

8ª JORNADA
**COMISIÓN
PERMANENTE**

del Código Modelo Sísmico para
América Latina y El Caribe

Efectos de la Sobre Resistencia en las Fuerzas y Desplazamientos de Diseño Sísmico

Ing. Miguel F. Cruz Azofeifa, Dr. Sc.

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica

San Salvador, El Salvador

08 de octubre de 2025

www.codigomodelosismico.org

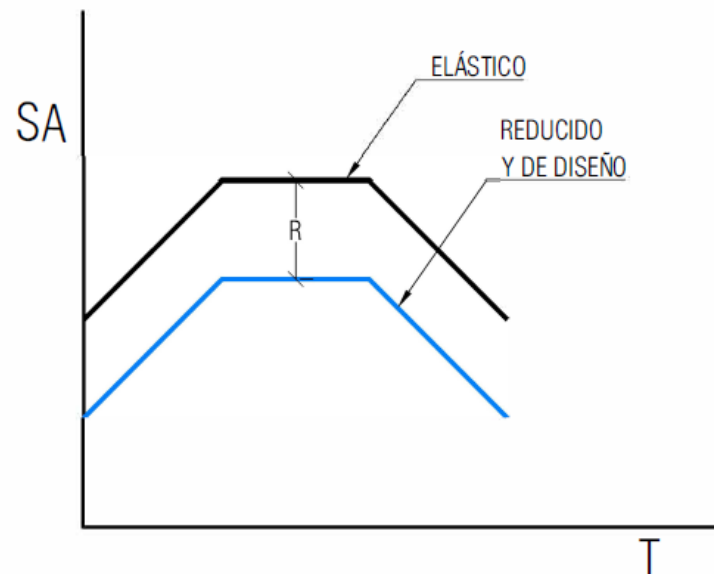
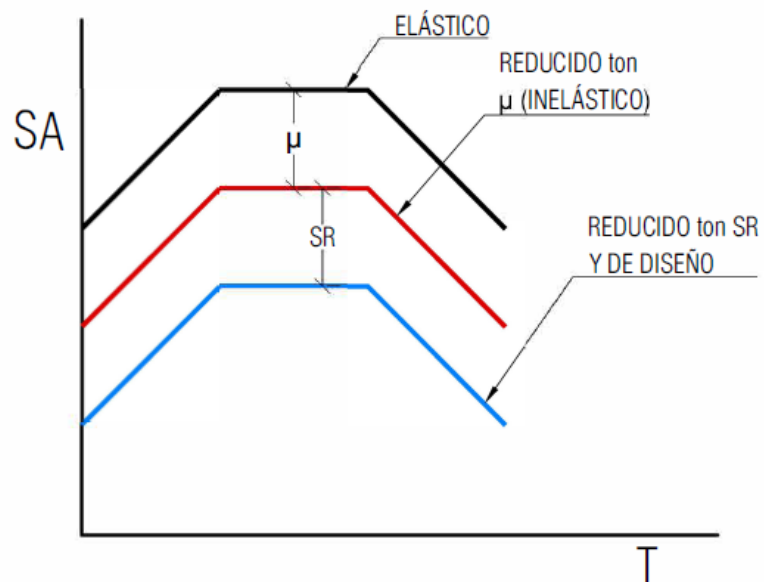
Código Sísmico de Costa Rica: *Como resultado del diseño estructural, todo sistema estructural posee una capacidad real sismorresistente que es mayor que la capacidad nominal sismorresistente, siendo la sobre resistencia, SR , la razón entre ambas capacidades.*

En el texto de J. Moehle: Se define la sobre resistencia como la *resistencia esperada del edificio entre la mínima resistencia de diseño del edificio*

