



(Antes de 1984) Instrucciones de Proyecto. IP-26-A. Construcciones Industriales. Junio/1970

```
graph TD; A["(Antes de 1984) Instrucciones de Proyecto. IP-26-A. Construcciones Industriales. Junio/1970"] --> B["NC 53:114. Construcciones sismorresistentes. Especificaciones de proyecto y métodos de cálculo. 1984"]; B --> C["NC 46:99. Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y la construcción. 1999"]; C --> D["NC 46:2017. Construcciones sismorresistentes - Requisitos básicos para el diseño y construcción. 2017"];
```

NC 53:114. Construcciones sismorresistentes. Especificaciones de proyecto y métodos de cálculo. 1984

NC 46:99. Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y la construcción. 1999

NC 46:2017. Construcciones sismorresistentes - Requisitos básicos para el diseño y construcción. 2017

Evolución del código sismorresistente en Cuba

NORMA CUBANA

Obligatoria

NC

46:2017

CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES — REQUISITOS
BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Earthquake resistant construction — Basic requirements for design and
construction

ICS: 91.080; 91.120.25

4. Edición Noviembre 2017
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 El Vedado, La Habana, Cuba.
Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio
Web: www.nc.cubaindustria.cu



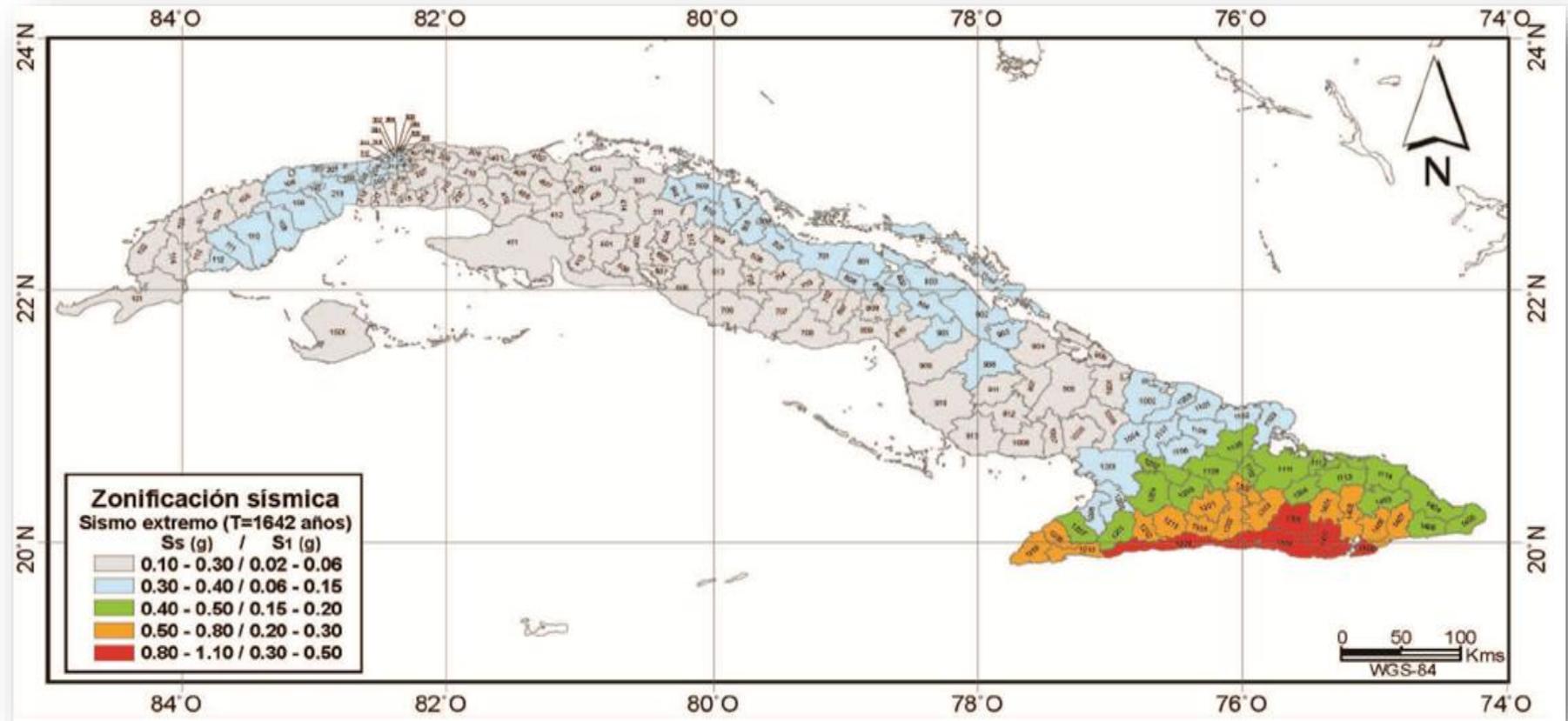
Cuban National Bureau of Standards

- Espectros de diseño, factores y coeficientes tomado de normativas foráneas.
- No instituye requerimientos para la rehabilitación de estructuras construidas.
- No regula los criterios para el diseño sismorresistente de puentes.

- Nueva zonación sísmica para la república de Cuba.
- Propuesta preliminar de espectros de diseño para la ciudad de Santiago de Cuba.
- Factores de reducción de las fuerzas sísmicas para el diseño de edificaciones.
- Nuevas ecuaciones empíricas para el cálculo del periodo aproximado.

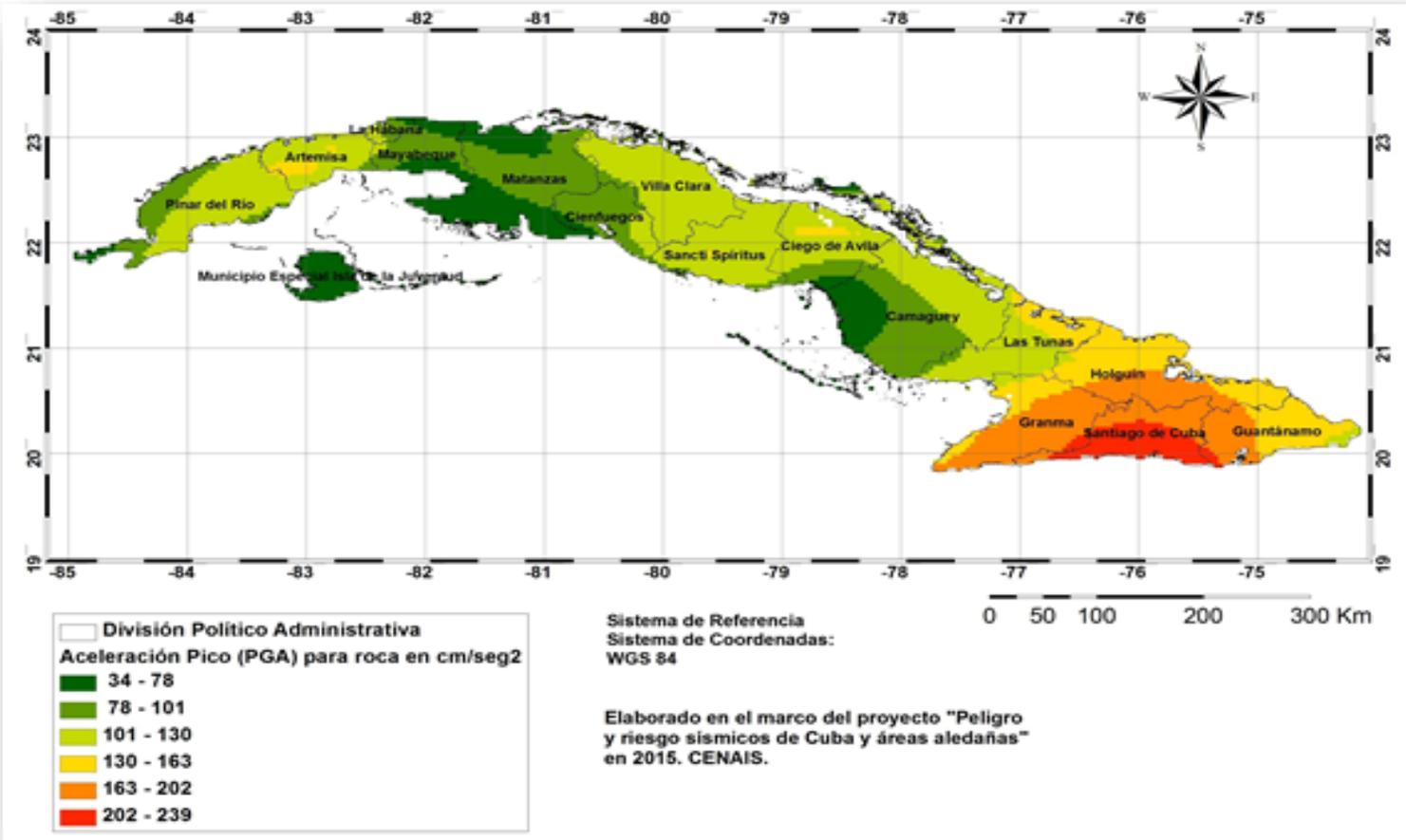
Investigaciones para la actualización de la NC 46:2017

- Establece un único sismo de diseño que corresponde al sismo extremo.
- Introduce el concepto de factor de escala.
- Usa un factor para penalizar la proximidad a la falla.
- Elaborado en el año 2007 y aprobado en 2012.



Zonificación sísmica de la República de Cuba. NC-46:2017

Amenaza Sísmica



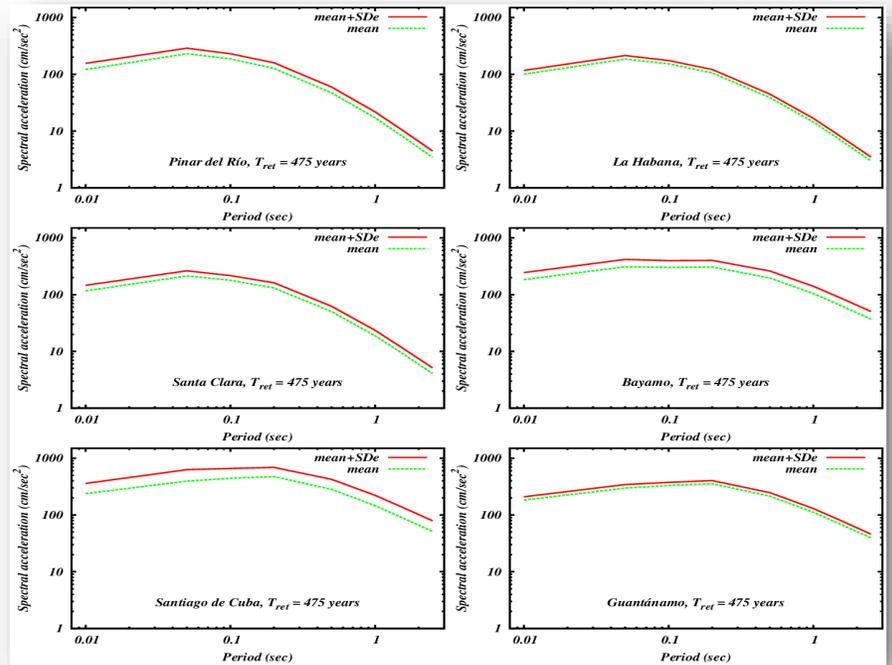
Nueva Zonificación sísmica de la República de Cuba.

Modelo de 22 fallas activas representativas y un modelo de sismicidad en celdas siguiendo el método no zonificado.

Información completa del catálogo desde 1502.

4 relaciones de atenuación (2 zonas de deformación asociadas con la frontera de las placas y 2 para regiones estables continentales).

