

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO**

**CONTRAVÉNTELOS RESTRINGIDOS CONTRA PANDEO COMO
OPCIÓN DE REFUERZO EN ZONAS SÍSMICAS.**

T E S I S

PRESENTADA POR:

VÍCTOR MANUEL GARCÍA TORRES

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL**

DIRIGIDO POR:

DR. JORGE RUIZ GARCÍA

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Abril 2006

Índice

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS.....	iii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCION	
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos, alcances y limitaciones.....	4
1.3 Organización de la tesis.....	5
CAPÍTULO 2. CONTRAVENTEOS RESTRINGIDOS CONTRA PANDEO	
2.1 Introducción.....	7
2.2 Componentes de CRP.....	8
2.3 Ventajas y desventajas del uso de CRP.....	11
2.4 Desarrollo histórico de los CRP.....	13
2.3.1 Estudios experimentales.....	13
2.3.2 Estudios analíticos.....	27
CAPÍTULO 3. COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICIOS EXISTENTES	
3.1 Introducción.....	30
3.2 Descripción de los edificios estudiados	31
3.2.1 Edificio de 3 niveles.....	31
3.2.2 Edificio de 6 niveles.....	34
3.2.3 Edificio de 9 niveles.....	36
3.3 Modelado de los edificios existentes.....	39
3.4 Conjunto de acelerogramas considerados en este estudio.....	39
3.5 Respuesta sísmica de los edificios existentes.....	40
3.5.1 Edificio de 3 niveles.....	40
3.5.2 Edificio de 6 niveles.....	45
3.5.3 Edificio de 9 niveles.....	50

**CAPÍTULO 4. COMPORTAMIENTO SISMICO DE EDIFICIOS REFORZADOS
CON CRP**

4.1	Introducción.....	58
4.2	Criterio de diseño de los CRP.....	59
4.3	Disposición de los CRP.....	67
4.4	Respuesta sísmica de los edificios.....	71
4.4.1	Edificio de 3 niveles.....	71
4.4.2	Edificio de 6 niveles.....	86
4.4.3	Edificio de 9 niveles.....	96

CAPITULO 5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

5.1	Resumen.....	118
5.2	Conclusiones.....	119
5.3	Investigaciones sugeridas.....	119

REFERENCIAS.....	120
-------------------------	------------

Índice de tablas y figuras

Figura 1.1. Pandeo local en un contraventeo convencional.	1 -
Figura 1.2. Respuesta Histerética típica de contraventeo convencional.....	2 -
Figura 1.3. Imagen de los CRP dispuestos en el marco	3 -
Figura 1.4. Comportamiento histerético de los CRP.	3 -
Figura 2.1. Esquema general de un CRP y sus elementos principales que lo componen..	8 -
Figura 2.2. Componentes típicos de un CRP (Uang y Nakashima, 2005).	8 -
Figura 2.4.b. Sección transversal típica de un CRP (Uang y Nakashima).	9 -
Figura 2.5. Sección transversal cruciforme típica de un CRP y los materiales que la componen.	10 -
Figura 2.6. Esquema del elemento estudiado por Wakabayashi et al. (1973).	14 -
Figura 2.7. Pruebas realizadas por Wakabayashi et al.(1973) en CRP embebidos en paneles precolados de concreto, a) Dispositivo de carga, b) Comportamiento histerético.	15 -
Figura 2.9. Secciones transversales de varios CRP desarrollados y ensayados en Japón.(Uang y Nakashima, 2004).....	15 -
Tabla 2.1. Relaciones Pe/Py consideradas en el estudio (Watanabe et al. 1988).	16 -
Figura 2.9. Detalle de conexión para el CRP propuesto por Nagao y Takahashi (1990)..	17 -
Figura 2.10. Elemento restringido contra pandeo propuesto por Sridhara (1988).	18 -
Figura 2.11. a) CRP estudiado por Prasad (1992) y b) comportamiento típico a compresión.	19 -
La primera evidencia experimental sobre el comportamiento de los CRP en los Estados Unidos de Norte América fue reportada por	19 -
Figura 2.13. Respuesta histerética de dos especímenes ensayados por Clark et al. (1999).	20 -
Figura 2.14. a) Dispositivo de carga y espécimen de CRP ensayado por Tremblay et al. (1999).	21 -
b) Detalles del CRP propuesto y ensayado por Tremblay et al. (1999).	21 -
Figura 2.15. Respuesta histerética de los CRP estudiados por Tremblay et al. (1999), a) Respuesta global, b) respuesta del encamisado de acero.....	22 -
Figura 2.16. Seccion Transversal de los CRP estudiados por Iwata et al. (2000).	22 -
Figura 2.17. Comportamiento histerético exhibido por los CRP estudiados por Iwata et al. (2000).	23 -
Figura 2.18 Contraventeos estudiados por Chen y colaboradores (2001).....	24 -
Figura 2.19. Composición del CRP propuesto por Higgins y Newell (2002).	25 -
Figura 2.20. Respuesta histerética de Higgins y Newell 2002.	26 -
Figura 2.18 Desplazamientos de entresijos de marcos a momento contra CRP`s.....	28 -
Figura 3.1. Nomenclatura para los marcos en estudio.....	31 -
Tabla 3.1 elementos viga y sus momentos para edificio de 3 niveles	32 -
Tabla 3.2 elementos columna y sus momentos para edificio de 3 niveles	32 -
Tabla 3.3 Pesos de los entresijos para edificio de 3 niveles	32 -
Figura 3.1 Elevación del marco analizado de 3 niveles	33 -
Figura 3.2 Planta del edificio de 3 niveles.....	33 -

Tabla 3.4 Elementos viga y columna y sus momentos para edificio de 6 niveles.....	- 34 -
Tabla 3.5 Pesos de los entrepisos para el edificio de 6 niveles	- 34 -
Figura 3.3 Elevación del marco analizado de 6 niveles	- 35 -
Figura 3.4 Planta del edificio de 6 niveles.....	- 36 -
Tabla 3.6 Elementos y momentos en las vigas y columnas edificio de 9 niveles	- 37 -
Tabla 3.7 Peso de los entrepisos para edificio de 9 niveles.....	- 37 -
Figura 3.5 Elevación del marco analizado de 9 niveles (perimetral)	- 38 -
Figura 3.6. Planta del edificio de 9 niveles.....	- 38 -
Figura 3.7.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.7.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro LP89CAP).....	- 40 -
Figura 3.8.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.8.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro NR94CNP).....	- 41 -
Figura 3.9.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.9.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro LP89G03).....	- 41 -
Figura 3.10.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.10.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro NR94STC).	- 42 -
-	
Figura 3.11.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.11.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro NR94STN).	- 42 -
-	
Figura 3.12.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.12.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro.....	- 43 -
Figura 3.13.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.13.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro NR94CNP).	- 43 -
-	
Figura 3.14.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.14.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro.....	- 44 -
Figura 3.15.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.15.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro.....	- 44 -
Figura 3.16.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.16.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro.....	- 45 -
Figura 3.17.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.17.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro LP89CAP).	- 45 -
-	
Figura 3.18.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.18.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro	- 46 -
Figura 3.19.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.19.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro LP89G03).	- 46 -
Figura 3.20.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.20.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94STC).	- 47 -
-	
Figura 3.21.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.21.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94STN).	- 47 -
-	
Figura 3.22.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.22.b. Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro LP89CAP)..	- 48 -
-	
Figura 3.23.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.23.b. Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94CNP).	- 48 -
-	

Figura 3.24.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.24.b.	
Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro LP89G03).	- 49 -
Figura 3.25.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.25.b.	
Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94STC).	- 49 -
Figura 3.26.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.26.b.	
Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94STN).	- 50 -
Figura 3.27.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.27.b.	
Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro LP89CAP).	- 50 -
Figura 3.28.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.28.b.	
Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro)	- 51 -
Figura 3.29.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.29.b.	
Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro LP89G03).	- 51 -
Figura 3.30.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.30.b.	
Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94STC).	- 52 -
Figura 3.31.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.31.b.	
Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94STN).	- 52 -
Figura 3.32.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.32.b.	
Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro LP89CAP).	- 53 -
Figura 3.33.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.33.b.	
Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94CNP).	- 53 -
Figura 3.34.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.34.b.	
Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro LP89G03).	- 54 -
Figura 3.35.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.35.b.	
Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94STC).	- 54 -
Figura 3.36.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.36.b.	
Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94STN).	- 55 -
Figura 3.37.a. Desplazamientos máximos para el edificio de 3NIV con los cinco registros 3.37.b. Distorsión máxima para edificio de 3NIV con los cinco registros.	- 55 -
Figura 3.38.a. Desplazamientos máximos para el edificio de 6NIV con los cinco registros 3.38.b. Distorsión máxima para edificio de 6NIV con los cinco registros.	- 56 -
Figura 3.39.a. Desplazamientos máximos para el edificio de 9NIV con los cinco registros 3.39.b. Distorsión máxima para edificio de 9NIV con los cinco registros.	- 56 -
Tabla 3.9. Medidas de tendencia central.	- 57 -
Tabla 3.10. Medidas de dispersión.	- 57 -
Figura 4.1. Espectro de diseño (NEHRP 2000, IBC 2000)	- 60 -
Tabla 4.1.a. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 3 niveles R=8.5.	- 60 -
Tabla 4.1.b. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 3 niveles R=6.4.	- 60 -
Tabla 4.2. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 6 niveles.....	- 60 -
Tabla 4.3.a. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 9 niveles R=8.5.	- 61 -
Tabla 4.3.b. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 9 niveles R=6.4.	- 61 -
Tabla 4.4.a. Distribución de fuerzas cortantes para edificio de 3 niveles R=8.5.	- 62 -

Tabla 4.4.b. Distribución de fuerzas cortantes para edificio de 3 niveles R=6.4.	- 62 -
Tabla 4.6.a. Distribución de fuerzas cortantes para edificio de 9 niveles R=8.5.	- 62 -
Tabla 4.6.b. Distribución de fuerzas cortantes para edificio de 9 niveles R=6.4.	- 63 -
Figura 4.2. Angulo comprendido por el CRP y la horizontal.....	- 63 -
Tabla 4.7.a. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 3 niveles R=8.5.....	- 64 -
Tabla 4.7.b. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 3 niveles R=6.4.....	- 64 -
Tabla 4.8. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 6 niveles (para marcos interiores y exteriores).	- 64 -
Tabla 4.9.a. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 9 niveles R=8.5.....	- 64 -
Tabla 4.9.b. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 9 niveles R=6.4.....	- 64 -
Tabla 4.10.a. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 3 niveles R=8.5....	- 65 -
Tabla 4.10.b. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 3 niveles R=6.4....	- 65 -
Tabla 4.11. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 6 niveles (para marcos interiores y exteriores).	- 66 -
Tabla 4.12.a. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 9 niveles R=8.5....	- 66 -
Tabla 4.12.b. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 9 niveles R=6.4....	- 66 -
Figura 4.3. Disposición de contraventeos en marcos exteriores para edificio de 3 niveles (opción 3A).....	- 67 -
Figura 4.4. Disposición de contraventeos en marcos interiores para edificio de 3 niveles (opción 3B).	- 68 -
Figura 4.5. Disposición de contraventeos en marcos exteriores para edificio de 6 niveles (opción 6A).....	- 68 -
Figura 4.6. Disposición de contraventeos en marco interior para edificio de 6 niveles- (opción 6B).	- 69 -
Figura 4.8. Disposición de contraventeos en marcos intermedios para edificio de 9 niveles (opción 9A).	- 70 -
Figura 4.9. Disposición de contraventeos en marco interior para edificio de 9 niveles (opción 9A).....	- 70 -
Figura 4.10.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.10.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro.....	- 71 -
Figura 4.11.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.11.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro.....	- 72 -
Figura 4.12.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.12.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro.....	- 72 -
Figura 4.13.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.13.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro.....	- 72 -
Figura 4.14.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.14.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro.....	- 73 -
Figura 4.15.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.15.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro.....	- 73 -
Figura 4.16.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.16.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro.....	- 73 -
Figura 4.17.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.17.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro.....	- 74 -
Figura 4.18.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.18.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro LP89G03)..	- 74 -

- Figura 4.19.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.19.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro LP89G03).. - 75
-
- Figura 4.20.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.20.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro LP89G03).. - 75
-
- Figura 4.21.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.21.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro LP89G03).. - 75
-
- Figura 4.22.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.22.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STC). - 76
-
- Figura 4.23.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.23.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro NR94STC). - 76
-
- Figura 4.24.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.24.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94STC). - 76
-
- Figura 4.25.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.25.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94STC). - 77
-
- Figura 4.26.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.26.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STN). - 77
-
- Figura 4.27.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.27.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro NR94STN). - 78
-
- Figura 4.28.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.28.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94STN). - 78
-
- Figura 4.29.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.29.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94STN). - 78
-
- Figura 4.30.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.30.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro LP89CAP). - 79
-
- Figura 4.31.a. Desplazamientos residual del análisis del marco 3C6A, Figura 4.31.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro LP89CAP). - 79
-
- Figura 4.32.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.32.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro LP89CAP). - 79
-
- Figura 4.33.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.33.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro LP89CAP). - 80
-
- Figura 4.34.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.34.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94CNP). - 80
-

- Figura 4.35.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6A, Figura 4.35.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro NR94CNP). - 81
-
- Figura 4.36.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.36.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94CNP). - 81
-
- Figura 4.37.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.37.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94CNP). - 81
-
- Figura 4.38.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.38.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro LP89G03). - 82
-
- Figura 4.39.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6A, Figura 4.39.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro LP89G03). - 82
-
- Figura 4.40.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.40.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro LP89G03). - 82 -
- Figura 4.41.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.41.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro LP89G03). - 83 -
- Figura 4.42.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.42.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STC). - 83
-
- Figura 4.43.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6A, Figura 4.43.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro NR94STC). - 84
-
- Figura 4.44.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.44.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94STC). - 84
-
- Figura 4.45.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.45.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94STC). - 84
-
- Figura 4.46.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.46.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STN). - 85
-
- Figura 4.47.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.47.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STN). - 85
-
- Figura 4.48.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.48.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94STN). - 85
-
- Figura 4.49.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.49.b.
Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94STN). - 86
-
- Figura 4.50.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.50.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro LP89CAP). - 86 -
- Figura 4.51.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.51.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro LP89CAP). - 87 -
- Figura 4.52.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.52.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94CNP). - 87
-

- Figura 4.53.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.53.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94CNP).- 87 -
Figura 4.54.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.54.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro LP89G03)..- 88 -
Figura 4.55.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.55.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro LP89G03)..- 88 -
Figura 4.56.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.56.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94STC).- 89 -
Figura 4.57.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.57.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94STC). - 89 -
Figura 4.58.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.58.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94STN).- 90 -
Figura 4.59.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.59.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94STN).- 90 -
Figura 4.60.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.60.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro LP89CAP). - 91 -
Figura 4.61.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.61.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro LP89CAP). - 91 -
Figura 4.62.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.62.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94CNP).- 92 -
Figura 4.63.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.63.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94CNP).- 92 -
Figura 4.64.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.64.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro LP89G03)..- 93 -
Figura 4.65.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.65.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro LP89G03)..- 93 -
Figura 4.66.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.66.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94STC).- 94 -
Figura 4.67.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.67.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94STC). - 94 -
Figura 4.68.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.68.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94STN).- 95 -
Figura 4.69.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.69.b.
Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94STN). - 95 -
Figura 4.70.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.70.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro LP89CAP). - 96 -
-
Figura 4.71.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.71.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro LP89CAP). - 96 -
-
Figura 4.72.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8B, Figura 4.72.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro LP89CAP). - 97 -
-
Figura 4.73.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6B, Figura 4.73.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro LP89CAP). - 97 -
-
Figura 4.74.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8C, Figura 4.74.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro LP89CAP). - 97 -
-

- Figura 4.75.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.75.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro LP89CAP).- 98
-
- Figura 4.76.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.76.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94CNP).- 98
-
- Figura 4.77.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.77.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94CNP).- 98
-
- Figura 4.78.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8B, Figura 4.78.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94CNP).- 99
-
- Figura 4.79.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6B, Figura 4.79.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94CNP).- 99
-
- Figura 4.80.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8C, Figura 4.80.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94CNP).- 99
-
- Figura 4.81.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.81.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94CNP). -
100 -
- Figura 4.82.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.82.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro LP89G03).- 100
-
- Figura 4.83.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.83.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro LP89G03).- 100
-
- Figura 4.84.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8B, Figura 4.84.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro LP89G03).- 101
-
- Figura 4.85.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6B, Figura 4.85.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro LP89G03).- 101
-
- Figura 4.86.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8C, Figura 4.86.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro LP89G03).- 101
-
- Figura 4.87.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.87.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro LP89G03).- 102
-
- Figura 4.88.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.88.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94STC)..... -
102 -
- Figura 4.89.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.89.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94STC)..... -
102 -
- Figura 4.90.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8B, Figura 4.90.b.
Distorsión máxima del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94STC)..... -
103 -

Figura 4.91.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6B, Figura 4.91.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94STC).....	-
103 -	
Figura 4.92.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8C, Figura 4.92.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94STC).....	-
103 -	
Figura 4.93.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.93.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94STC).....	-
104 -	
Figura 4.94.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.94.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94STN).	-
104 -	
Figura 4.95.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.95.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94STN).	-
104 -	
Figura 4.96.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8B, Figura 4.96.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94STN).....	-
105 -	
Figura 4.97.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6B, Figura 4.97.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94STN).....	-
105 -	
Figura 4.98.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8C, Figura 4.98.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94STN).....	-
105 -	
Figura 4.99.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.99.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94STN).....	-
106 -	
Figura 4.100.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8A, Figura 4.100.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro LP89CAP).	- 106 -
Figura 4.101.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.101.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro LP89CAP).	- 107 -
Figura 4.102.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.102.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro LP89CAP).	- 107 -
Figura 4.103.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.103.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro LP89CAP).	- 107 -
Figura 4.104.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8C, Figura 4.104.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro LP89CAP).	- 108 -
Figura 4.105.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6C, Figura 4.105.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro LP89CAP).	- 108 -
Figura 4.106.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8A, Figura 4.106.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94CNP).	- 108 -

Figura 4.107.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.107.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94CNP).	- 109 -
Figura 4.108.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.108.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94CNP).	- 109 -
Figura 4.109.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.109.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94CNP).	- 109 -
Figura 4.110.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8C, Figura 4.110.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94CNP).	- 110 -
Figura 4.111.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6C, Figura 4.111.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94CNP).	- 110 -
Figura 4.112.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8A, Figura 4.112.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro LP89G03).	- 110 -
Figura 4.113.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.113.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro LP89G03).	- 111 -
Figura 4.114.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.114.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro LP89G03).	- 111 -
Figura 4.115.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.115.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro LP89G03).	- 111 -
Figura 4.116.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8C, Figura 4.116.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro LP89G03).	- 112 -
Figura 4.117.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6C, Figura 4.117.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro LP89G03).	- 112 -
Figura 4.118.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8A, Figura 4.118.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94STC).	- 112 -
Figura 4.119.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.119.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94STC).	- 113 -
Figura 4.120.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.120.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94STC).	- 113 -
Figura 4.121.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.121.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94STC).	- 113 -
Figura 4.122.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8C, Figura 4.122.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94STC).	- 114 -

Figura 4.123.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6C, Figura 4.123.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94STC).....	- 114 -
Figura 4.124.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8A, Figura 4.124.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94STN).....	- 114 -
Figura 4.125.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.125.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94STN).....	- 115 -
Figura 4.126.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.126.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94STN).....	- 115 -
Figura 4.127.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.127.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94STN).....	- 115 -
Figura 4.128.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8C, Figura 4.128.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94STN).....	- 116 -
Figura 4.129.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6C, Figura 4.129.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94STN).....	- 116 -
Tabla 4.13. Medidas de tendencia central.	- 117 -
Tabla 4.14 Medidas de dispersión	- 117 -

Capítulo 1

INTRODUCCION

1.1 MOTIVACION

A fin de proporcionar mayor rigidez y resistencia ante cargas laterales, y de esta manera limitar las demandas de desplazamiento lateral durante una excitación sísmica moderada o intensa, o bien satisfacer requisitos normativos, se han incluido contraventeos en combinación con marcos resistentes a momento. Estos contraventeos son diagonales de acero, de secciones transversales muy variadas, con capacidad a carga axial para resistir las cargas laterales y esfuerzos laterales de tensión y compresión. Desafortunadamente, su comportamiento sísmico no ha sido adecuado, dado que se ha observado pandeo local, e incluso fractura después de eventos sísmicos recientes. Esto se atribuyó a que los contraventeos tenían una relación de esbeltez grande, lo cual limitó su capacidad a compresión axial ante cargas cíclicas alternadas (ver figura 1.1).

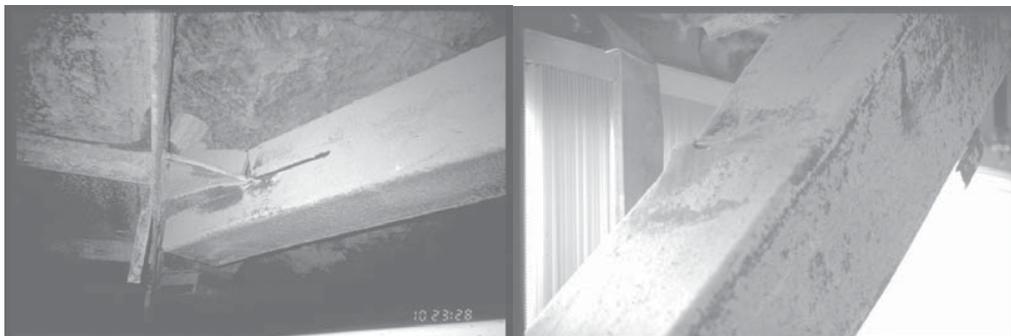


Figura 1.1. Pandeo local en un contraventeo convencional.

El pandeo local es un modo de falla en el cual el miembro se deforma lateralmente, perdiendo así rigidez y capacidad de resistencia de carga, lo cual, es el problema más común que se presenta en elementos que son sometidos a fuerzas de compresión.

Asimismo, el comportamiento experimental de los contraventeos a evidenciado una limitada capacidad de deformación inelástica ante cargas cíclicas reversibles. Más aún, su respuesta histerética es asimétrica como se ilustra en la figura 1.2, exhibiendo un rápido deterioro de resistencia cuando son sometidas a fuerzas de compresión.

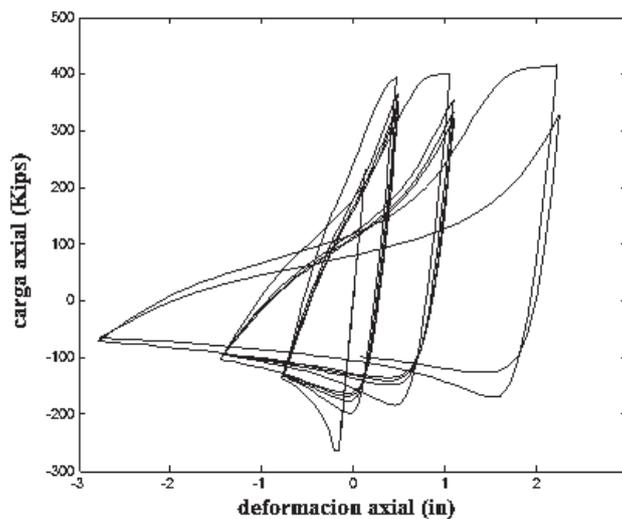


Figura 1.2. Respuesta Histerética típica de contraventeo convencional

Debe notarse que cuando esta falla ocurre, la rigidez lateral del contraventeo disminuye y el marco pierde considerable estabilidad lateral.

Los problemas potenciales inherentes al uso de contraventeos convencionales pueden solucionarse, si las diagonales exhiben adecuada capacidad de deformación inelástica y disipación de energía cuando se comportan tanto en tensión como en compresión, sin presentar pandeo local o global. Es por ello que en Japón se propuso, desde hace 30 años, un tipo de contraventeo alternativo conocido como *contraventeo restringido contra pandeo* (denominado CRP en este estudio). Los CRP son elementos diagonales dispuestos entre las crujías de los marcos (ver figura 1.3), y que al ser sometido a las fuerza de compresión tienen poca o nula posibilidad de exhibir pandeo.

Además los CRP exhiben curvas de histéresis simétricas cuando son sometidos a cargas cíclicas reversibles del tipo sísmico (ver figura 1.4).

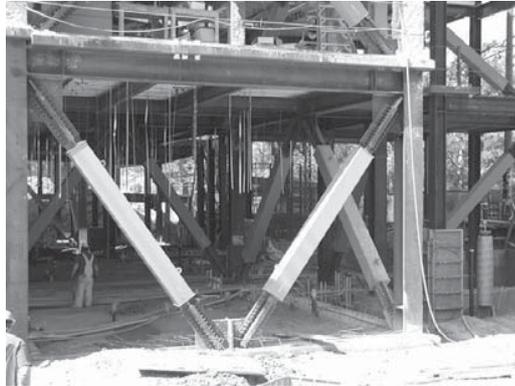


Figura 1.3. Imagen de los CRP dispuestos en el marco

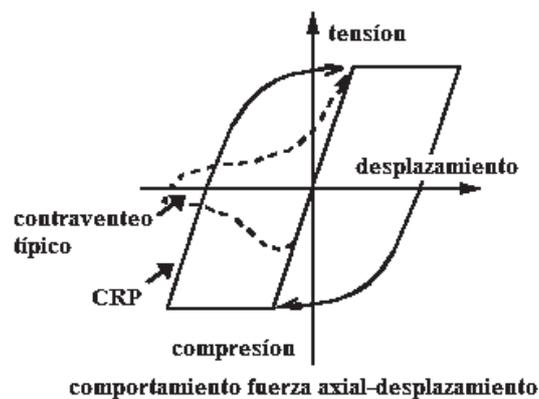


Figura 1.4. Comportamiento histérico de los CRP.

Un CRP puede considerarse como un disipador pasivo de energía. Conceptualmente, para el diseño de los CRP se supone un sistema donde la estructura principal permanece elástica y solo en los CRP se espera que se disipe la energía. Así mismo, se espera que después de la ocurrencia de un evento sísmico la estructura principal regrese a su posición original, y solamente se remplacen los CRP que hallan sido dañados. En la figura 2.3 se muestra un esquema general de los CRP.

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES

El objetivo principal de esta tesis consiste en estudiar el comportamiento sísmico de edificios existentes de acero rigidizados con contraventeos restringidos contra pandeo (CRP). Para tal fin, se estudiará la respuesta sísmica de tres marcos representativos de marcos interiores en edificios típicos para oficinas de 3, 6 y 9 niveles, considerando y sin considerar la inclusión de CRP entre las crujías. Los marcos de 3 y 9 niveles provienen de edificios diseñados para una zona de alta sismicidad en California, Estados Unidos, mientras que el marco de 6 niveles corresponde a un marco interior de un edificio diseñado en la ciudad de México. Para evaluar su respuesta sísmica, los marcos serán sometidos a un conjunto de 40 historias de aceleración representativas de un escenario sísmico de magnitud-distancia epicentral intermedia. A continuación se describen los objetivos particulares de esta tesis:

1. Evaluar la capacidad de los CRP para mitigar los desplazamientos laterales máximo y permanente al final de la excitación sísmica.
2. Estudiar la influencia de la distribución de los CRP dispuestos en una o más crujías.
3. Sugerir recomendaciones para su implementación en la práctica mexicana como esquema de refuerzo estructural.

El presente estudio proveerá de valiosa información para considerar a los CRP como opción para rehabilitar edificios existentes, diseñados con reglamentos sismorresistentes que no son vigentes en la actualidad. Sin embargo, este estudio solo se limita a edificios de acero y no se contempla la inclusión de CRP en edificios existentes de concreto reforzado. Asimismo, el estudio no contempla estudiar la influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de los marcos analizados. Finalmente, solo se consideraran historias de aceleración representativas de un escenario sísmico particular, capturadas en estaciones ubicadas en terreno firme.

1.3 ORGANIZACION DE LA TESIS

En esta tesis se presenta un estudio encaminado a evaluar la eficiencia de contraventeos restringidos contra pandeo (CRP) como esquema de refuerzo en edificios existentes ubicados en zonas sísmicas, así como explorar su implementación en la práctica mexicana. Para tal fin, se desarrollaron diversas etapas de investigación.

A continuación se presenta una descripción detallada del contenido de esta tesis:

En el **Capítulo 2** se presenta una breve descripción de los CRP y de la forma en que se componen. Además se incluye una breve reseña de estudios relevantes, tanto experimentales como analíticos, referentes al uso de CRP que fueron llevados a cabo en distintos países. La reseña se describe en orden cronológico para evidenciar el desarrollo que han tenido los CRP hasta la actualidad.

En el **Capítulo 3** se describen los edificios existentes considerados en esta investigación, así como los marcos representativos de cada edificio. Posteriormente, se describe su respuesta sísmica en términos de las demandas de distorsión de entrepiso máxima y residual, al ser sometidos a un conjunto de historias de aceleración registradas en estaciones ubicadas en terreno firme.

En el **Capítulo 4** se describe el criterio de diseño de los CRP, así como su dimensionamiento y disposición en cada edificio considerado en esta investigación. Además, se presentan los resultados del comportamiento sísmico de los marcos con CRP y se compara su respuesta con la mostrada en los marcos existentes.

En el **Capítulo 5** se ofrecen algunas recomendaciones prácticas para la colocación y conexión de los CRP con los elementos estructurales existentes.

Finalmente, en el **Capítulo 6** se resumen las principales observaciones derivadas de este estudio. Asimismo, se comentan estudios adicionales que permitan implementar el uso de CRP como opción de refuerzo estructural en la práctica sismorresistente en México.

Capítulo 2

CONTRAVENTEOS RESTRINGIDOS CONTRA PANDEO

2.1 INTRODUCCION

Una gran variedad de Contraventeos Restringidos contra Pandeo o CRP hechos de varios materiales han sido estudiados desde hace aproximadamente tres décadas en Japón de los cuales se han realizado estudios analíticos y experimentales. Variaciones de estos han sido estudiadas en algunos países. Uno de los principales factores que se han estudiado en este tipo de contraventeos, son las fuerzas de fricción entre el alma de acero y la capa de concreto que lo cubre, para disminuir estas fuerzas se han realizado distintos estudios experimentales con diferentes materiales deshaderentes.

Otro de los principales fines de los ejercicios experimentales en CRP es analizar los distintos tipos de material que cubre al elemento (cajón de acero) variando las secciones transversales para poder encontrar una con la respuesta mas favorable que evite se pande el elemento.

El objetivo de este capítulo consiste en describir algunas de las principales investigaciones, tanto experimentales como analíticas, llevadas a cabo a nivel mundial con la intención de estudiar el comportamiento de CRP diseñados con distintas configuraciones y materiales para su fabricación.

2.2 Componentes de Contraventeos Restringidos Contra Pandeo (CRP)

No obstante que existen distintas configuraciones de CRP, en las Figuras 2.1 y 2.2 se muestra un esquema de los principales componentes de un CRP (Uang y Nakashima, 2005).

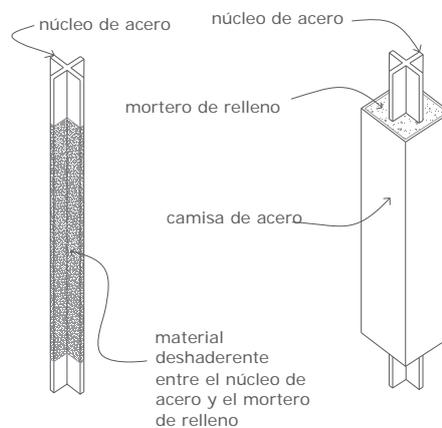


Figura 2.1. Esquema general de un CRP y sus elementos principales que lo componen.

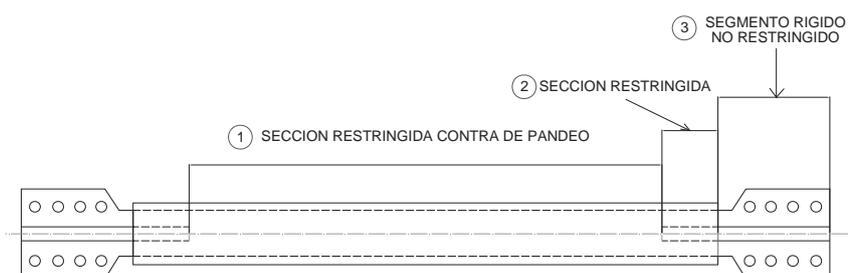


Figura 2.2. Componentes típicos de un CRP (Uang y Nakashima, 2005).

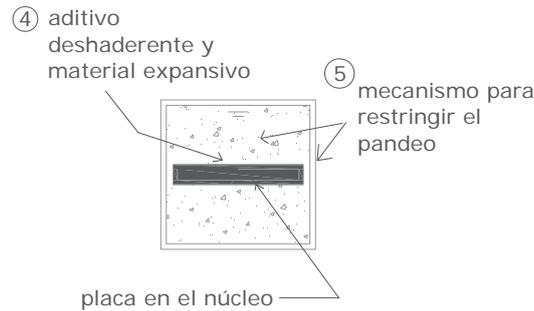


Figura 2.4.b. Sección transversal típica de un CRP (Uang y Nakashima).

A continuación se describen los cinco componentes de un CRP típico:

1. *Sección restringida contra pandeo:* Esta sección comúnmente es de sección transversal rectangular o cruciforme. Normalmente se trata de una placa de acero rodeada por una camisa metálica, sin embargo, se puede utilizar más de una placa en el núcleo. En esta sección se recomienda utilizar acero de no muy alta resistencia (e.g. acero A36), debido a que este segmento se diseña para fluir ante ciclos reversibles de carga. Asimismo, puede emplearse alguna aleación de acero de alta resistencia. También es recomendable usar acero con una resistencia a la fluencia que no presente grandes variaciones respecto a su valor nominal, siendo esta última característica muy importante para un diseño adecuado por capacidad del CRP.

2. *Sección rígida restringida:* Este segmento es una extensión de la sección restringida contra pandeo y también se encuentra encamisada y embebida en mortero. Sin embargo, este segmento cuenta con mayor área de la sección transversal para asegurar una respuesta elástica. Asimismo, la transición de esta sección con el segmento restringido contra pandeo debe ser gradual, a fin de evitar concentraciones de esfuerzos. Es práctica común soldar atiesadores para aumentar el área en esta sección.

3. *Segmento rígido no restringido*: Esta sección es usualmente una extensión de la sección rígida restringida y tiene la función de conectar el CRP con el marco existente. A este segmento también se le denomina *proyección del núcleo de acero*. Es práctica común que este segmento sea diseñado como una conexión atornillada para facilitar el montaje en campo, aunque también pueden emplearse otros tipos de conexión (e.g. mediante pernos o soldadura). Algunas de las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para su diseño son: a) Prevención del pandeo local, y b) Facilidad de montaje en campo y facilidad de desmontar.

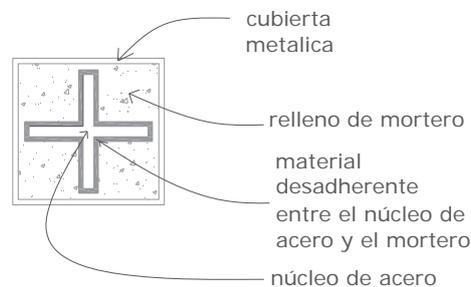


Figura 2.5. Sección transversal cruciforme típica de un CRP y los materiales que la componen.

4. *Material desadherente y material expansivo*: El primero es un material inerte cuya función es la de disminuir o eliminar la transferencia de fuerza cortante entre el segmento restringido contra pandeo y el mortero que lo rodea. Para tal fin se han empleado materiales como el caucho, el polietileno, la grasa de silicón, entre otros.
5. *Mecanismo para restringir el pandeo*: Es un mecanismo que está compuesto por el mortero de relleno y un encamisado de acero (e.g., un tubo cuadrado o circular hueco). En particular, para asegurar que el mortero desarrolle una resistencia de compresión adecuada, la mezcla de mortero debe de ser diseñada y curada apropiadamente. De otro modo el mortero no podrá restringir efectivamente la amplitud de pandeo del segmento restringido. Así también, El encamisado metálico debe de ser diseñado para no resistir ni la mínima carga axial.

Consideraciones que deben de ser tomadas en cuenta:

Debe notarse que el hueco entre el segmento restringido contra pandeo y el mortero que lo rodea debe de ser lo suficientemente grande para permitir que el centro de acero tenga libertad de movimiento al momento de que las cargas de compresión sean aplicadas.

También se debe de evitar que el elemento que encamisa al centro y restringe el pandeo tome parte de la fuerza axial debido a la fricción formada entre dichos materiales.

Por otra parte, el hueco tampoco debe de ser tan amplio para evitar que la amplitud del pandeo sea muy grande, lo cual podría reducir la capacidad de carga axial del elemento central. El diseño del hueco es también función de la carga máxima de diseño.

Además de la mostrada en la figura 2.4.b existen distintas configuraciones de sección transversal de CRP que son utilizadas comúnmente, y aunque cuentan con características similares, en la figura 2.5 se esquematiza un CRP de sección transversal cruciforme.

2.3 Ventajas y desventajas del uso de CRP

A continuación se describen algunas de las ventajas principales que ofrece el uso de CRP:

- Los CRP exhiben mayor rigidez lateral cuando son sujetos a sismos de baja intensidad, permitiendo satisfacer límites de desplazamiento lateral mas fácilmente que los marcos sin contraventeos.
- Ante sismos de intensidad moderada e intensa, los CRP eliminan la posibilidad de pandeo observada en los contraventeos convencionales, dado que pueden fluir en tensión y compresión, proporcionando mayor disipación de energía.

- Los CRP actúan como *fusibles*, minimizando el daño en otros elementos estructurales. Por ello, es posible reemplazarlos después de eventos sísmicos intensos.
- Los CRP ofrecen flexibilidad adecuada en el diseño, debido a que la resistencia y rigidez de los elementos puede ser afinada. Asimismo, son fáciles de modelar para realizar análisis inelásticos.
- Para fines de rehabilitación sísmica, los CRP ofrecen mayores ventajas que los contraventeos convencionales, dado que los contraventeos convencionales diseñados con una filosofía de diseño por capacidad requieren una cimentación más costosa, y el reforzamiento de la losa de cimentación.

Sin embargo, deben mencionarse algunas desventajas asociadas al uso de CRP:

- La mayoría de los CRP están patentados en los EU. y Japón.
- Si no se tiene un control adecuado, la resistencia de fluencia del acero empleado para fabricar el segmento restringido contra pandeo podría tener una amplia variabilidad respecto a su valor nominal.
- Las tolerancias para su montaje en campo son, generalmente, más estrictas que las que se requieren para contraventeos convencionales.
- Los sistemas estructurales con CRP podrían experimentar grandes distorsiones permanentes al final de excitaciones moderadas e intensas, dado que este sistema, como muchos otros, no cuenta con un mecanismo que lo recentre a su posición original.
- Se debe de establecer un criterio para detectar y reemplazar los CRP dañados después de la excitación sísmica.

Finalmente, debe mencionarse que una desventaja para su implementación en México es que aún no están comercializados ni son disponibles en el país, lo cual puede incrementar el costo de un proyecto que vislumbre su empleo.

2.4 DESARROLLO HISTORICO DE LOS CRP

Como ya se menciono anteriormente, se han realizado estudios a los CRP desde hace ya tres décadas. Estos estudios han sido enfocados a evaluar el comportamiento de los CRP ante las cargas sísmicas, y a buscar el mejoramiento de la respuesta de los mismos cambiando su configuración y empleando distintos materiales para su fabricación.

A continuación se presenta una breve reseña en orden cronológico de los principales estudios experimentales y analíticos que se ha realizado a los CRP.

2.4.1 Estudios experimentales

A continuación se describen, en orden cronológico, las principales observaciones derivadas de estudios experimentales en CRP.