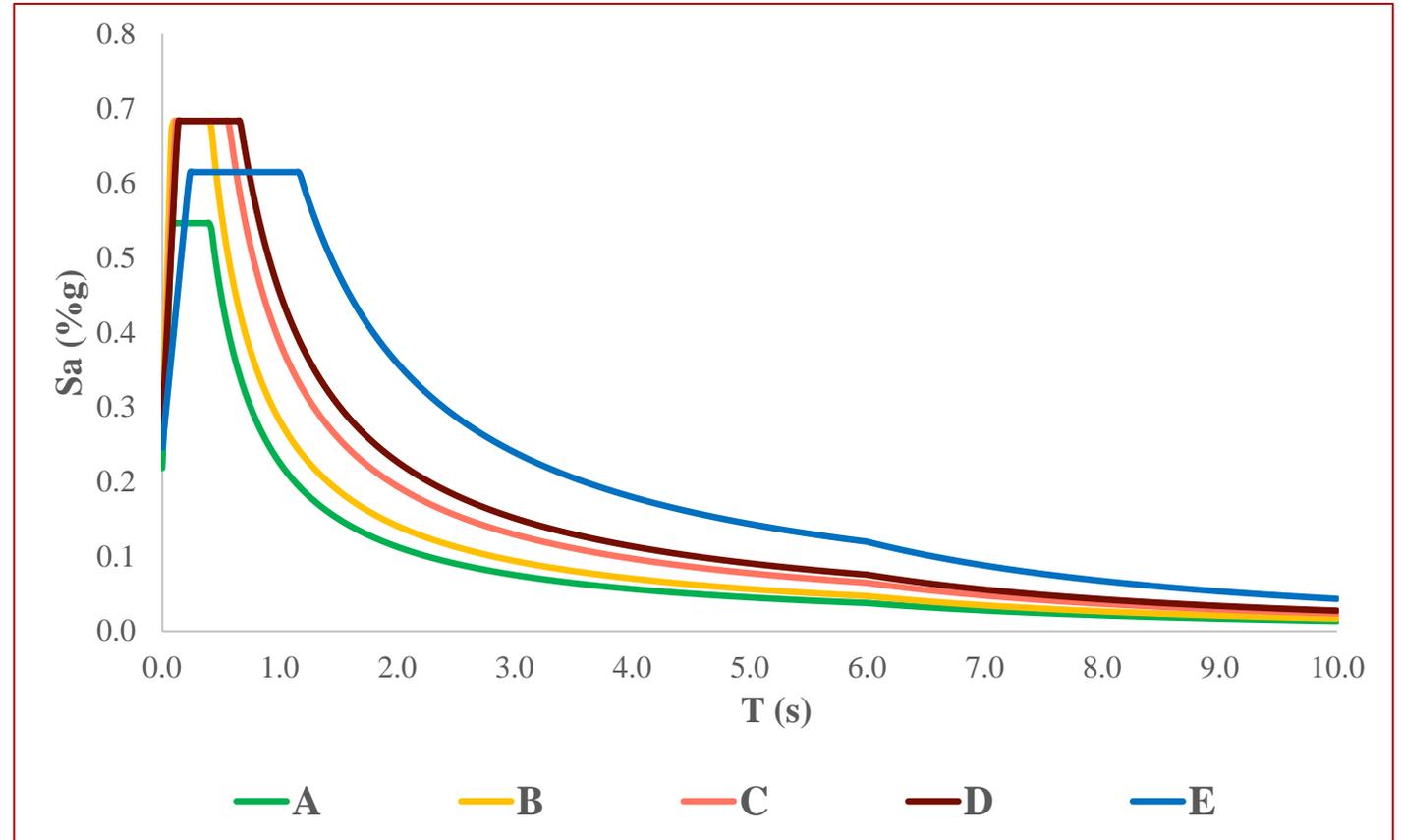
Se obtuvieron PGA a partir de la asignación pesos variables a los modelos de entrada del árbol lógico.



Utiliza la forma de las ordenadas espectrales de la ASCE 7-10, basada en los UHS calculados para Estados Unidos

- S , S_1 y T_L de la zona sísmica
- Factores de sitio F_a y F_v
- Factores de proximidad a la fuente N_a y N_v
- Factor de escala K_d

F_a y F_v , son los factores que más influyen lamentablemente, dependen de los coeficientes definidos en la PS, con una dependencia no indicada explícitamente, recomendando interpolación para valores intermedios.



Espectros elásticos de diseño para la ciudad de Santiago de Cuba. NC 46:2017

Espectros de diseño

Los registros sísmicos seleccionados tienen una aceleración máxima de suelo mayor al 10% g.

Registros de sismos seleccionados:

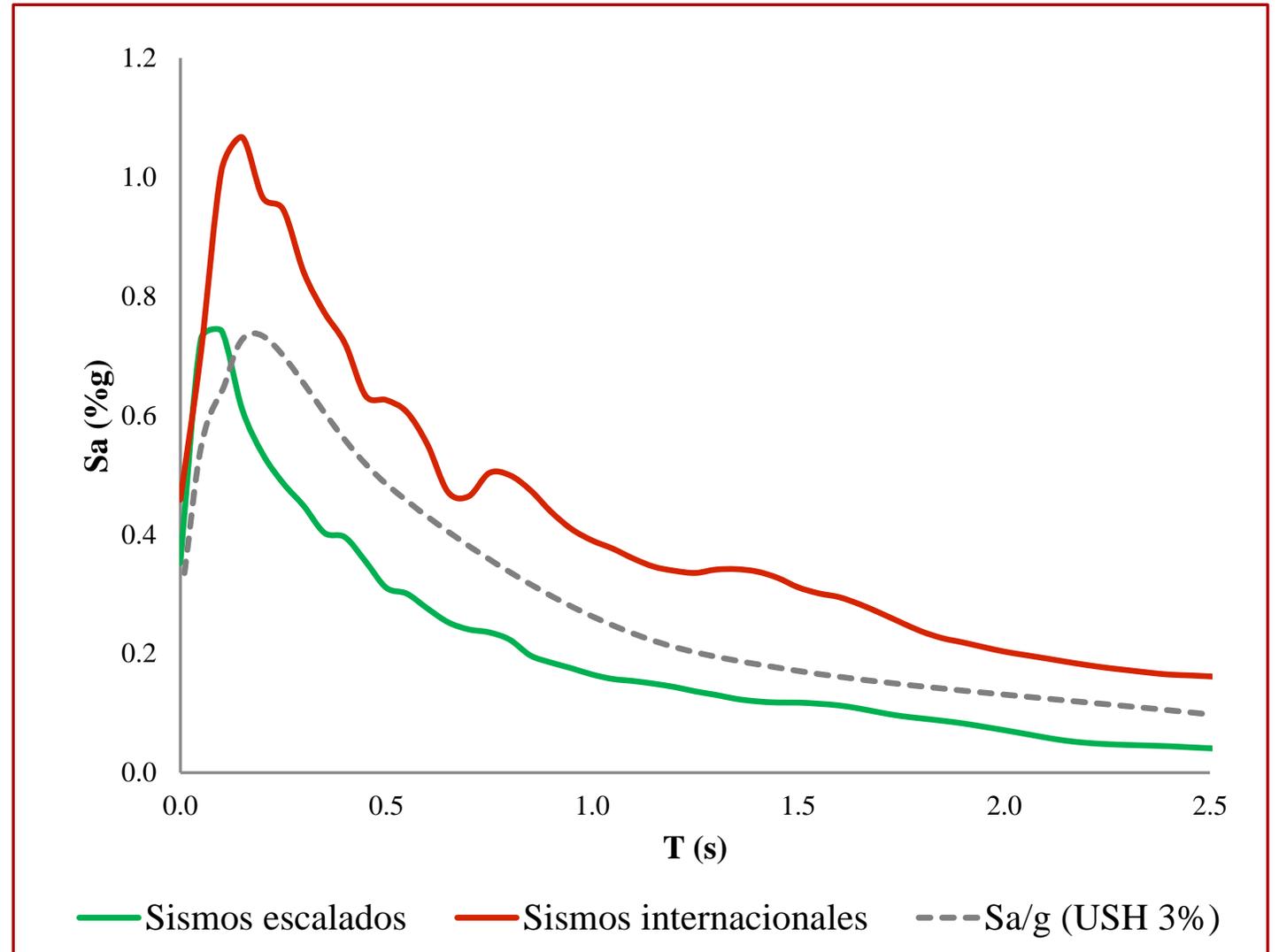
- (1) escalado de acelerogramas de sismos de moderada magnitud (≥ 4.0) registrados en estaciones de la región ubicadas en roca.
- (2) selección de sismos fuertes ocurridos en regiones que tengan características sismo tectónicas similares a la región suroriental de Cuba, con un rango de entre 6.5 y 7.8, con mecanismos focales rumbo deslizante o inverso.

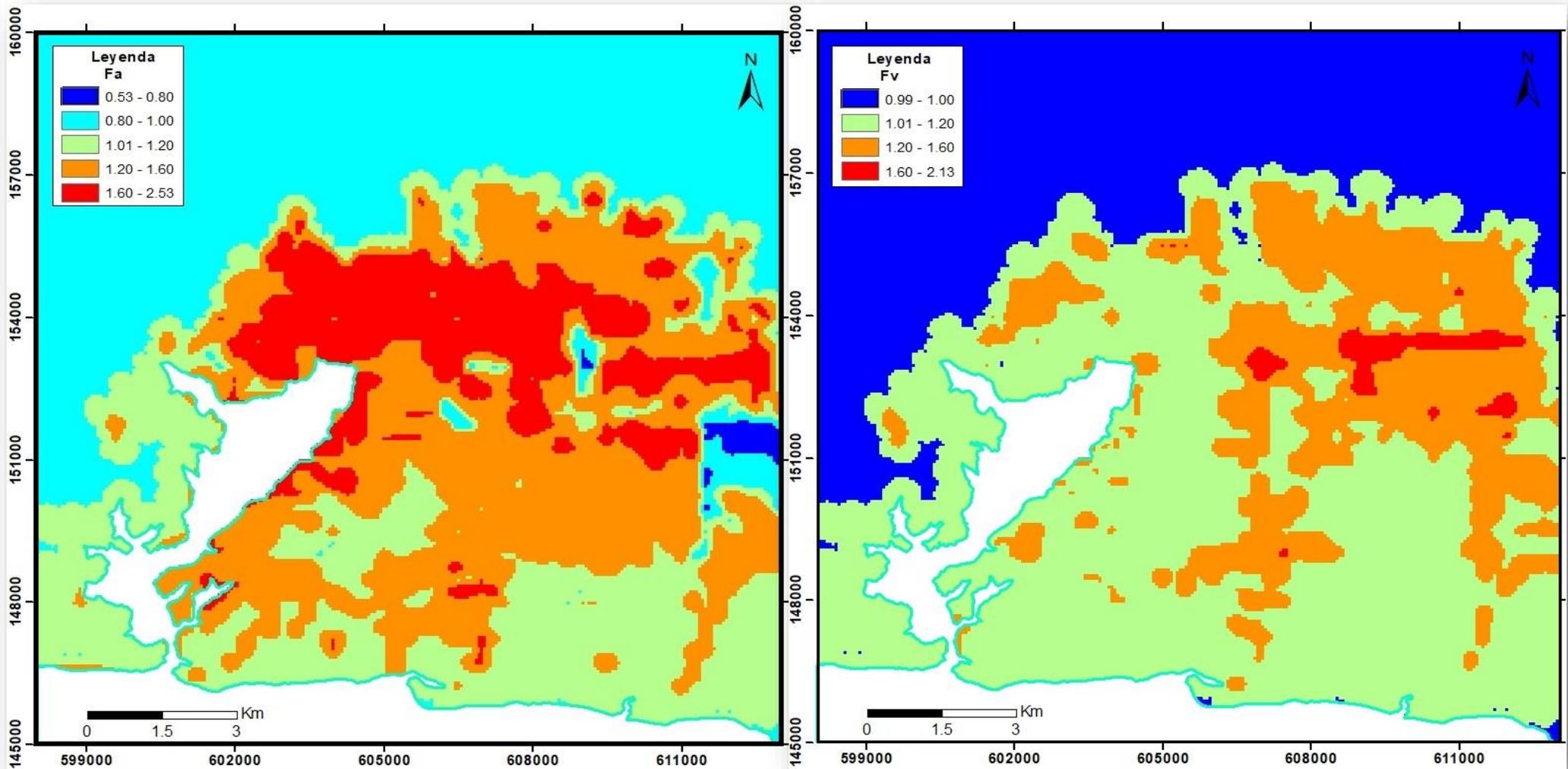
Fecha	Tiempo origen	Lat.	Lon.	Magnitud	Dist. (km)
28/01/2020	21:55:16	18.94	-80.74	6.1	62.30
31/05/2011	00:12:02	19.84	-75.48	5.7	39.80
20/03/2010	18:08:09	19.69	-75.40	5.7	40.10
03/09/2014	23:34:15	18.86	-81.29	5.3	51.40
03/09/2014	10:01:04	18.86	-81.33	5.3	52.40
17/01/2016	08:30:00	19.73	-76.09	5.1	7.00
20/03/2010	19:31:29	19.75	-75.34	5.0	31.00
28/01/2020	20:59:59	19.06	-80.91	4.9	40.10
05/07/2010	19:06:00	19.90	-75.38	4.7	10.00
22/12/2013	09:49:00	19.96	-75.83	4.0	13.00

Terremoto	Fecha	Magnitud	Mecanismo	Distancia (km)
Turquía	06/02/2023	7.8	Strike-slip	25.0
Turquía	17/08/1999	7.6	Strike-slip	22.7
Landers.	28/06/1992	7.3	Strike-slip	2.0
Loma Prieta.	18/10/1989	6.9	Strike-slip	2.8
El Centro.	19/05/1940	6.9	Strike-slip	12.2
Armenia	07/12/1988	6.7	Inverso	27.5
Northridge. EU	17/01/1994	6.6	Inverso	24.1

El espectro UHS tiene una demanda y forma similar al espectro promedio de los sismos escalados, mientras que los sismos internacionales tienen valores de aceleración más altos.

Se decide construir los espectros de diseño con el espectro promedio de los sismos registrados en la región escalados a magnitudes ($M_w=7.0$).

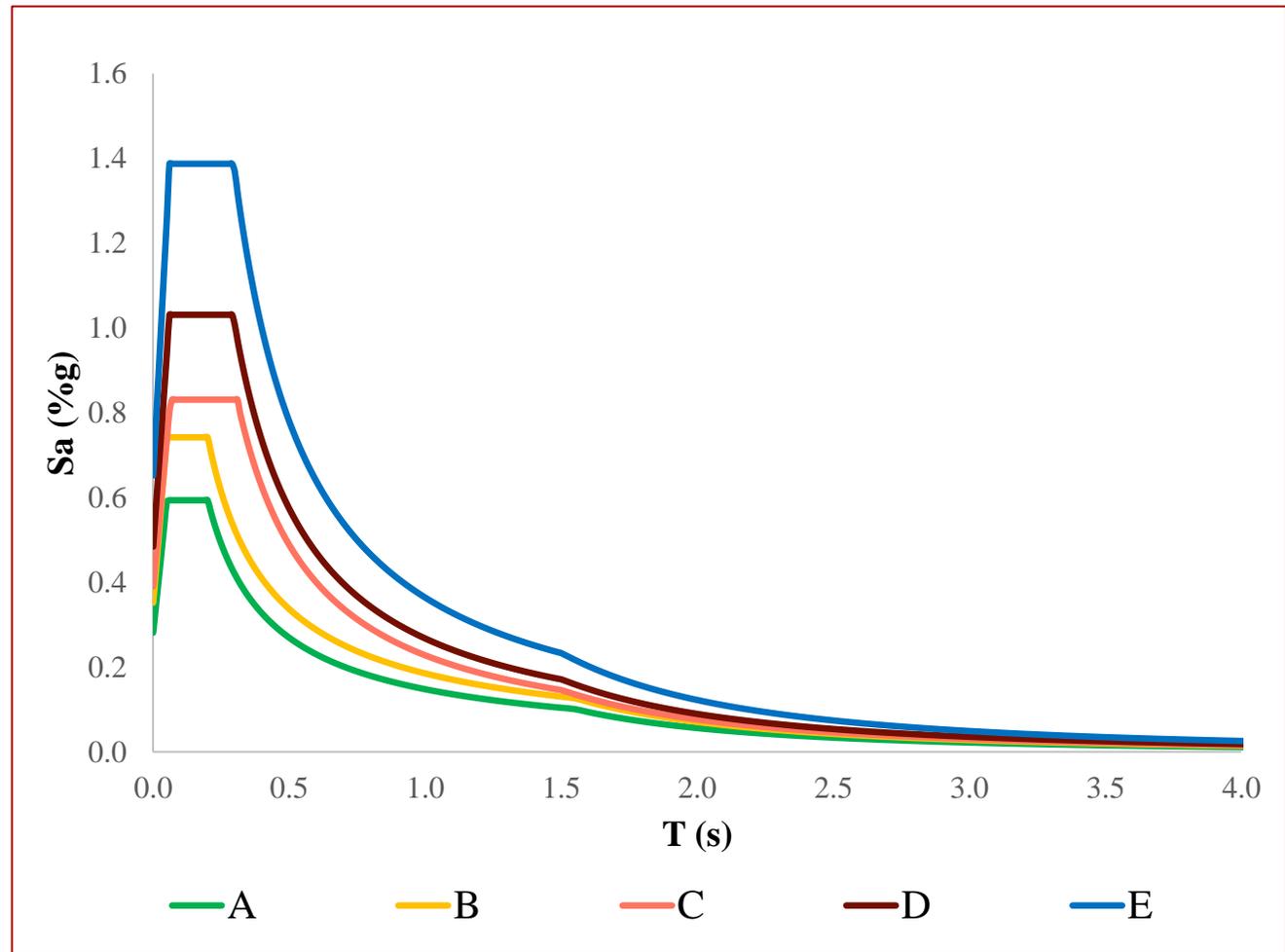




Clase sitio	Fa	Fv
A	0.80	0.80
B	1.00	1.00
C	1.12	1.14
D	1.39	1.34
E	1.87	1.82

Se realiza la modelación 1D, donde se tienen en cuenta todas las propiedades de los suelos en profundidad y los espectros UHS para roca, tomando como referencia la clasificación dinámica de los suelos de la NC 46:2017

Para perfiles de suelo del A – E de la NC 46:2017 a partir de registros de sismos reales moderados escalados a aceleraciones que correspondan al sismo extremo periodo de retorno de 1642 años).



Espectros de diseño preliminares para la ciudad de Santiago de Cuba

¿Cuáles son los valores reales?

Amortiguamiento extra: 1.5

Sobrerresistencia: 1.25

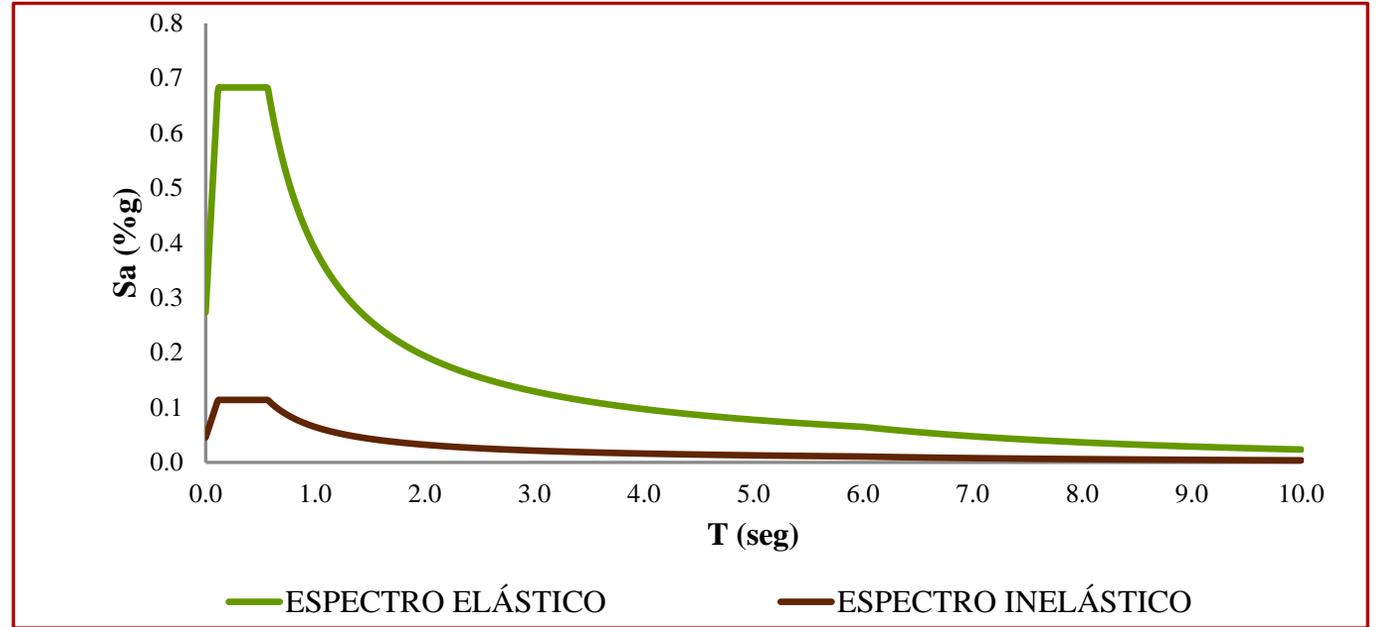
Ductilidad: 2.0



Por tanto $R=(1.5)(1.25)(2.0)=3.75$



¿De donde salen los valores 6, 8 y 10?
De la costumbre, no deben ser constantes,
dependen del período