Una de las investigaciones pioneras sobre el comportamiento de CRP fue desarrollada por Wakabayashi y *colaboradores*. (1973) en Japón. Los autores propusieron un sistema resistente ante cargas laterales que consistía de contraventeos fabricados con placas delgadas colocadas entre un par de paneles de concreto colado (ver Figura 2.6). Su investigación incluyo los siguientes tipos de prueba: 1) Pruebas de extracción para estudiar los métodos para deshaderir el contraventeo del panel prefabricado, 2) Pruebas de compresión en los contraventeos para estudiar la rigidez y resistencia requerida por los paneles que los cubren y 3) Pruebas en sub-ensambles para estudiar la falta de efectividad de los detalles de conexión en los extremos de los contraventeos.

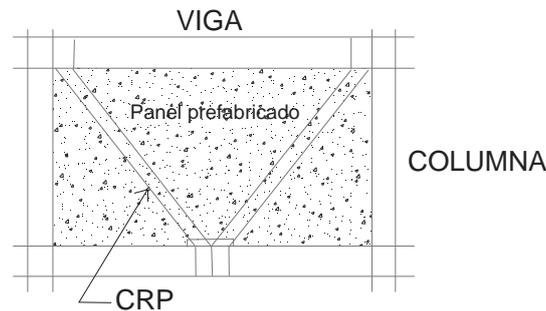


Figura 2.6. Esquema del elemento estudiado por Wakabayashi et al. (1973).

En las pruebas de extracción se evaluó experimentalmente la resina epóxica, la resina de silicón, las cintas de vinil, entre otros como materiales desaherentes. Para tal fin, se ensayo un total de 11 especímenes, concluyéndose que una capa de resina epóxica cubierta con resina de silicón era el material más efectivo en términos de su efecto desaherente, constructibilidad y durabilidad. Para las pruebas de compresión, se realizaron 21 ensayos, siendo la variable en estudio el detallado del refuerzo de los paneles prefabricados de concreto reforzado. En particular, se prestó atención al detallado del refuerzo a lo largo en los bordes de los paneles.

En los ensayos de sub-ensambles, se colocaron dos placas delgadas dispuestas ya sea en diagonal, o bien en un arreglo tipo chevron. Las placas se fijaron al marco mediante una conexión articulada y, posteriormente, fueron embebidas en paneles de concreto precolado. Los especímenes se construyeron a 1/5 de su tamaño real. En la Figura 2.7.a se ilustra el dispositivo de carga y en la Figura 2.7.b se presenta el comportamiento histerético observado durante la prueba.

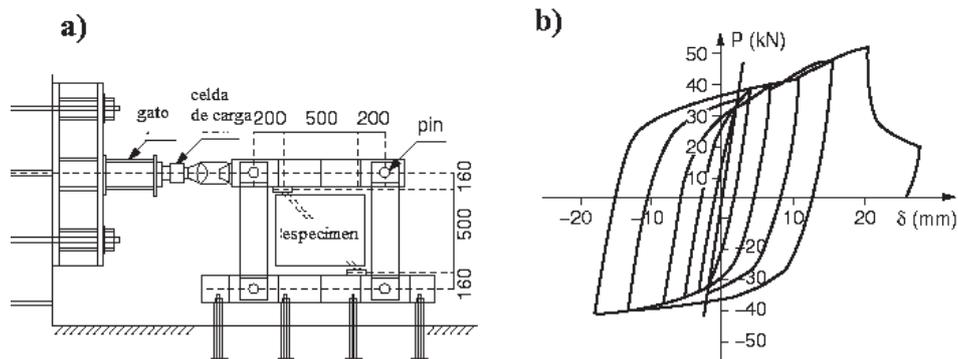


Figura 2.7. Pruebas realizadas por Wakabayashi et al. (1973) en CRP embebidos en paneles precolados de concreto, a) Dispositivo de carga, b) Comportamiento histerético.

Un análisis de los deformímetros colocados en las placas reveló que estas se deformaron uniformemente. Para altos niveles de deformación, la resistencia en compresión de la diagonal fue mayor que su resistencia en tensión, puede observarse en la figura 2.7b.

Basados en la novedosa propuesta de Wakabayashi et al. (1973), durante las décadas de los 80's y los 90's se propusieron CRP con diversas geometrías de sección transversal. Para fines de ilustración, en la Figura 2.9 se muestran varias de las secciones transversales propuestas e investigadas experimentalmente en Japón. Por ejemplo, Fujimoto y colaboradores (1988) estudiaron el comportamiento de un CRP que consiste de un núcleo central de acero encasetonado por una caja de acero rellena de mortero (ver figura 2.8a).

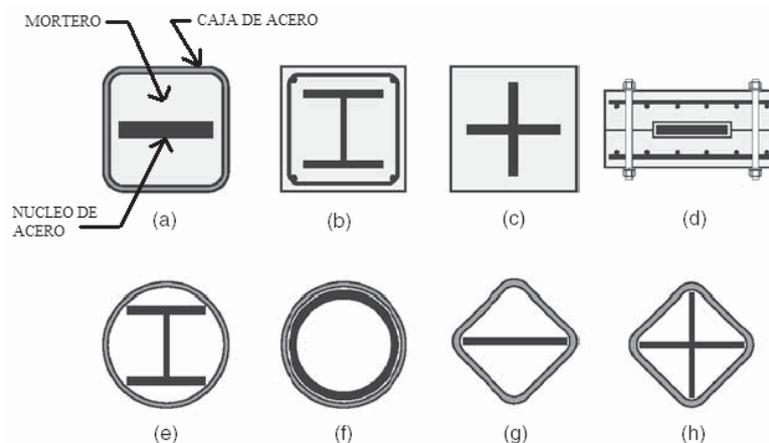


Figura 2.9. Secciones transversales de varios CRP desarrollados y ensayados en Japón. (Uang y Nakashima, 2004).

Su estudio experimental consideró varios tamaños de la caja de acero. A partir de sus estudios, los autores propusieron criterios de diseño, para determinar tanto la resistencia como la rigidez requerida de la cubierta de acero.

Otros de los investigadores que realizaron un estudio del comportamiento de los CRP que consisten en una placa de acero cubierta de concreto y que se encuentra encajonado en un cajón de acero fue Watanabe y colaboradores (1988), los cuales experimentaron con un total de cinco especímenes que se muestran en la tabla 2.1, en donde los últimos dos fueron diseñados de tal forma que P_e/P_y fueran menores que 1, donde P_e es el pandeo elástico del elemento de acero que encajona al contraventeo, y P_y es la fuerza con la que cede el segmento flexible restringido.

Tabla 2.1. Relaciones P_e/P_y consideradas en el estudio (Watanabe et al. 1988).

Espécimen No.	P_e/P_y
1	3.53
2	1.39
3	1.03
4	0.72
5	0.55

Los resultados mostrados en el examen por los elementos 4 y 5 fueron pandeados globalmente en compresión, mientras que los primeros tres especímenes mostraron ciclos de histéresis simétricos y estables en la carga de ambas fuerzas compresión y tensión, lo que confirma la ecuación que propusieron para el diseño, la cual expresa que:

$$\frac{P_e}{P_y} \geq 1.0 \quad (2.1)$$

Para evitar el pandeo global del elemento. Aunque también después de repetidas estudios pudieron notar que los elementos con P_e/P_y mayores que 1 pero que se encuentran cerca del límite (como el espécimen 3) podrían seguir teniendo pandeo global, si la imperfección geométrica inicial es larga, por lo tanto ellos sugirieron que para fines prácticos sería mejor tomar la siguiente ecuación:

$$\frac{P_e}{P_y} \geq 1.5 \quad (2.2)$$

Esto para evitar que algún elemento diseñado se encontrara muy cerca de la zona de límite donde tiene buen comportamiento el elemento.

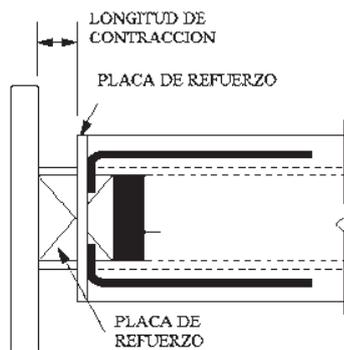


Figura 2.9. Detalle de conexión para el CRP propuesto por Nagao y Takahashi (1990).

En India, Sridhara (1990) propuso y ensayó experimentalmente, un elemento central restringido contra pandeo lateral por medio de un encamisado metálico ver figura 2.10. Es decir, el elemento propuesto consiste de un tubo metálico hueco hueco que encajona a un elemento. Debe notarse que el alma de acero esta situada libremente dentro de la camisa metálica, y la carga axial solo se aplica al núcleo de acero. De esta manera, el núcleo de acero se flexiona y tiende a presionar la parte interior de la camisa, causando esfuerzos de flexión. Si los esfuerzos máximos en la camisa se mantienen menores a la resistencia a la fluencia del material de la camisa, es posible que el núcleo desarrolle altos niveles de esfuerzo, mas allá del esfuerzo de fluencia del material que fue fabricado el núcleo.

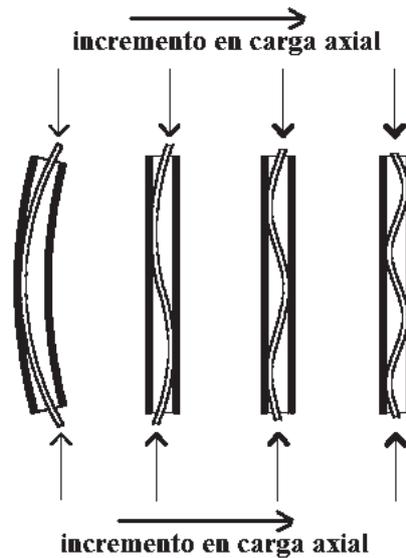


Figura 2.10. Elemento restringido contra pandeo propuesto por Sridhara (1988).

Conforme la carga aplicada se va incrementando, el núcleo se deforma hasta tocar la camisa, y podrá desarrollar configuraciones asociadas a modos superiores de pandeo.

Dando seguimiento a la propuesta por Sridhara (1990), Prasad (1992) realizó pruebas de compresión axial monótona en modelos de pequeña escala, considerando una holgura entre el núcleo central y el encamisado como se ilustra en la figura 2.11^a. El autor empleó materiales acrílicos para ambos elementos, lo cual permitió observar visualmente la configuración deformada a través de la camisa. En la figura 2.11^b se muestra una curva típica carga-deformación axial en compresión obtenida de los ensayos experimentales.

Durante la prueba, los especímenes desarrollaron inicialmente el primer modo de pandeo (ver Figura 2.10a), y al incrementar la carga axial, posteriormente exhibieron modos de pandeo superiores. El autor notó que la transición de un modo de pandeo a otro pudo causar una disminución repentina de la carga axial (ver Figura 2.11b). Conforme la carga se incrementaba, el elemento del centro podía pasar repentinamente a un nivel más alto de pandeo (como el mostrado en la figura 2.12). Algunas veces la transición de un nivel a otro podía causar que la carga disminuyera temporalmente

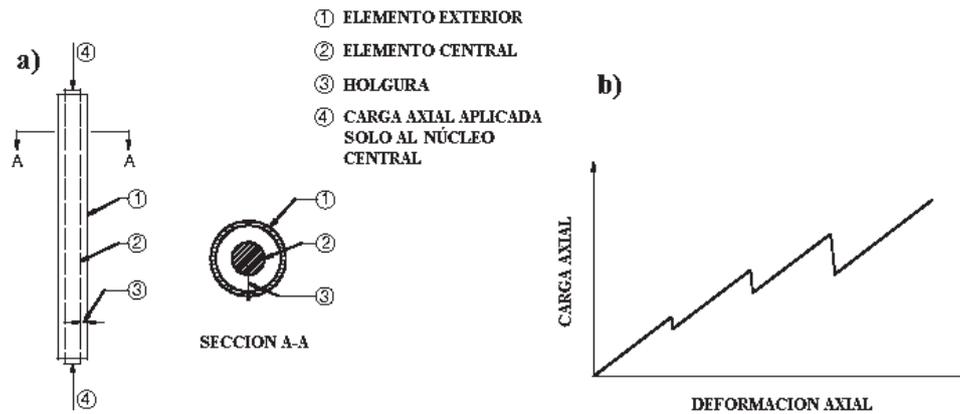


Figura 2.11. a) CRP estudiado por Prasad (1992) y b) comportamiento típico a compresión.

Asimismo, en ocasiones el elemento no necesariamente desarrollo modos de pandeo superiores consecutivos (e.g., pasó de I sexto modo al octavo modo de pandeo). Prasad (1990) demostró que la capacidad a compresión del CRP se incrementa al reducir la holgura entre el núcleo central y el encamisado. No obstante, la anulación de la holgura entre el núcleo y la camisa puede disminuir la capacidad a compresión, dado que el núcleo no puede desarrollar modos superiores de pandeo.

La primera evidencia experimental sobre el comportamiento de los CRP en los Estados Unidos de Norte América fue reportada por Clark y *colaboradores* (1999), quienes ensayaron tres especímenes a escala natural. En su estudio, dos CRP tenían un núcleo dúctil de sección rectangular mientras que el tercero tenía una sección cruciforme. Los tres núcleos se fabricaron con acero A572, grado A50 ($F_y=50\text{Ksi}$). Sin embargo, la resistencia a la fluencia y última fueron 41.80 y 41.80 kN/cm^2 (60.7 y 79.2 ksi) respectivamente, lo cual indica la necesidad de evitar la sobrerresistencia excesiva. En la figura 2.13 se muestra la respuesta histerética de dos especímenes ensayados ante cargas cíclicas reversibles. Como puede verse en las figuras, en general, los CRP exhibieron ciclos estables de histéresis con gran disipación de energía (área bajo las curvas).

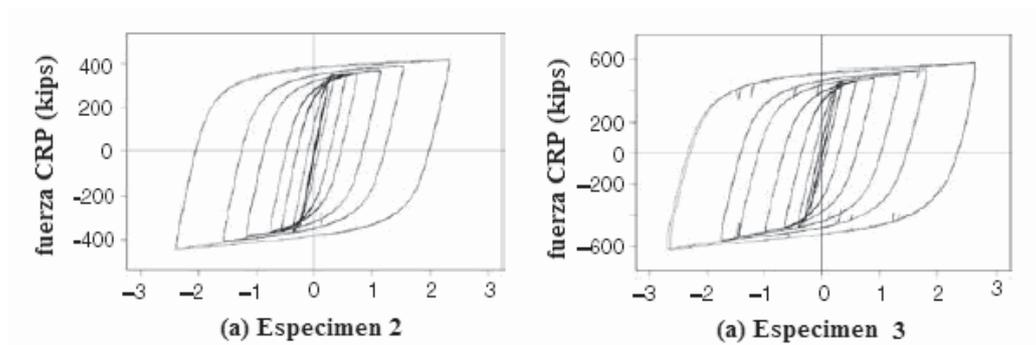


Figura 2.13. Respuesta histerética de dos especímenes ensayados por Clark et al. (1999).

En Canadá, Tremblay y *colaboradores* (1999) propusieron un nuevo CRP y ensayaron un ensamble para evaluar su comportamiento. Debe notarse que las pruebas en sub-ensambles proporcionan valiosa información sobre el desempeño de las conexiones marco-CRP, así como permiten verificar el comportamiento histerético subensamble marco-CRP y compararlo con pruebas aisladas de CRP.

En las Figuras 2.14 y 2.15 se muestra la geometría del subensamble y los detalles de CRP, respectivamente.

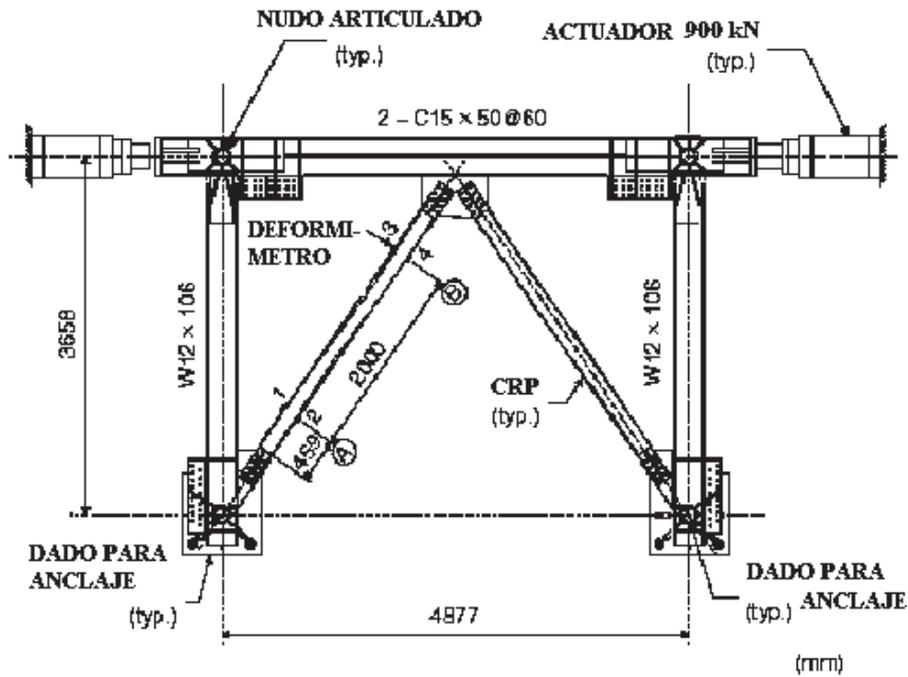
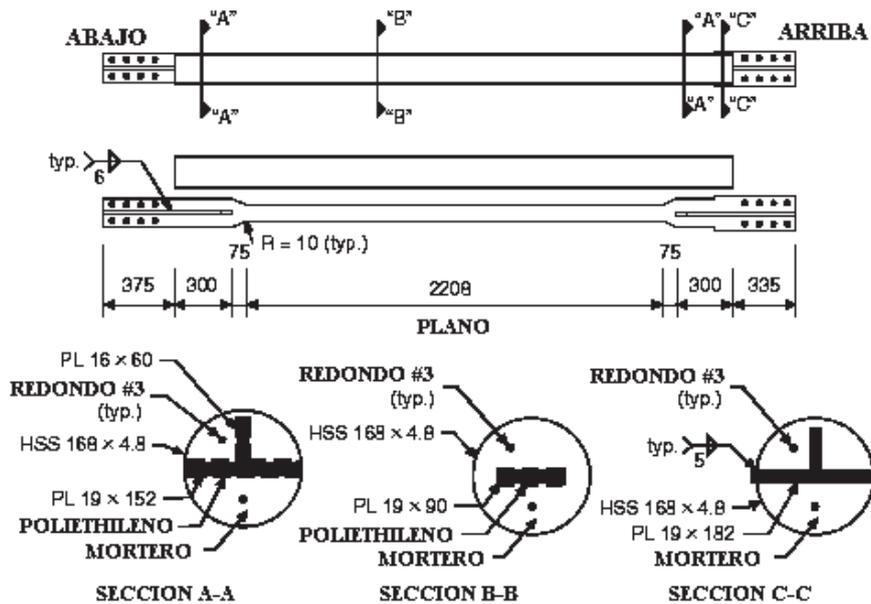


Figura 2.14. a) Dispositivo de carga y espécimen de CRP ensayado por Tremblay et al. (1999).



b) Detalles del CRP propuesto y ensayado por Tremblay et al. (1999).

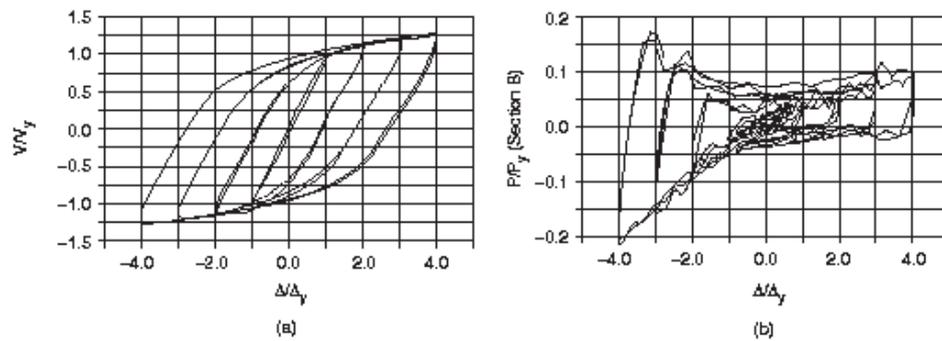


Figura 2.15. Respuesta histerética de los CRP estudiados por Tremblay et al. (1999), a) Respuesta global, b) respuesta del encamisado de acero.

Iwata y colaboradores (2000), revisaron el comportamiento cíclico de cuatro CRP's disponibles comerciales en Japón. La sección transversal de cada uno de los CRP estudiados se ilustra en la figura 2.16.

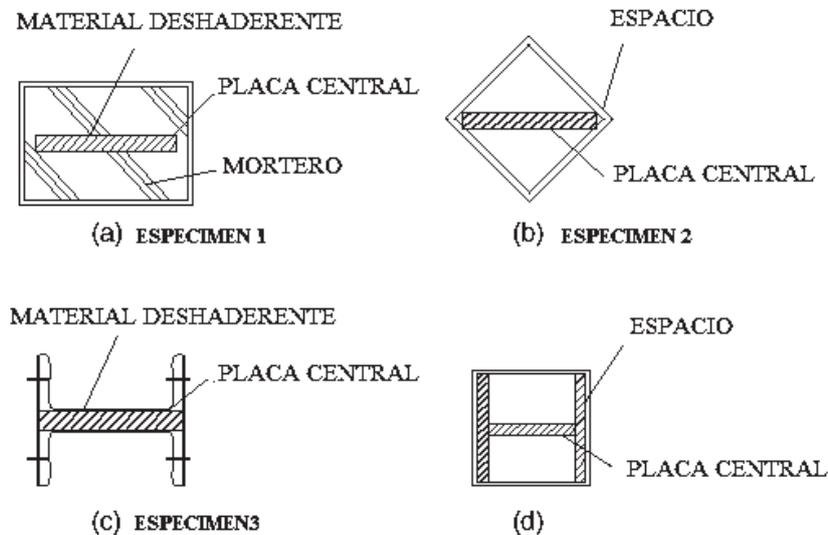


Figura 2.16. Sección Transversal de los CRP estudiados por Iwata et al. (2000).

Debe notarse que los CRP mostrados en las figuras 2.16.b y 2.16.d no tenían material desadherente, mientras que la sección transversal del CRP ilustrado en la figura 2.16.a es muy parecida al CRP estudiado por Watanabe et. al. (1988). El mecanismo que restringe el pandeo en elemento (c) estaba compuesto de dos canales y dos placas conectadas mediante conexiones atornilladas de alta resistencia. Para los CRP's de las

sección (a) y (c) se utilizó un material desadherente constituido por láminas de hule de aproximadamente 1 mm de grosor, entre el centro de acero y el mecanismo que restringe el pandeo (cajón de acero exterior).

En la Figura 2.17 se muestra la respuesta histerética de los cuatro CRP. Puede verse que los especímenes 2 y 4 no tuvieron un desempeño adecuado, lo cual se atribuyó a la falta de mortero para evitar el pandeo local. Por otra parte, se observó que el efecto restrictivo en el espécimen 3 no fue tan efectivo como el provisto por el mortero y el tubo de acero en el espécimen 1, lo cual se atribuyó a que se incrementó la abertura entre la placa central de acero y los canales. Los tornillos de alta resistencia, tendieron a fallar por cortante.

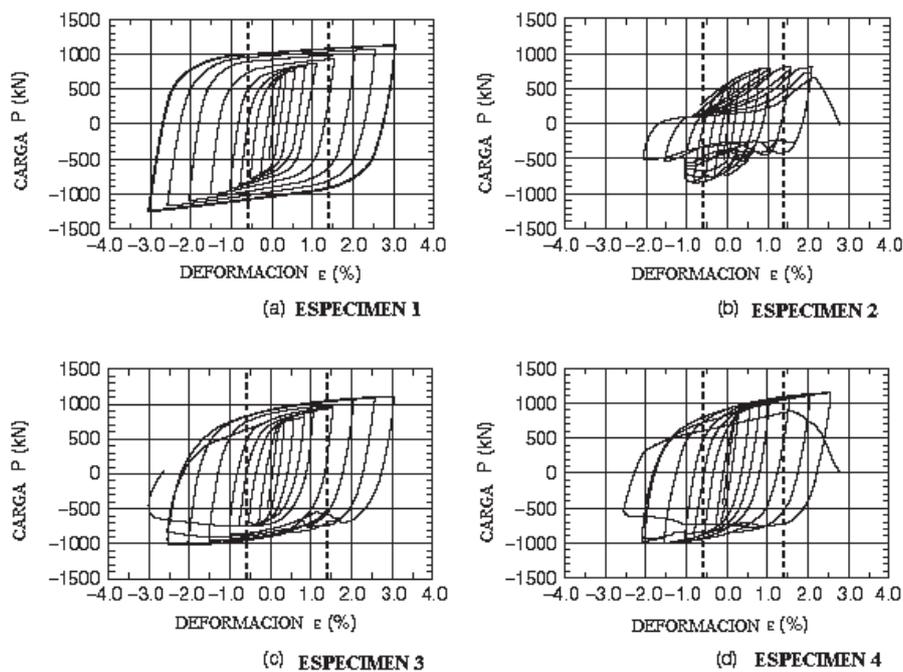


Figura 2.17. Comportamiento histerético exhibido por los CRP estudiados por Iwata et al. (2000).

Chen y *colaboradores* (2001) estudiaron el comportamiento cíclico de un CRP fabricado con acero de baja resistencia ($F_y = 14.5$ ksi ó 100 Mpa). El contraventeo estudiado consistió de un tubo de acero relleno de concreto para confinar el elemento de acero resistente, el cual, consiste de una placa (ver Figura 2.18). Se aplicó una capa de

silicon lubricante en la superficie de la placa de acero antes de colocar el concreto de relleno. De este modo, se dejó poco espacio a la placa central de acero para expandirse bajo compresión axial. Debe notarse que utilizar acero de baja resistencia a la fluencia puede conducir a una limitada deformación de fluencia, ocasionando que el contraventeo empiece a fluir a un nivel de deformación menor.

Como puede verse en la Figura 2.18 se reproduce la respuesta histerética del CRP propuesto por Chen et al. (2000).

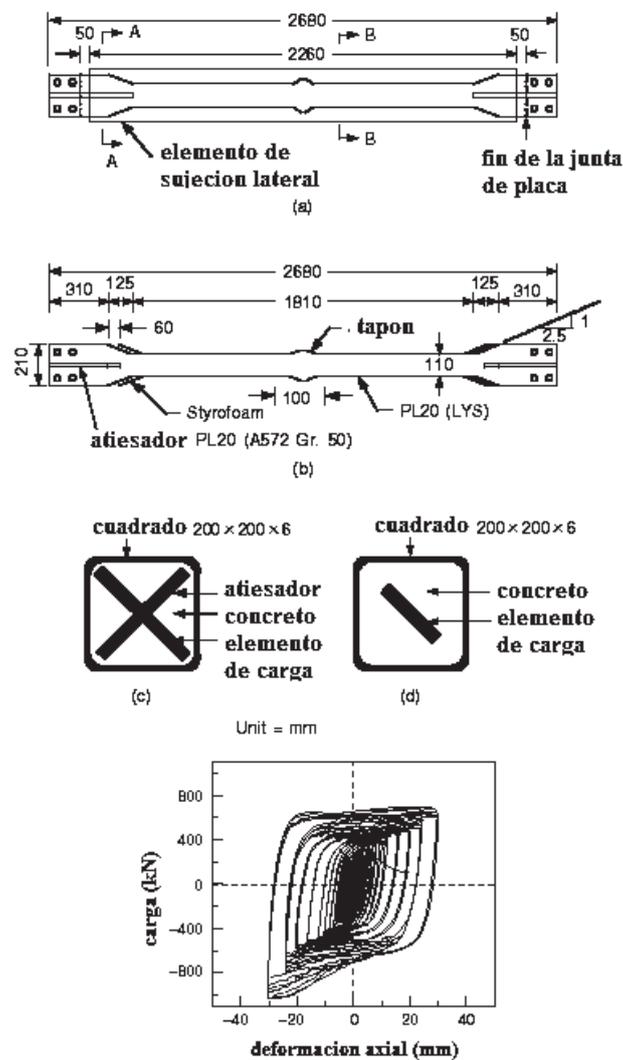


Figura 2.18 Contraventeos estudiados por Chen y colaboradores (2001)

Higgins y Newell (2002), propusieron y estudiaron un CRP que consistía de un tubo de acero relleno de un medio no cohesivo (i.e. arena de Ottawa). En la Figura 2.19 se muestra un corte longitudinal del CRP y del núcleo central.

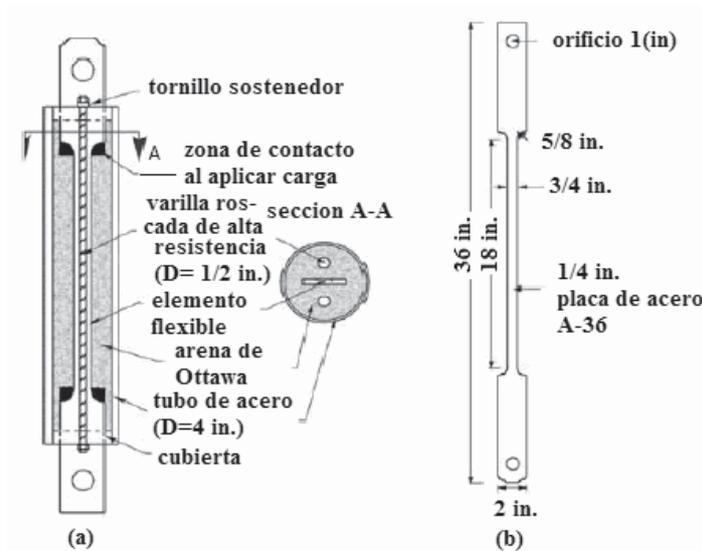


Figura 2.19. Composición del CRP propuesto por Higgins y Newell (2002).

En su CRP, solo el núcleo fabricado con acero grado A36, podía fluir. La respuesta histerética observada bajo ciclos de carga invertidos (mostrada en la figura 2.20), mostró una estable y confiable disipación de energía a aproximadamente 2% de carga. Los mitigadores también presentaron una pequeña cantidad de mitigación en la fricción (como el observado en el rango del material elástico).

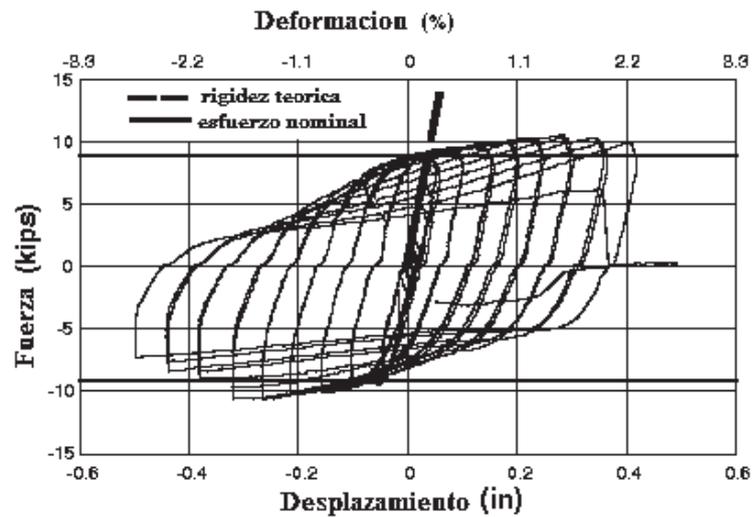


Figura 2.20. Respuesta histerética de Higgins y Newell 2002.

. Los mitigadores también presentaron una pequeña cantidad de reducción en la fricción (como el observado en el rango del material elástico), que podría ser benéfica para la mitigación en respuesta del viento. Una investigación de la deformación conformada a lo largo de la longitud del centro de acero después de la prueba indica que la placa pandeada primeramente en tipo 18, indicando esto, un excelente confinamiento provisto por el material no cohesivo.

2.3.2 Estudios analíticos

La respuesta sísmica de edificios que incorporaban CRP ha sido evaluada analíticamente por varios investigadores en los últimos años (Clark et al. 1999; Tremblay et al. 1999; Sabelli et al. 2003; Uang y Kiggins, 2003). A continuación se describen las observaciones más importantes derivadas de algunos estudios analíticos.

Clark y colaboradores (1999) evaluaron el comportamiento sísmico de un edificio de tres niveles a base de marcos resistentes a momento uno rediseñado pero con CRP's. El diseño seguido del procedimiento de fuerzas laterales equivalentes correspondiente a marcos con contraventeos excéntricos de acuerdo con el reglamento para edificios de 1994. se reportó que el rediseño de los marcos con contraventeos redujo en un 50% el peso total del acero. Primero fue conducido un análisis estático en ambos sistemas de marcos, donde el diseñado con los contraventeos restringidos contra pandeo muestra una rigidez lateral mayor. Desde el diseño de los marcos resistentes a momento fue gobernante la distorsión de entrepiso a diferencia de la capacidad de carga. Y por el contrario para el diseñado con CRP's presentó resistencia a fuerzas poco menores que las requeridas por el reglamento de construcción.

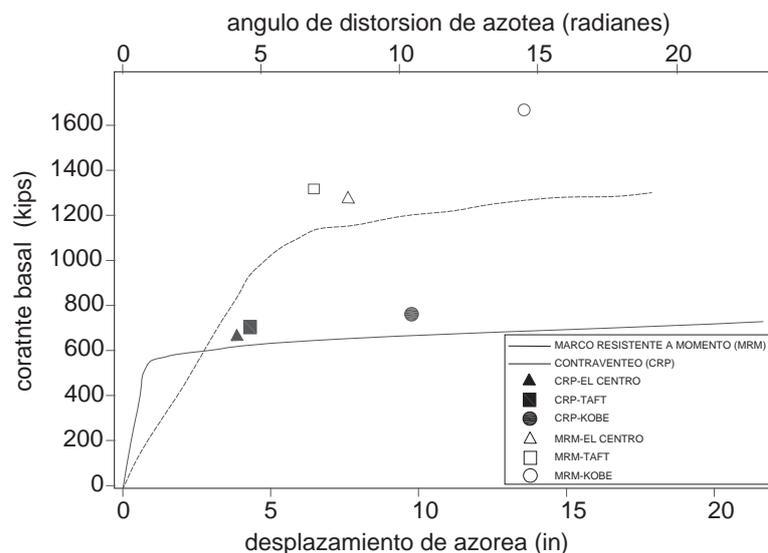


Figura 2.17 grafica donde el CRP muestra mayor rigidez lateral

Se comparo la distorsión de entrepiso, además de la de azotea, utilizando registros de tres sismos. Donde la máxima distorsión de azotea corresponde entre el 50 y el 70% de los que se registraron en los marcos diseñados a momento.

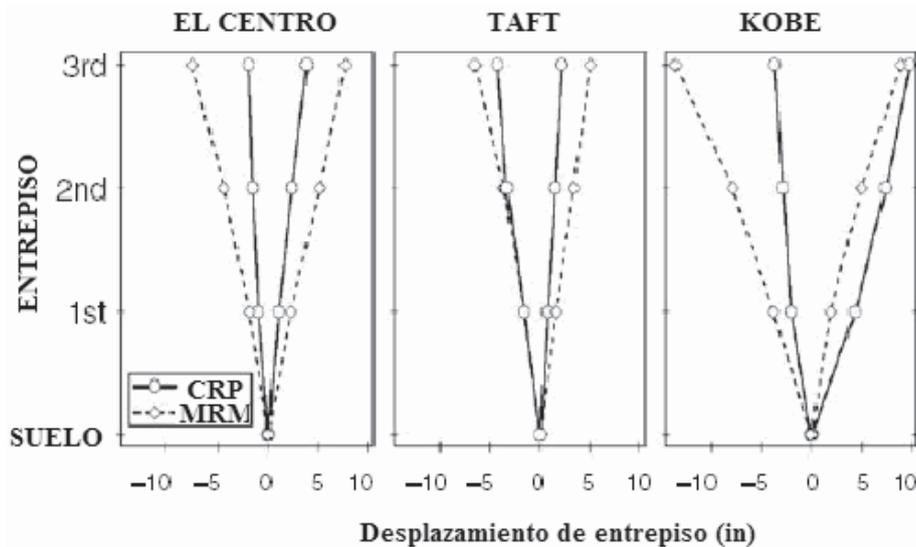


Figura 2.18 Desplazamientos de entrepisos de marcos a momento contra CRP's

A la fecha, uno de los estudios más completos sobre la respuesta sísmica de CRP fue desarrollado por Sabelli y colaboradores (2003). Los autores evaluaron estadísticamente la respuesta tanto de marcos con contraventeos convencionales como de marcos con CRP. En su investigación, se consideraron marcos de tres y de seis niveles, diseñados de acuerdo a las disposiciones del UBC (por sus siglas en inglés) edición 1994, asumiendo que se localizaban en la ciudad de Los Ángeles California. En la figura 2.19 se muestra la geometría de los marcos analizados.

Para evaluar su respuesta sísmica, los marcos con CRP se sometieron a un conjunto de 20 historias de aceleración, registradas en California y que fueron escaladas para representar un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años. Como ejemplo de sus resultados estadísticos, para un marco de seis niveles, la media de la distorsión de entrepiso fue de 1.6%, mientras que la media mas una desviación estándar fue de 2.2%. Al comparar los valores anteriores con los correspondientes a marcos contraventeados convencionales, los autores concluyeron que el comportamiento de los CRP es

comparable. e incluso menor que el comportamiento de marcos con contraventeos convencionales y a los marcos resistentes a momento.

Asimismo, con base en sus resultados, los autores también concluyeron lo siguiente:

1. La respuesta sísmica no fue sensible al factor R empleado.
2. Los desplazamientos residuales fueron alrededor del 40 al 60% del desplazamiento máximo

Nota: el factor R es equivalente al factor de comportamiento sísmico Q, en la Normatividad Mexicana.

Recientemente, Uang y Kiggins (2003) re-evaluaron los marcos con CRP estudiados por Sabelli y colaboradores (2003), y confirmaron que el uso de CRP puede conducir a grandes distorsiones residuales de entrepiso al final de la excitación sísmica. Con el fin de limitar las distorsiones residuales, los autores propusieron el uso de un sistema dual, conformado por un marco CRP y sin CRP para resistir las cargas laterales.

Asimismo Fahnestock y colaboradores (2003), también observaron que las demandas máximas de distorsión residual pueden ser excesivas en un marco que incluía CRP y columnas de sección compuesta acero-concreto. Los autores estudiaron analíticamente un marco de 4 niveles y una crujía sometido a dos conjuntos de 12 y 6 acelerogramas que fueron escalados para representar dos niveles de intensidad sísmica.

Así, como puede esperarse, los resultados indican que las distorsiones residuales de entrepiso se incrementan conforme se incrementa el nivel de intensidad sísmica, y que las distorsiones residuales pueden ser del orden de 20 a 40% de la amplitud de la distorsión de entrepiso.

Capítulo 3

COMPORTAMIENTO SISMICO DE EDIFICIOS EXISTENTES

3.1 INTRODUCCION

Para una evaluación adecuada del desempeño de contraventeos restringidos contra pandeo (CRP) como opción de refuerzo sísmico, se requiere de modelos analíticos que representen edificios existentes diseñados en áreas altamente sísmicas, y de un conjunto de acelerogramas que representen un ambiente sísmico particular. Por ello, en este estudio se evaluó el comportamiento sísmico de tres marcos representativos de edificios existentes de acero de 3, 6 y 9 niveles, con y sin la inclusión de CRP.

En particular, los marcos de 3 y 9 niveles provienen de dos edificios típicos para oficinas diseñados de acuerdo a la normatividad sismo-resistente existente antes del sismo de Northridge, California, ocurrido el 17 de enero de 1994 ($M_w=6.9$) en el área de los Ángeles.

Cabe mencionar que los marcos estudiados corresponden a marcos perimetrales, dado que la práctica constructiva norteamericana solo considera como marcos resistentes a momento a los marcos exteriores.

Además de los dos marcos de de 3 y 6 niveles, incluyo en esta investigación un marco de 6 niveles, proveniente de un edificio diseñado en México conforme al Reglamento del Distrito Federal (A. Gómez Bernal y E. Sordo Zabay, 2005).

El objetivo de este capítulo consiste en describir los edificios empleados para evaluar la eficiencia de los CRP para mitigar los desplazamientos laterales máximo y

residual ante excitaciones sísmicas. Asimismo, se documenta el diseño de los CRP y las alternativas para su colocación.

3.2 DESCRIPCION DE LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS

Adicionalmente, para lo consecuente dentro de esta investigación, se ha decidido determinar una nomenclatura para poder así hacer mención de los distintos edificios, la cual, esta expresada en la figura 3.1.

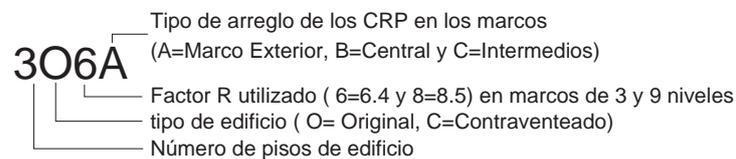


Figura 3.1. Nomenclatura para los marcos en estudio.

3.2.1 Edificio de 3 niveles

Se trata de un edificio diseñado por la firma constructora *Brandow & Johnston Associates* comisionada por el proyecto SAC (por sus siglas en ingles). El diseño sísmico se baso en el código UBC (*Uniform Building Code* por sus siglas en ingles) 1994. En las figuras 3.1 y 3.2 se muestra la planta típica y la elevación del marco perimetral del edificio de 3 niveles.

Cabe mencionar, que el acero estructural utilizado es grado A50 ($F_y=50$ Ksi) para columnas, y de acero grado A36 ($F_y=36$ Ksi) para las vigas.

Asimismo, en la tabla 3.1 se presenta información de la sección de las vigas, así como el correspondiente momento plástico (M_p) para cada nivel. Información similar para las columnas se describe en la tabla 3.2.

Tabla 3.1 elementos viga y sus momentos para edificio de 3 niveles

piso	Vigas		Mp [kN-m]	
	A-B-C-D	D-E	A-B-C-D	D-E
1	W24X68	W21X44	983	530
2	W30X116	W21X44	2101	530
3	W33X118	W21X44	2307	530

Tabla 3.2 elementos columna y sus momentos para edificio de 3 niveles

piso	Columna			Mp [kN-m]		
	izquierda	Interior	derecha	izquierda	Interior	derecha
1	W14x257	W14X311	W14x68	3169	3924	530
2	W14x257	W14X311	W14x68	3169	3924	530
3	W14x257	W14X311	W14x68	3169	3924	530

Tabla 3.3 Pesos de los entrepisos para edificio de 3 niveles

Pesos de entrepiso	
Entrepiso	Peso [kN]
1	4877
2	4877
3	4802

Nota: el peso es el correspondiente al marco analizado

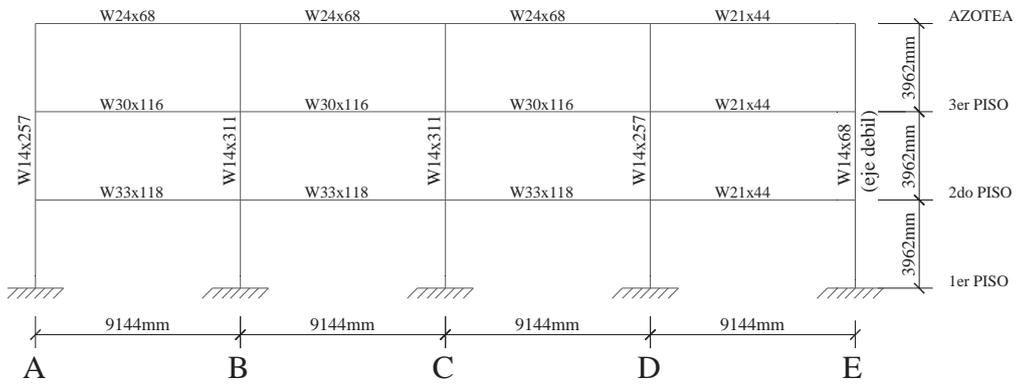


Figura 3.1 Elevación del marco analizado de 3 niveles

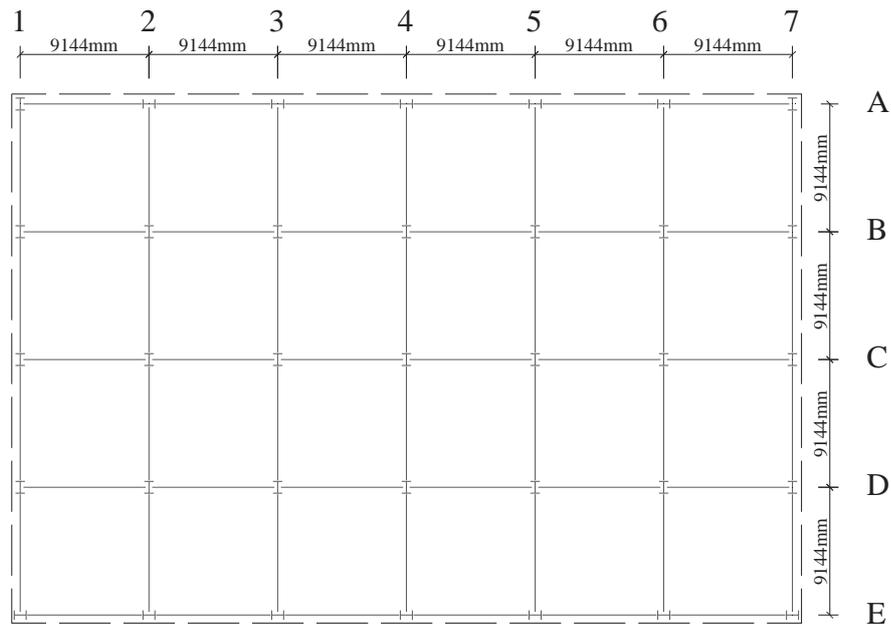


Figura 3.2 Planta del edificio de 3 niveles

3.2.2 Edificio de 6 niveles

Para fines de estudiar la eficiencia de los CRP para reforzar edificios existentes en la Ciudad de México, se eligió un marco interior de un edificio de 6 niveles previamente investigado por Gómez y Sordo (2005). En las Figuras 3.3 y 3.4 se muestran la planta y elevación del edificio. En el diseño del edificio se consideró un coeficiente sísmico reducido (c/Q) de 0.20, y se verificó también que el edificio cumpliera con los requisitos de desplazamientos horizontales permisibles.

Se debe mencionar también, que el acero estructural utilizado es grado A50 ($F_y=50$ Ksi) para columnas, y de acero grado A36 ($F_y=36$ Ksi) para las vigas.

En la Tabla 3.4 se muestran las secciones de las vigas y columnas por nivel, asimismo, sus respectivos momentos plásticos. Finalmente, en la tabla 3.5 se presentan los pesos utilizados en los análisis dinámicos.

Tabla 3.4 Elementos viga y columna y sus momentos para edificio de 6 niveles

piso	Vigas	Mp [kN-m]	Columnas	Mp [kN-m]
1	W24x76	1111.77	W24x146	2323.6
2	W24x76	1111.77	W24x146	2323.6
3	W24x76	1111.77	W24x146	2323.6
4	W24x76	1111.77	W24x131	2056.77
5	W24x76	1111.77	W24x131	2056.77
6	W24x76	1111.77	W24x131	2056.77

Tabla 3.5 Pesos de los entrepisos para el edificio de 6 niveles

Pesos de entrepiso

Entrepiso	Peso [kN]
1	658
2	658
3	658
4	658
5	658
6	658

Nota: El peso es el correspondiente al marco analizado

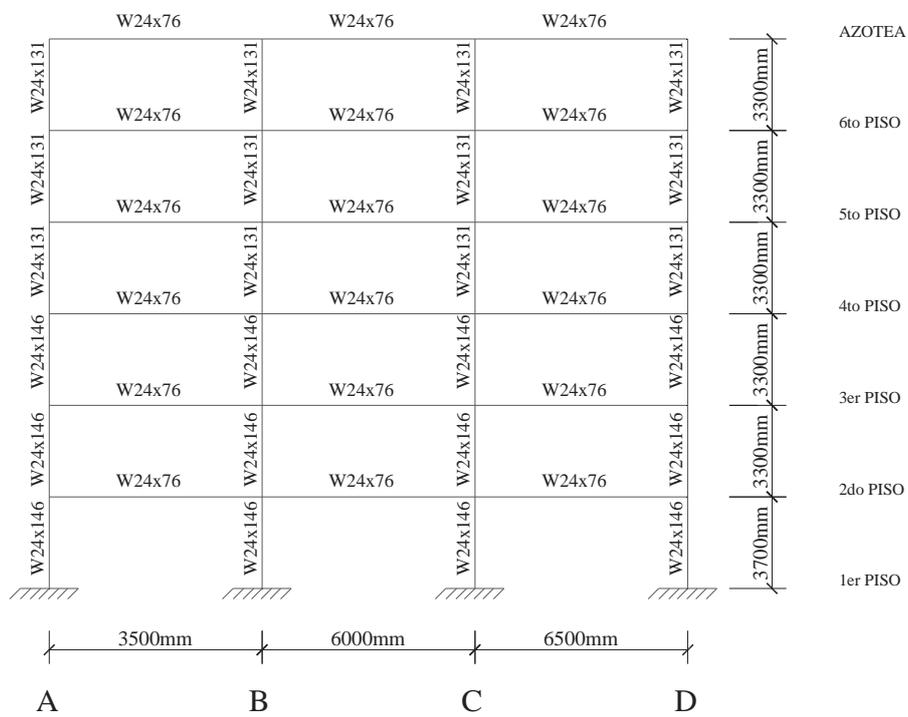


Figura 3.3 Elevación del marco analizado de 6 niveles

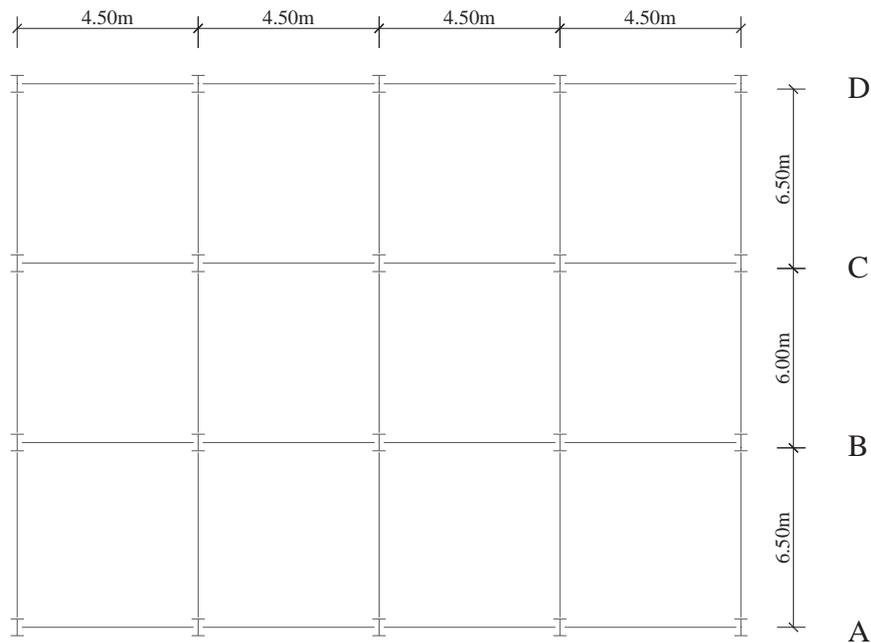


Figura 3.4 Planta del edificio de 6 niveles

3.2.3 Edificio de 9 niveles

Se trata de un edificio que también fue diseñado por la firma *Brandow & Johnston Associates* comisionada por el proyecto SAC (por sus siglas en inglés). Su diseño sísmico se basó al igual que el edificio de 3 niveles, en el código UBC 1994. Asimismo, en la Tabla 3.6 se presenta información de la sección de vigas y columnas, así como el correspondiente momento plástico (M_p) para cada nivel. En las figuras 3.5 y 3.6, se observa la planta típica y la elevación del marco perimetral del edificio de 9 niveles.

Es importante señalar, que el acero estructural utilizado es grado A50 ($F_y=50$ Ksi) para columnas, y de acero grado A36 ($F_y=36$ Ksi) para las vigas.

Finalmente, en la tabla 3.7 se encuentran los valores correspondientes a los pesos de los entresijos correspondientes, tomados en cuenta para el análisis dinámico del marco de 9 niveles.

Tabla 3.6 Elementos y momentos en las vigas y columnas edificio de 9 niveles

Entrepiso	Vigas	Mp [kN-m]	Columna		Mp [kN-m]	
			Interior	Exterior	Interior	Exterior
1	36x160	3470	W14X500	W14X370	6836	4792
2	36x160	3470	W14X500	W14X370	6836	4792
			W14x455		6094	
3	36x135	2832	W14x455	W14X370	6094	4792
4	36x135	2832	W14x455	W14X370	6094	4792
			W14X370	W14X283	4792	3529
5	36x135	2832	W14X370	W14X283	4792	3529
6	36x135	2832	W14X370	W14X283	4792	3529
			W14X283	W14X257	3529	3171
7	30x99	1735	W14X283	W14X257	3529	3171
8	27x84	1357	W14X283	W14X257	3529	3171
			W14X257	W14X233	3171	2839
9	24x68	985	W14X257	W14X233	3171	2839

Tabla 3.7 Peso de los entresijos para edificio de 9 niveles

Pesos de entresijo	
Entrepiso	Peso [kN]
2	4752
3	4876
4	4829
5	4829
6	4829
7	4829
8	4829
9	4829
azotea	4685

Nota: El peso es el correspondiente al marco analizado

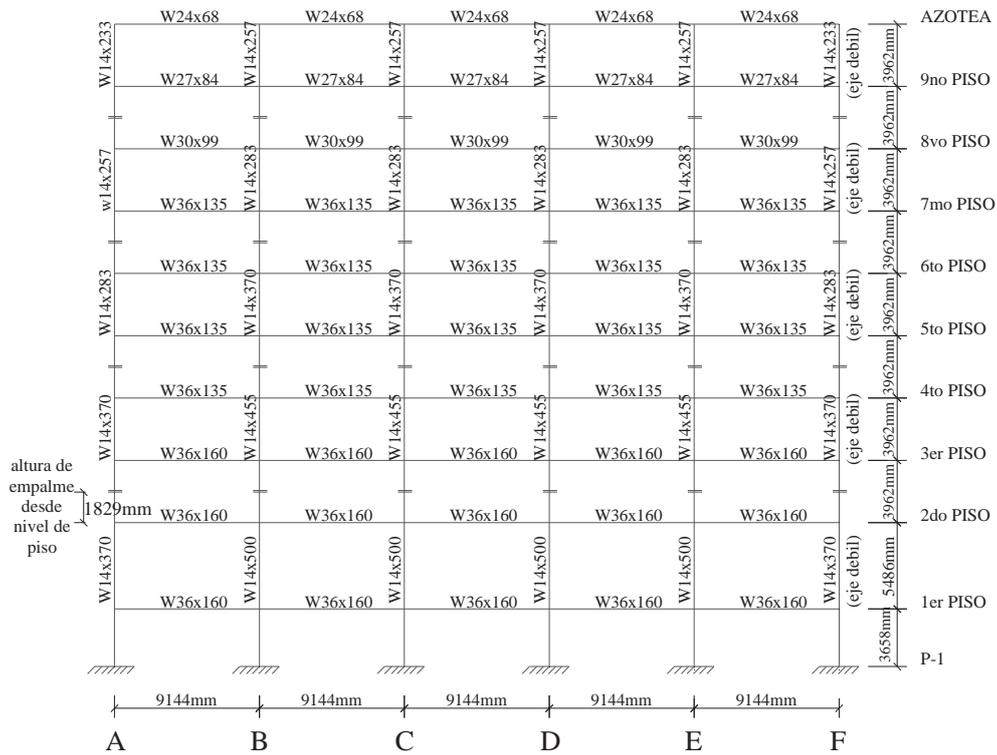


Figura 3.5 Elevación del marco analizado de 9 niveles (perimetral)

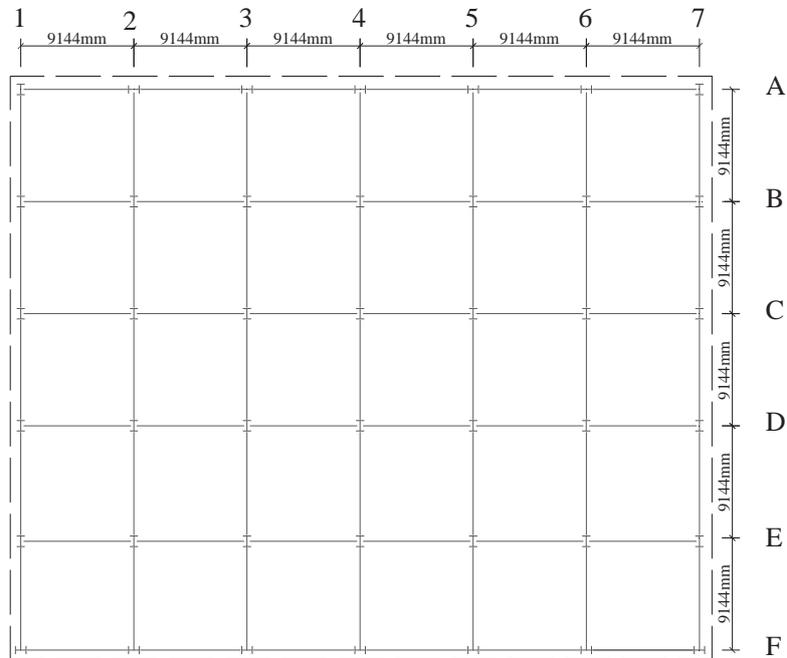


Figura 3.6. Planta del edificio de 9 niveles

Asimismo, en la tabla 3.8 se muestran los primeros tres periodos de los tres edificios, obtenidos para la estructura.

Tabla 3.8 Periodos de los primeros tres modos para los edificios

periodo	edificios		
	3 niveles	6 niveles	9 niveles
T_1	0.98	0.701	2.23
T_2	0.32	0.217	0.83
T_3	0.17	0.115	0.48

3.3 CONJUNTO DE ACELEROGRAMAS CONSIDERADOS

La parte central de los resultados descritos en este artículo fueron obtenidos a partir de la respuesta no-lineal de los marcos genéricos descritos anteriormente al ser sometidos a un conjunto de 40 acelerogramas registrados durante 12 sismos históricos en California. El conjunto de registros sísmicos, denominado LMSR-N, considerado fue ensamblado originalmente por Medina y Krawinkler (2003). Todas las historias de aceleración incluidas en el conjunto LMSR-N fueron registradas en estaciones ubicadas en terreno firme o roca, correspondientes a terreno tipo D, conforme a las recomendaciones FEMA 356 (2000). El mencionado conjunto incluye registros provenientes de eventos sísmicos con magnitud sísmica entre 6.5 y 6.9, así como distancia epicentral de entre 13 y 40 km. Debe mencionarse que ninguno de los registros exhibe pulsos significativos en la historia de velocidad del terreno, característicos en registros cercanos a la fuente con directividad delantera. Detalles de la selección de los registros sísmicos (e.g., frecuencias de corte, etc.) y parámetros relevantes (e.g., aceleración y velocidad máxima del terreno) pueden encontrarse en Medina y Krawinkler (2003).

3.4 RESPUESTA SISMICA DE LOS EDIFICOS EXISTENTES

A continuación se muestra la respuesta sísmica de los edificios existentes antes mencionados, después de un análisis dinámico mediante el programa Ruaumoko, donde se decidió presentar en particular la respuesta de solo 5 de los 40 sismos propuestos, los cuales, son los que presentan mayor aceleración del terreno.

Para cada marco propuesto se presentan los resultados de desplazamientos máximos y residuales del resultado del análisis, dichos resultados se encuentran expresados en dos graficas, una corresponde a los desplazamientos y la otra corresponde a la distorsión de entrepiso (para máximos y residuales).

3.4.1 Edificio de 3 niveles

Resultados de Desplazamientos Máximos

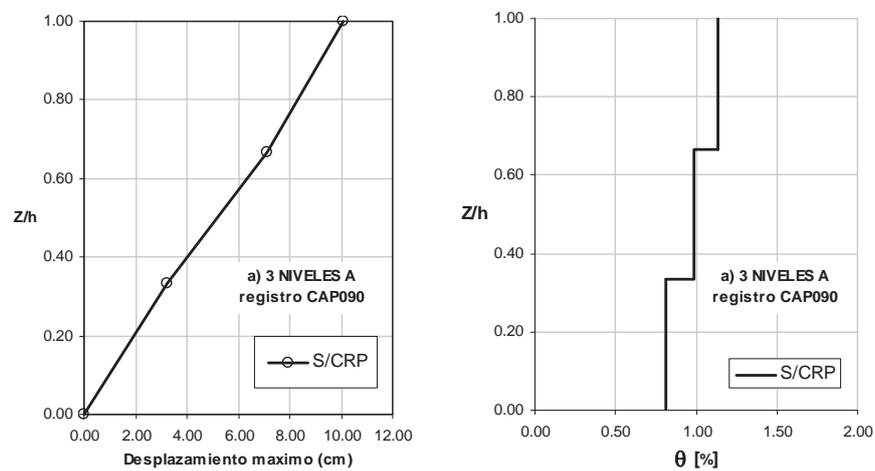


Figura 3.7.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.7.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro LP89CAP).

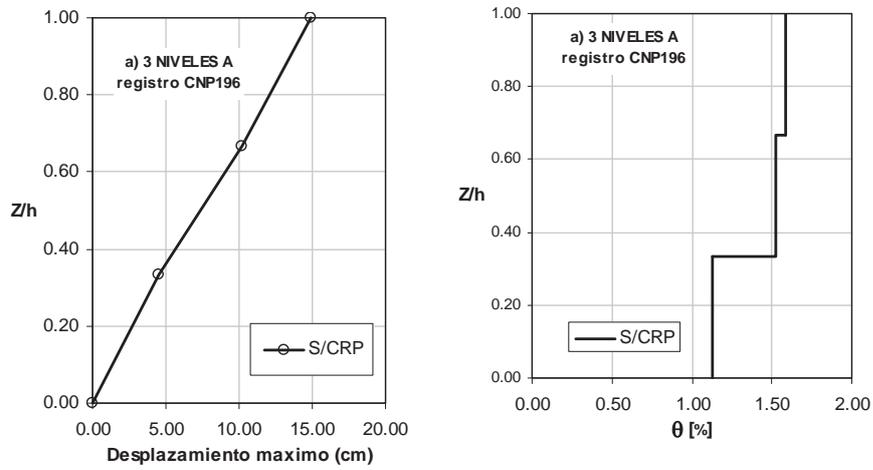


Figura 3.8.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.8.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro NR94CNP).

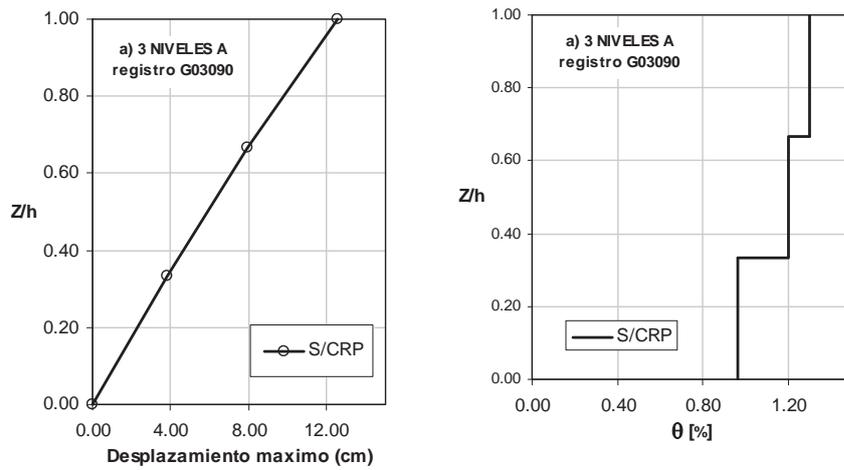


Figura 3.9.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.9.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro LP89G03).

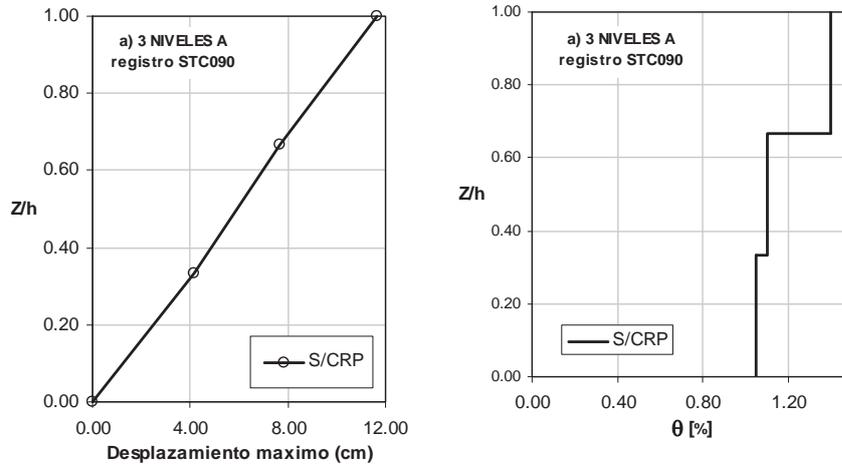


Figura 3.10.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.10.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro NR94STC).

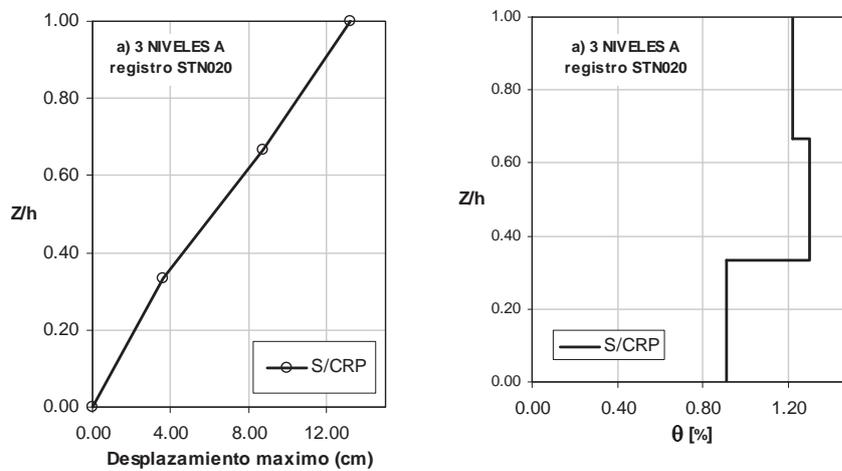


Figura 3.11.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3NIV, 3.11.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3NIV (ambas para el registro NR94STN).

Resultados de Desplazamientos Residuales

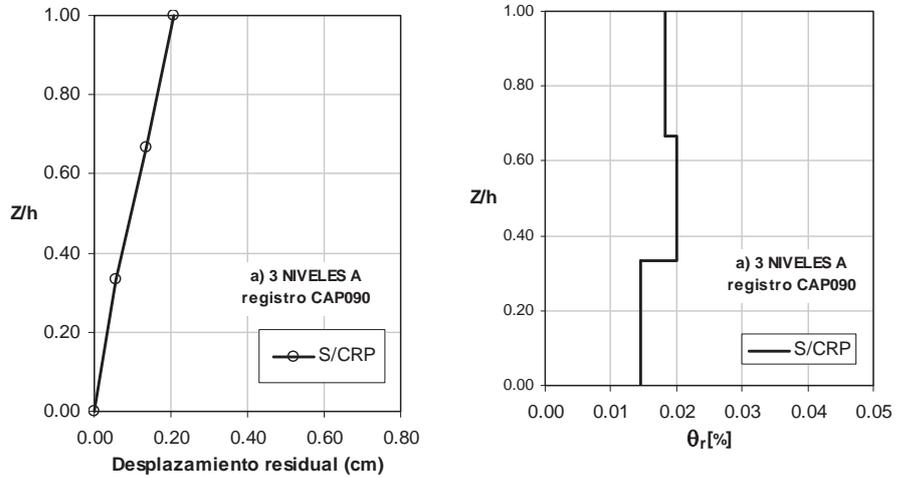


Figura 3.12.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.12.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro LP89CAP).

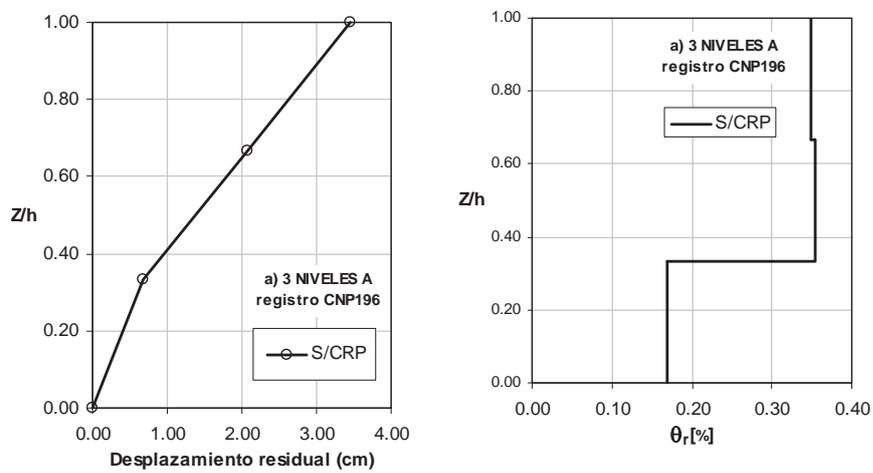


Figura 3.13.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.13.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro NR94CNP).

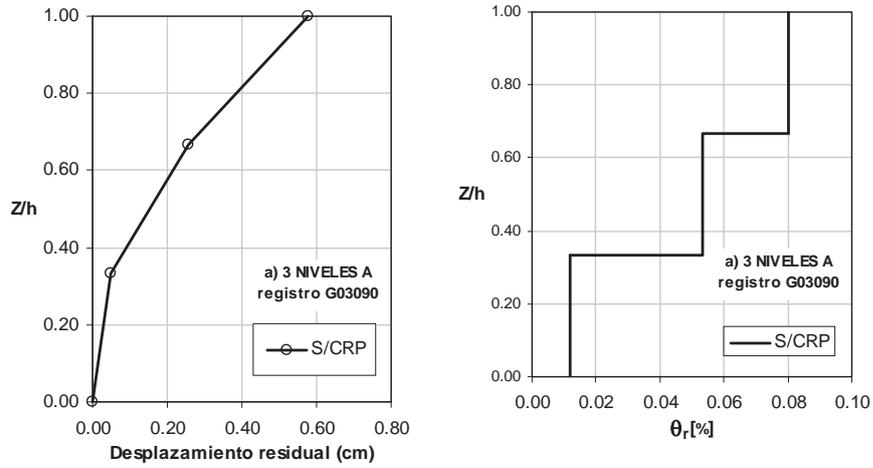


Figura 3.14.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.14.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro LP89G03).

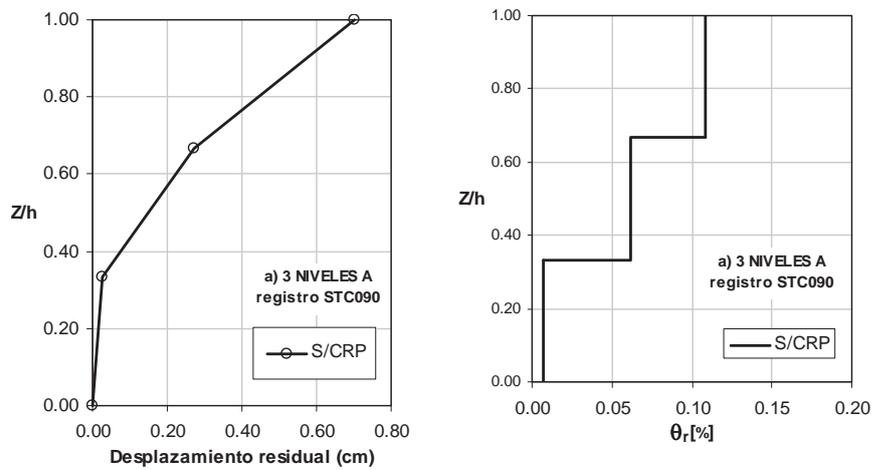


Figura 3.15.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.15.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro NR94STC).

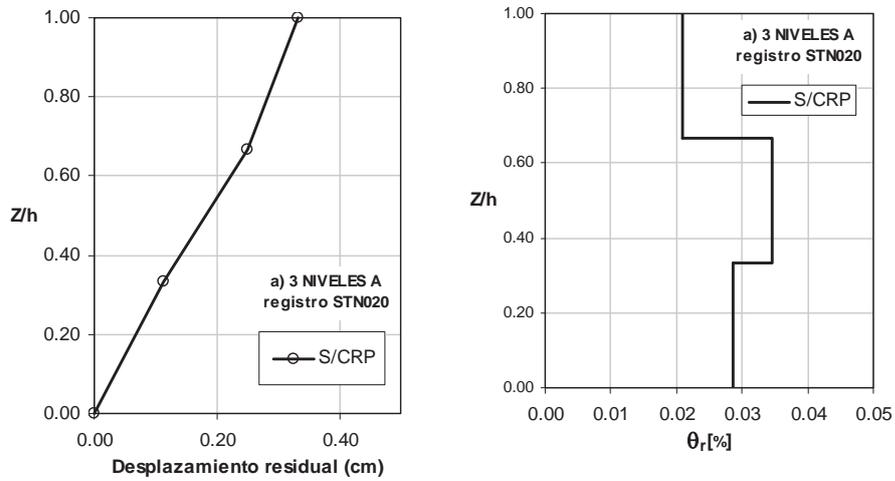


Figura 3.16.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3NIV, 3.16.b. Distorsión residual del análisis del marco 3NIV (ambas para el con registro NR94STN).

3.4.2 Edificio de 6 niveles

Resultados de desplazamientos máximos

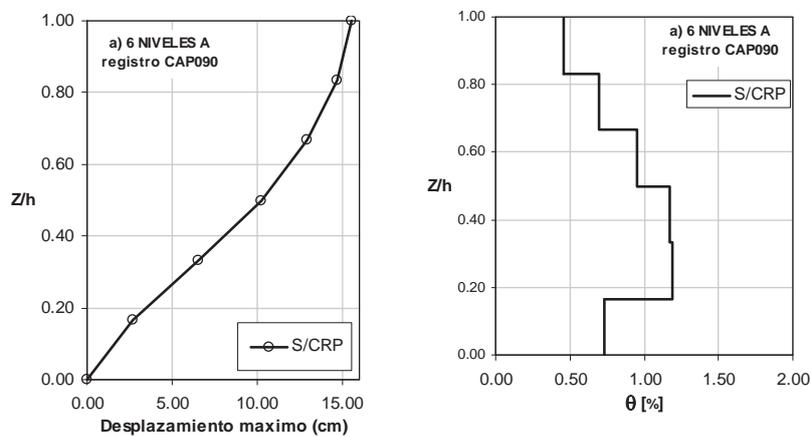


Figura 3.17.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.17.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro LP89CAP).

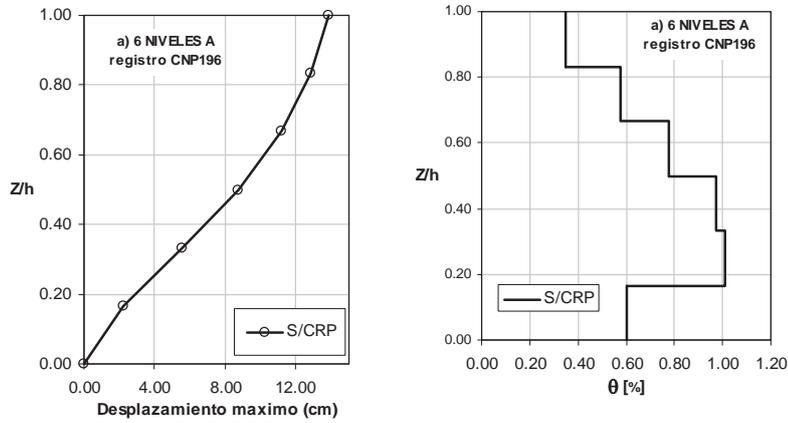


Figura 3.18.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.18.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94CNP).

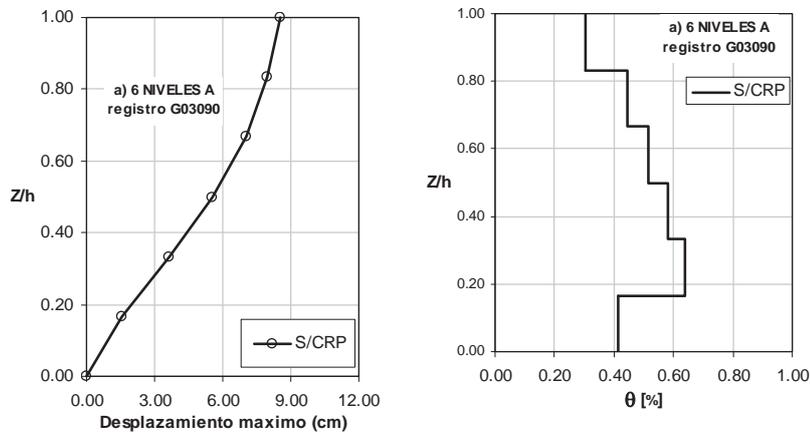


Figura 3.19.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.19.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro LP89G03).

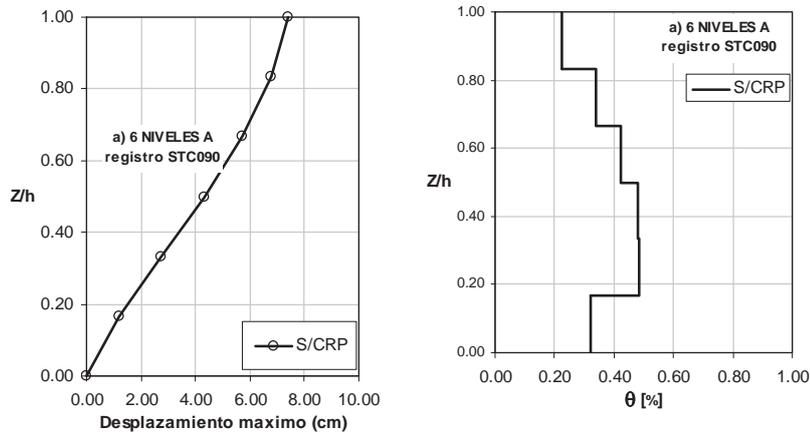


Figura 3.20.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.20.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94STC).

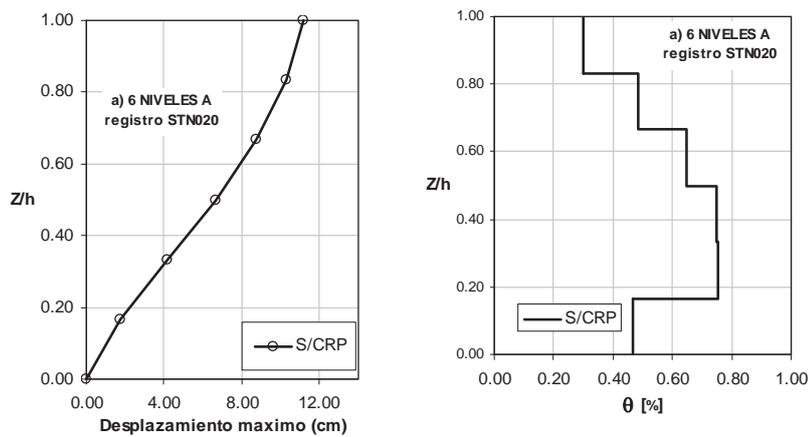


Figura 3.21.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6NIV, 3.21.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94STN).