$$R = R_{\mu} R_{\Omega} R_R$$

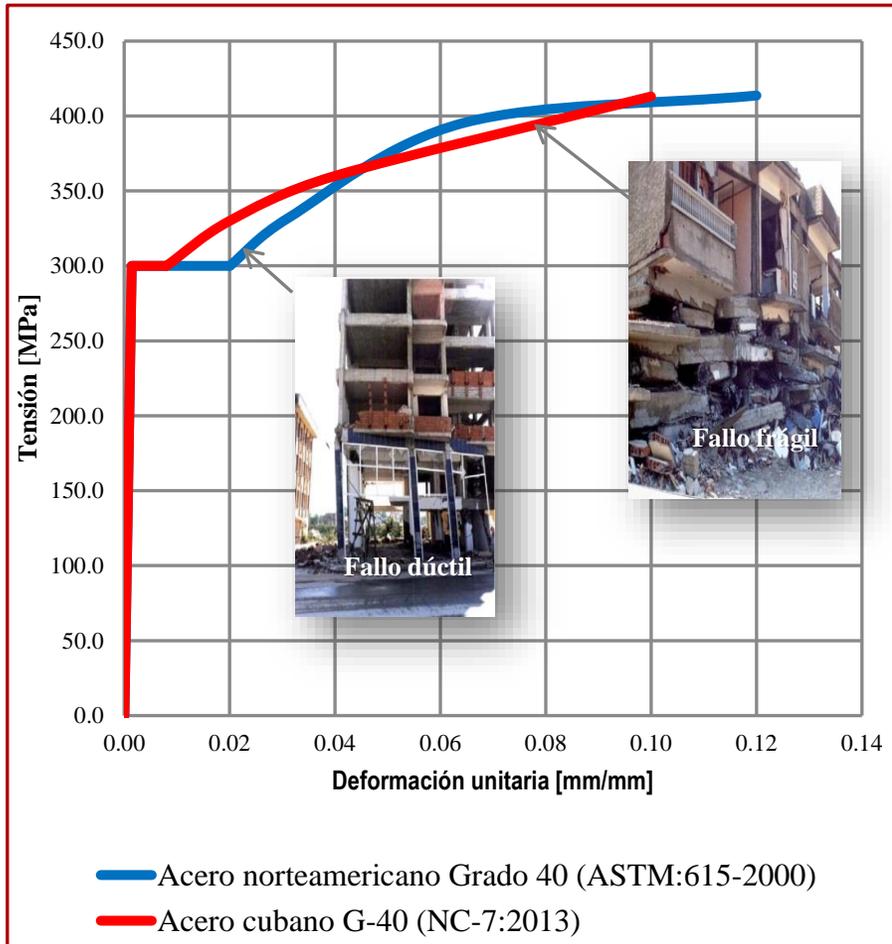
R_{μ} es el factor
de ductilidad

R_{Ω} es el factor
de sobre
resistencia

R_R es el factor
de redundancia

Factor de reducción de respuesta

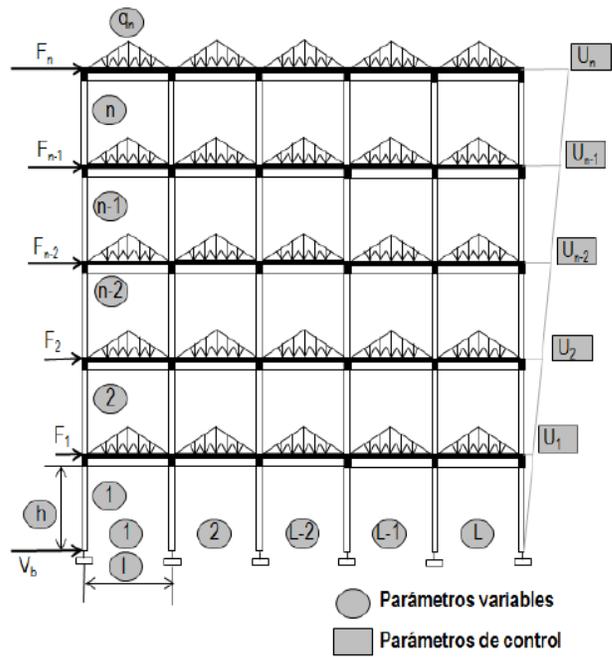
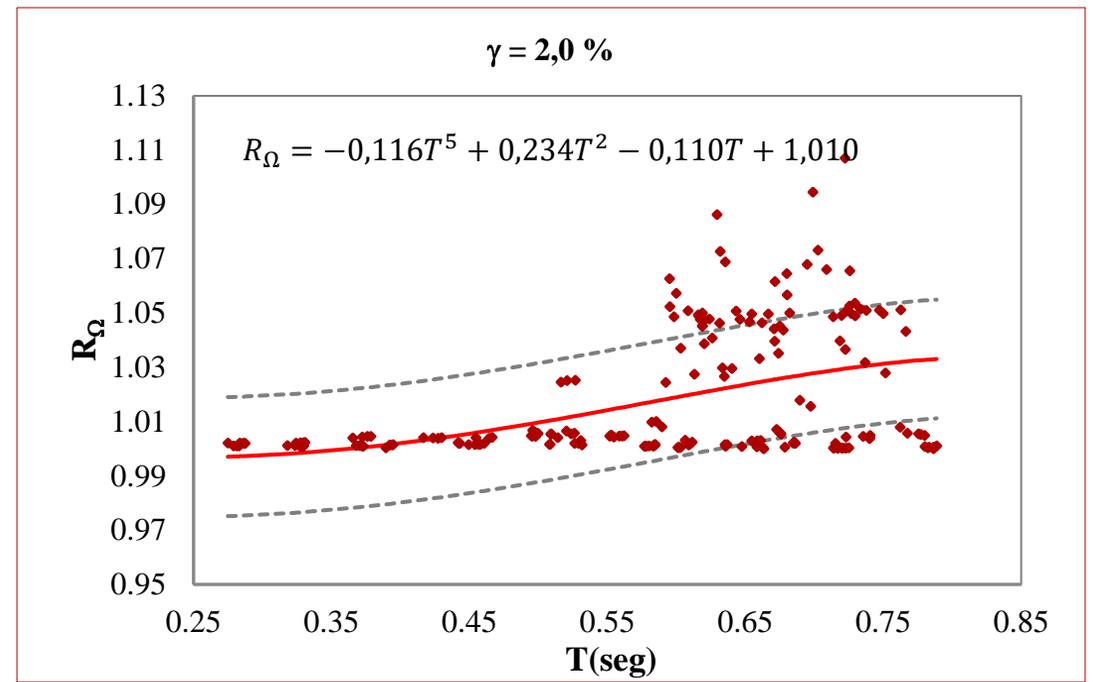
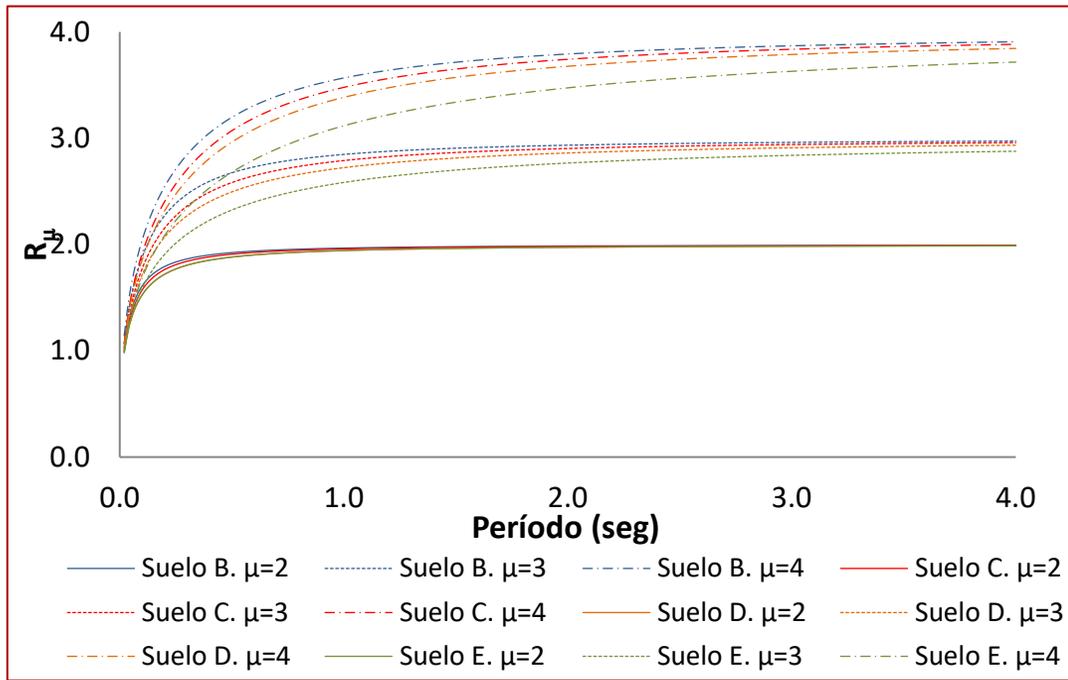
ATC, 1995



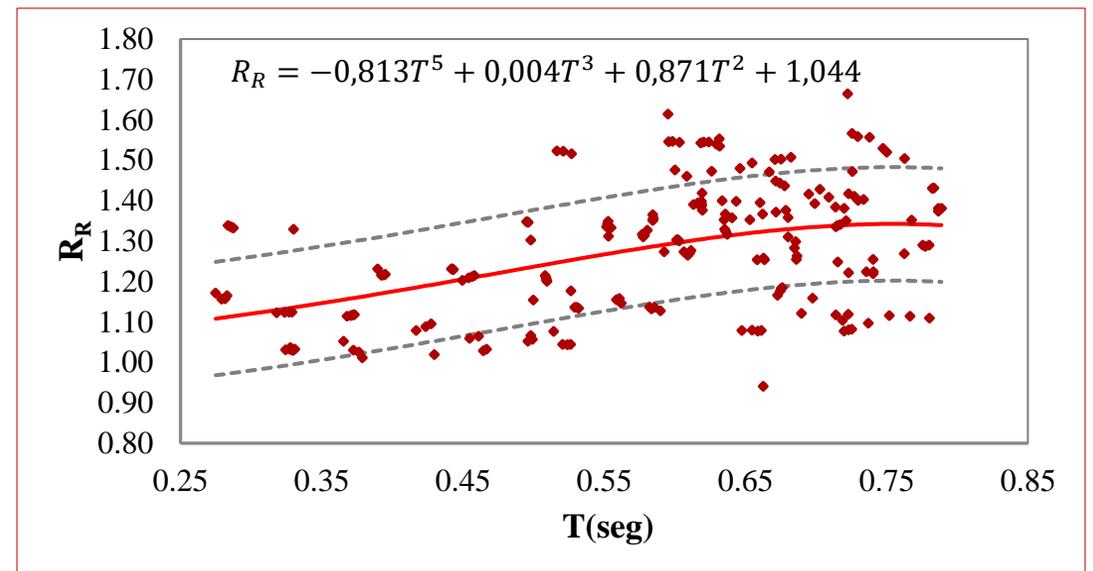
Factor de Reducción de Respuesta y Deriva de Entrepiso