Resultados de desplazamientos Residuales

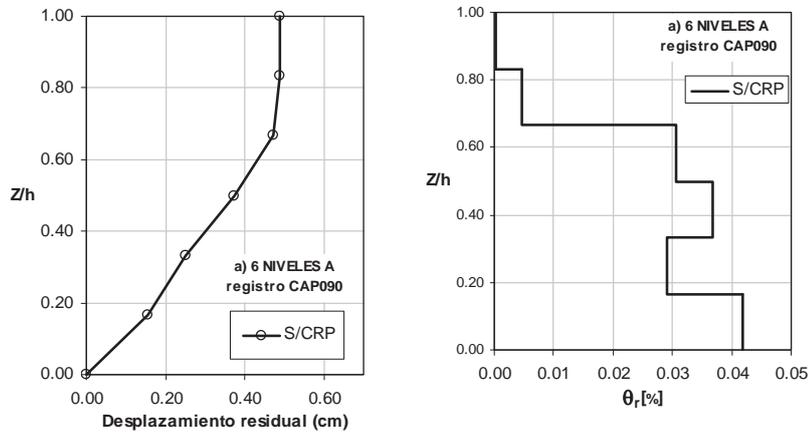


Figura 3.22.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.22.b. Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro LP89CAP).

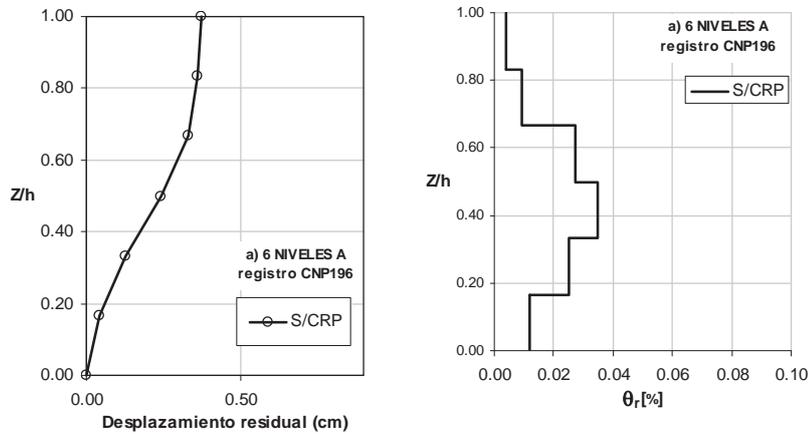


Figura 3.23.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.23.b. Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94CNP).

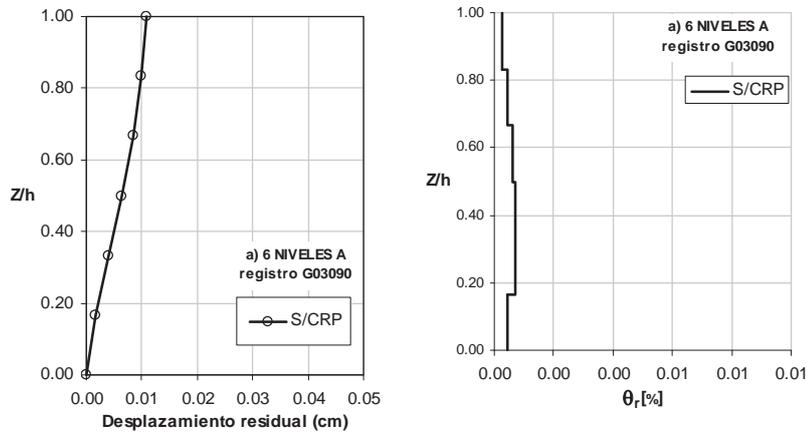


Figura 3.24.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.24.b. Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro LP89G03).

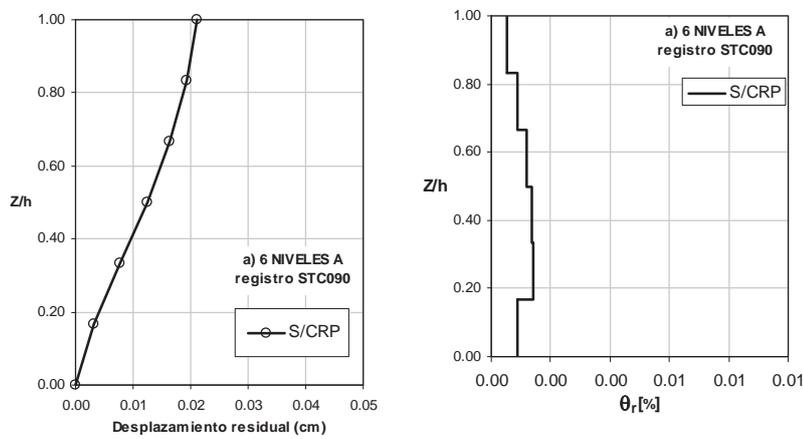


Figura 3.25.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.25.b. Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94STC).

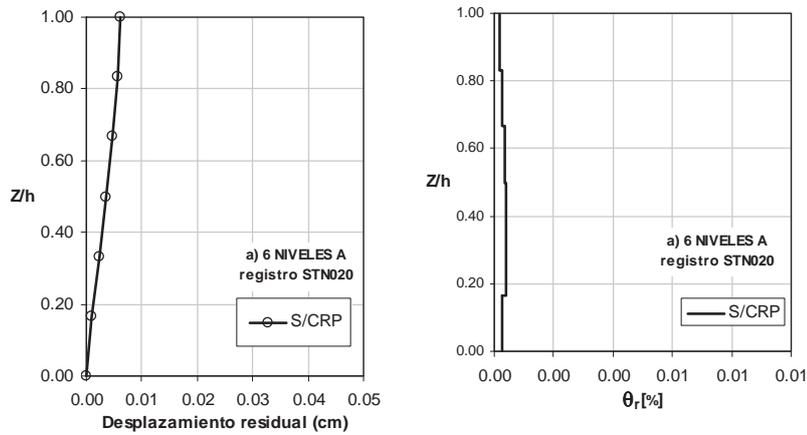


Figura 3.26.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6NIV, 3.26.b. Distorsión residual del análisis del marco 6NIV (ambas para el registro NR94STN).

3.4.3 Edificio de 9 niveles

Resultados de desplazamientos máximos

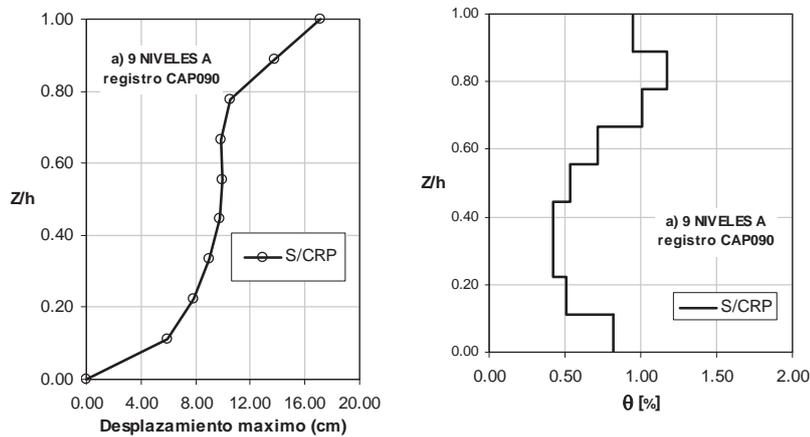


Figura 3.27.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.27.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro LP89CAP).

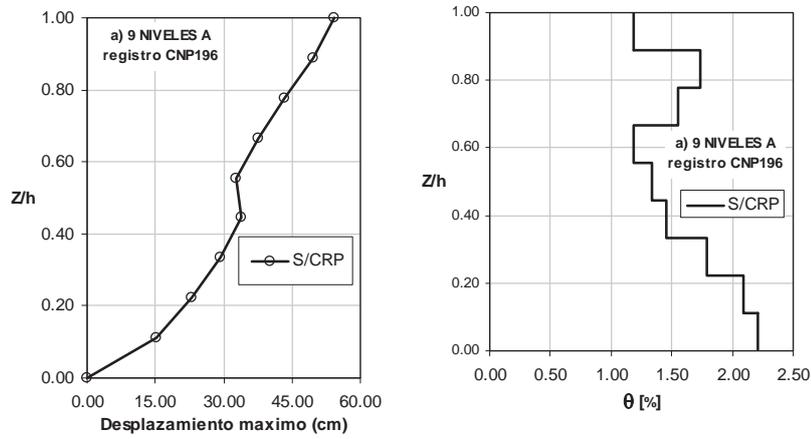


Figura 3.28.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.28.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94CNP).

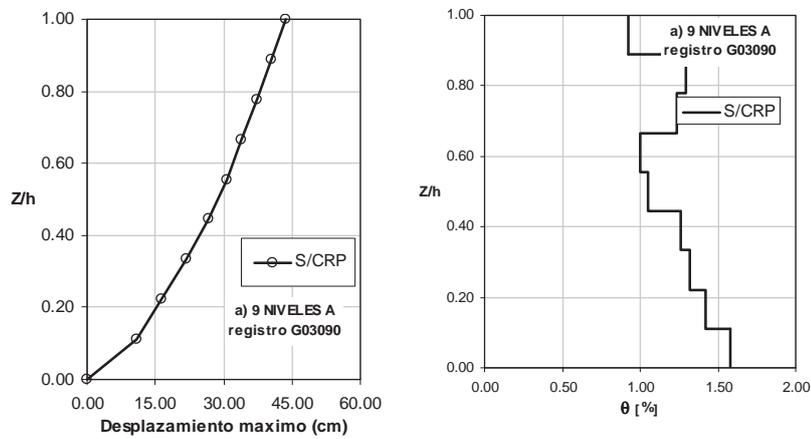


Figura 3.29.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.29.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro LP89G03).

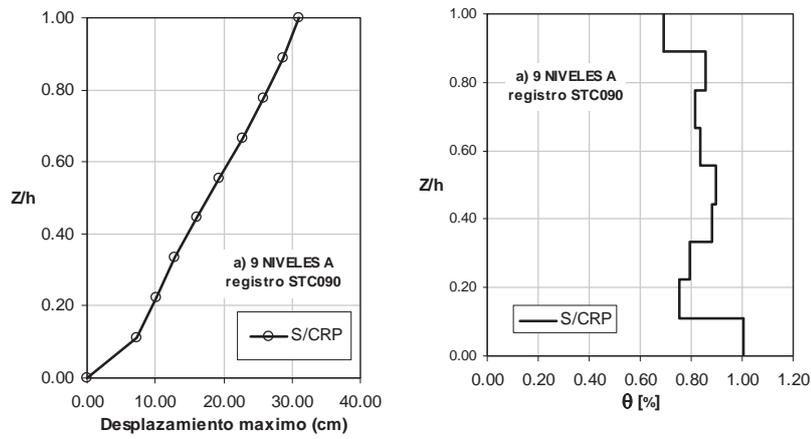


Figura 3.30.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.30.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94STC).

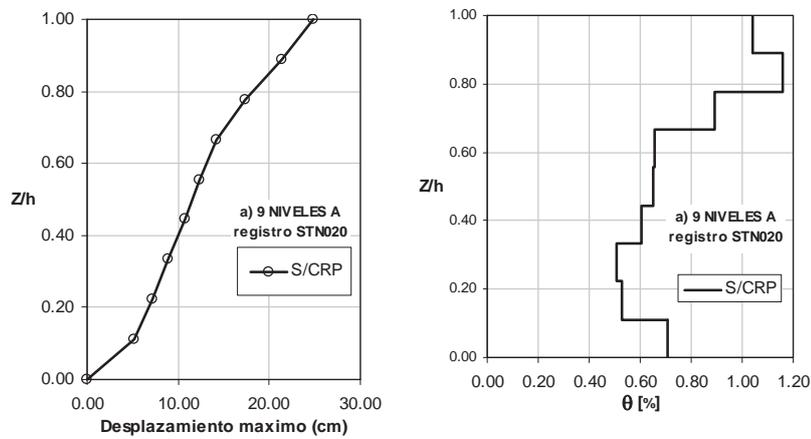


Figura 3.31.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9NIV, 3.31.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94STN).

Resultados de desplazamientos Residuales

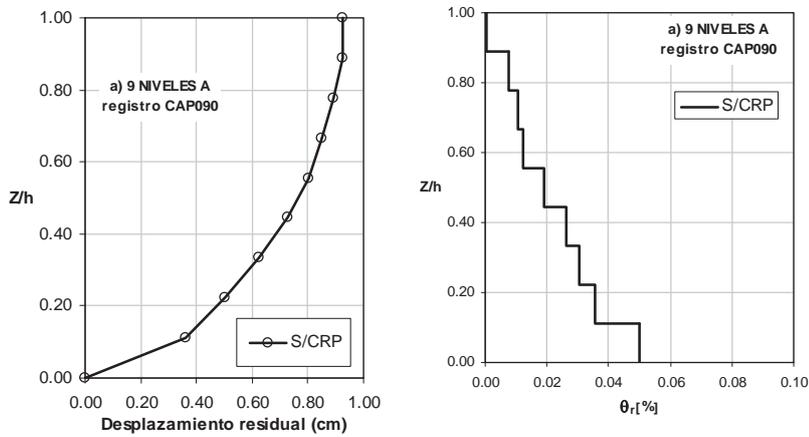


Figura 3.32.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.32.b. Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro LP89CAP).

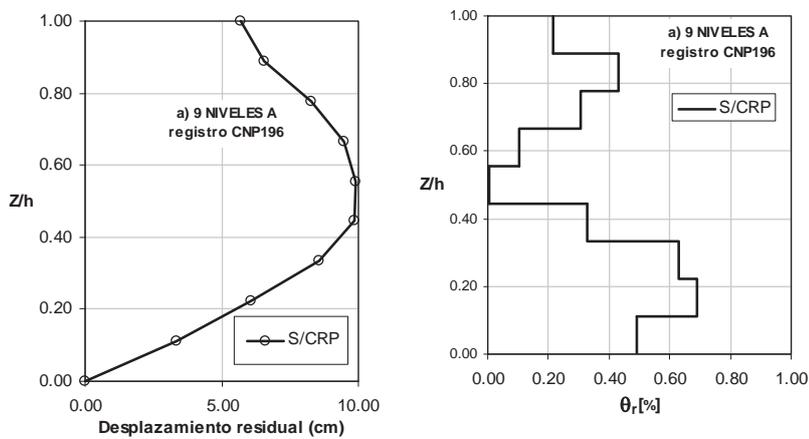


Figura 3.33.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.33.b. Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94CNP).

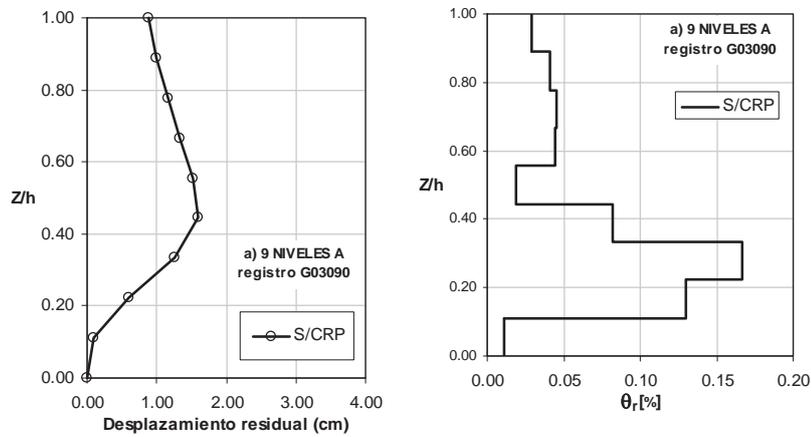


Figura 3.34.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.34.b. Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro LP89G03).

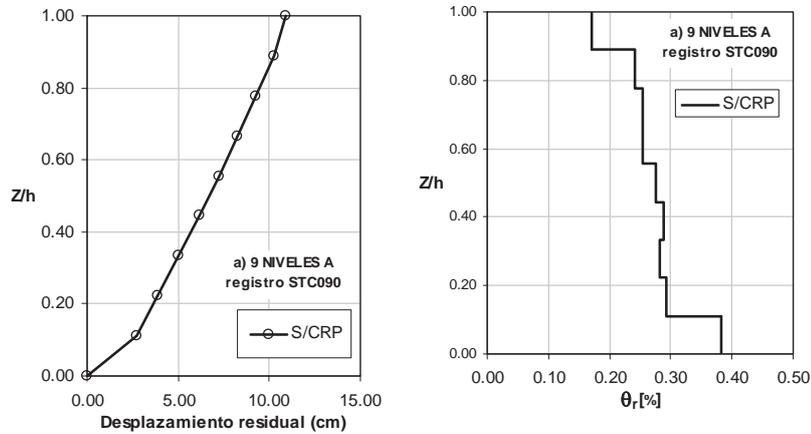


Figura 3.35.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.35.b. Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94STC).

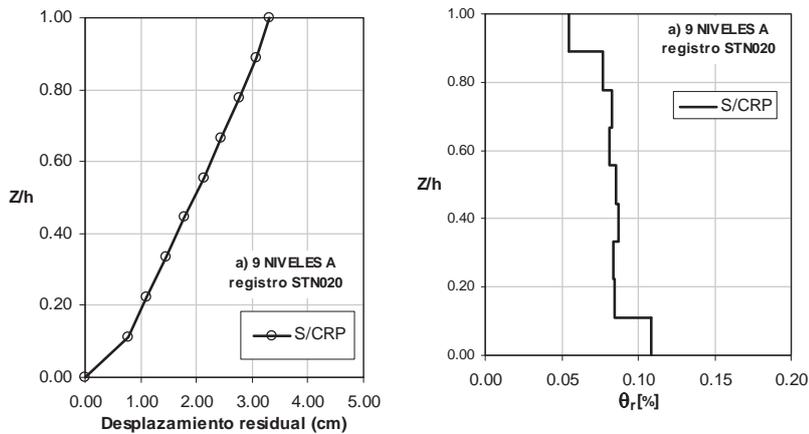


Figura 3.36.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9NIV, 3.36.b. Distorsión residual del análisis del marco 9NIV (ambas para el registro NR94STN).

Después de realizar las graficas anteriores se realizo una grafica para cada uno los tres edificios, cada una incluye los cinco sismos elegidos, lo anterior para poder observar que tanto varían los desplazamientos. En las Figuras 3.37, 3.38 y 3.39 se muestran las graficas para los edificios de 3, 6 y 9 niveles respectivamente.

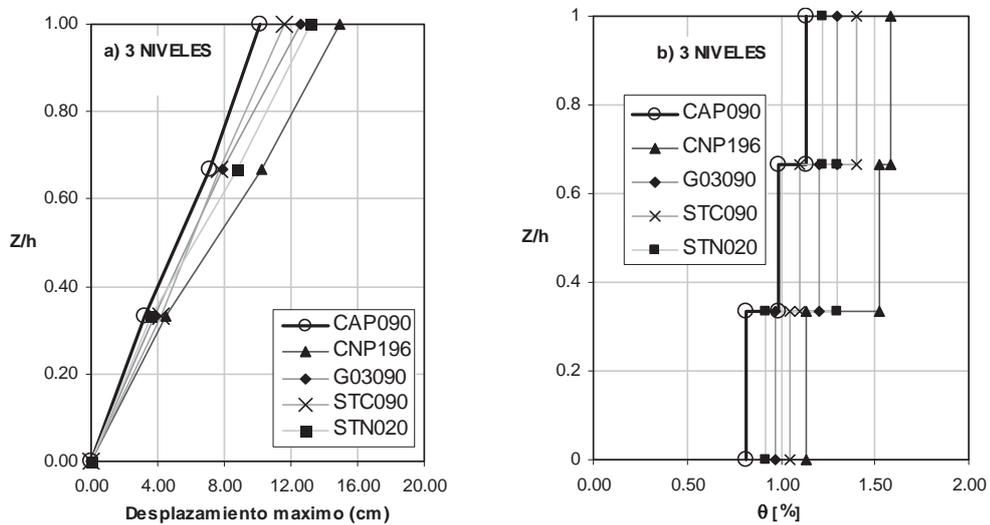


Figura 3.37.a. Desplazamientos máximos para el edificio de 3NIV con los cinco registros 3.37.b. Distorsión máxima para edificio de 3NIV con los cinco registros.

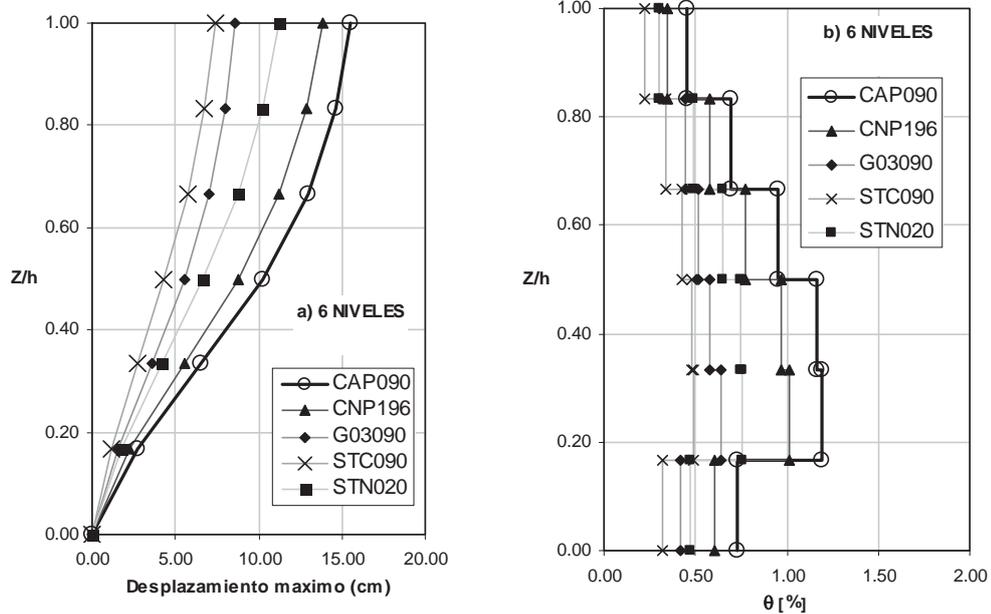


Figura 3.38.a. Desplazamientos máximos para el edificio de 6NIV con los cinco registros
 3.38.b. Distorsión máxima para edificio de 6NIV con los cinco registros.

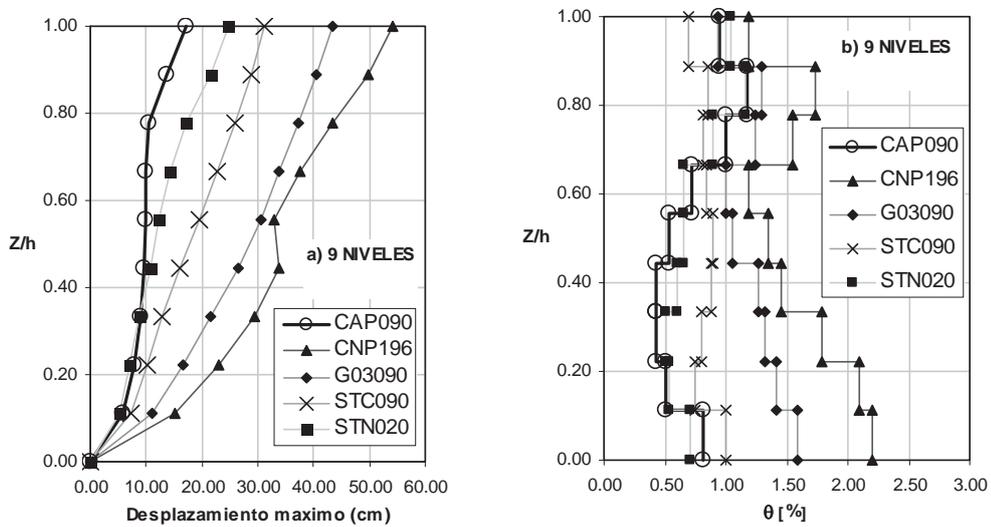


Figura 3.39.a. Desplazamientos máximos para el edificio de 9NIV con los cinco registros
 3.39.b. Distorsión máxima para edificio de 9NIV con los cinco registros.

De las graficas anteriores podemos observar que en el edificio de tres niveles que se encuentra en la Figura 3.37, los desplazamientos máximos son casi proporcionales a la altura de entrepiso durante las cinco secuencias, aunque en el piso inferior existen desplazamientos menores registrados con un sismo que los que resultan de un sismo que registra menores aceleraciones del terreno.

Del edificio de 6 niveles representado en la Figura 3.38, se puede apreciar que la respuesta de desplazamientos máximos es más uniforme que en los otros dos edificios. Aunque cabe mencionar que el registro utilizado con menor aceleración del terreno (STN020) muestra mayores desplazamientos que dos de los otros que tienen mayores aceleraciones que el mencionado.

Si observamos la Figura 3.39, se puede ver como el edificio de 9 niveles presenta mucha variación en los desplazamientos máximos de cada entrepiso, también así, se puede observar como para el registro CNP196 uno existe una uniformidad de desplazamientos entre los entrepisos.

A partir de los resultados de los análisis de los 40 registros se tomaron sus valores estadísticos, los cuales se expresan en las Tablas 3.9 y 3.10 para medidas de tendencia central y de dispersión respectivamente.

Tabla 3.9. Medidas de tendencia central.

Edificio	media		mediana	
	θ	θ_r	θ	θ_r
3 NIV	0.860	0.616	0.739	0.529
6 NIV	0.498	0.349	0.462	0.338
9 NIV	0.990	0.959	0.862	0.862

Tabla 3.10. Medidas de dispersión.

Edificio	COV		σ_{lnx}	
	θ	θ_r	θ	θ_r
3 NIV	0.579	0.557	0.609	0.618
6 NIV	0.569	0.545	0.652	0.632
9 NIV	0.630	0.631	0.650	0.656

Capítulo 4

COMPORTAMIENTO SISMICO DE EDIFICIOS REFORZADOS CON CRP

4.1 INTRODUCCION

Para la evaluación del desempeño de contraventeos restringidos contra pandeo (CRP) como opción de refuerzo sísmico, se realizó el análisis de los marcos que ya se habían estudiado en el capítulo 3 (edificios de 3, 6 y 9 niveles) utilizando el mismo conjunto de acelerogramas, pero se incluyó el efecto de los CRP. De donde los marcos de 3 y 9 niveles provienen de 2 edificios típicos para oficinas diseñados de acuerdo a la normatividad sismo-resistente existente antes del sismo de Northridge Cal. (1994), en el área de los Ángeles. Mientras que el edificio de 6 niveles es el correspondiente a un edificio diseñado en México (Gómez y Sordo, 2005), conforme al Reglamento del Distrito Federal.

El objetivo de este capítulo, consiste en hacer una descripción breve del procedimiento de diseño de los CRP, así como de las distintas opciones de disposición en los tres marcos en estudio. Finalmente, se realiza una comparación del comportamiento de los marcos en sus distintas disposiciones, y así evaluar la eficiencia de los CRP para mitigar los desplazamientos laterales máximo y residual ante excitaciones sísmicas, involucrando tanto los resultados de los marcos existentes, como los correspondientes a los marcos reforzados con los CRP.

4.2 CRITERIO DE DISEÑO DE LOS CRP

Los CRP fueron diseñados para soportar el 100% de la carga lateral. Para este propósito, fue utilizada la pauta de diseño proporcionada en las especificaciones del manual de construcción en acero AISC-LRFD (2001).

El diseño de los CRP esta limitado solo a determinar el área de la sección transversal que satisfaga los requerimientos de las fuerzas. Debido a que los CRP's no se pandean, la resistencia del elemento ante fuerzas de compresión es la misma que la correspondiente a tensión.

Para determinar el área necesaria de sección transversal de los contraventeos se condujo el siguiente procedimiento:

1. Distribución de fuerzas laterales estáticas equivalentes

Para determinar la distribución de fuerzas laterales equivalentes se tomo en cuenta el reglamento correspondiente para las distintas áreas en donde fueron diseñados los tres edificios, donde la distribución de fuerzas estáticas para el reglamento norteamericano (utilizado para edificios de 3 y 9 niveles) es de tipo parabólica, mientras que la del correspondiente mexicano es una distribución triangular.

$$F_i = Vb \frac{W_i h_i^k}{\sum W_i h_i^k} \quad (4.1)$$

$$F_i = \frac{c}{Q} \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} W_T \quad (4.2)$$

Para determinar el área de sección transversal de los CRP para el diseño en la zona de Northrige Cal. Se utilizo el espectro de diseño que se encuentra en la figura 4.1.

Para los edificios de 3 y 9 niveles se tomo en cuenta un factor de reducción "R" de 8.5 y 6.4, donde este factor, es el equivalente en México al factor de reducción Q. Además se considero $c/Q = 0.2$ para el edificio de 6 niveles.

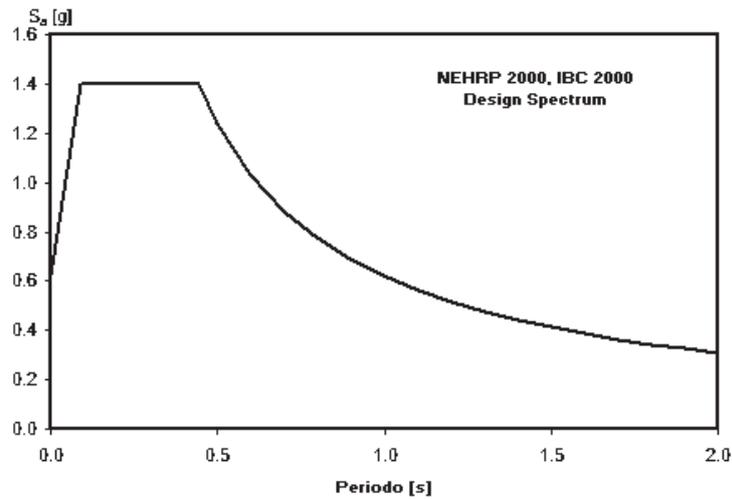


Figura 4.1. Espectro de diseño (NEHRP 2000, IBC 2000)

En las tablas 4.1.a, 4.1.b, 4.2, 4.3.a y 4.3.b se muestran los resultados de la distribución de fuerzas laterales estáticas equivalentes para los edificios en estudio, al utilizar las ecuaciones 4.1 y 4.2 para los reglamentos de EU. y la ciudad de México respectivamente.

Tabla 4.1.a. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 3 niveles R=8.5.

piso	Wx [kip]	hx [ft]	$w_x h_x^k$	C_{vx}	F_x
3	1079.7	39	42108.30	0.50	14.22
2	1096.4	26	28506.40	0.34	9.63
1	1096.4	13	14253.20	0.17	4.81

Tabla 4.1.b. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 3 niveles R=6.4.

piso	Wx [kip]	hx [ft]	$w_x h_x^k$	C_{vx}	F_x
3	1079.7	39	42108.30	0.50	18.88
2	1096.4	26	28506.40	0.34	12.78
1	1096.4	13	14253.20	0.17	6.39

Tabla 4.2. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 6 niveles.

piso	Wx [kip]	hx [in]	$w_x h_x$	C	F_x
6	148.00	795.27	117699.96	0.28	50.04
5	148.00	665.35	98471.80	0.24	41.86
4	148.00	535.43	79243.64	0.19	33.69
3	148.00	405.51	60015.48	0.14	25.51
2	148.00	275.6	40788.80	0.10	17.34
1	148.00	145.67	21559.16	0.05	9.17

Tabla 4.3.a. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 9 niveles R=8.5.

piso	Wx [kip]	hx [ft]	$w_x h_x^k$	C_{vx}	F_x
9	907	122	28199113.51	0.28	76.90
8	935	109	22807096.66	0.23	62.19
7	935	96	17350114.00	0.17	47.31
6	935	83	12683129.78	0.13	34.59
5	935	70	8788661.22	0.09	23.97
4	935	57	5646709.77	0.06	15.40
3	935	44	3233799.14	0.03	8.82
2	935	31	1521284.56	0.02	4.15
1	944	18	476422.34	0.00	1.30

Tabla 4.3.b. Distribución de fuerzas equivalentes para edificio de 9 niveles R=6.4.

piso	Wx [kip]	hx [ft]	$w_x h_x^k$	C_{vx}	F_x
9	907	122	28199113.51	0.28	102.13
8	935	109	22807096.66	0.23	82.60
7	935	96	17350114.00	0.17	62.84
6	935	83	12683129.78	0.13	45.94
5	935	70	8788661.22	0.09	31.83
4	935	57	5646709.77	0.06	20.45
3	935	44	3233799.14	0.03	11.71
2	935	31	1521284.56	0.02	5.51
1	944	18	476422.34	0.00	1.73

2. Distribución de cortantes

Para la distribución de cortantes será igual a la fuerza lateral estática equivalente correspondiente a cada entrepiso más la de los pisos superiores. Y se especifican los valores obtenidos para cada marco en las tablas 4.4.a, 4.4.b, 4.5, 4.6.a y 4.6.b.

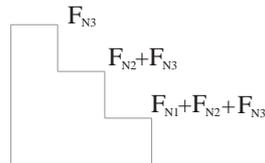


Tabla 4.4.a. Distribución de fuerzas cortantes para edificio de 3 niveles R=8.5.

piso	F_x	V_x
3	14.22	14.22
2	9.63	23.84
1	4.81	28.66

Tabla 4.4.b. Distribución de fuerzas cortantes para edificio de 3 niveles R=6.4.

piso	F_x	V_x
3	18.88	18.88
2	12.78	31.67
1	6.39	38.06

Tabla 4.5. Distribución de fuerzas cortantes para edificio de 6 niveles

piso	F	V
6	50.03	50.03
5	41.86	91.9
4	33.69	125.58
3	25.51	151.1
2	17.34	168.44
1	9.16	177.6

Tabla 4.6.a. Distribución de fuerzas cortantes para edificio de 9 niveles R=8.5.

piso	F_x	V_x
9	76.9	76.9
8	62.2	139.09

7	47.3	186.41
6	34.6	220.99
5	24	244.96
4	15.4	260.36
3	8.8	269.18
2	4.1	273.33
1	1.3	274.63

Tabla 4.6.b. Distribución de fuerzas cortantes para edificio de 9 niveles R=6.4.

piso	F_x	V_x
9	102.13	102.13
8	82.6	184.73
7	62.8	247.57
6	45.9	293.51
5	31.8	325.34
4	20.5	345.79
3	11.7	357.5
2	5.5	363.01
1	1.7	364.74

3. Fuerza axial en cada contraventeo

Ya que se determino la fuerza cortante en cada entrepiso, se puede determinar la fuerza axial (N) a la cual estará sometido el contraventeo a partir de la ecuación 4.1. Donde θ Corresponde al ángulo comprendido entre la horizontal y el contraventeo en el plano (ver figura 4.2).

$$N = \frac{Vs}{2\cos\theta} \quad (4.1)$$

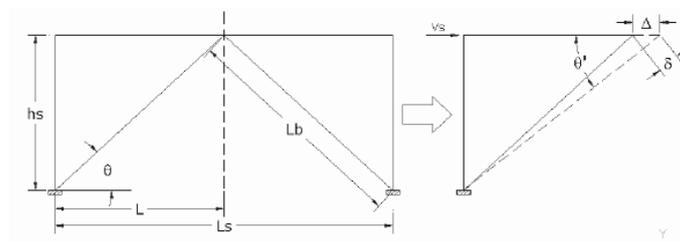


Figura 4.2. Angulo comprendido por el CRP y la horizontal.

En las tablas 4.7.a, 4.7.b, 4.8, 4.9.a y 4.9.b se muestran los resultados de la fuerza actuante en cada par de contraventeos para cada uno de los marcos en estudio. Cabe

notar que para el edificio de 6 niveles se tendrán valores para dos tipos de crujiás, esto es, debido a que las crujiás exteriores no tienen el mismo claro que la interior, y la fórmula 4.1 como ya se dijo, tiene que ver con el ángulo formado entre el contraventeo y la horizontal.

Tabla 4.7.a. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 3 niveles R=8.5.

Piso	P [kip]
3	9.41
2	15.77
1	18.96

Tabla 4.7.b. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 3 niveles R=6.4.

Piso	P [kip]
3	12.49
2	20.95
1	25.18

Tabla 4.8. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 6 niveles (para marcos interiores y exteriores).

Piso	P [kip]	P [kip]
	(Marco ext.)	(Marco int.)
6	35.65	37.19
5	65.48	68.30
4	89.49	93.33
3	107.66	112.30
2	120.02	125.18
1	134.55	140.98

Tabla 4.9.a. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 9 niveles R=8.5.

Piso	P [kip]
9	50.88
8	92.02
7	123.33
6	146.21
5	162.07
4	172.25
3	178.09
2	180.83
1	214.47

Tabla 4.9.b. Fuerza axial en los contraventeos del edificio de 9 niveles R=6.4.

Piso	P [kip]
9	67.57
8	122.22
7	163.79
6	194.19
5	215.24
4	228.78
3	236.52
2	240.17
1	284.84

Una vez que se tiene la carga que soportara el contraventeo, se puede a partir de esta, determinar el área necesaria del contraventeo para que sea capaz de soportarla, esto es mediante la ecuación 4.2.

$$A_g \geq \frac{P_n}{0.90F_y} \quad (4.2)$$

Los resultados de las áreas necesarias para cada contraventeo se ilustran en las tablas 4.10.a, 4.10.b, 4.11, 4.12.a y 4.12.b. Donde las áreas corresponden al área necesaria de un contraventeo en el entrepiso (considerando que solo sean un par).

Tabla 4.10.a. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 3 niveles R=8.5.

Piso	Área (in ²)
3	0.29
2	0.49
1	0.59

Tabla 4.10.b. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 3 niveles R=6.4.

Piso	Área (in ²)
3	0.39
2	0.65
1	0.78

Tabla 4.11. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 6 niveles (para marcos interiores y exteriores).

Piso	A (in ²)	
	(Marco ext.)	(Marco int.)
6	0.55	1.15
5	1.01	2.11
4	1.38	2.88
3	1.66	3.47
2	1.85	3.86
1	2.08	4.35

Tabla 4.12.a. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 9 niveles R=8.5.

Piso	Área (in ²)
9	1.57
8	2.84
7	3.81
6	4.51
5	5.00
4	5.32
3	5.50
2	5.58
1	6.62

Tabla 4.12.b. Área necesaria en los contraventeos del edificio de 9 niveles R=6.4.

Piso	Área (in ²)
9	2.09
8	3.77
7	5.06
6	5.99
5	6.64
4	7.06
3	7.30
2	7.41
1	8.79

4.3 DISPOSICION DE LOS CRP

Como ya se determino, existe un área necesaria por contraventeo en cada entrepiso, la cual, fue determinada tomando en cuenta que solo existe un par de los mismos por cada entrepiso.

Para poder observar el efecto que tiene la disposición de los contraventeos, se tomaron en cuenta varias configuraciones de disposiciones de los contraventeos en cada uno de los marcos y se muestran en las figuras 4.3 y 4.4 para el edificio de 3 niveles, 4.5 y 4.6 para el edificio de 6 niveles y 4.7, 4.8 y 4.9 para el edificio de 9 niveles.

Donde cabe mencionar, que los valores de área obtenidos anteriormente son solo para cuando se encontraran dispuestos los contraventeos en una sola crujía, y en los que se proponen dispuestos en dos crujías, solo se divide al área anteriormente determinada entre dos, y será la correspondiente entonces a cada contraventeo del entrepiso.

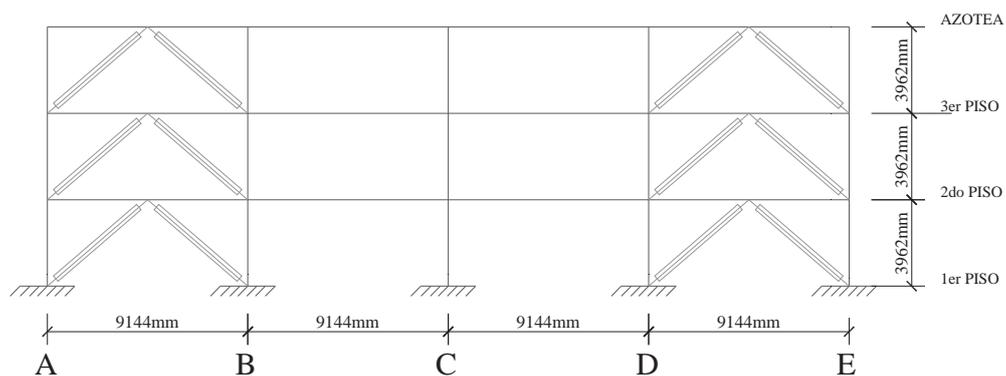


Figura 4.3. Disposición de contraventeos en marcos exteriores para edificio de 3 niveles (opción 3A).