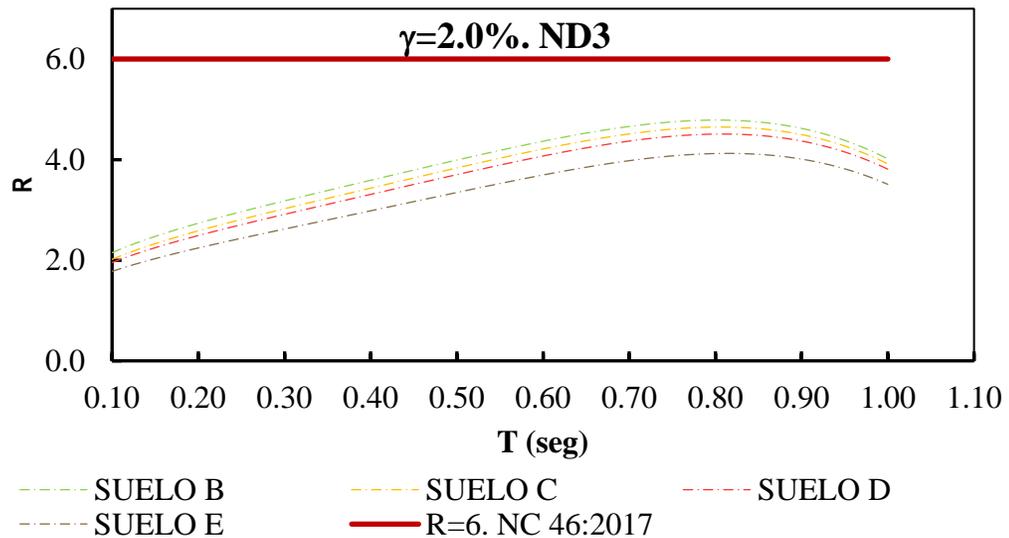
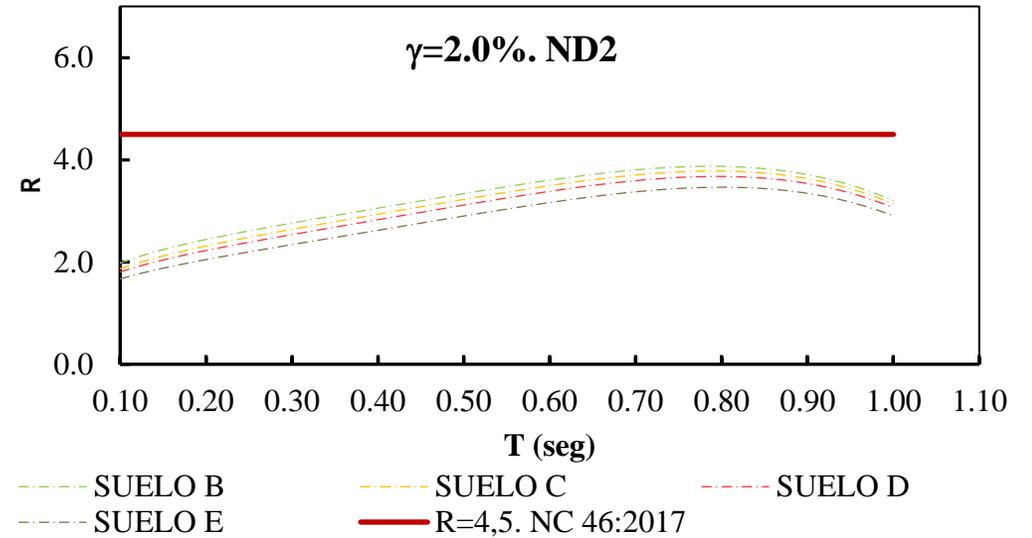
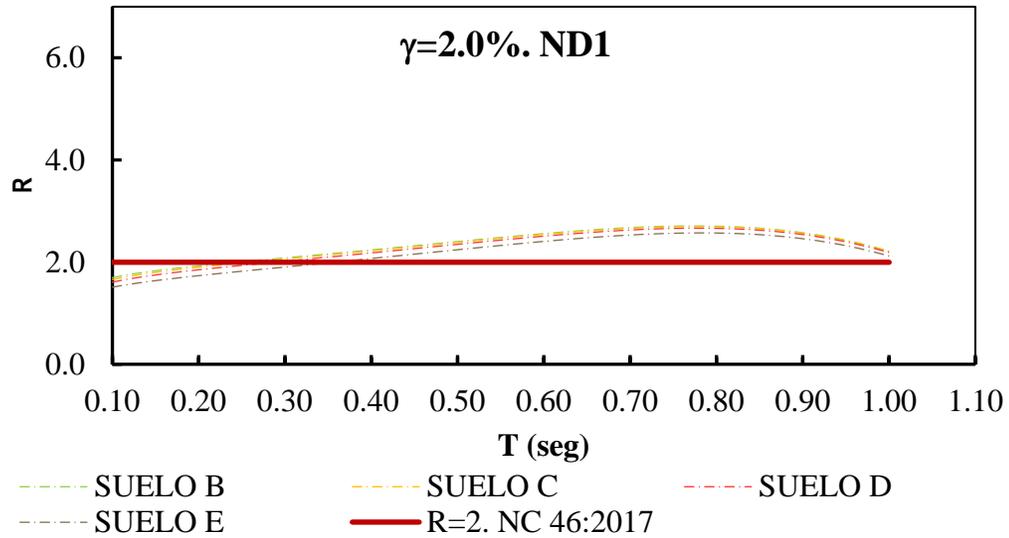
Códigos	Deriva (γ)	Factor de reducción (R)
Estados Unidos: ASCE/SEI 7-16	0.0200	8,0
Europa: EC-8	0.0050	$4.5(\alpha_u/\alpha_1)$
Nueva Zelandia: NZS1170,5:2004	0.0025	6.0
Chile: NCh433	0.0010	8.0
Colombia: NSR-10	0.0100	7.0
Venezuela: COVENIN 1756-2001	0.0150	6.0
República Dominicana: R-001	0.0080	5.5
Cuba: NC-46:2017	0.0200	6.0

Factor de reducción de respuesta para pórticos de hormigón armado

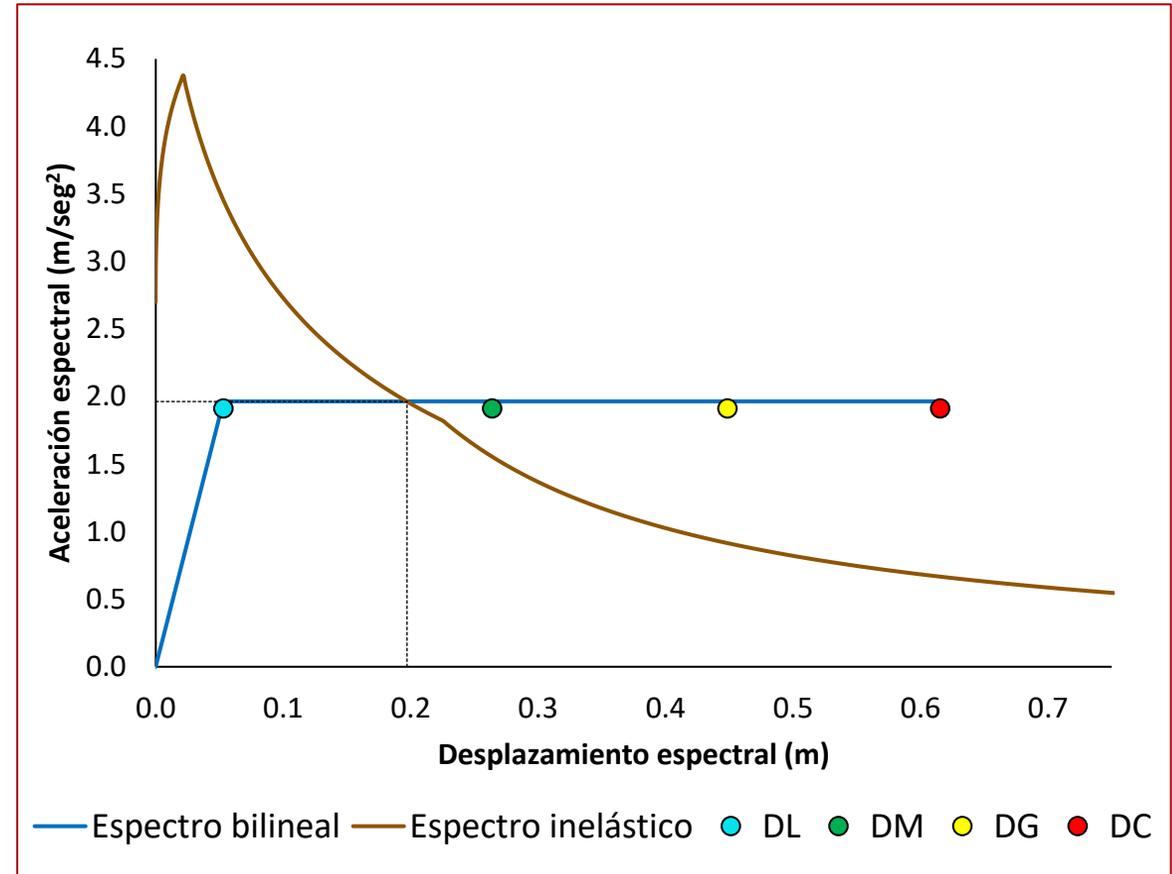
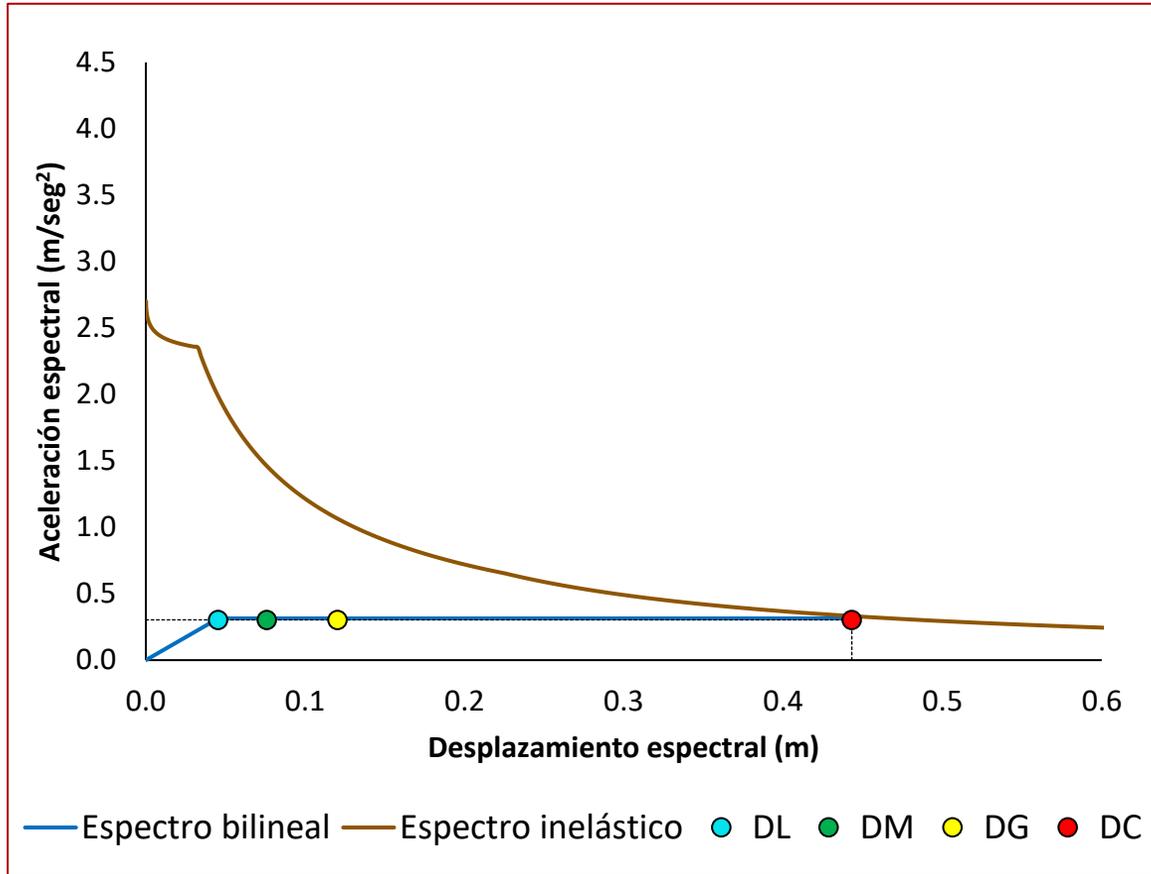


Parámetro	Límite inferior	Límite superior	UM
Puntal	3.00	4.20	m
Luces	3.00	4.80	m
N. de pisos	2	7	-
N. de luces	2	5	-





Nivel de diseño	Disipación de energía	Perfil de suelo			
		B	C	D	E
ND1	$\mu=2$	2.0	2.0	2.0	2.0
ND2	$\mu=3$	3.0	3.0	3.0	2.5
ND3	$\mu=4$	3.5	3.5	3.5	3.0



Variante	Materiales	
	Hormigón (m ³)	Acero (ton)
R=6.0	171.00	8.17
R=3.0	266.00	18.10

Variante	Punto de desempeño		Estado de daño	Nivel de desempeño	Costo rehabilitación
	S _{dp} (m)	S _{ap} (m/s ²)			
R=6.0	0.431	0.304	DC	Colapso	100%
R=3.0	0.197	1.963	DL-DM	Inmediata ocupación	Hasta 5%

Muros de hormigón armado *in situ*

Nivel de diseño	Disipación de energía	Valor de R
ND1	$\mu=2$	2.0
ND2	$\mu=3$	2.5
ND3	$\mu=4$	3.0

Para valores de deriva de 1%

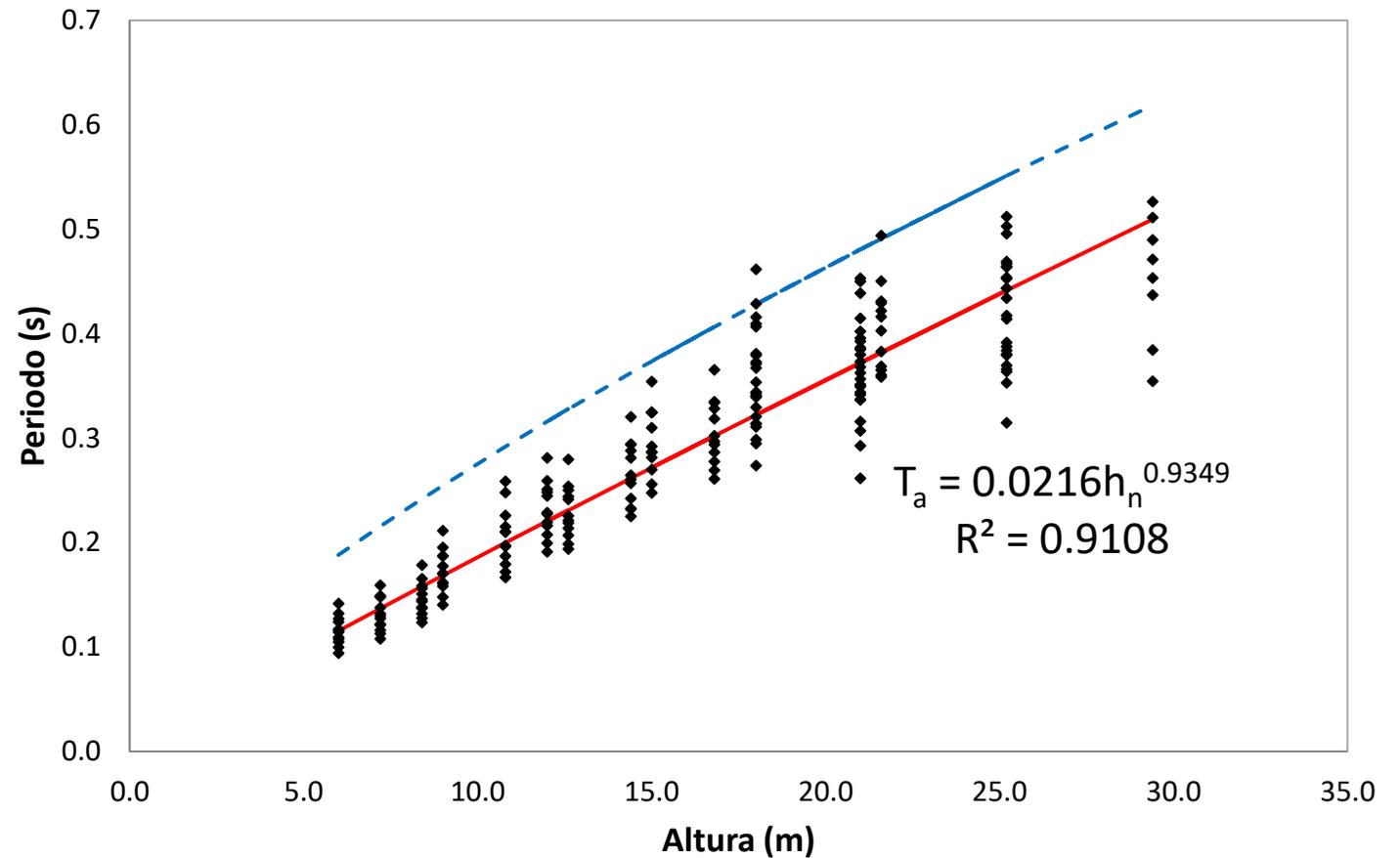
Muros de ductilidad limitada

- Edificaciones ordinarias según NC 46:2017.
- Regularidad en altura.
- $R = 3.5$.
- Derivas de entrepiso $\leq 0.5\%$
- Limitar la cantidad de pisos en relación con los valores de esbeltez de los muros.
- Densidad de muros en el eje débil: $\geq 2.5\%$ (5-8 niveles) y $\geq 3\%$ (9-12) niveles.

Edificaciones prefabricadas

- $R = 2.5$ para una deriva máxima de 1.0%. Estructuras bien diseñadas y detalladas con una capacidad dúctil aceptable, conexiones emulativas.
 - $R = 1.5$. Estructuras que no tienen una probada capacidad para incursionar en el rango de comportamiento inelástico.
-

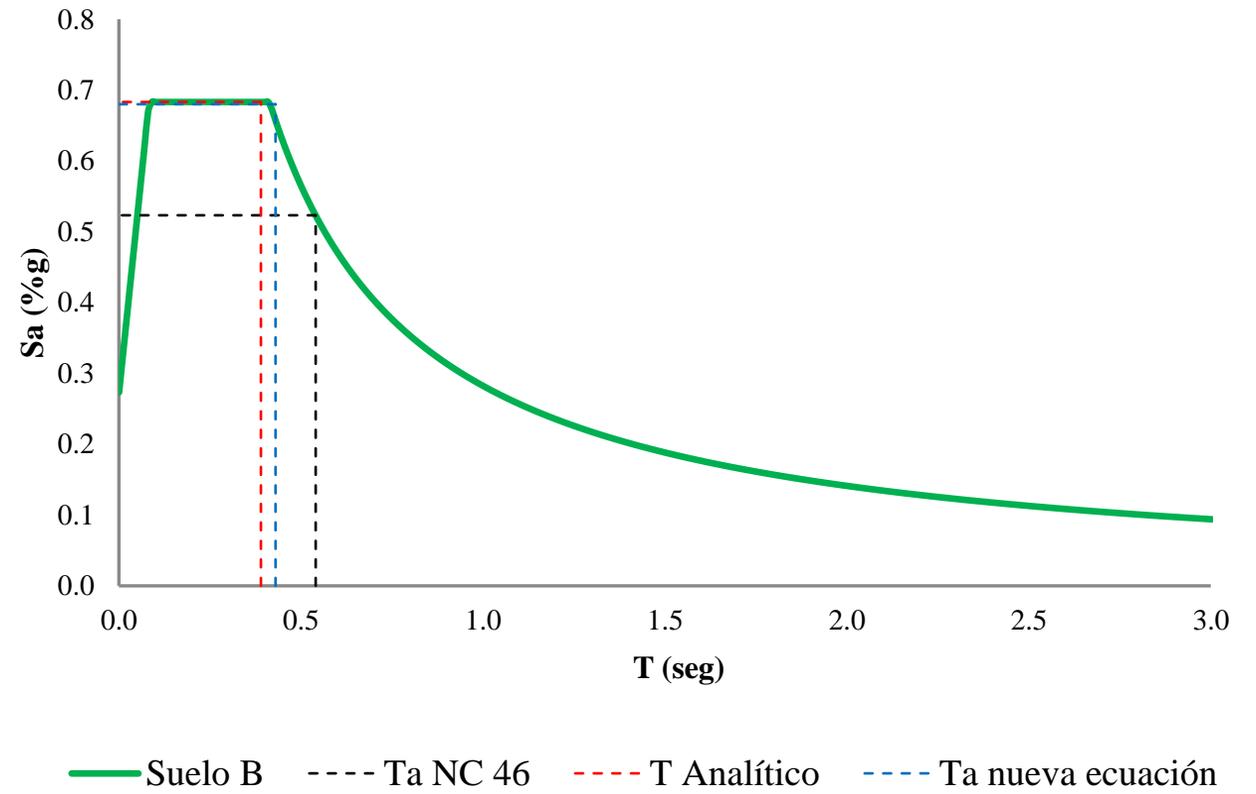
Los períodos de vibración analíticos presentan diferencias respecto a los valores obtenidos de la ecuación empírica que tiene la NC 46:2017.



◆ Periodos analíticos — Mejor ajuste - - - NC 46:2017

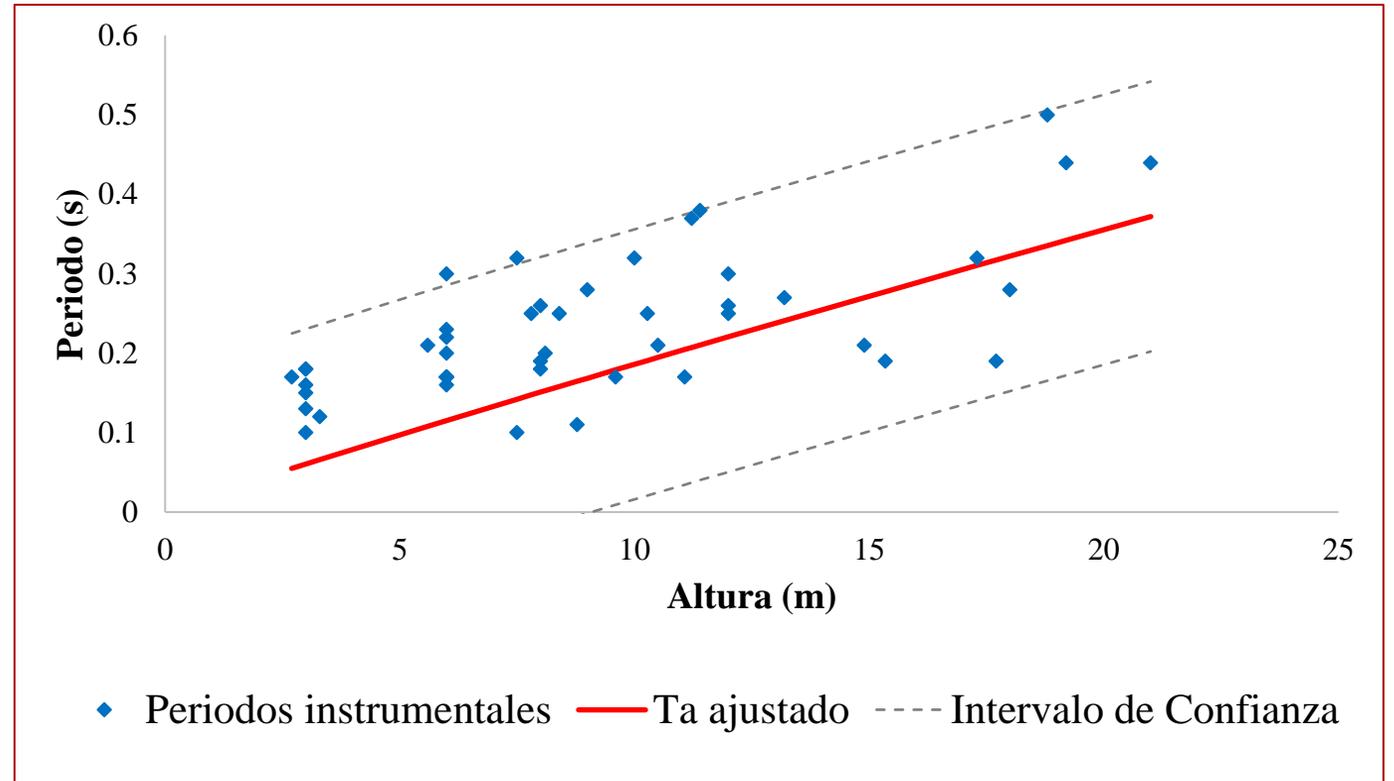
Ecuaciones empíricas del período fundamental de vibración