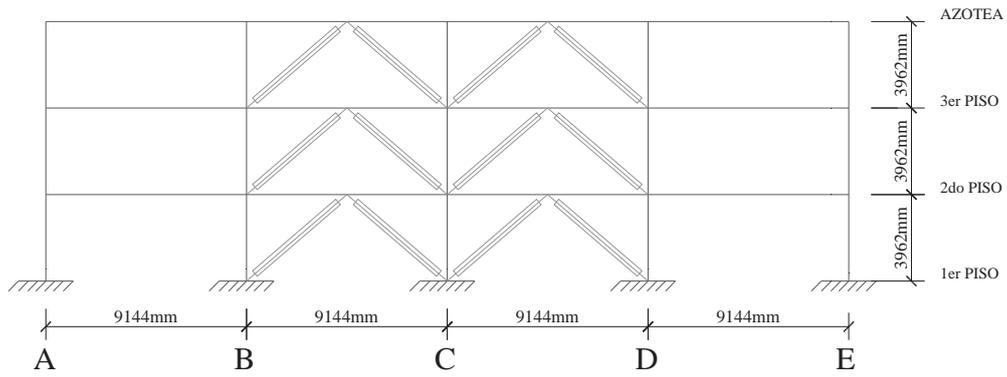


Figura 4.4. Disposición de contraventeos en marcos interiores para edificio de 3 niveles (opción 3B).

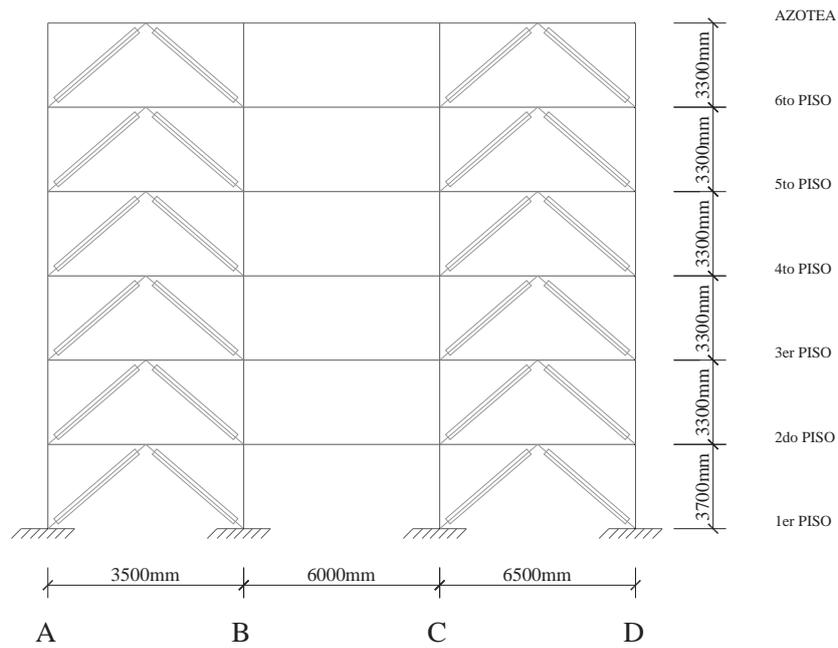


Figura 4.5. Disposición de contraventeos en marcos exteriores para edificio de 6 niveles (opción 6A).

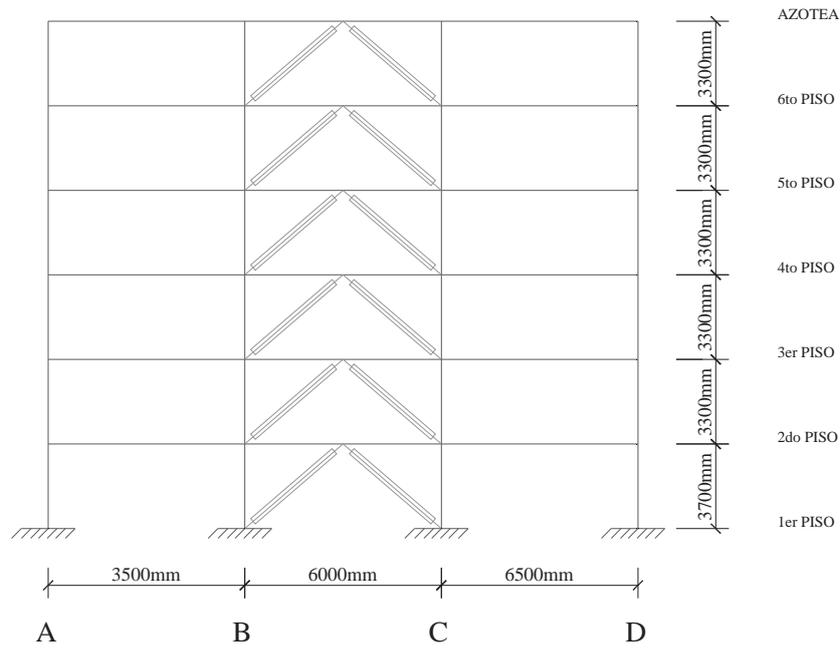


Figura 4.6. Disposición de contraventeos en marco interior para edificio de 6 niveles (opción 6B).

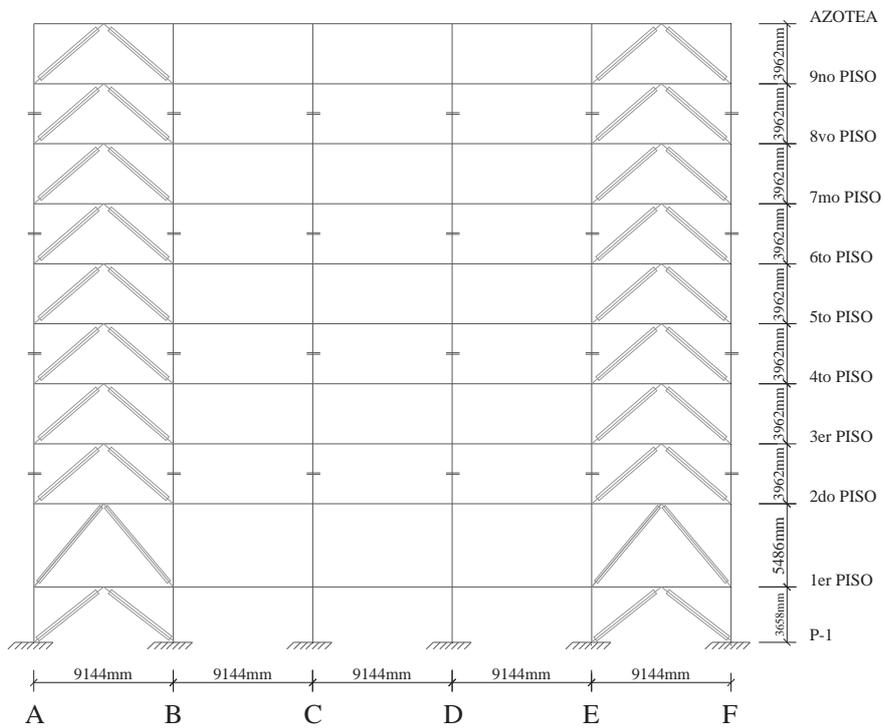


Figura 4.7. Disposición de contraventeos en marcos exteriores para edificio de 9 niveles (opción 9A).

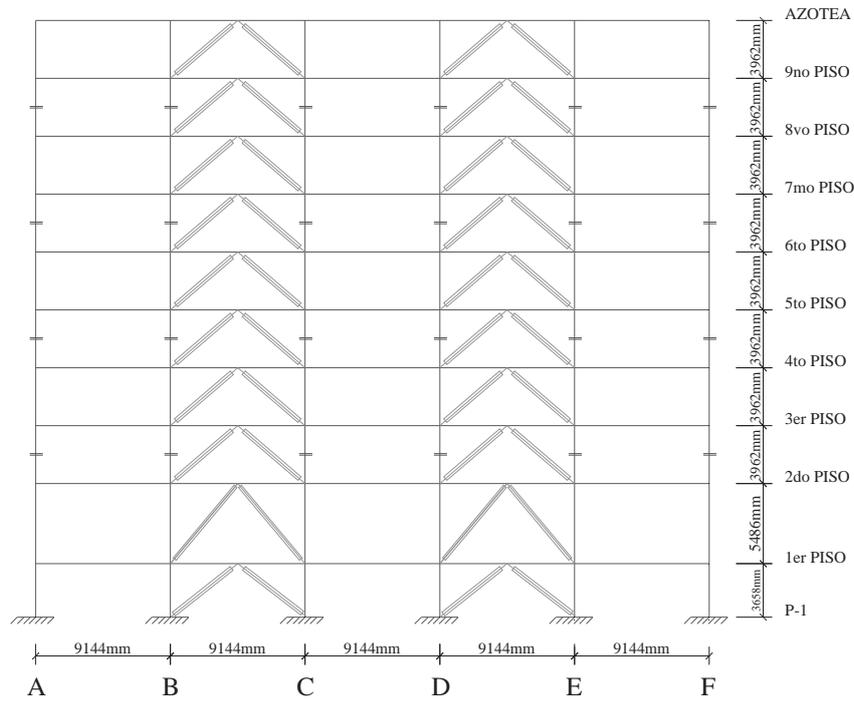


Figura 4.8. Disposición de contraventeos en marcos intermedios para edificio de 9 niveles (opción 9A).

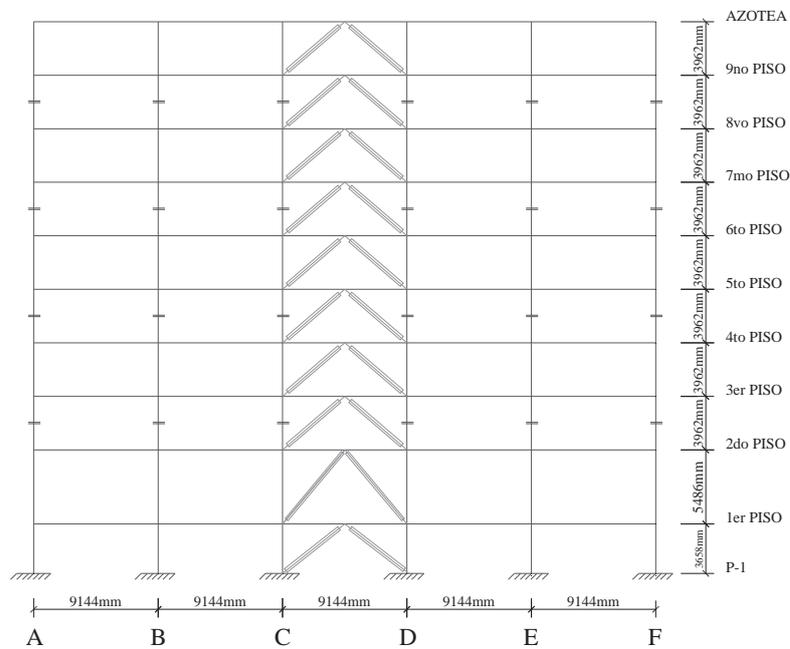


Figura 4.9. Disposición de contraventeos en marco interior para edificio de 9 niveles (opción 9A).

4.4 RESPUESTA SISMICA DE LOS EDIFICIOS

Después de realizar un análisis dinámico en el programa Ruaumoko (como el que se especifica en el capítulo 3) a los marcos en estudio, pero adicionándole a dichos marcos los CRP propuestos en las distintas opciones, para cada uno de los edificios, se obtuvieron valores máximos de desplazamientos, así como también valores residuales en cada entrepiso de los distintos marcos con sus diferentes configuraciones de disposición de los contraventeos.

A continuación se muestran los resultados de dicho análisis, haciendo una comparación con los resultados arrojados del análisis dinámico que se realizó a los marcos sin los CRP en el capítulo 3.

4.4.1 Edificio de 3 niveles

Resultados de desplazamientos máximos

Para el registro **LP89CAP (AMT=0.443[g])**

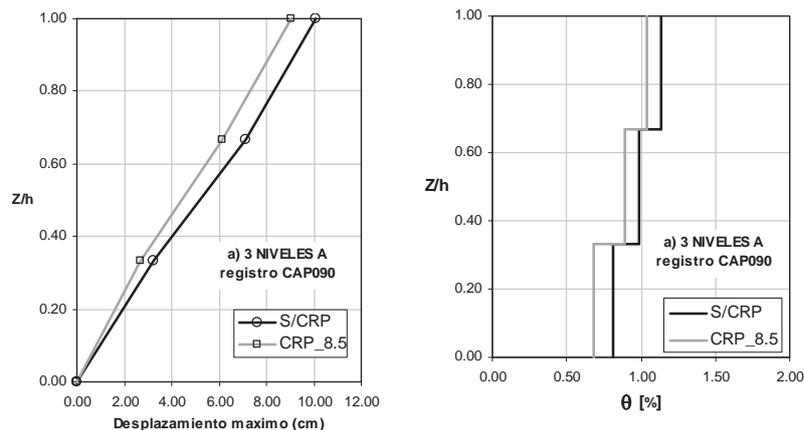


Figura 4.10.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.10.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro LP89CAP).

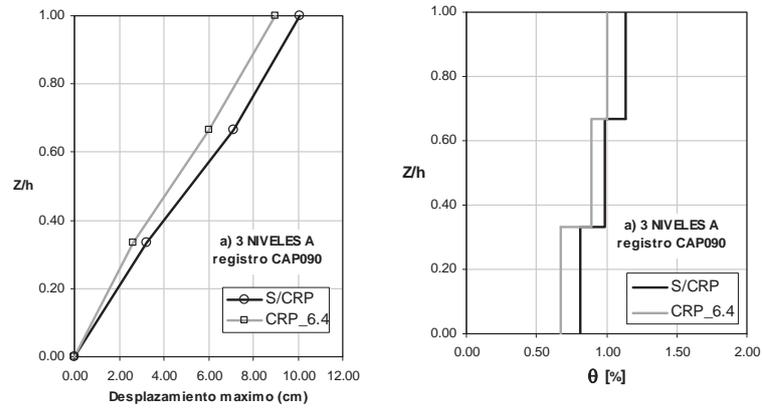


Figura 4.11.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.11.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro LP89CAP).

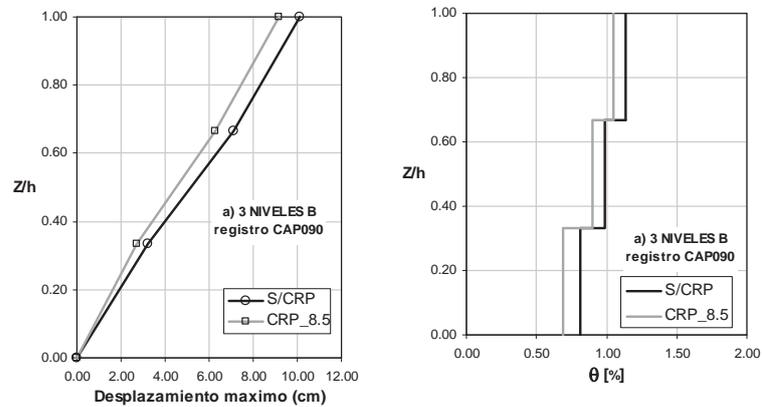


Figura 4.12.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.12.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro LP89CAP).

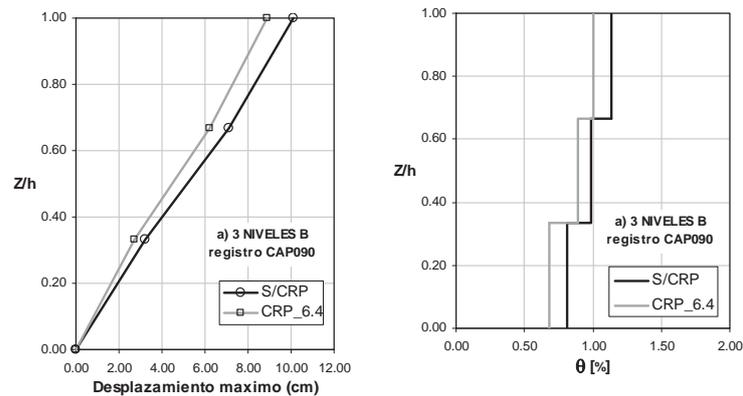


Figura 4.13.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.13.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro LP89CAP).

Para el registro NR94CNP (AMT=0.420[g])

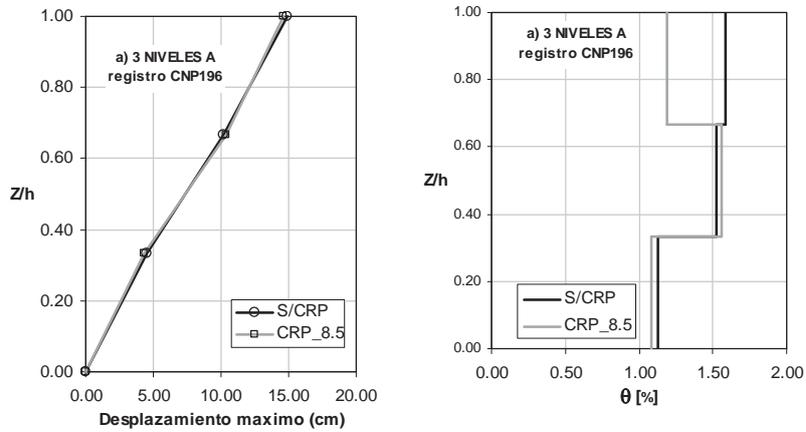


Figura 4.14.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.14.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94CNP).

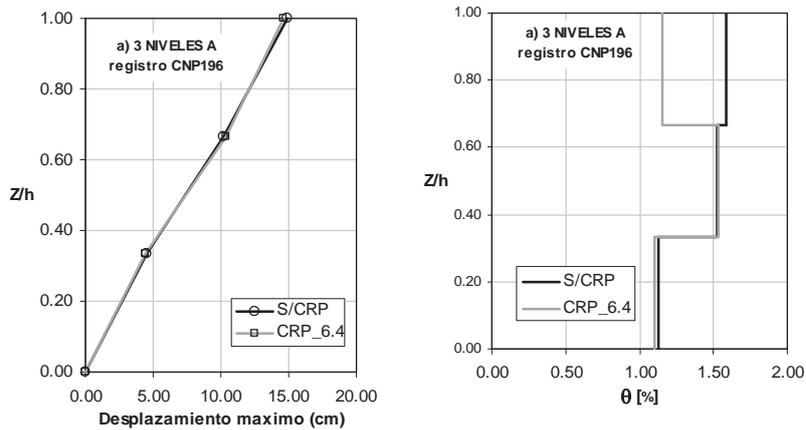


Figura 4.15.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.15.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro NR94CNP).

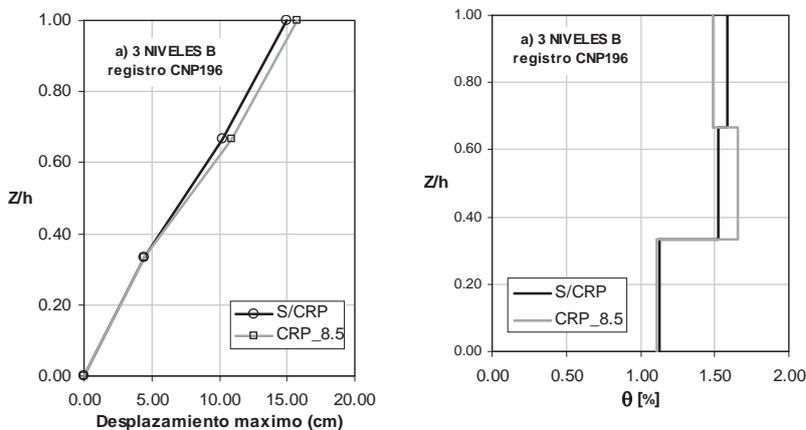


Figura 4.16.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.16.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94CNP).

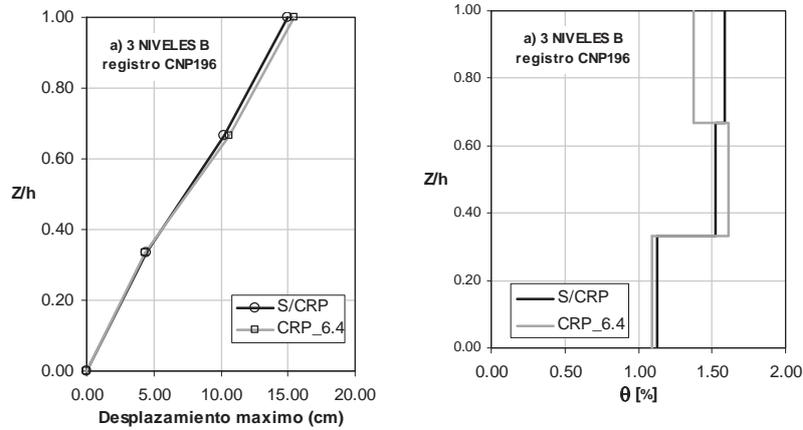


Figura 4.17.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.17.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94CNP).

Para el registro LP89G03 (AMT=0.367[g])

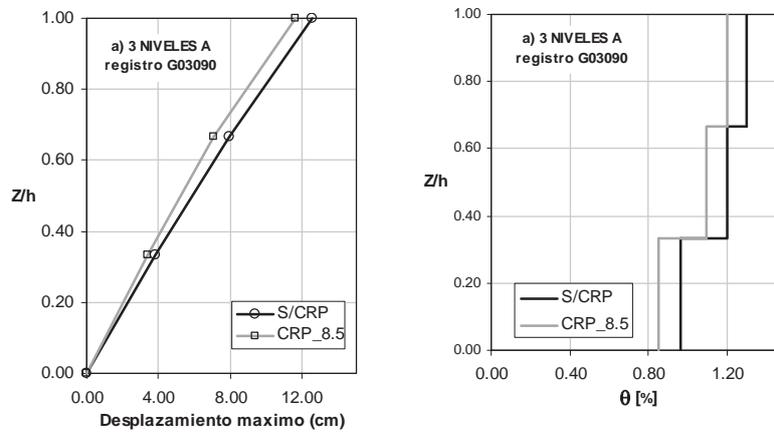


Figura 4.18.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.18.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro LP89G03).

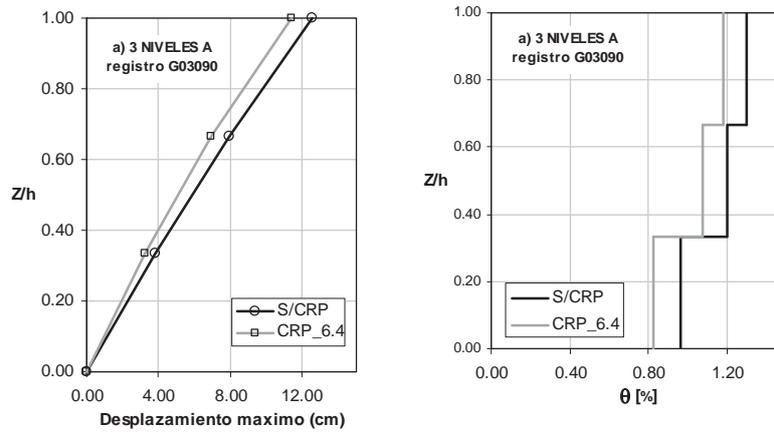


Figura 4.19.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.19.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro LP89G03).

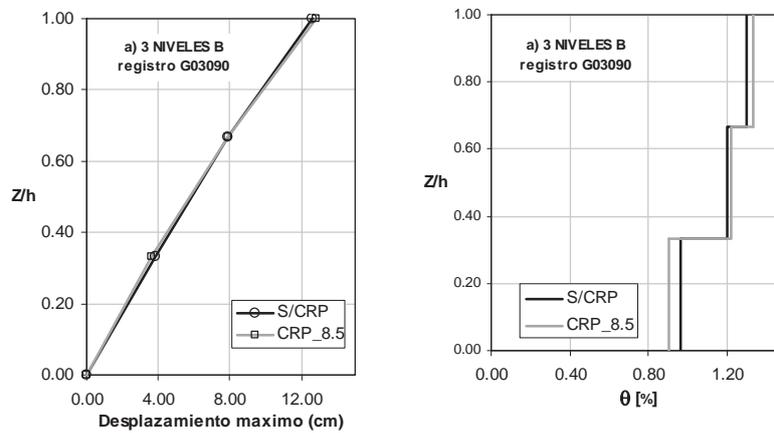


Figura 4.20.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.20.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro LP89G03).

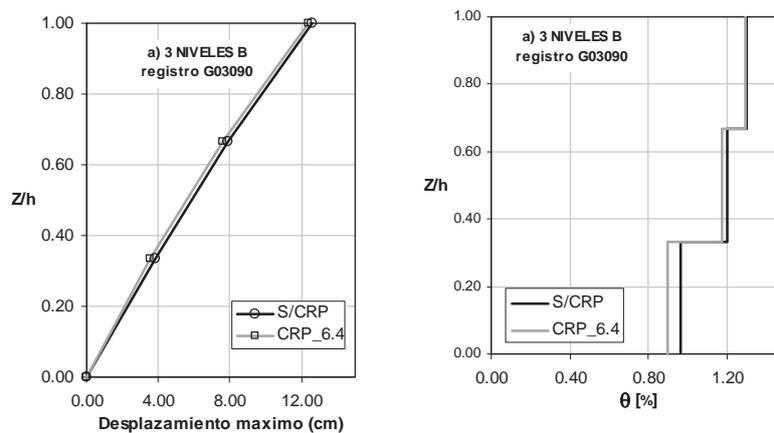


Figura 4.21.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.21.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro LP89G03).

Para el registro NR94STC (AMT=0.368[g])

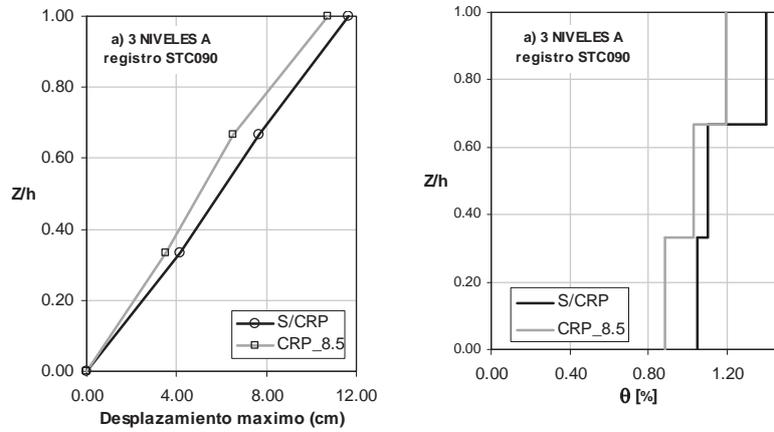


Figura 4.22.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.22.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STC).

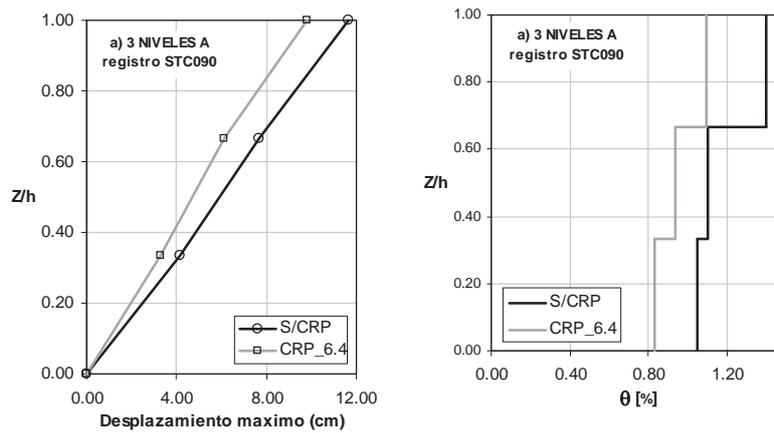


Figura 4.23.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.23.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro NR94STC).

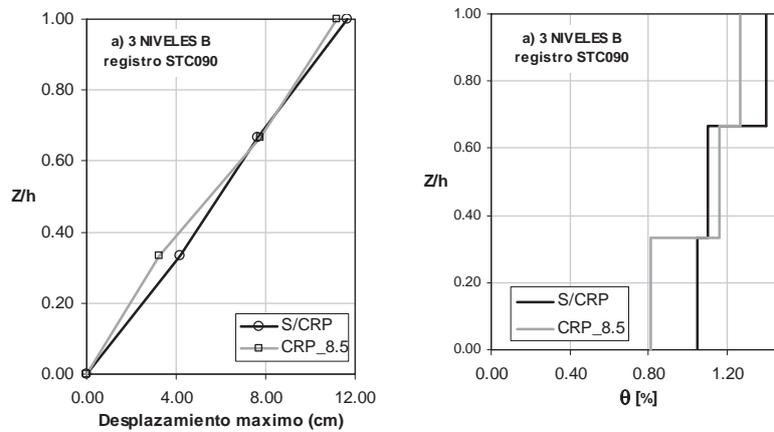


Figura 4.24.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.24.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94STC).

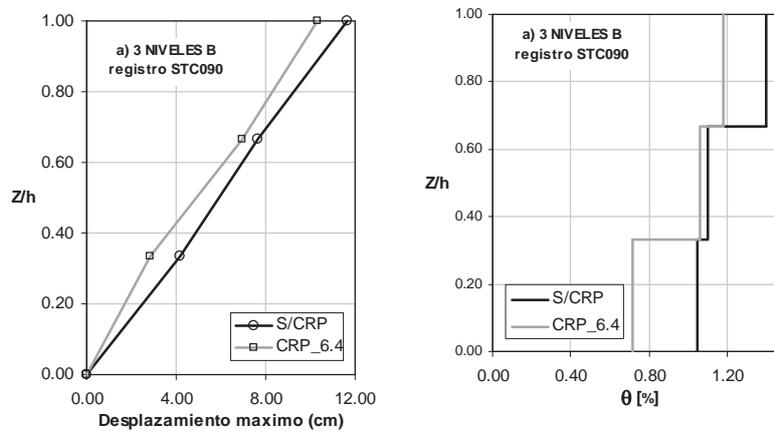


Figura 4.25.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.25.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR4STC).

Para el registro NR94STN (AMT=0.474[g])

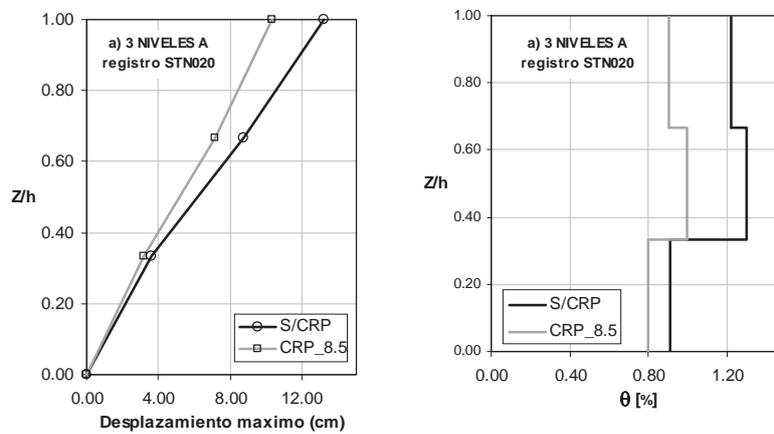


Figura 4.26.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8A, Figura 4.26.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STN).

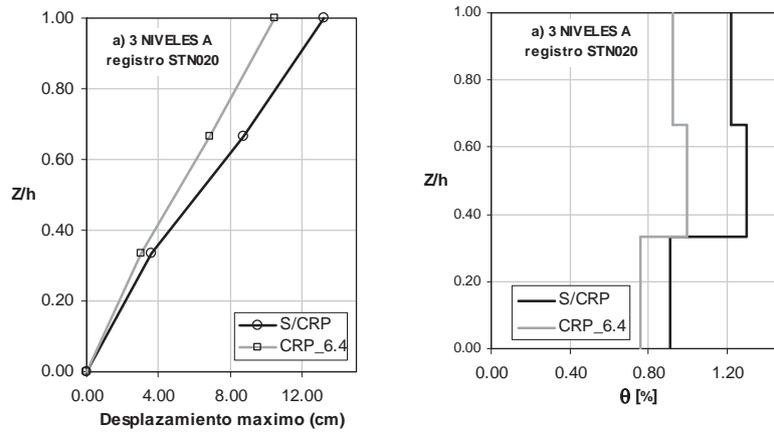


Figura 4.27.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6A, Figura 4.27.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro NR94STN).

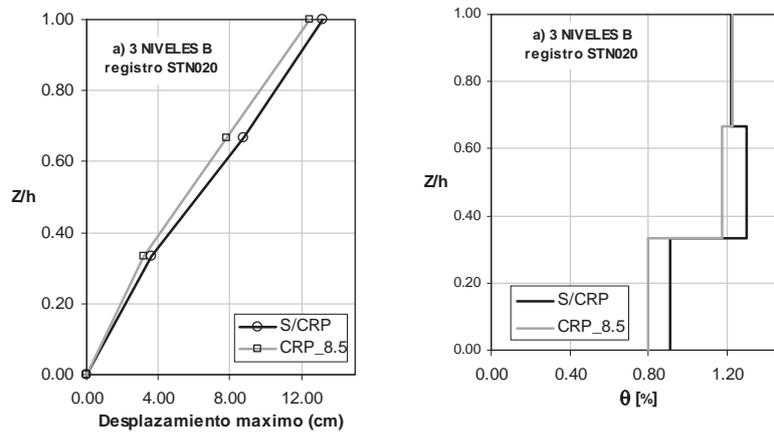


Figura 4.28.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C8B, Figura 4.28.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94STN).

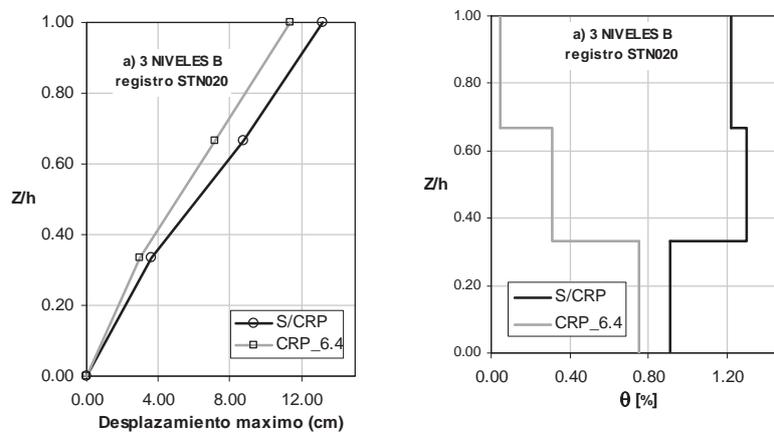


Figura 4.29.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 3C6B, Figura 4.29.b. Distorsión máxima del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94STN).

Resultados de desplazamientos Residuales
 Para el registro **LP89CAP (AMT=0.443[g])**

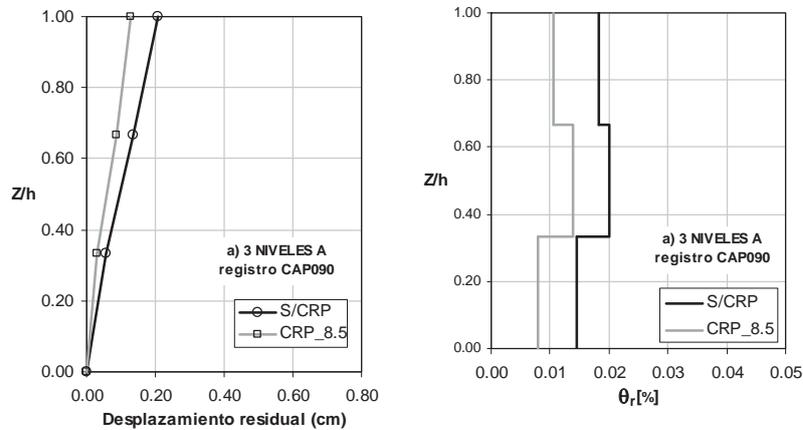


Figura 4.30.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.30.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro LP89CAP).

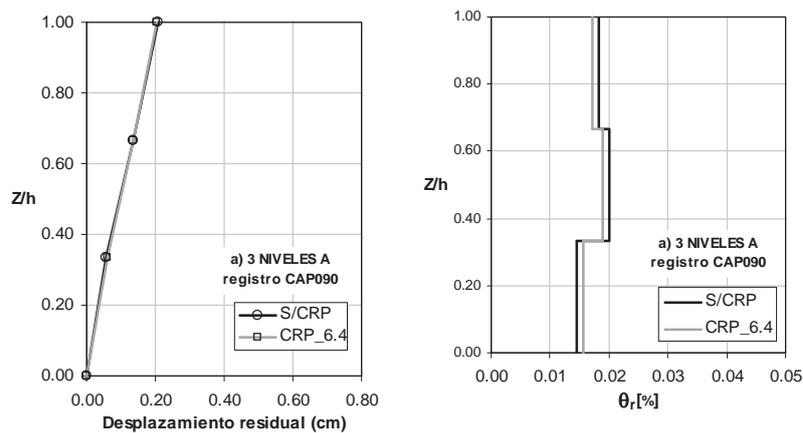


Figura 4.31.a. Desplazamientos residual del análisis del marco 3C6A, Figura 4.31.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro LP89CAP).

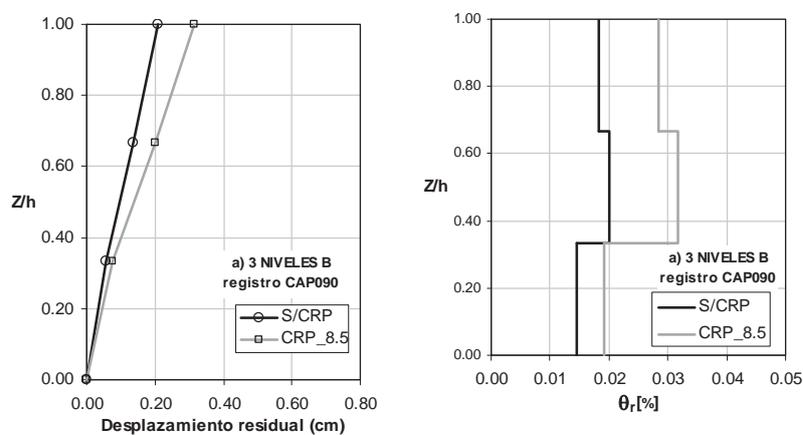


Figura 4.32.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.32.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro LP89CAP).

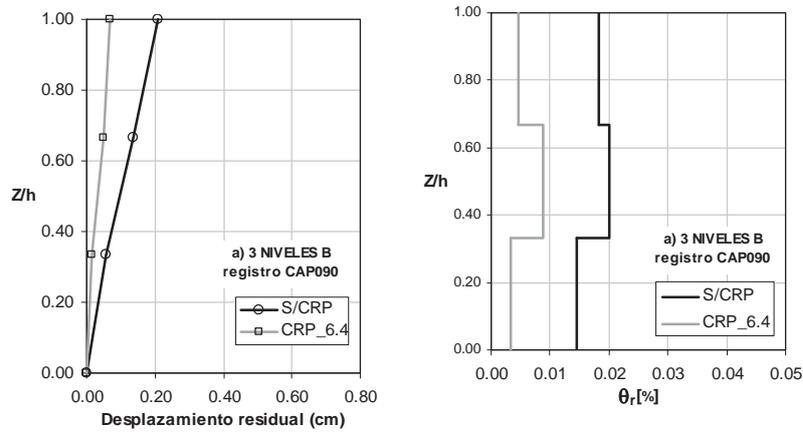


Figura 4.33.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.33.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro LP89CAP).