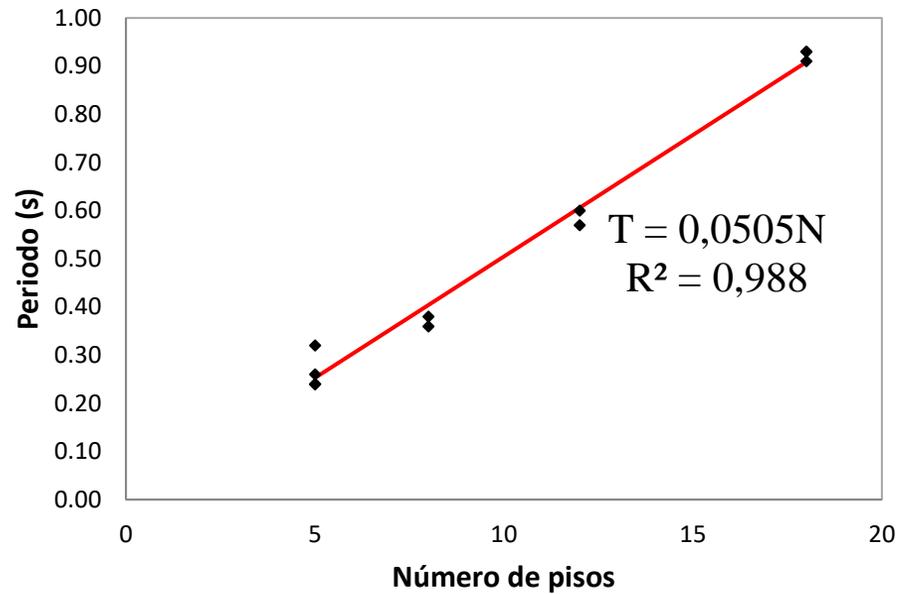
El valor de aceleración espectral obtenido a partir de la ecuación empírica de la NC 46:2017 es menor que el obtenido con el periodo analítico lo que significa que en el diseño se está subestimando la demanda sísmica y por tanto se podrían incrementar los daños a la estructura.



Validación de los resultados:

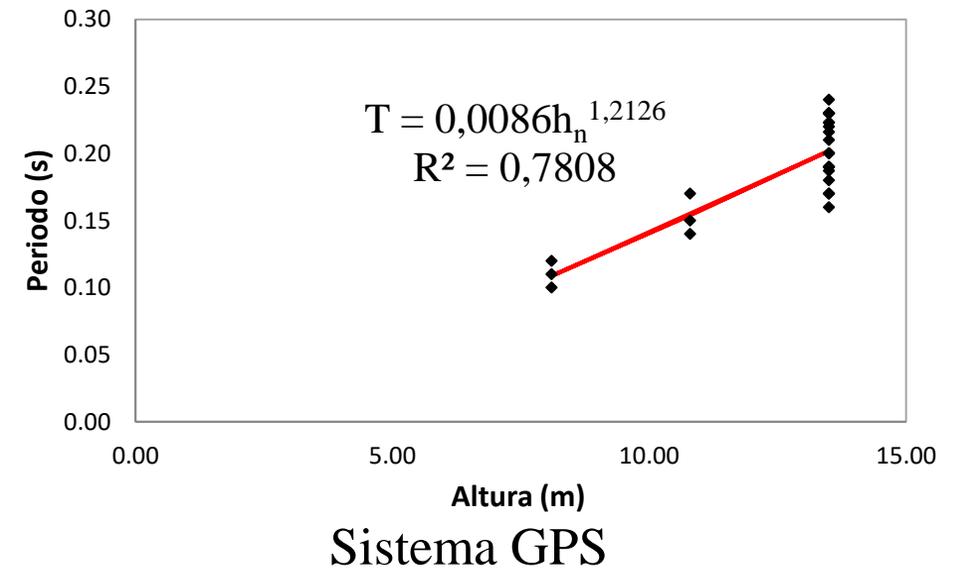
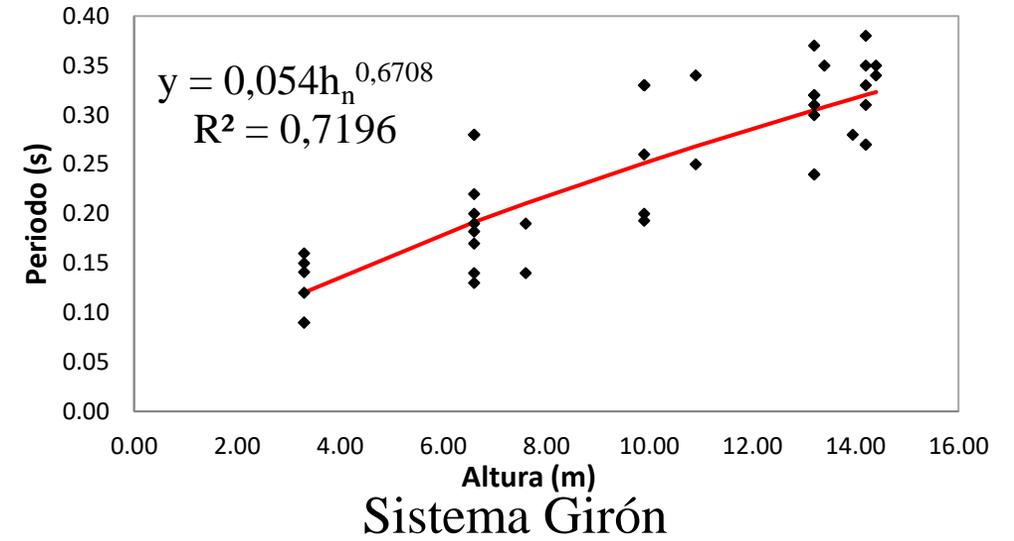
Se comparan los resultados obtenidos experimentalmente mediante mediciones de vibraciones ambientales con los calculados por la ecuación propuesta, se observa que la ecuación propuesta es válida para edificios de pórticos de hormigón armado.





◆ Periodos experimentales — Mejor ajuste

Sistema IMS



Tipo de intervenciones generales.

Evaluación y diagnóstico.

Evaluación estructural.

Tipo de medidas de intervención estructural.

Estabilización de la estructura.

Monitoreo de las estructuras cercanas.

Evaluación e intervención de estructuras existentes



Proyecto “Desarrollo de capacidades para la reducción del riesgo de desastres (RRD) en el entorno construido en América Latina y el Caribe (proyecto BERLAC5). Componente No. 3: Reforzamiento de edificios existentes, (evaluación detallada para edificios de altura media en Cuba).

Fase II: Soluciones para la rehabilitación estructural sismorresistente de una edificación educacional de Santiago de Cuba.



Caracterización de los materiales

Pruebas esclerométricas y de ultrasonido, para determinar la resistencia superficial (Índice esclerométrico - IE) y la velocidad de la onda ultrasónica

- El menor valor de velocidad de pulso ultrasónico obtenido fue de 3731 m/s por lo que, cualitativamente, la calidad del hormigón es buena.
- Se confirma que la calidad superficial del hormigón es buena.
- Se realizaron mediciones en elementos que muestran humedad significativa, manchas y daños en la pintura, sin embargo, los resultados obtenidos se mantienen en los rangos mencionados por lo que es válido asumir que la humedad no ha afectado la calidad del hormigón.



Caracterización de los materiales

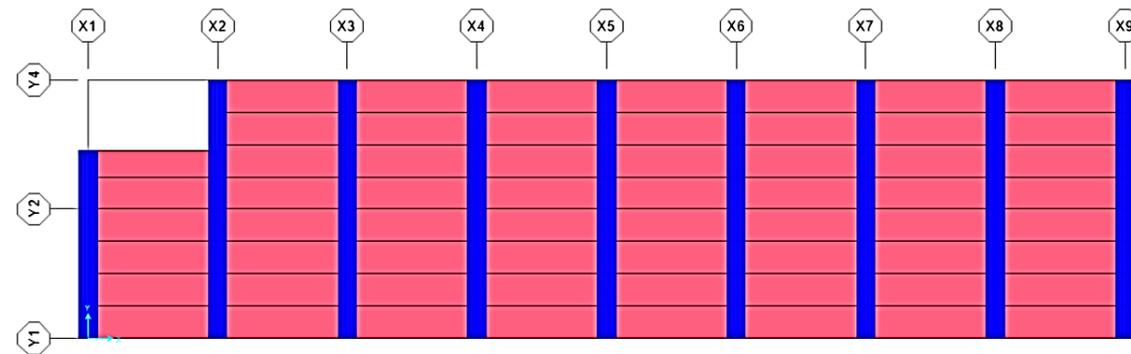
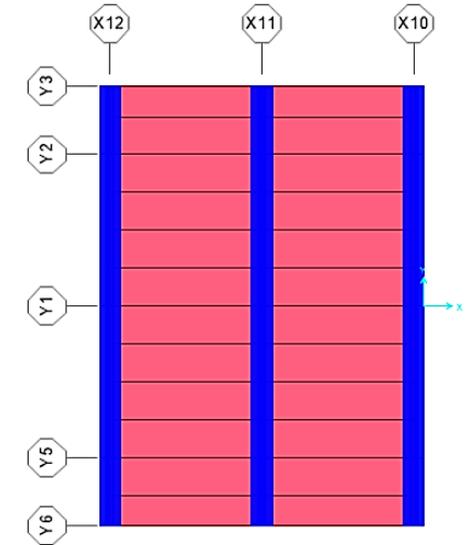
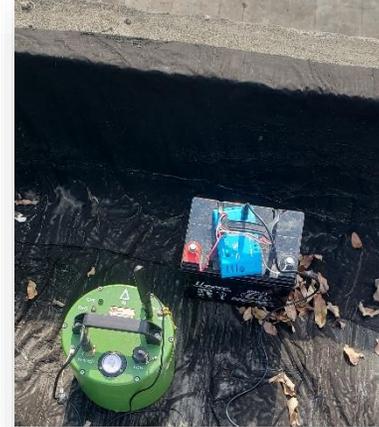
Pruebas esclerométricas y de ultrasonido, para determinar la resistencia superficial (Índice esclerométrico - IE) y la velocidad de la onda ultrasónica