Para el registro NR94CNP (AMT=0.420[g])

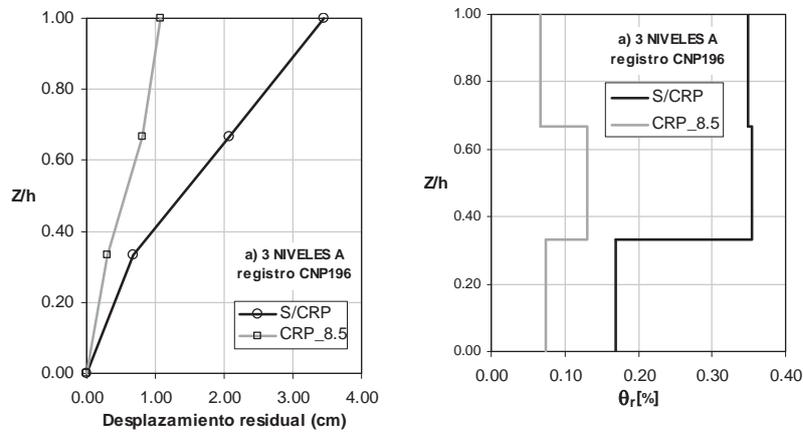


Figura 4.34.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.34.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94CNP).

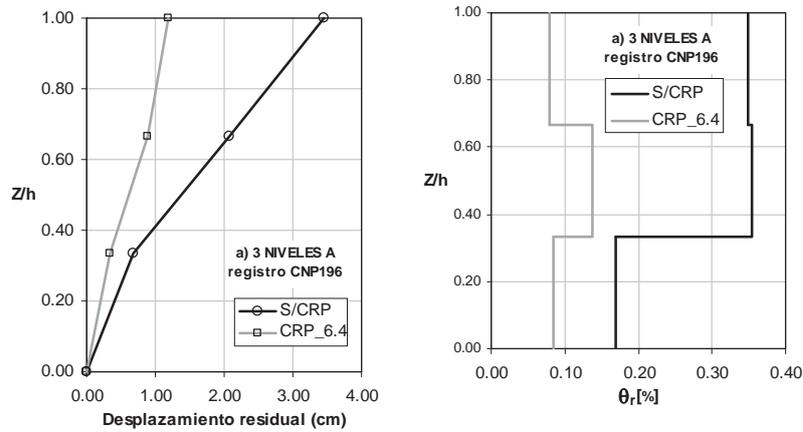


Figura 4.35.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6A, Figura 4.35.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro NR94CNP).

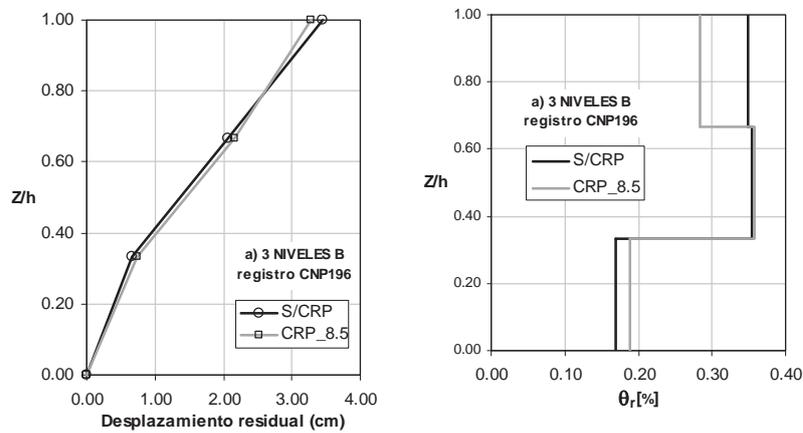


Figura 4.36.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.36.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94CNP).

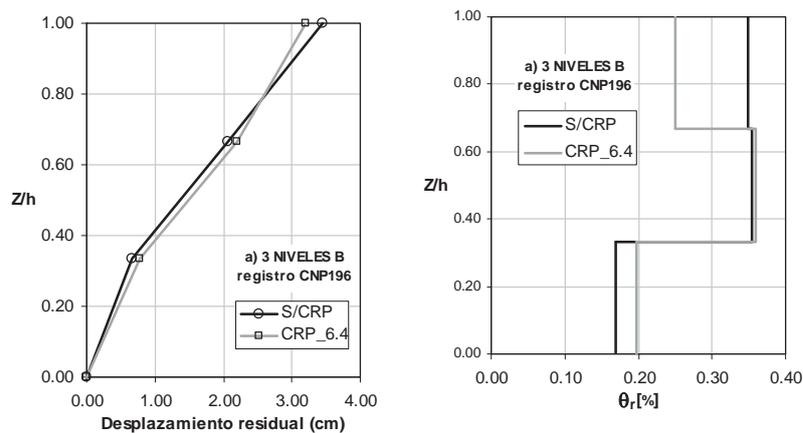


Figura 4.37.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.37.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94CNP).

Para el registro **LP89G03** (AMT=0.367[g])

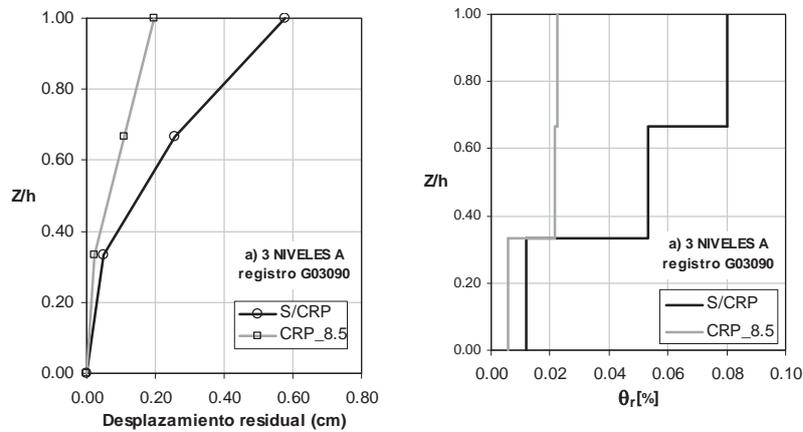


Figura 4.38.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.38.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro LP89G03).

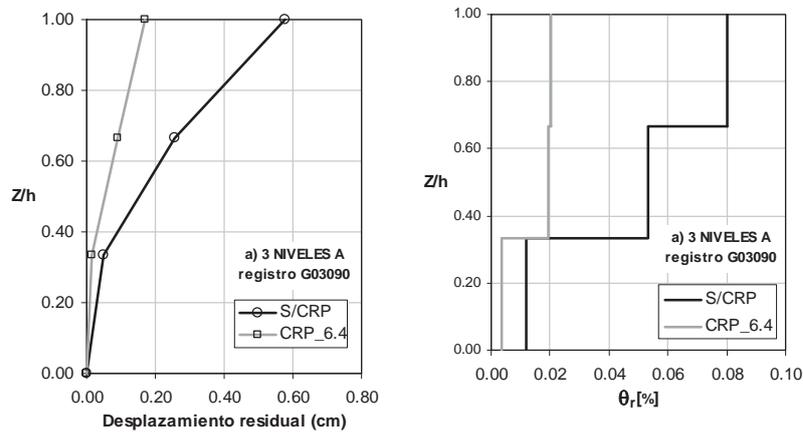


Figura 4.39.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6A, Figura 4.39.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro LP89G03).

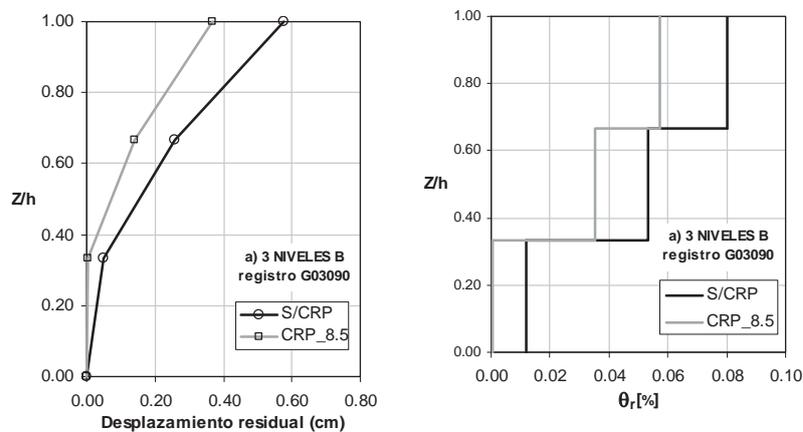


Figura 4.40.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.40.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro LP89G03).

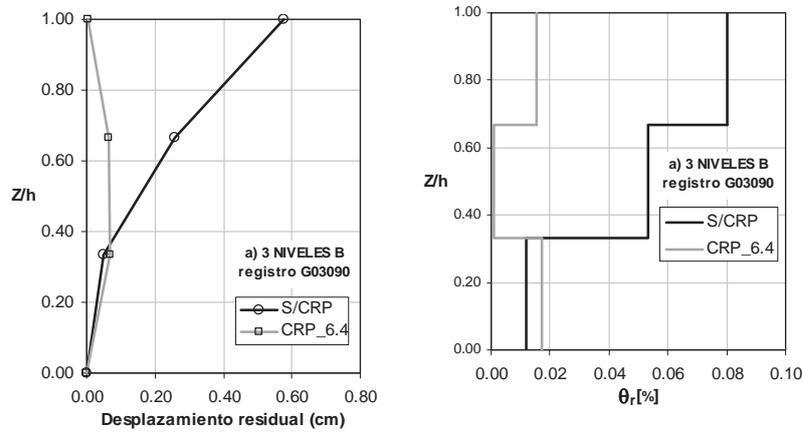


Figura 4.41.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.41.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro LP89G03).

Para el registro NR94STC (AMT=0.368[g])

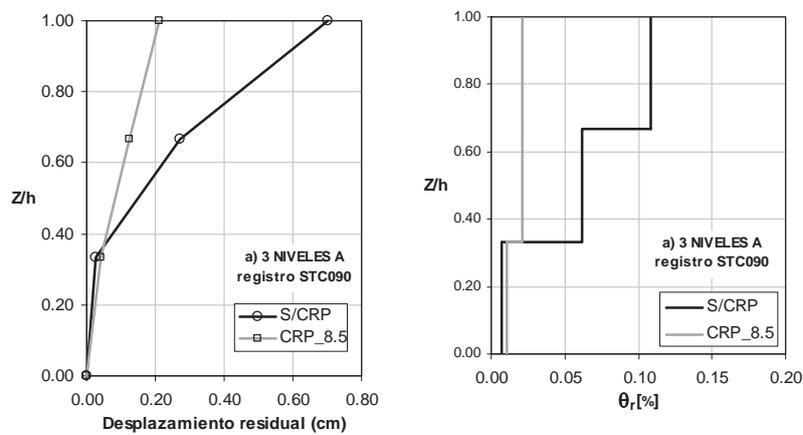


Figura 4.42.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.42.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STC).

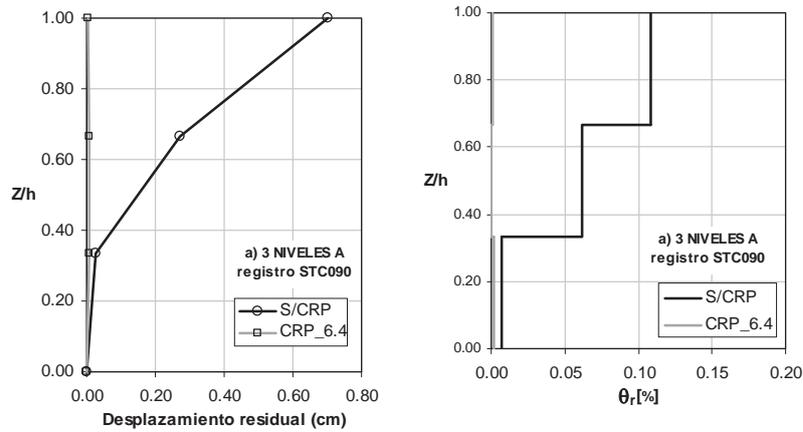


Figura 4.43.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6A, Figura 4.43.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C6A (ambas para el registro NR94STC).

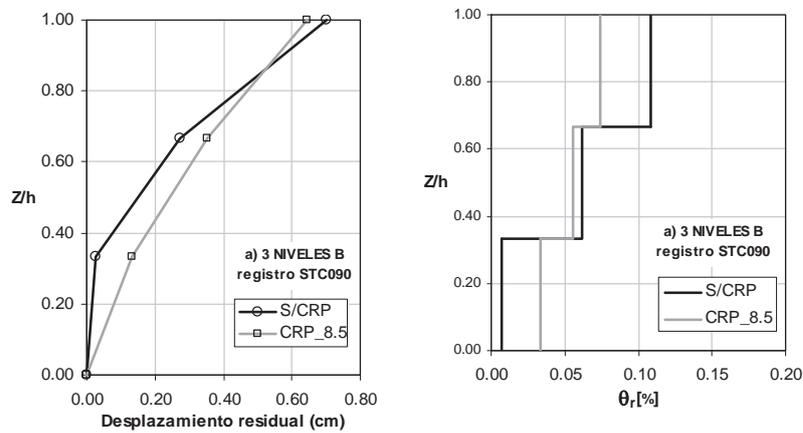


Figura 4.44.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.44.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94STC).

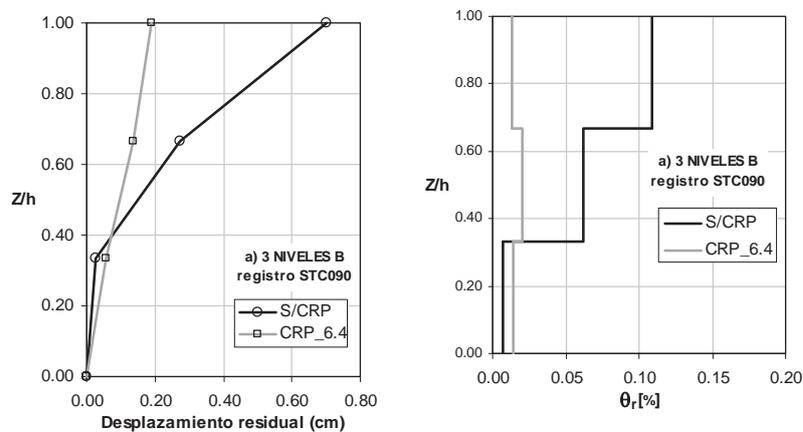


Figura 4.45.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.45.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94STC).

Para el registro NR94STN (AMT=0.474[g])

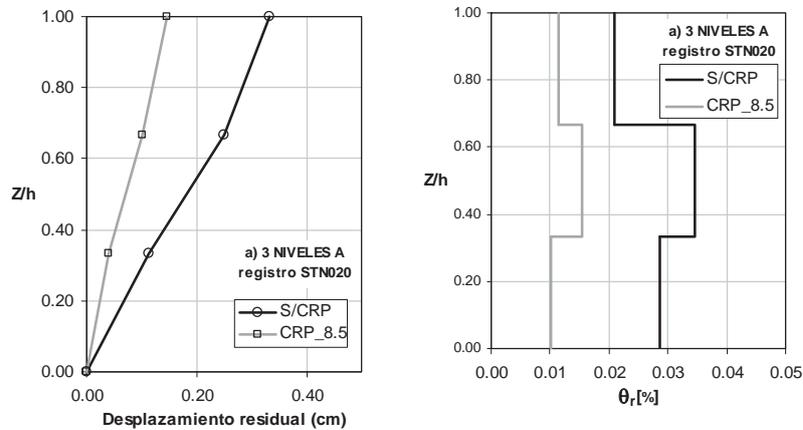


Figura 4.46.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.46.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STN).

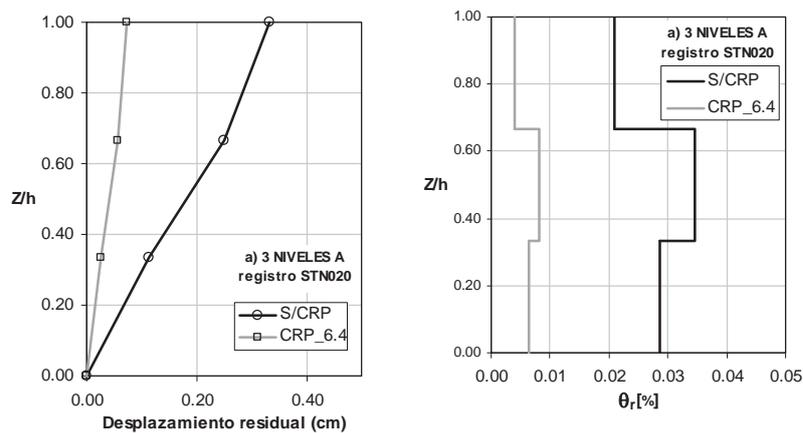


Figura 4.47.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8A, Figura 4.47.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8A (ambas para el registro NR94STN).

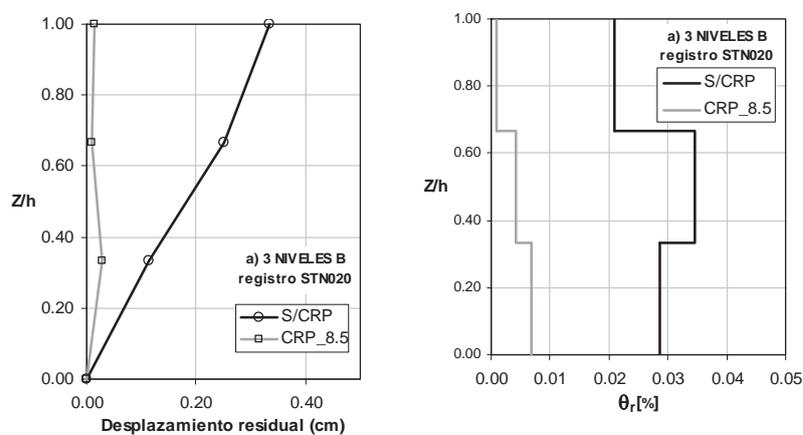


Figura 4.48.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C8B, Figura 4.48.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C8B (ambas para el registro NR94STN).

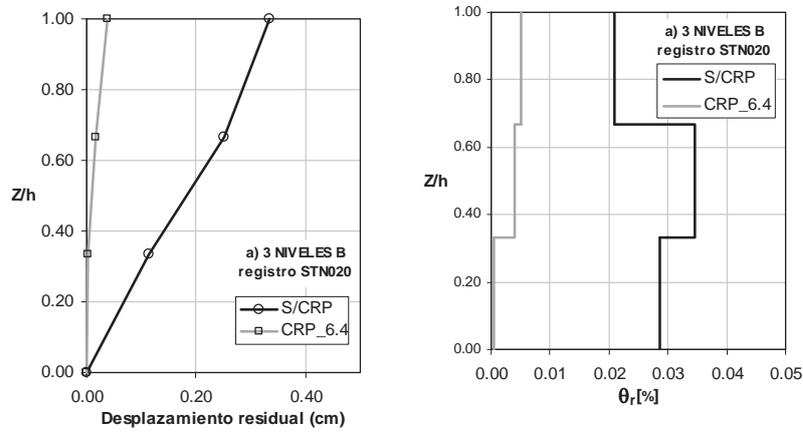


Figura 4.49.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 3C6B, Figura 4.49.b. Distorsión residual del análisis del marco 3C6B (ambas para el registro NR94STN).

4.4.2 Edificio de 6 niveles

Resultados de desplazamientos máximos

Para el registro LP89CAP (AMT=0.443[g])

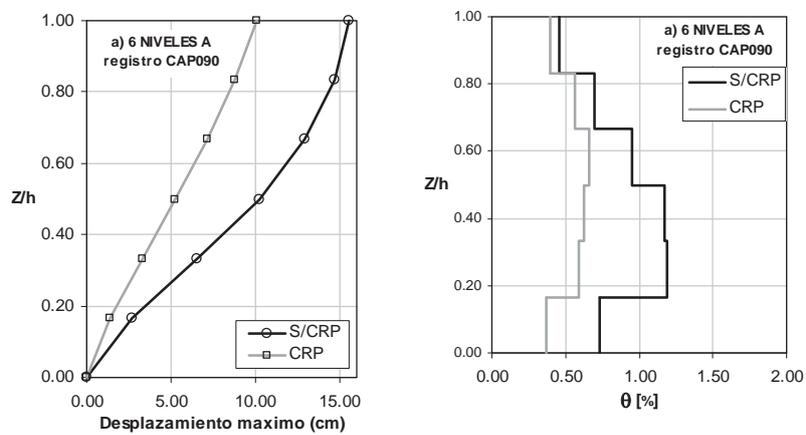


Figura 4.50.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.50.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro LP89CAP).

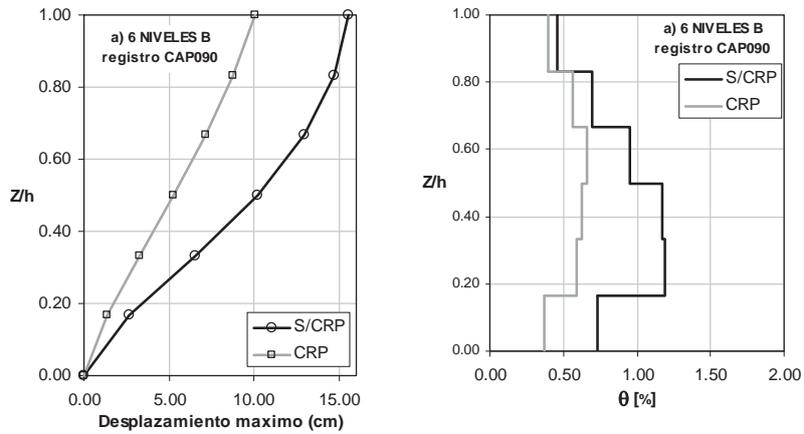


Figura 4.51.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.51.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro LP89CAP).

Para el registro NR94CNP (AMT=0.420[g])

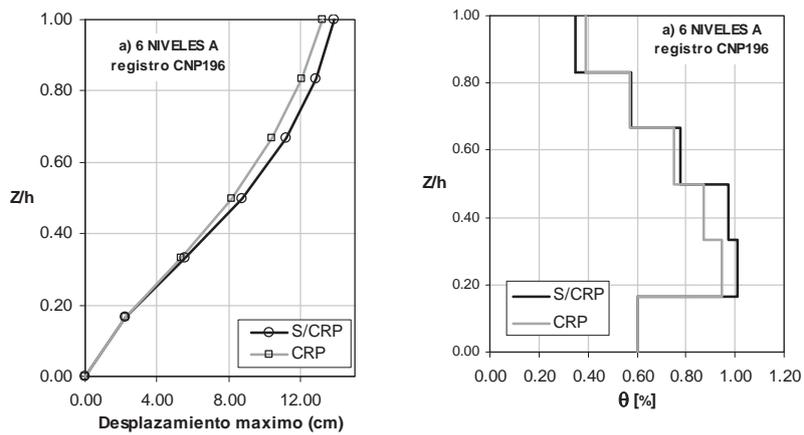


Figura 4.52.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.52.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94CNP).

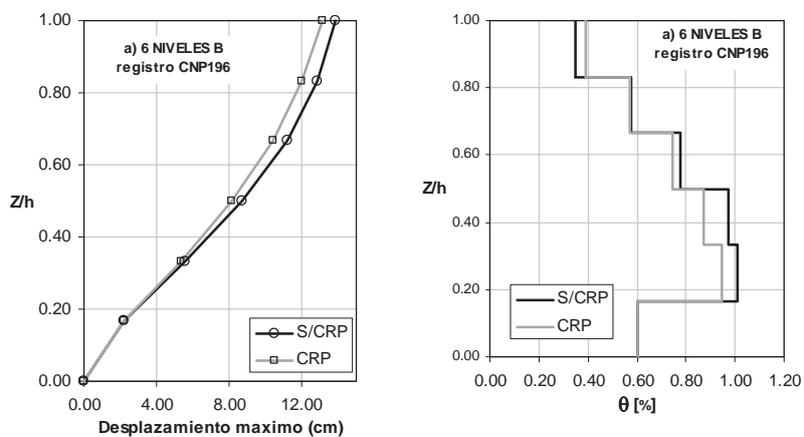


Figura 4.53.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.53.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94CNP).

Para el registro **LP89G03** (AMT=0.367[g])

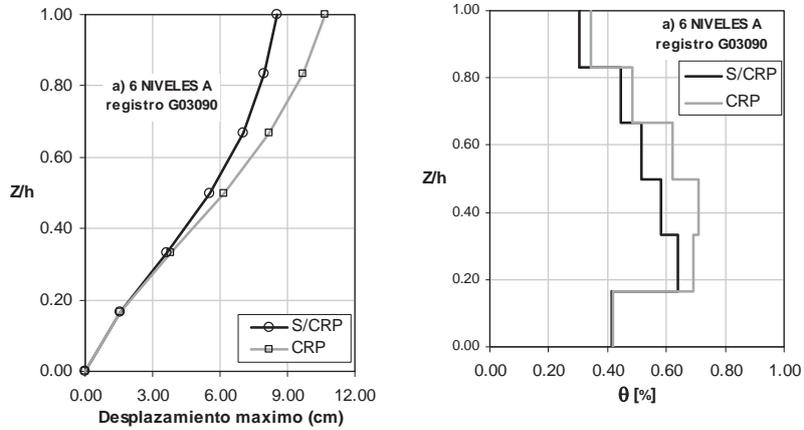


Figura 4.54.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.54.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro LP89G03).

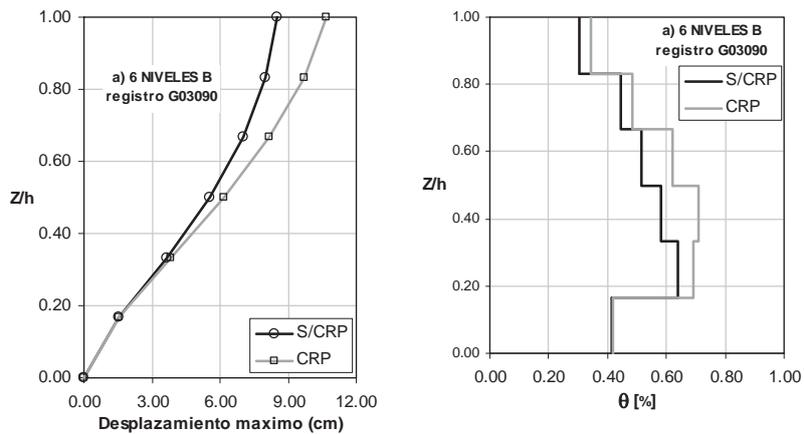


Figura 4.55.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.55.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro LP89G03).

Para el registro NR94STC (AMT=0.368[g])

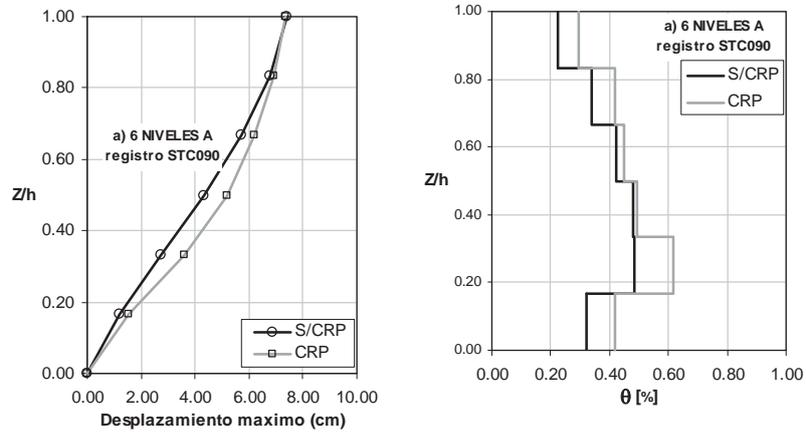


Figura 4.56.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.56.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94STC).

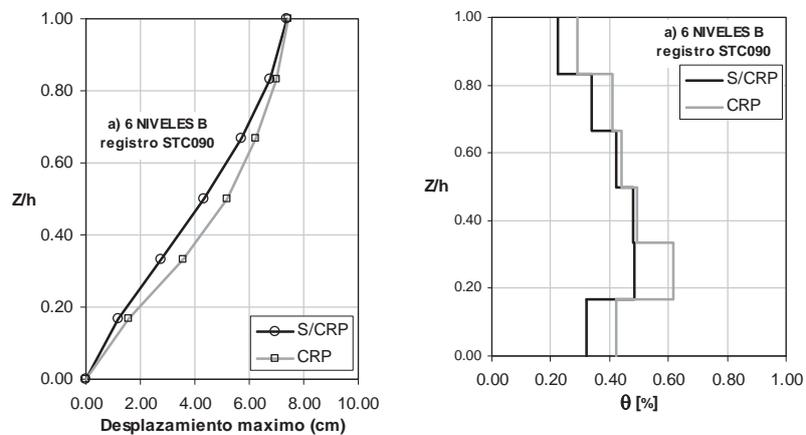


Figura 4.57.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.57.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94STC).

Para el registro NR94STN (AMT=0.474[g])

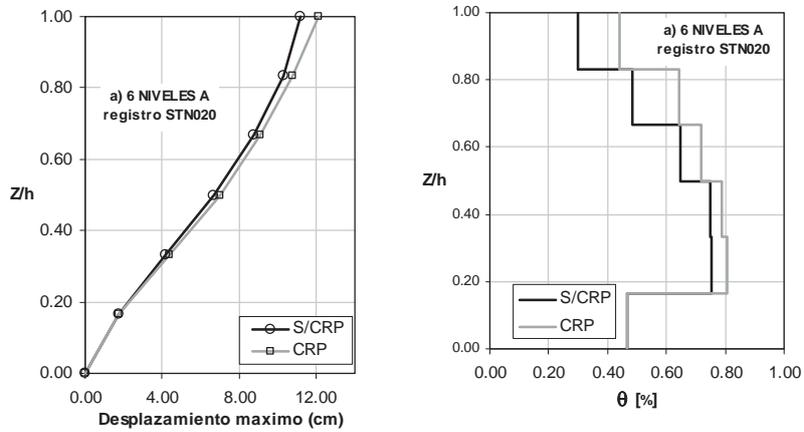


Figura 4.58.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CA, Figura 4.58.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94STN).

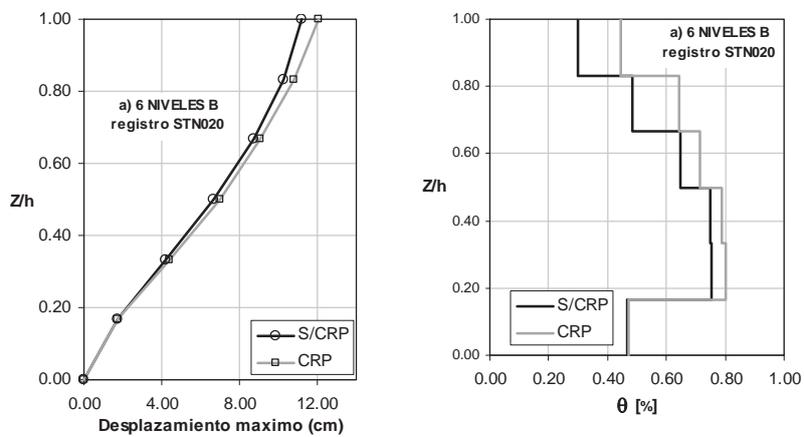


Figura 4.59.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 6CB, Figura 4.59.b. Distorsión máxima del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94STN).

Resultados de desplazamientos Residuales

Para el registro **LP89CAP** (AMT=0.443[g])

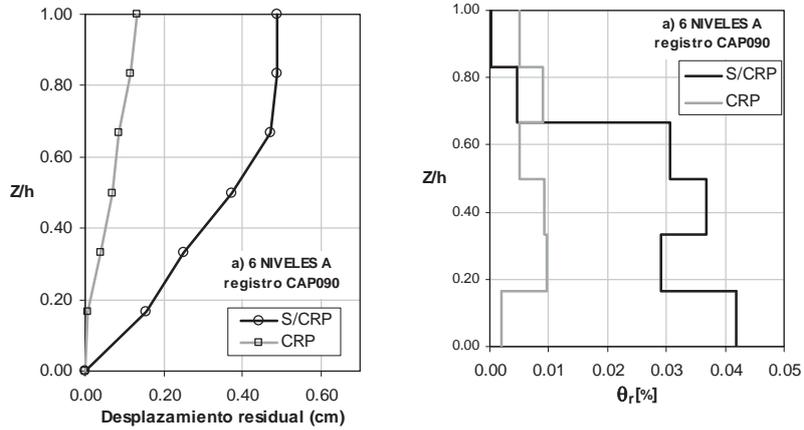


Figura 4.60.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.60.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro LP89CAP).

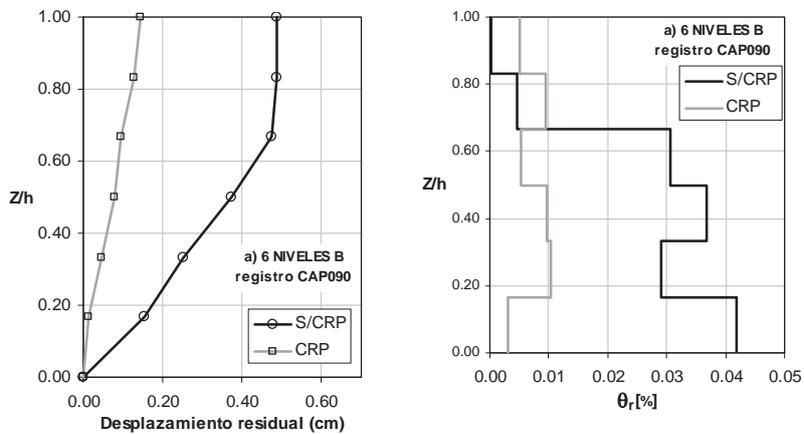


Figura 4.61.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.61.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro LP89CAP).

Para el registro NR94CNP (AMT=0.420[g])

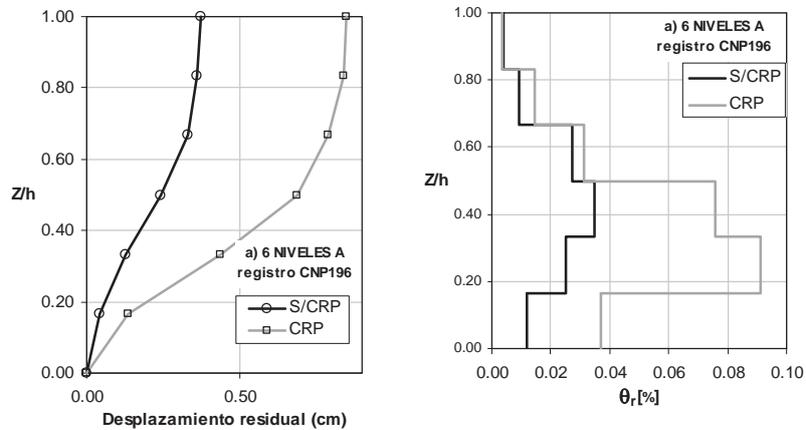


Figura 4.62.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.62.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94CNP).

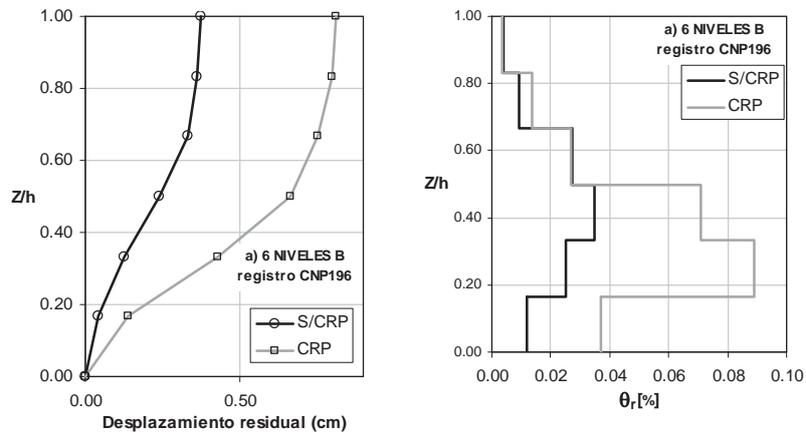


Figura 4.63.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.63.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94CNP).

Para el registro **LP89G03** (AMT=0.367[g])

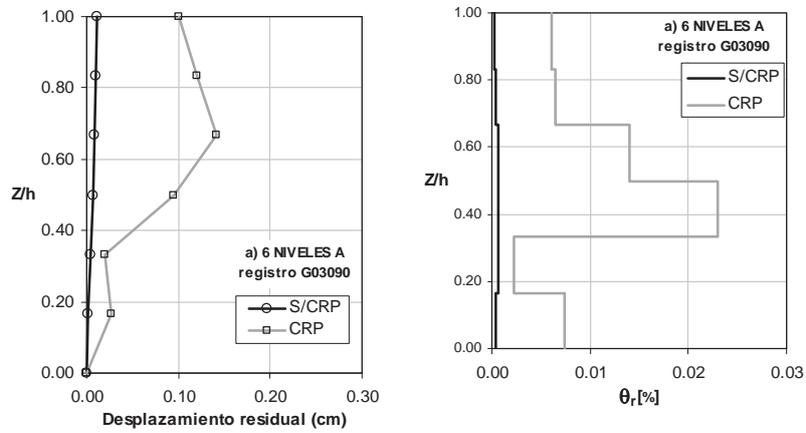


Figura 4.64.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.64.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro LP89G03).

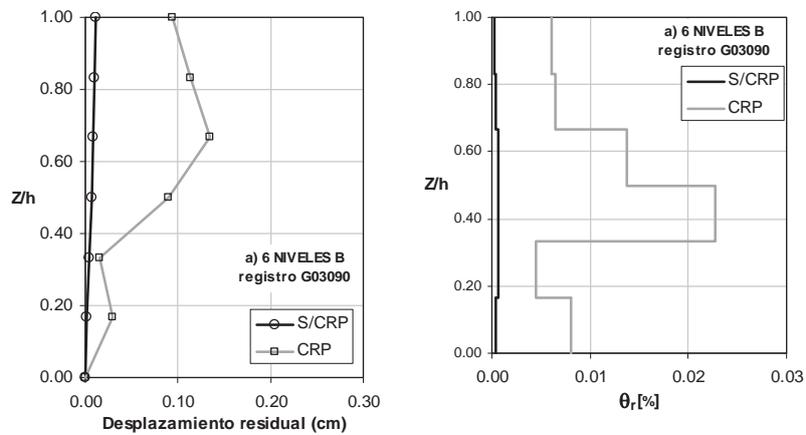


Figura 4.65.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.65.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro LP89G03).

Para el registro NR94STC (AMT=0.368[g])

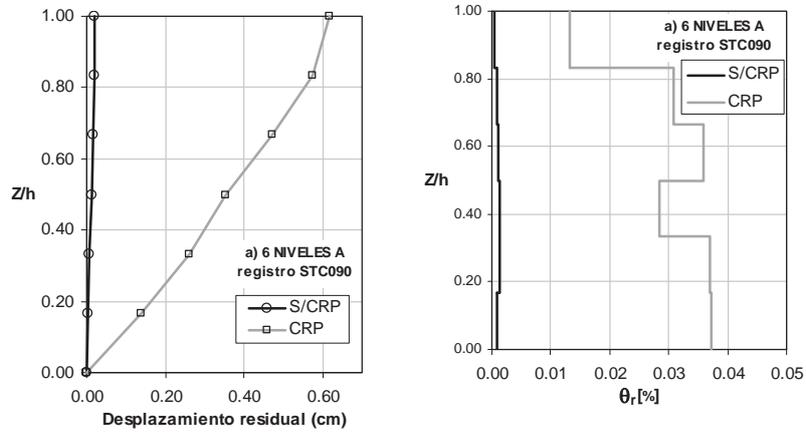


Figura 4.66.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.66.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94STC).

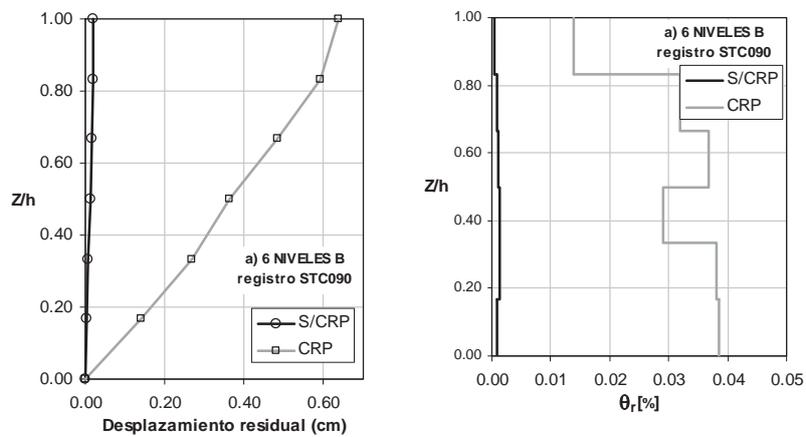


Figura 4.67.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.67.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94STC).

Para el registro NR94STN (AMT=0.474[g])

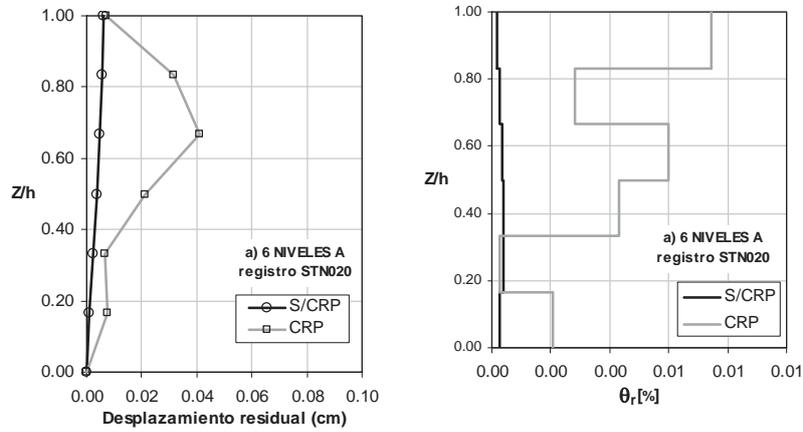


Figura 4.68.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CA, Figura 4.68.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CA (ambas para el registro NR94STN).

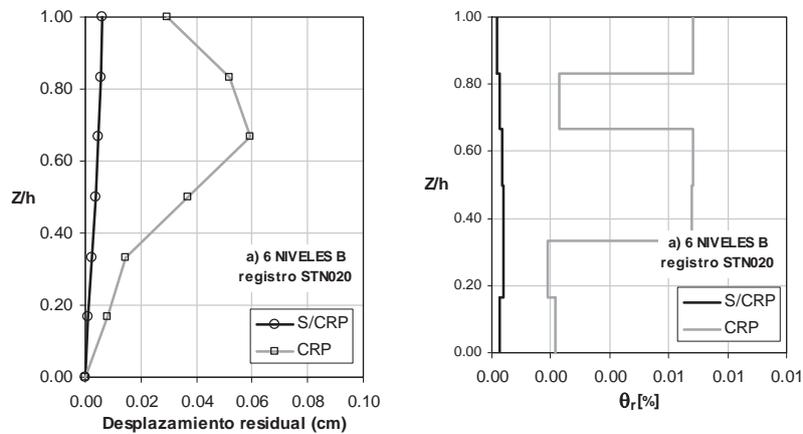


Figura 4.69.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 6CB, Figura 4.69.b. Distorsión residual del análisis del marco 6CB (ambas para el registro NR94STN).

4.4.3 Edificio de 9 niveles

Resultados de desplazamientos máximos

Para el registro LP89CAP (AMT=0.443[g])

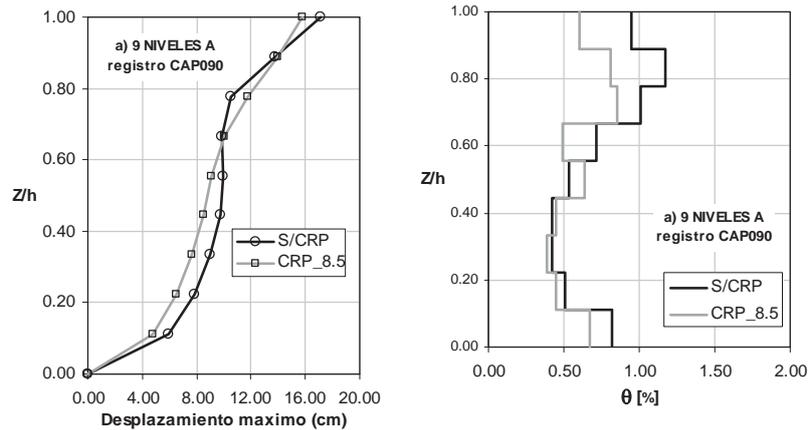


Figura 4.70.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.70.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro LP89CAP).

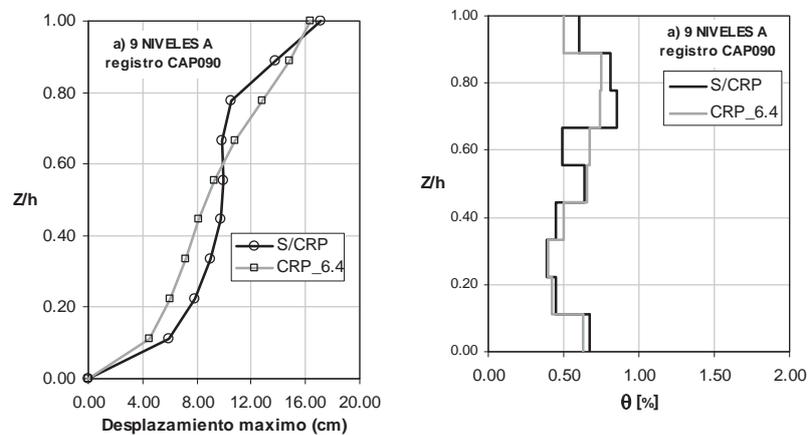


Figura 4.71.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.71.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro LP89CAP).

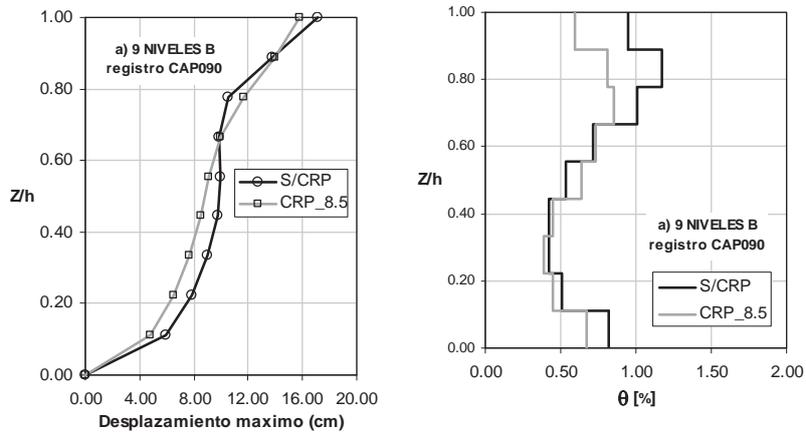


Figura 4.72.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8B, Figura 4.72.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro LP89CAP).

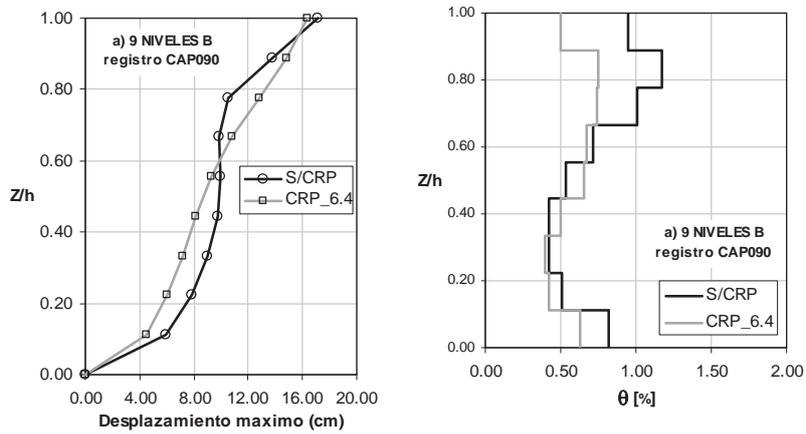


Figura 4.73.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6B, Figura 4.73.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro LP89CAP).

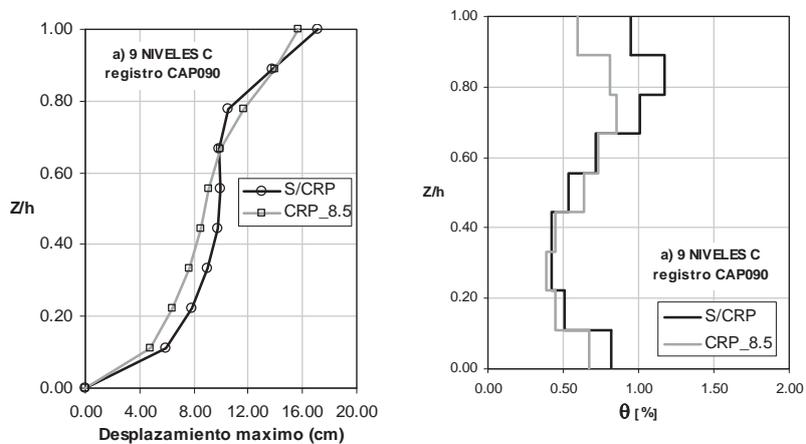


Figura 4.74.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8C, Figura 4.74.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro LP89CAP).

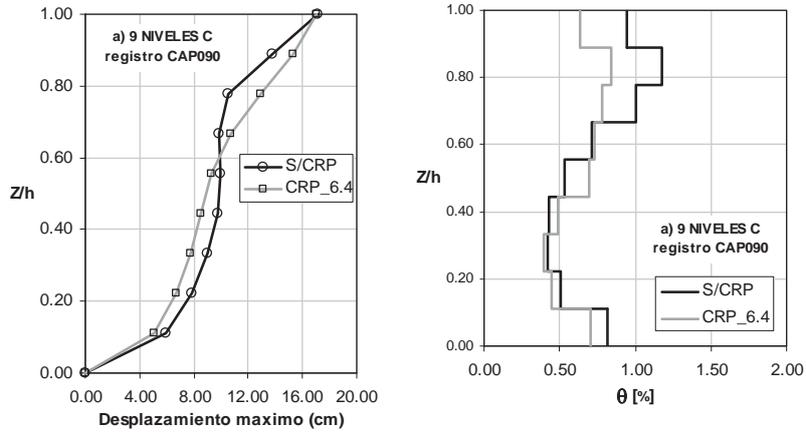


Figura 4.75.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.75.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro LP89CAP).

Para el registro NR94CNP (AMT=0.420[g])

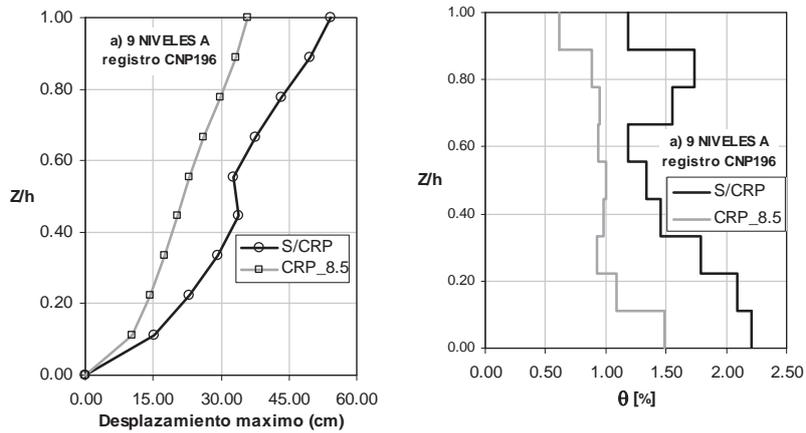


Figura 4.76.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.76.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94CNP).

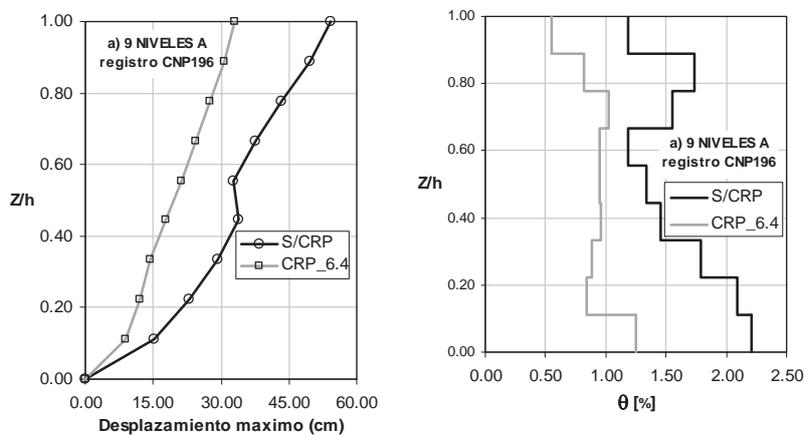


Figura 4.77.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.77.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94CNP).

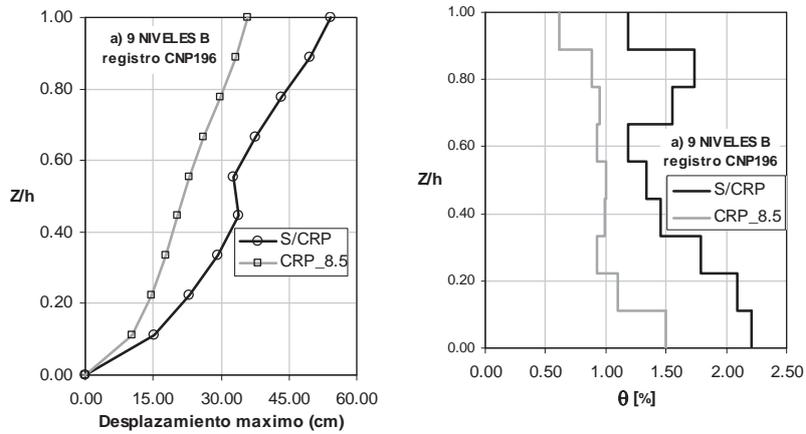


Figura 4.78.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8B, Figura 4.78.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94CNP).

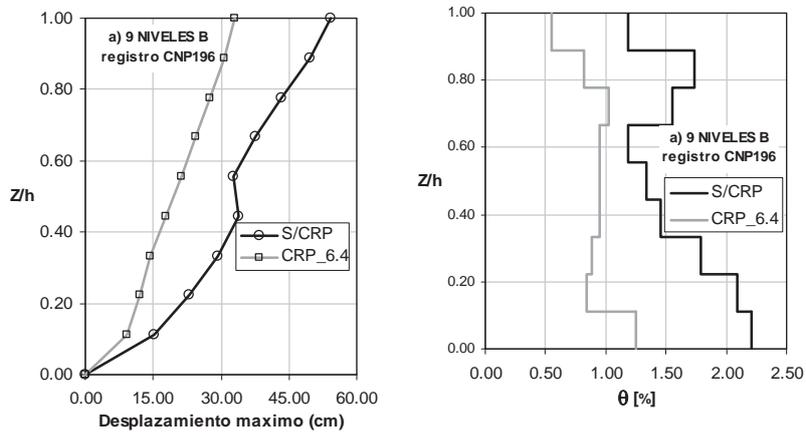


Figura 4.79.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6B, Figura 4.79.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94CNP).

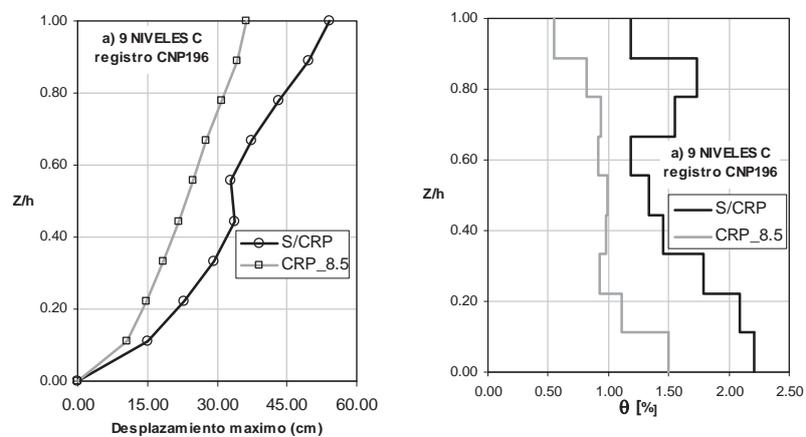


Figura 4.80.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8C, Figura 4.80.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94CNP).

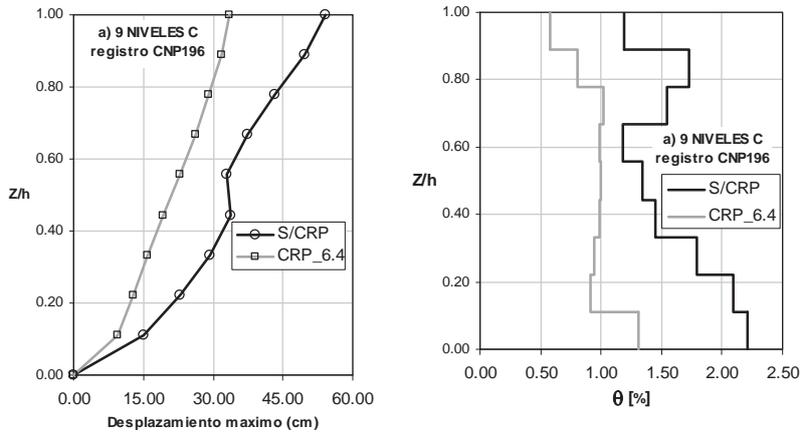


Figura 4.81.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.81.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94CNP).

Para el registro **LP89G03** (AMT=0.367[g])

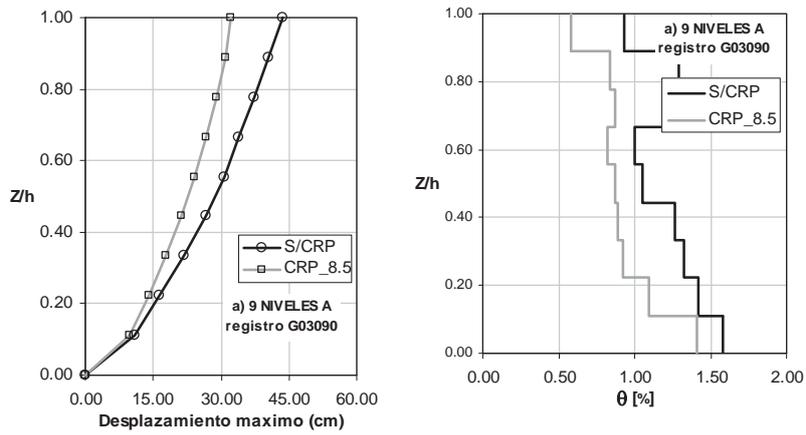


Figura 4.82.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.82.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro LP89G03).

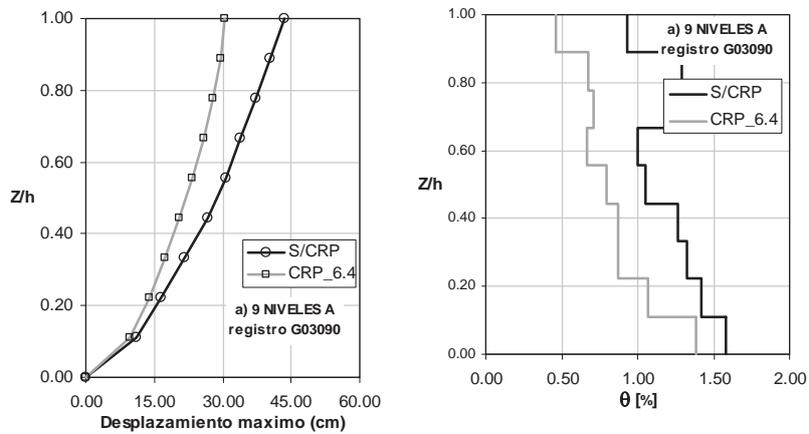


Figura 4.83.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.83.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro LP89G03).

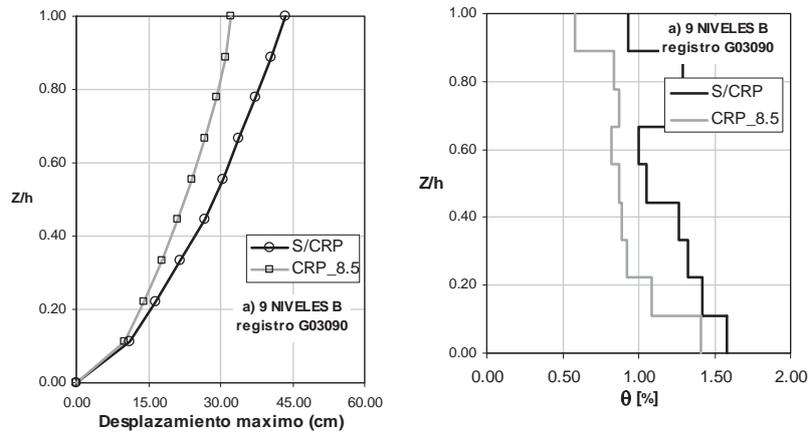


Figura 4.84.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8B, Figura 4.84.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro LP89G03).

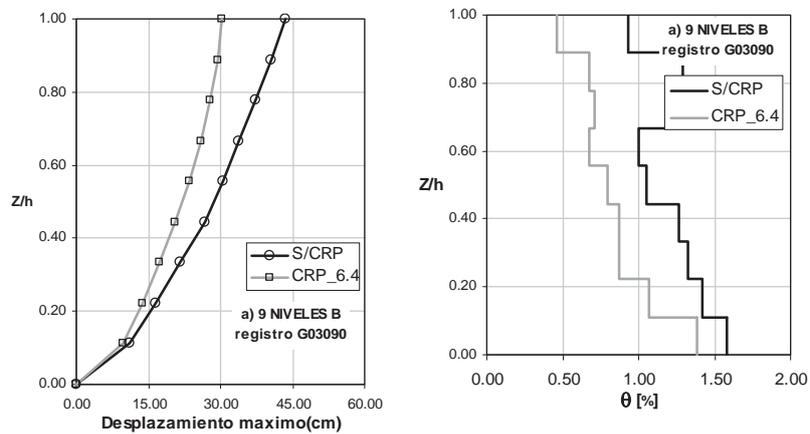


Figura 4.85.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6B, Figura 4.85.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro LP89G03).

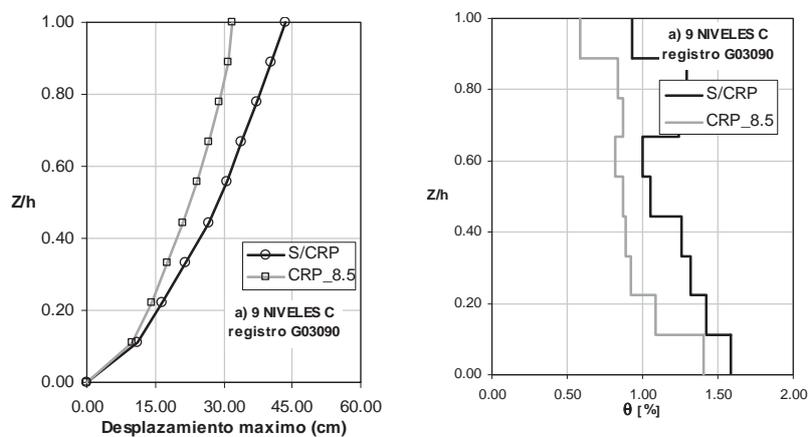


Figura 4.86.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8C, Figura 4.86.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro LP89G03).

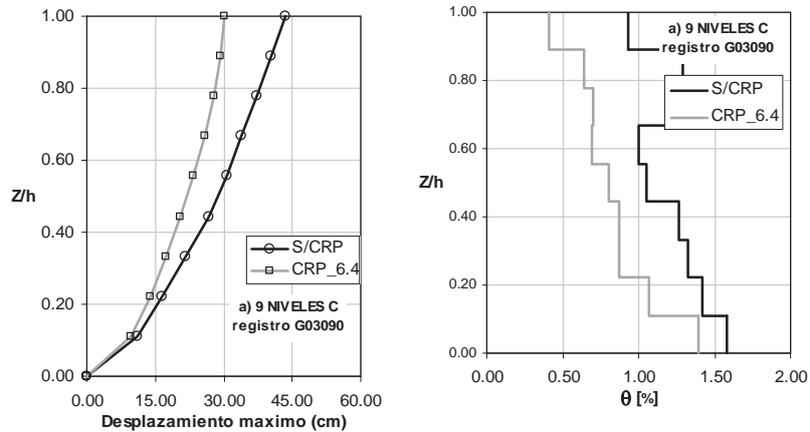


Figura 4.87.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.87.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro LP89G03).

Para el registro **NR94STC (AMT=0.368[g])**

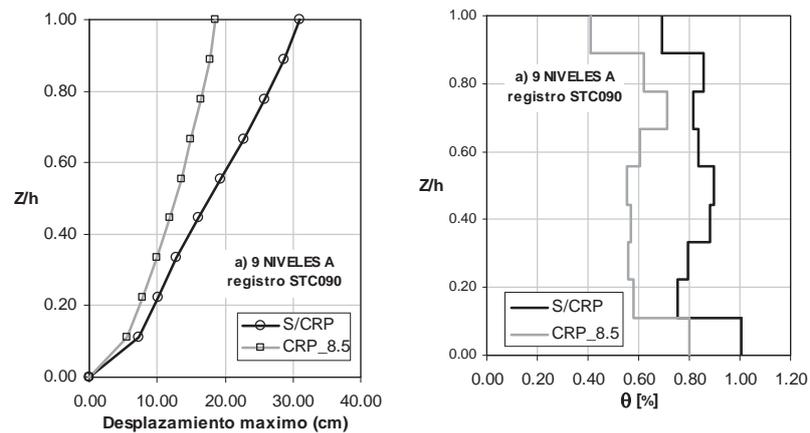


Figura 4.88.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.88.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94STC).

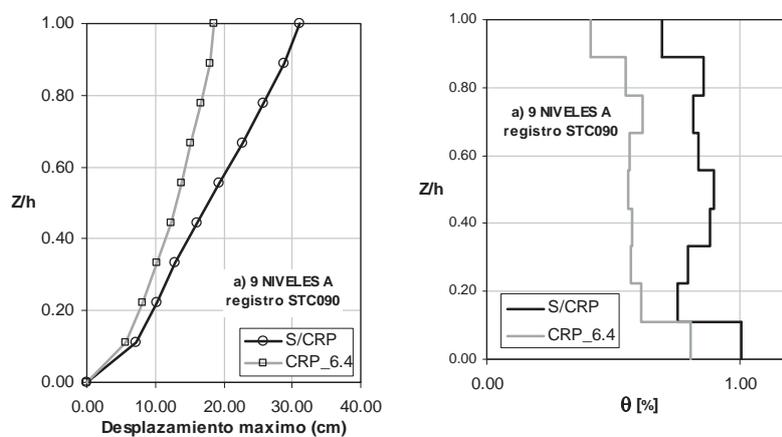
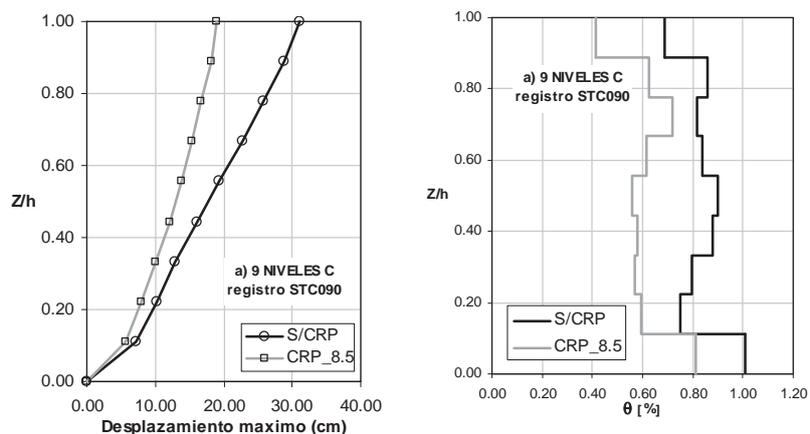
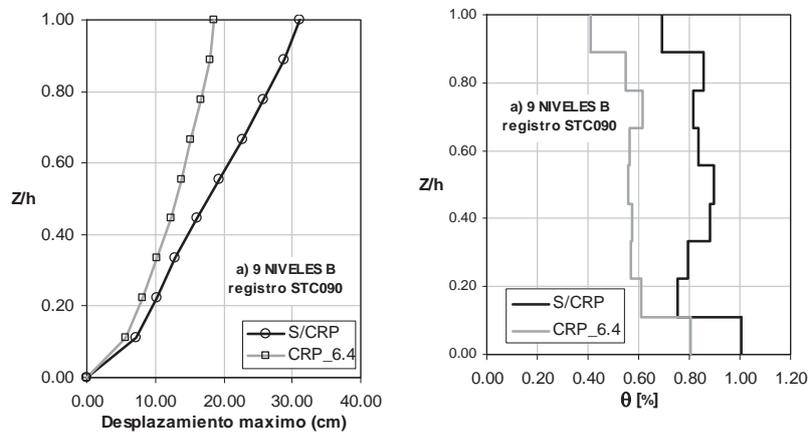
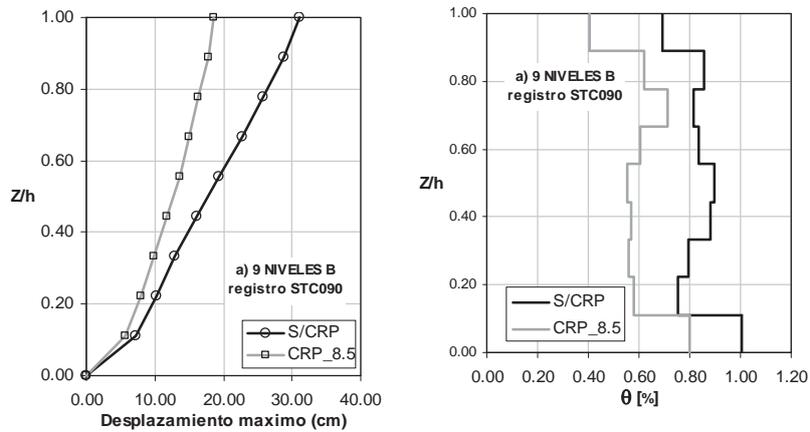


Figura 4.89.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.89.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94STC).



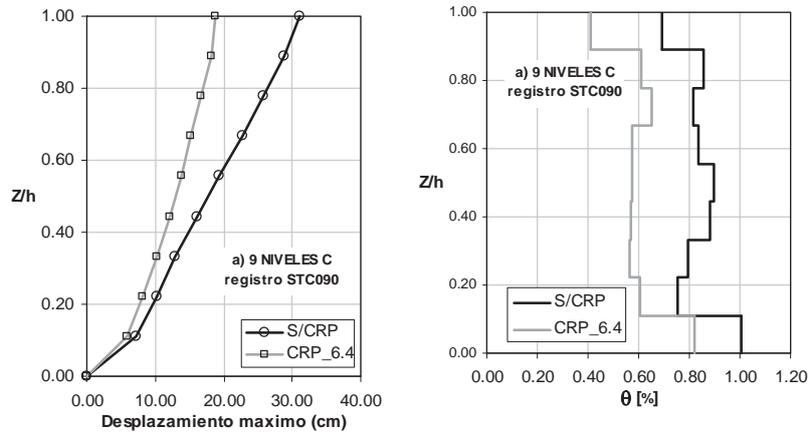


Figura 4.93.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.93.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94STC).

Para el registro **NR94STN (AMT=0.474[g])**

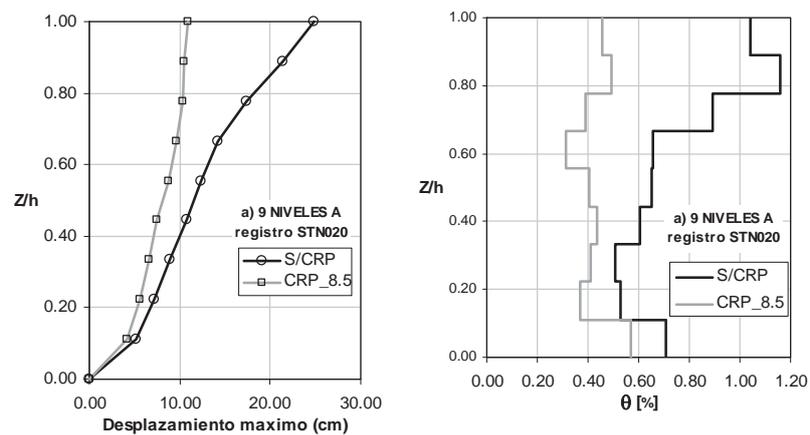


Figura 4.94.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8A, Figura 4.94.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94STN).

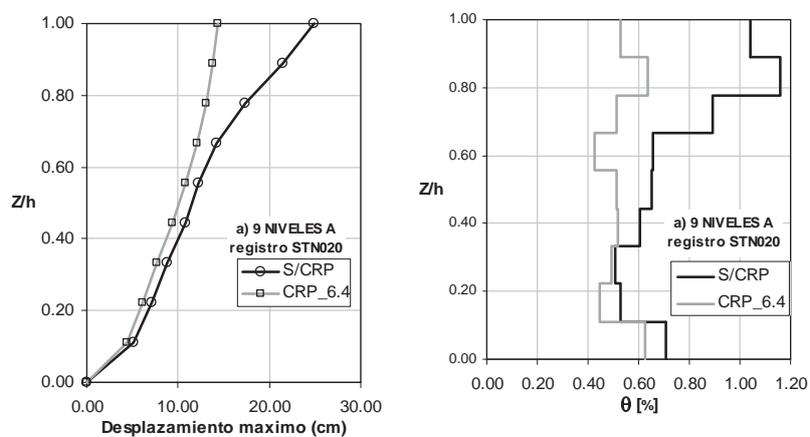


Figura 4.95.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6A, Figura 4.95.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94STN).

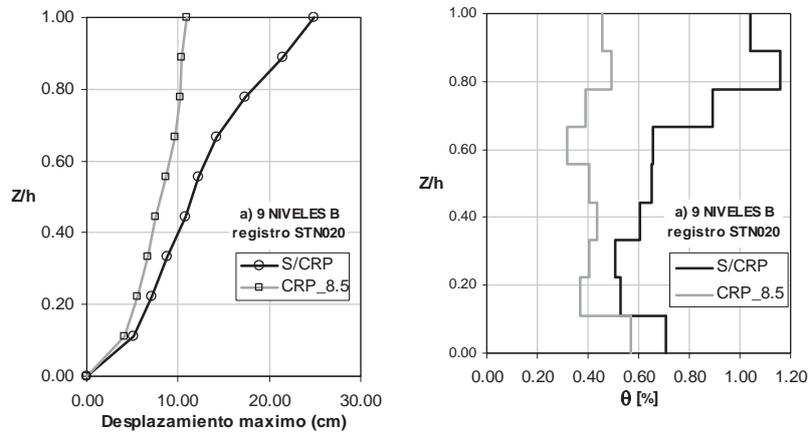


Figura 4.96.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8B, Figura 4.96.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94STN).

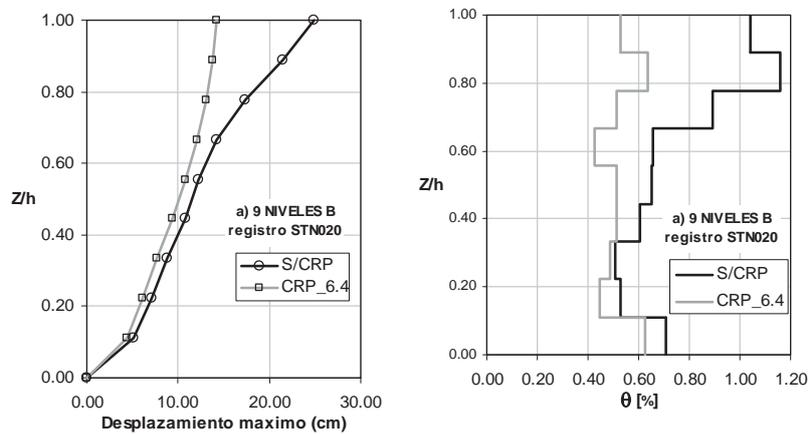


Figura 4.97.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6B, Figura 4.97.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94STN).

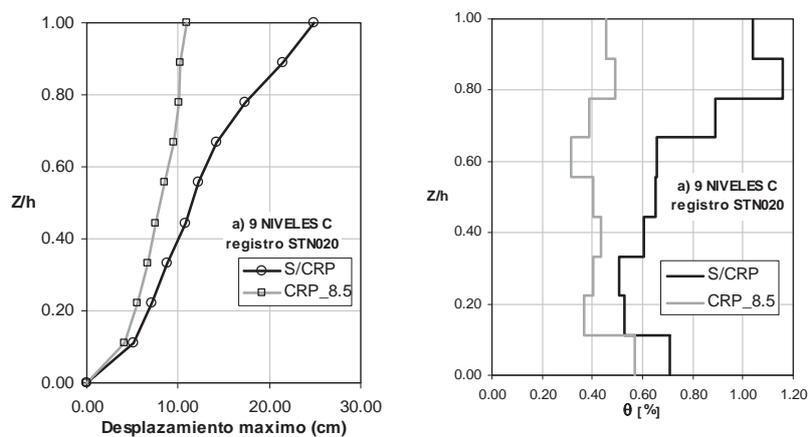


Figura 4.98.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C8C, Figura 4.98.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94STN).

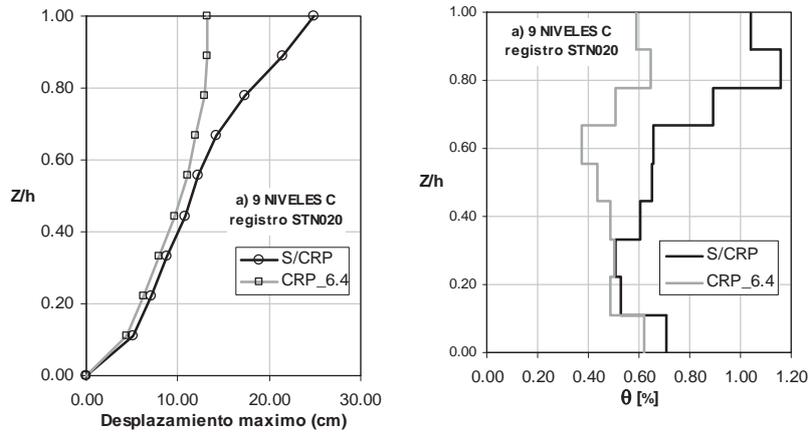


Figura 4.99.a. Desplazamientos máximos del análisis del marco 9C6C, Figura 4.99.b. Distorsión máxima del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94STN).

Resultados de desplazamientos Residuales

Para el registro **LP89CAP (AMT=0.443[g])**

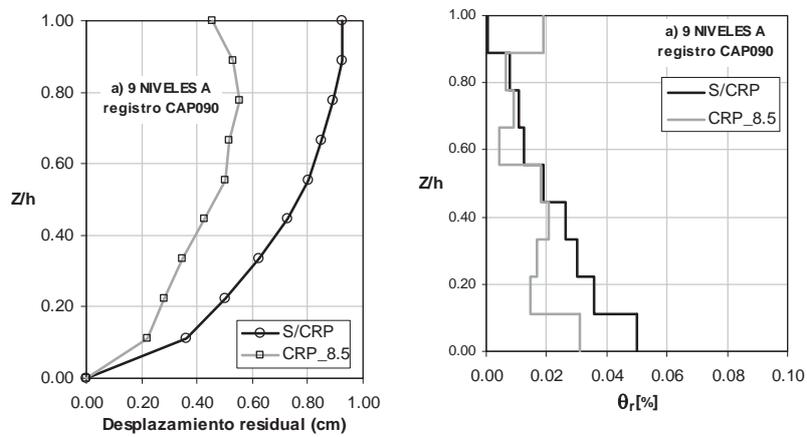


Figura 4.100.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8A, Figura 4.100.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro LP89CAP).