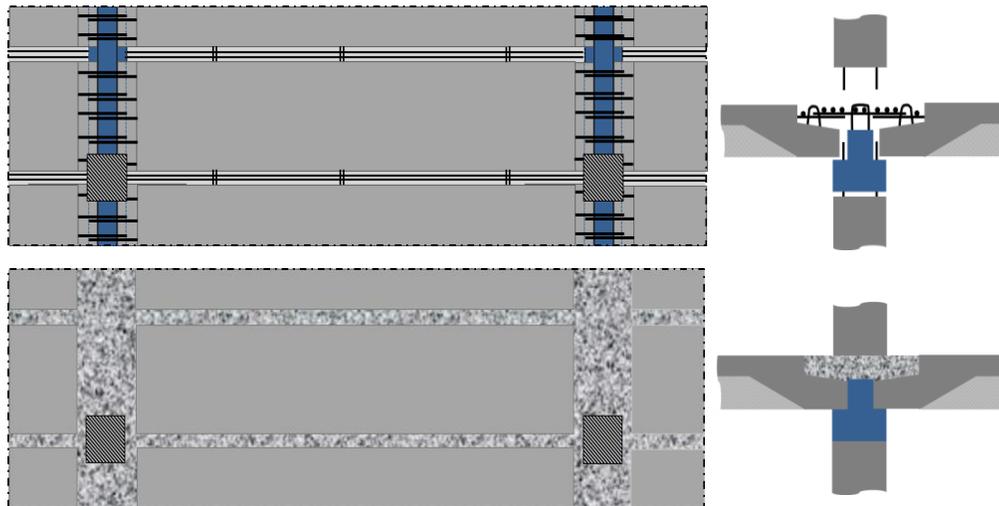
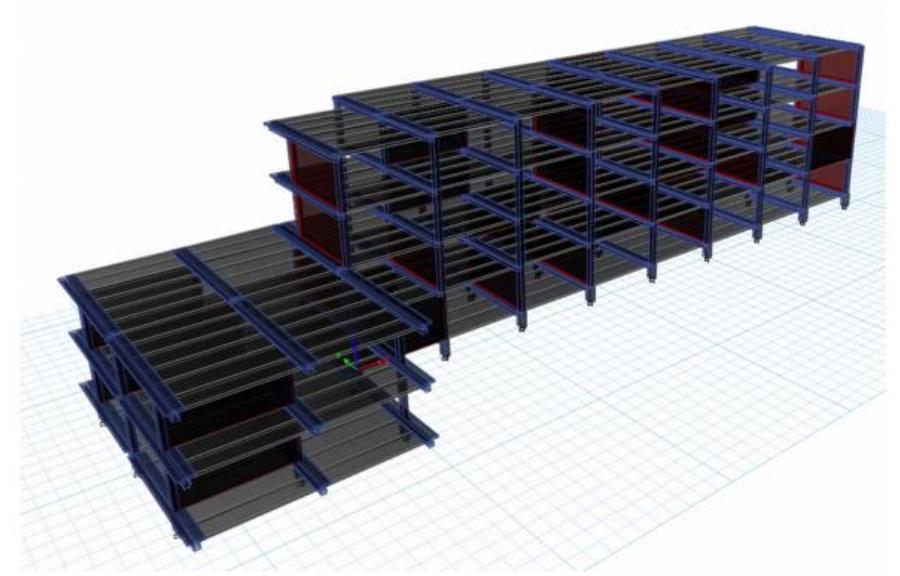
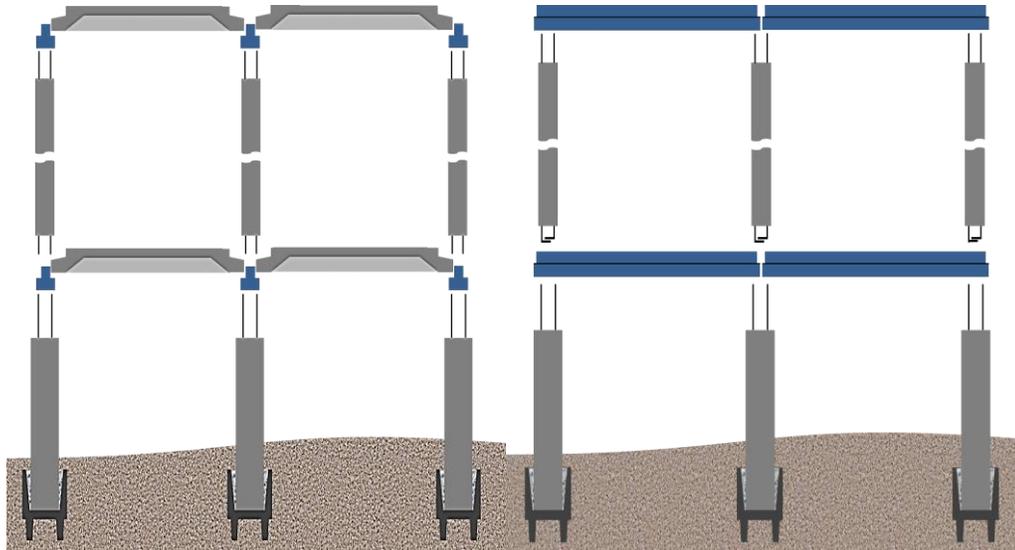
- El menor valor de velocidad de pulso ultrasónico obtenido fue de 3731 m/s por lo que, cualitativamente, la calidad del hormigón es buena.
- Se confirma que la calidad superficial del hormigón es buena.
- Se realizaron mediciones en elementos que muestran humedad significativa, manchas y daños en la pintura, sin embargo, los resultados obtenidos se mantienen en los rangos mencionados por lo que es válido asumir que la humedad no ha afectado la calidad del hormigón.



Mediciones instrumentales del período fundamental de vibración

- Permite determinar los cambios de rigidez
- Calibración del modelo de cálculo



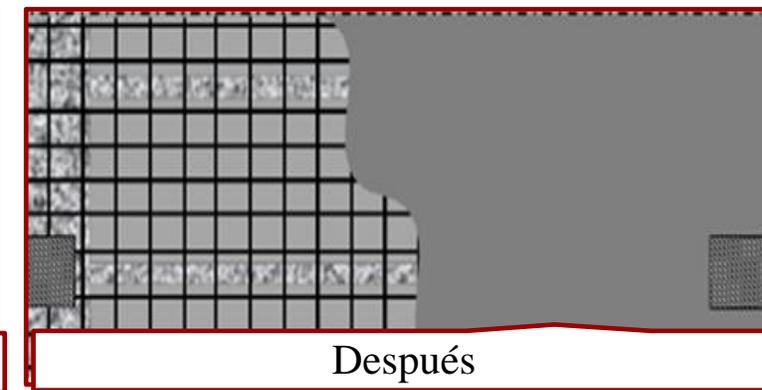
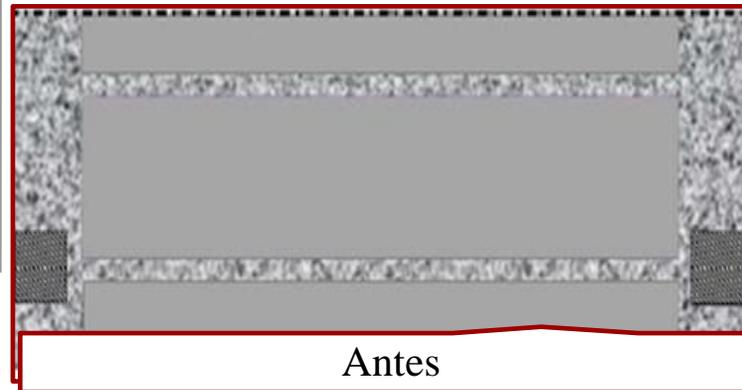
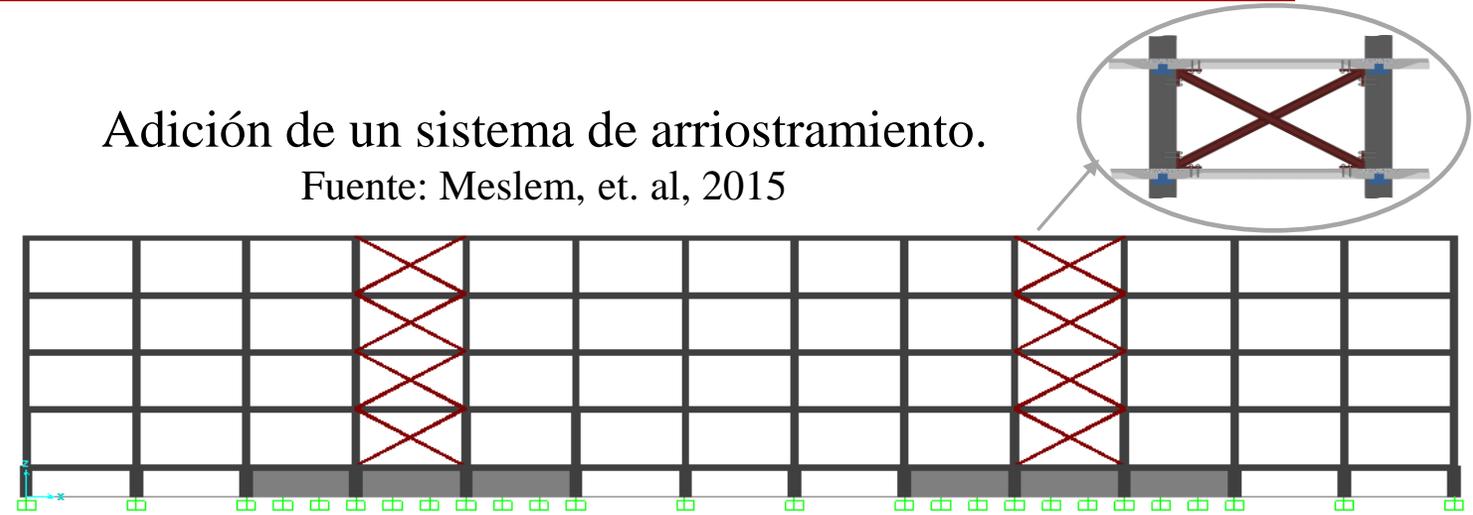


- Un bajo nivel de ductilidad.
- Detallado inadecuado de los elementos estructurales y uniones.
- Grado de hiperestaticidad bajo.
- Pisos débiles.
- Vulnerabilidad estructural asociada al cambio de reglamento sísmico.

- Es significativamente menos rígida en la dirección longitudinal que en la transversal.
- Los diafragmas de piso se comportan con bastante flexibilidad y conducen a respuesta estructural no económica e insegura.

Adición de un sistema de arriostramiento.

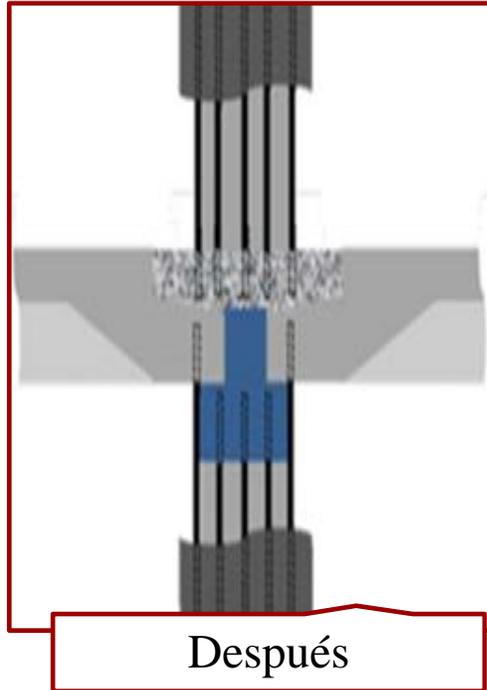
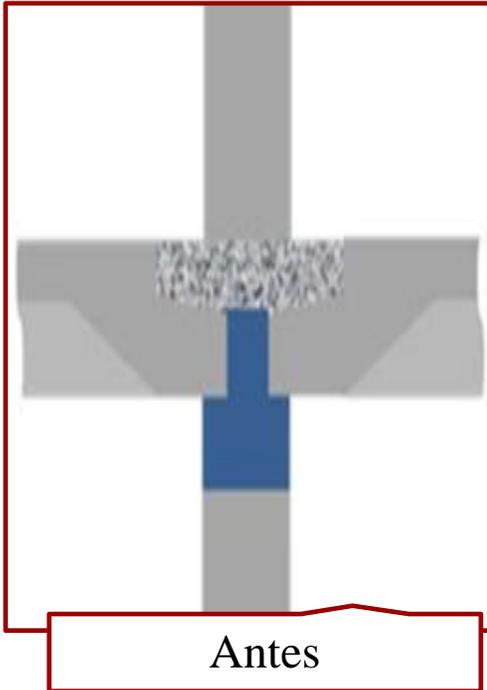
Fuente: Meslem, et. al, 2015



Mejorar la conexión y la continuidad de las losas.

Fuente: Meslem, et. al, 2015

- La mayoría de las columnas y pedestales no resisten las cargas actuantes.



Elemento	Antes del reforzamiento	Reforzamiento arriostre y diafragma
Pedestales de 600x600 mm para 650x650 mm		
Pedestales de 600x350 mm para 650x450 mm		
Columnas de 400x300 mm para 450x350 mm		

Aumento de la cantidad de barras de acero de refuerzo.

Fuente: Meslem, et. al, 2015

MUCHAS GRACIAS