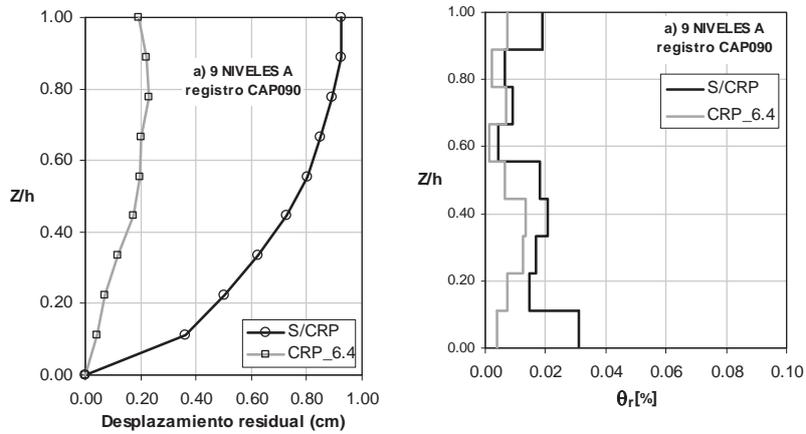


Figura 4.101.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.101.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro LP89CAP).

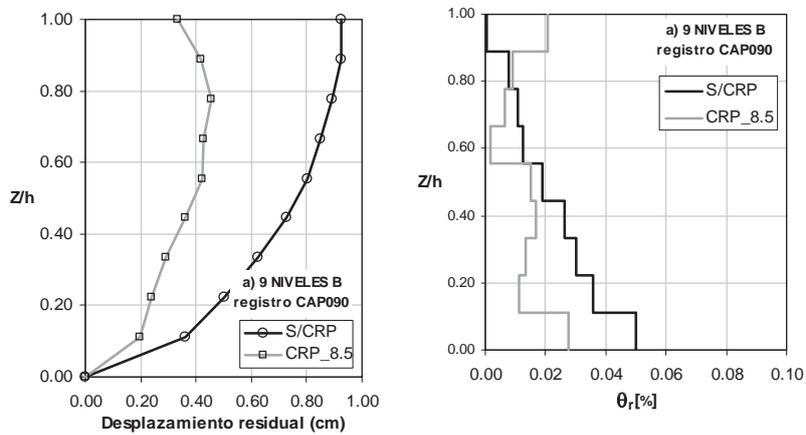


Figura 4.102.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.102.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro LP89CAP).

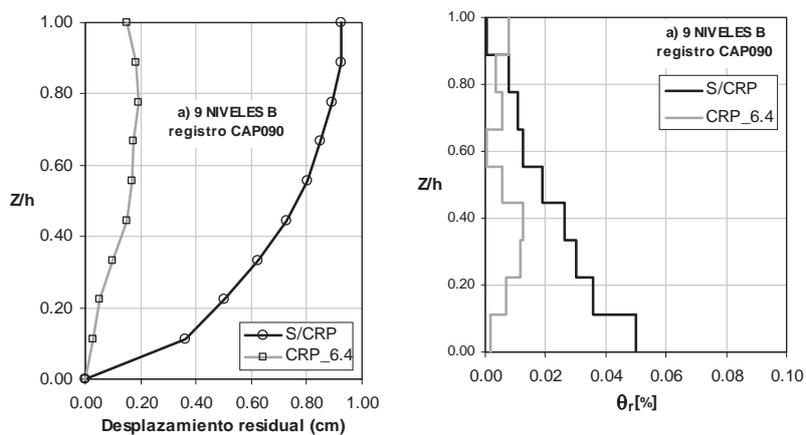


Figura 4.103.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.103.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro LP89CAP).

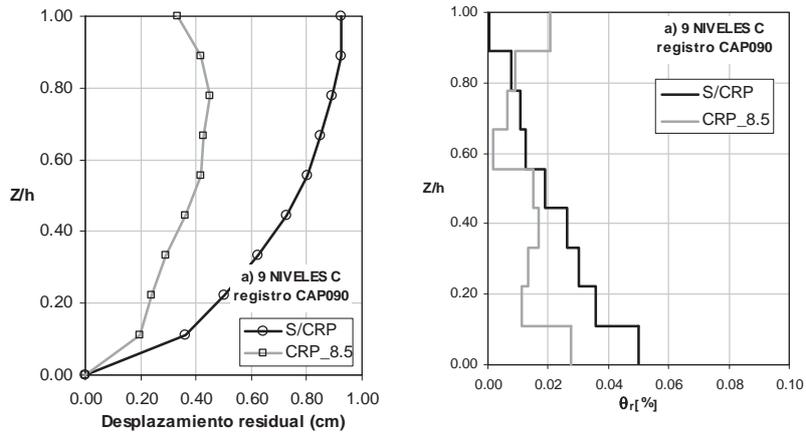


Figura 4.104.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8C, Figura 4.104.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro LP89CAP).

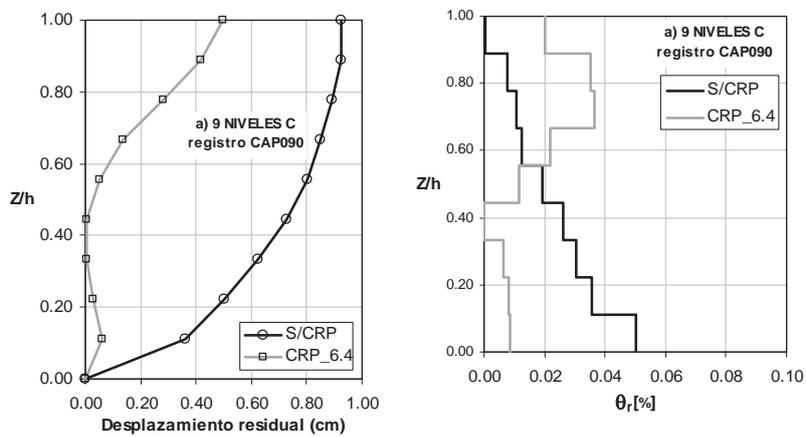


Figura 4.105.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6C, Figura 4.105.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro LP89CAP).

Para el registro NR94CNP (AMT=0.420[g])

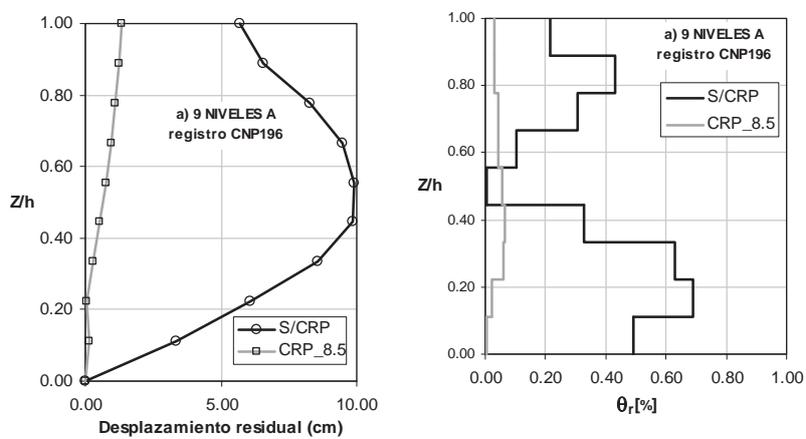


Figura 4.106.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8A, Figura 4.106.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94CNP).

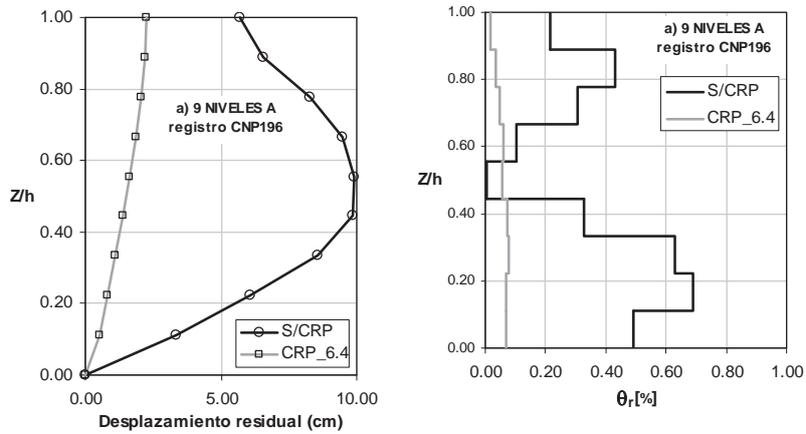


Figura 4.107.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.107.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94CNP).

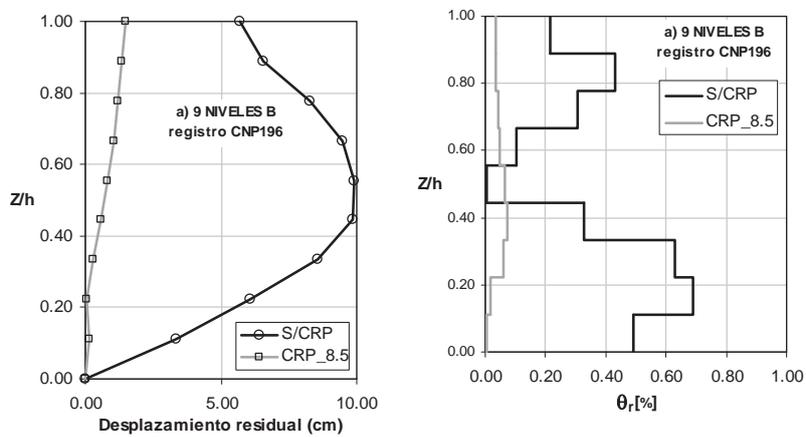


Figura 4.108.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.108.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94CNP).

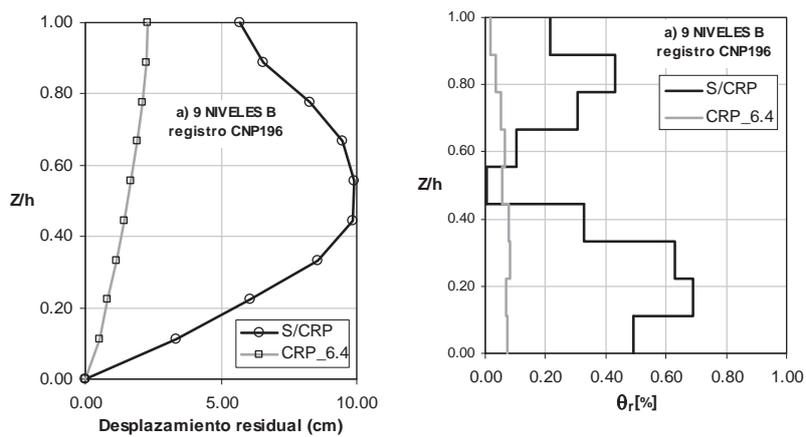
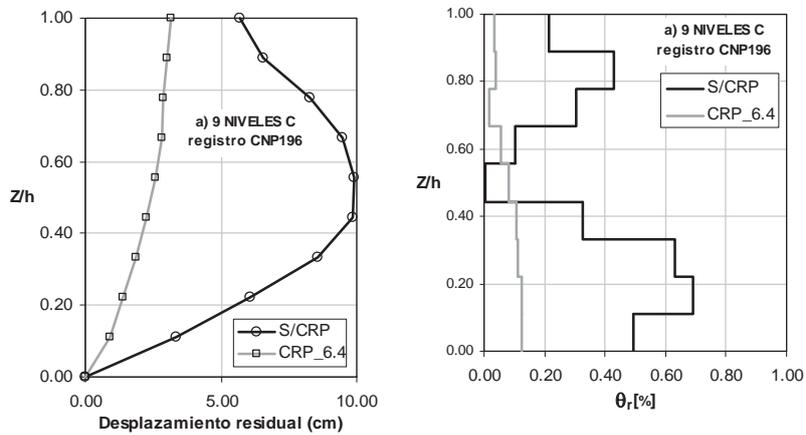
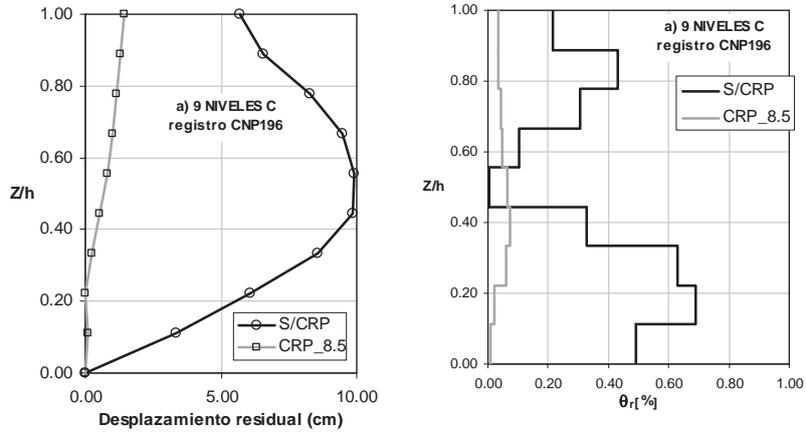
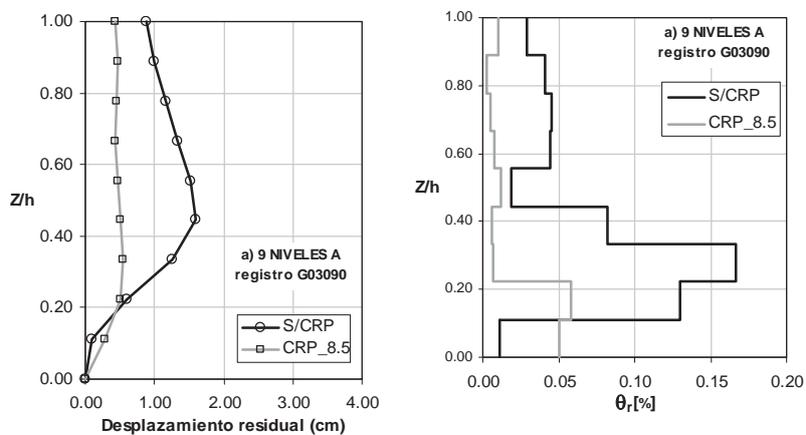


Figura 4.109.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.109.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94CNP).



Para el registro **LP89G03** (AMT=0.367[g])



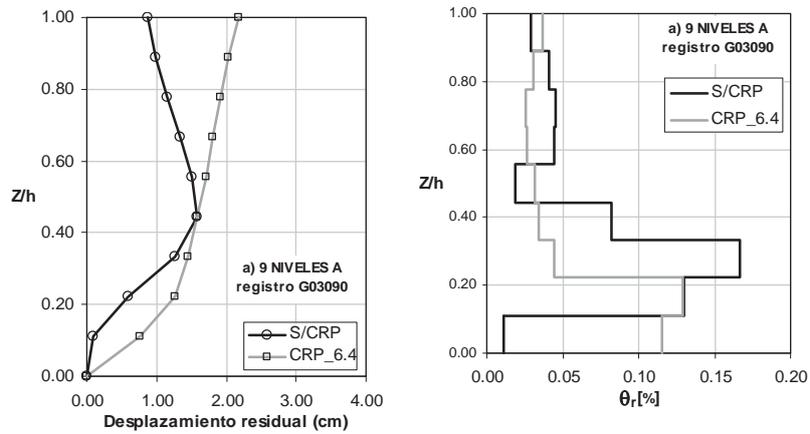


Figura 4.113.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.113.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro LP89G03).

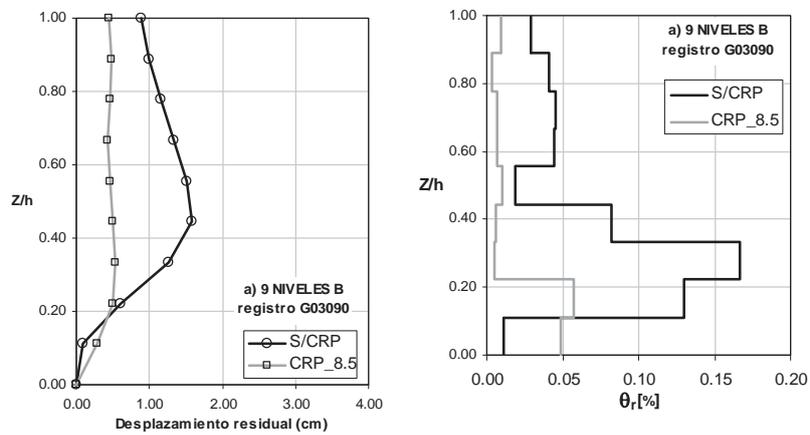


Figura 4.114.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.114.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro LP89G03).

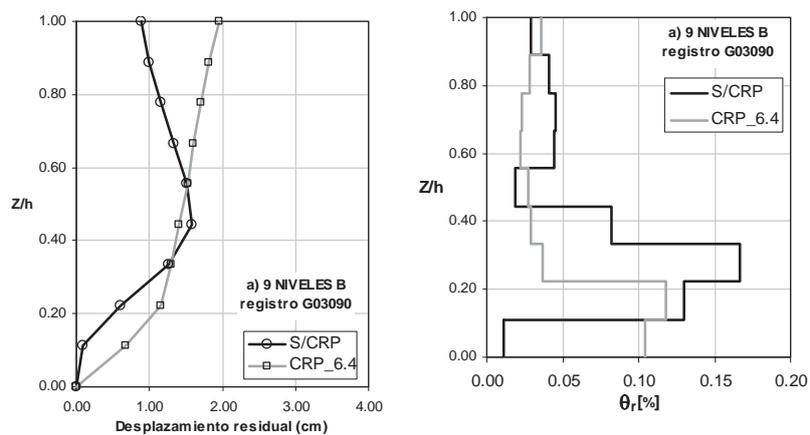


Figura 4.115.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.115.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro LP89G03).

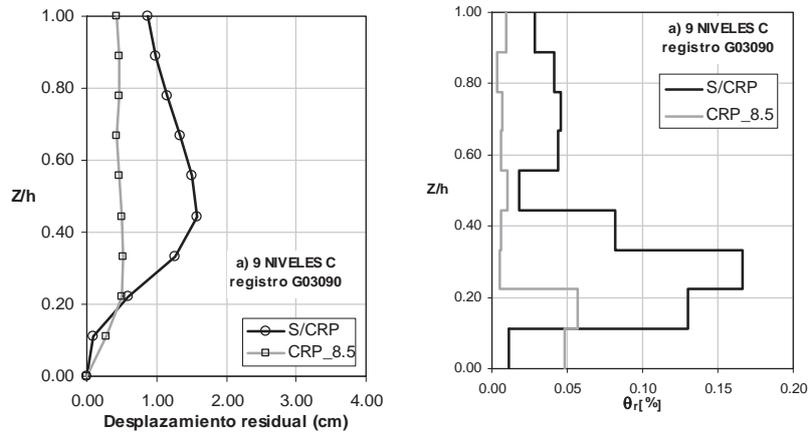


Figura 4.116.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8C, Figura 4.116.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro LP89G03).

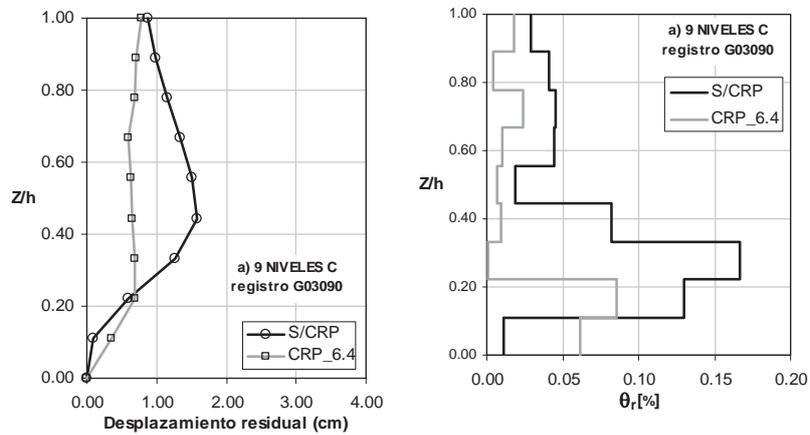


Figura 4.117.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6C, Figura 4.117.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro LP89G03).

Para el registro NR94STC (AMT=0.368[g])

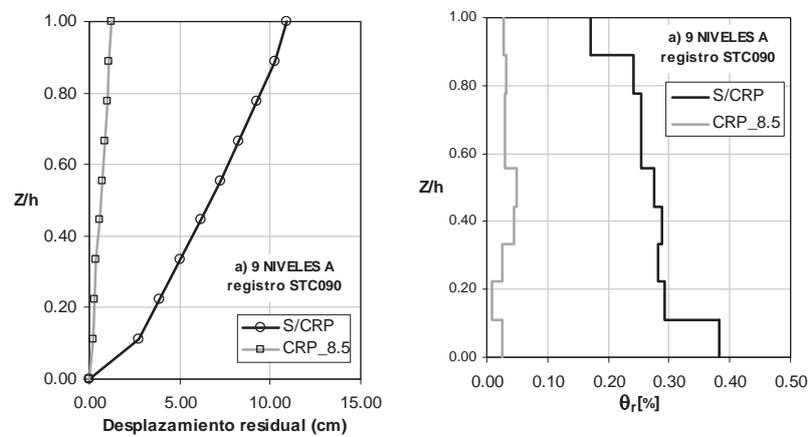


Figura 4.118.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8A, Figura 4.118.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94STC).

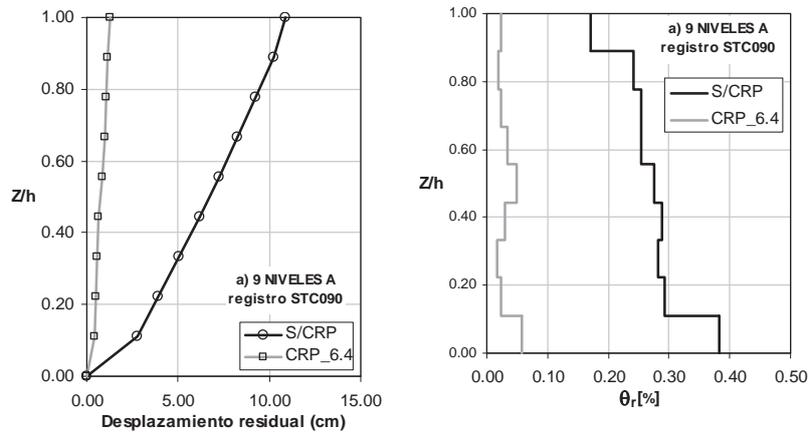


Figura 4.119.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.119.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94STC).

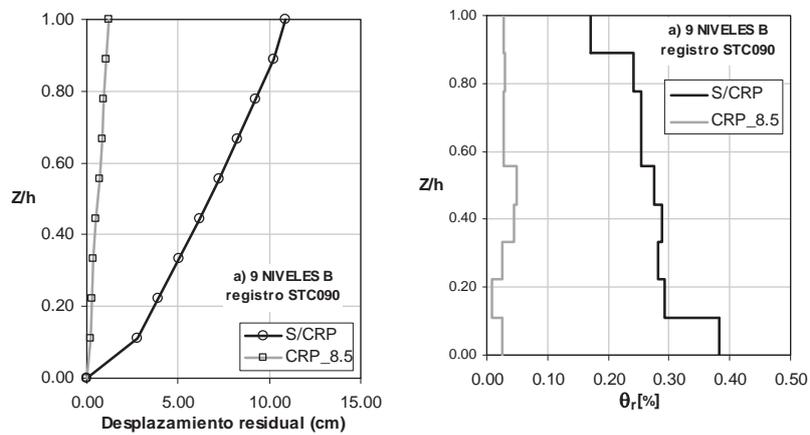


Figura 4.120.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.120.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94STC).

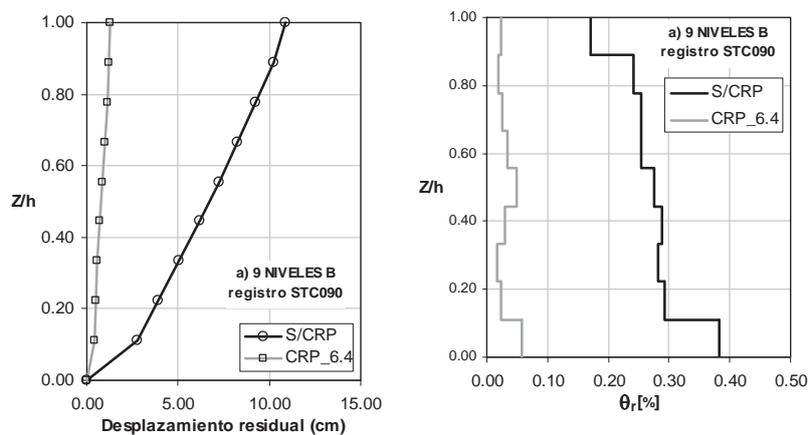


Figura 4.121.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.121.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94STC).

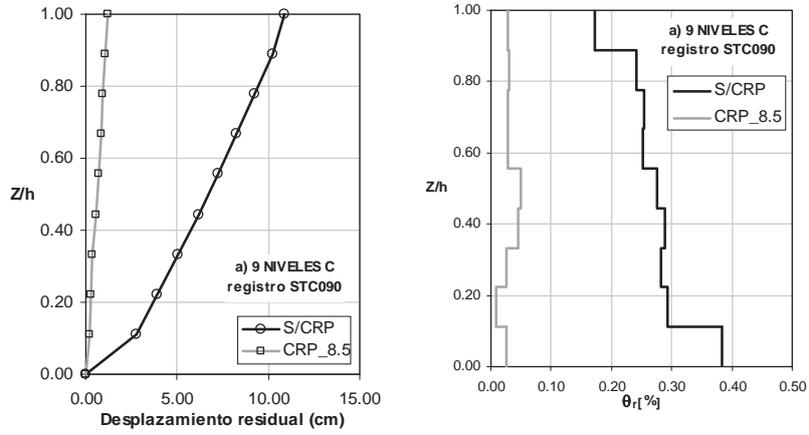


Figura 4.122.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8C, Figura 4.122.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94STC).

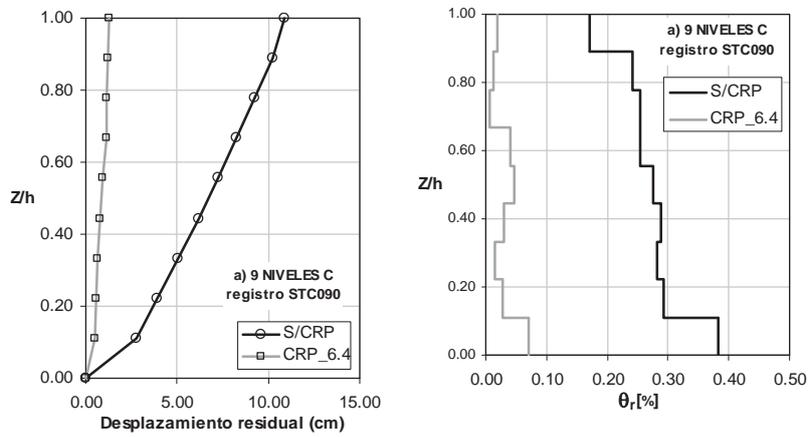


Figura 4.123.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6C, Figura 4.123.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94STC).

Para el registro NR94STN (AMT=0.474[g])

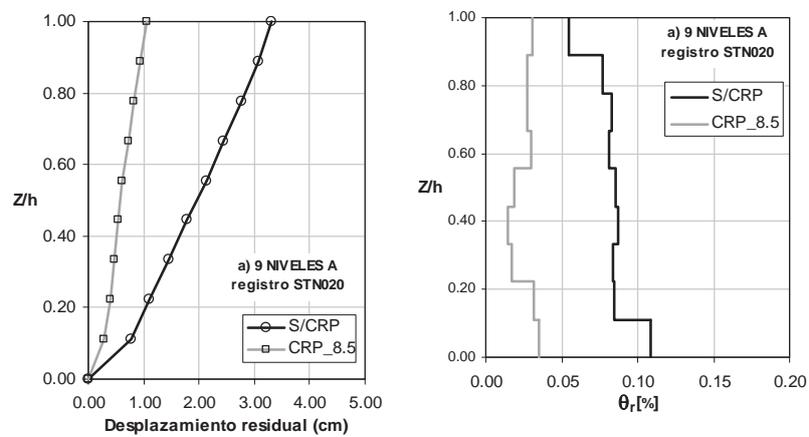


Figura 4.124.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8A, Figura 4.124.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8A (ambas para el registro NR94STN).

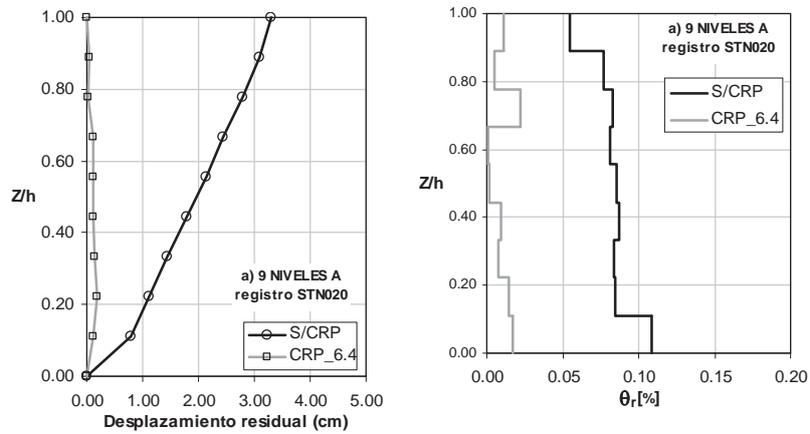


Figura 4.125.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6A, Figura 4.125.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6A (ambas para el registro NR94STN).

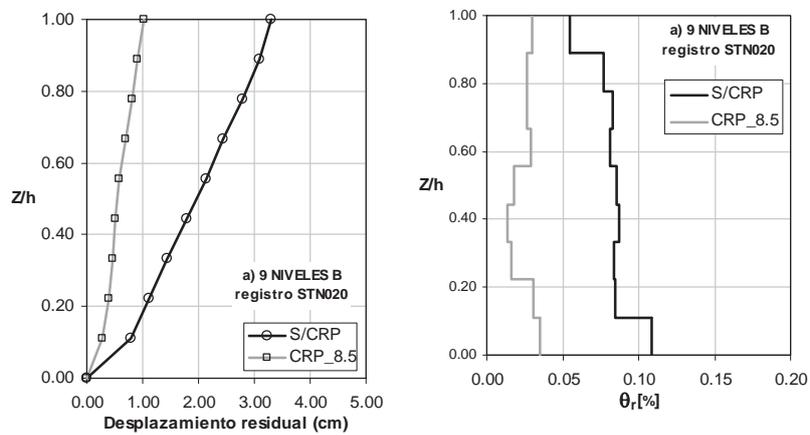


Figura 4.126.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8B, Figura 4.126.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8B (ambas para el registro NR94STN).

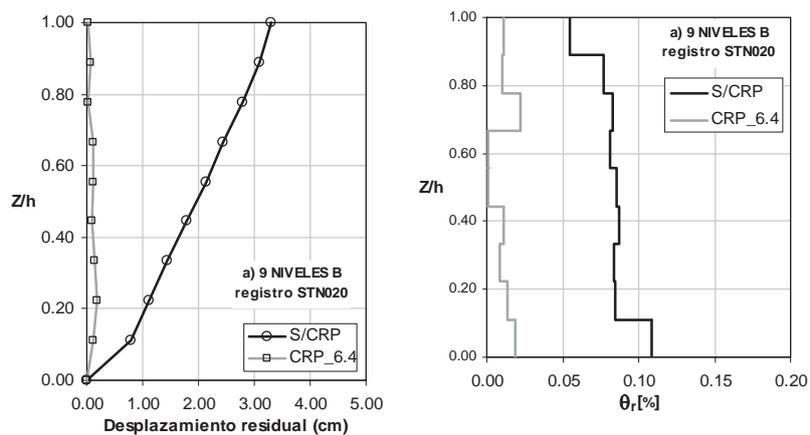


Figura 4.127.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6B, Figura 4.127.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6B (ambas para el registro NR94STN).

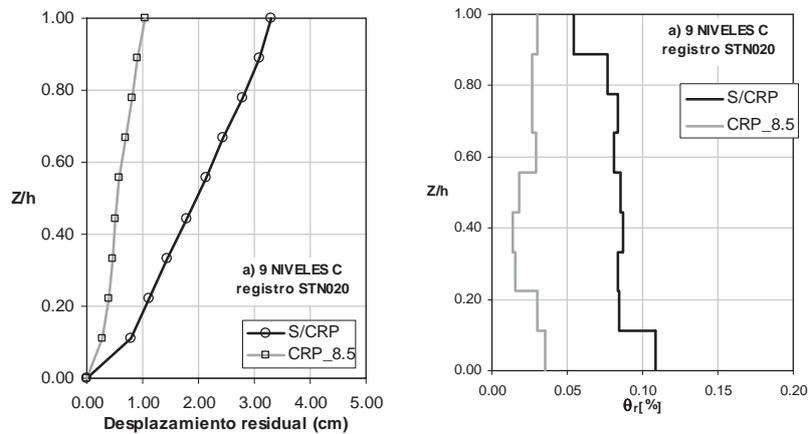


Figura 4.128.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C8C, Figura 4.128.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C8C (ambas para el registro NR94STN).

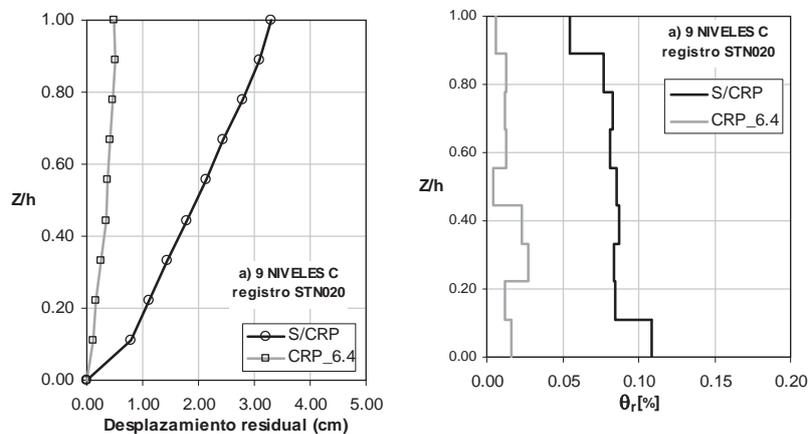


Figura 4.129.a. Desplazamientos residuales del análisis del marco 9C6C, Figura 4.129.b. Distorsión residual del análisis del marco 9C6C (ambas para el registro NR94STN).

Además de los análisis independientes anteriores, se determinaron los resultados para el catálogo de sismos mencionados, el cual, contiene 40 secuencias. De los resultados obtenidos de los análisis, se realizó una estadística de los datos de desplazamientos tanto máximos como residuales, en las tablas 4.13 y 4.14 se muestra la estadística de los resultados obtenidos.

Tabla 4.13. Medidas de tendencia central.

Edificio	media		mediana	
	θ	θ_r	θ	θ_r
3C6A	0.763	0.541	0.578	0.441
3C8A	0.780	0.556	0.602	0.471
3C6B	0.791	0.543	0.586	0.418
3C8B	0.822	0.564	0.646	0.458
6CA	0.474	0.337	0.418	0.283
6CB	0.474	0.337	0.418	0.284
9C6A	0.712	0.710	0.590	0.585
9C8A	0.745	0.744	0.682	0.682
9C6B	0.712	0.710	0.591	0.586
9C8B	0.746	0.745	0.685	0.685
9C6C	0.720	0.717	0.644	0.640
9C8C	0.745	0.745	0.684	0.684

Tabla 4.14 Medidas de dispersión

Edificio	COV		σ_{inx}	
	θ	θ_r	θ	θ_r
3C6A	0.618	0.577	0.605	0.581
3C8A	0.614	0.568	0.614	0.592
3C6B	0.609	0.572	0.606	0.596
3C8B	0.599	0.569	0.611	0.608
6CA	0.564	0.501	0.588	0.509
6CB	0.564	0.501	0.589	0.509
9C6A	0.556	0.558	0.559	0.560
9C8A	0.559	0.560	0.568	0.568
9C6B	0.556	0.559	0.560	0.561
9C8B	0.560	0.561	0.568	0.568
9C6C	0.559	0.564	0.565	0.570
9C8C	0.562	0.562	0.573	0.573

Capítulo 5

CONCLUSIONES

1.1 RESUMEN

A continuación se hará una breve descripción de lo más importante en el contenido de esta tesis, resumiéndolo para recordar lo visto.

Al inicio, se hizo una descripción resumida de los estudios previos en contraventeos restringidos contra pandeo desde hace varias décadas y además se revisaron los resultados de los distintos autores, en donde se observó la importancia de el estudio de los CRP, así como del efecto que puede resultar al utilizar distintos tipos de materiales y de configuraciones para los CRP.

También al inicio de esta investigación se mencionaron las ventajas y las desventajas del uso de estos contraventeos, tomando en cuenta los resultados de los estudios de los investigadores alrededor del mundo, así como tomando en cuenta que este tipo de contraventeos aun no son comercializados en México.

Además de lo anterior, se propuso el estudio de tres edificios de acero de 3, 6 y 9 pisos, de los cuales dos fueron diseñados para el área de los Ángeles California en EU. y el otro fue diseñado para la Ciudad de México. Asimismo, los edificios fueron modelados de acuerdo a su diseño y mediante el uso de un catálogo de sismos de 40 acelerogramas, se realizó un análisis dinámico para dichos marcos con el programa Ruaumoko.

Después del análisis de los edificios originales, se propuso la inclusión de CRP, los cuales fueron diseñados al principio del capítulo 4, y además se propusieron distintas opciones de disposición de los contraventeos en los marcos, para posteriormente realizar un análisis dinámico de estos marcos pero ahora con los CRP incluidos.

Al final de la investigación realizó una comparación de los desplazamientos que se obtuvieron en los marcos sin CRP con los que los incluían, tomando en cuenta los desplazamientos residuales así como los máximos de cada una de las propuestas.

1.2 CONCLUSIONES

Al final de esta investigación, concluyo que existen varios factores que intervienen en la diferencia de los desplazamientos máximos por lo que los edificios no reducen considerablemente dichos desplazamientos. Asimismo, los desplazamientos residuales si se reducen en un porcentaje mayor, lo que indica que el uso de los CRP nos puede contribuir en una disminución de los mismos.

1.3 INVESTIGACIONES SUGERIDAS

Después de hacer una revisión de lo más relevante de los capítulos de esta investigación se puede hacer mención de algunas de las investigaciones sugeridas para su estudio posterior, una de ellas es el estudio de cómo afecta el número de crujeas en un marco con contraventeos restringidos contra pandeo. Asimismo, otro de los estudios sugeridos sería el de hacer análisis dinámicos para edificios de concreto para poder ver así como se comportan estos ante la adición de los CRP. Otro de los estudios que se puede recomendar para continuar con esta investigación, es el uso de eventos sísmicos que correspondan a los registrados en la Ciudad de México y en la zona sísmica en la que se encuentra.

REFERENCIAS

Edison Ochoa (2003), “COMPARATIVE PARAMETRIC STUDY ON NORMAL AND BUCKING RESTRAINED BRACES” Dissertation.

Uang y Nakashima (2004), “EARTHQUAKE ENGINEERING” CAPITULO 16 “STEEL BUCKING RESTRAINED BRACED FRAMES”

Gómez y Sordo (2005), “EFECTO DEL TIPO DE CONEXIONES Y DEL MOVIMIENTO DE SUELO EN EL COMPORTAMIENTO DE MARCOS DE ACERO EN MEXICO”.

Uang y Kiggins (2003), “REDUCING RESIDUAL DRIFT OF BUCKING-RESTRAINED BRACED FRAMES AS A DUAL SISTEM.

AISC (2002). “SEISMIC PROVISIONS FOR STRUCTURAL BUILDINGS” American institute of steel construction.