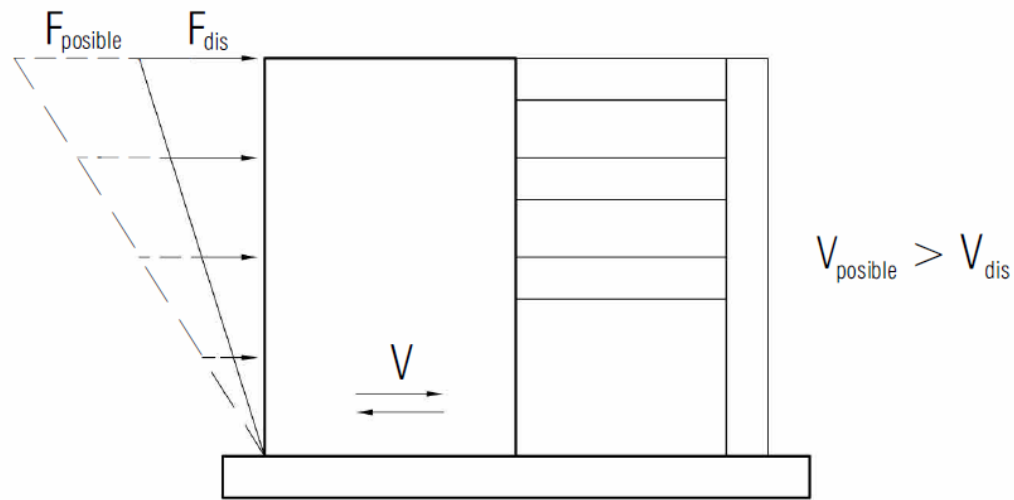
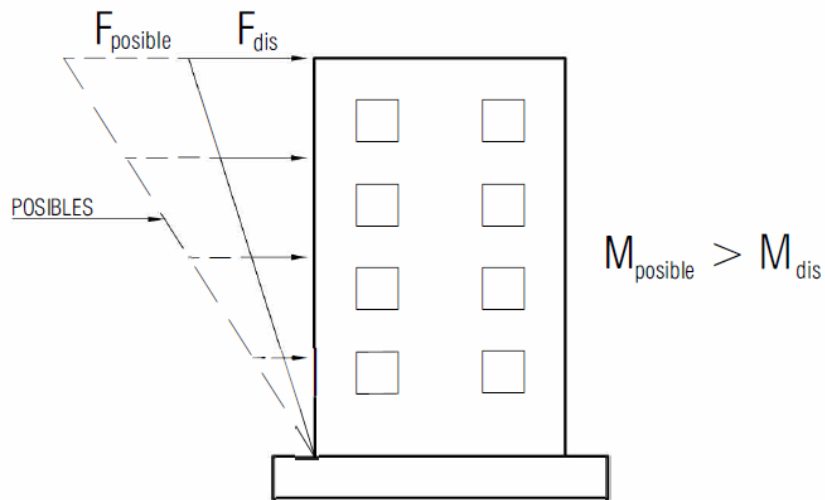
¿Por qué es importante la sobre resistencia?

- 1- Se pueden reducir fuerzas de diseño sísmico.
- 2- Brinda un nivel de “seguridad” para cuando se alcancen los máximos desplazamientos.
- 3- Permite disipar energía antes de alcanzar niveles de desempeño de colapso.
- 4- Permite resistir eventos mayores al diseño.
- 5- Identifica los puntos de máxima demanda en elementos cuya falla puede causar inestabilidad.

Curvas de capacidad



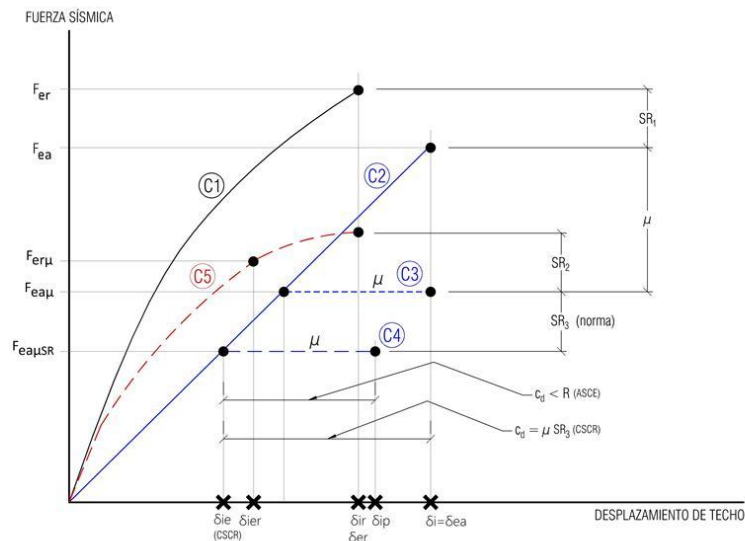
Curvas de capacidad



CMS Código Modelo Sismico
América Latina y El Caribe



- C1** Curva elástica real ante sismo de diseño. No necesariamente lineal, y con reducción gradual de rigidez no asociada a la plastificación del material. Obtenida con las rigideces reales que se modifican con las cargas.
- C2** Curva elástica analítica ante sismo de diseño y según normas obtenida con las rigideces sugeridas por las normas que permanecen constantes (sin SR).
- C3** Curva inelástica analítica reducida por μ ante sismo de diseño sin SR.
- C4** Curva inelástica reducida adicionalmente por SR. No se da nunca, se usa para asignar R_n a los elementos según el análisis. Esta sería la mínima resistencia de diseño.
- C5** Curva inelástica real ante sismo de diseño reducida por plastificación y ductilidad real. La reducción a lo largo de la curva no es constante.



C1 Curva elástica real ante sismo de diseño. No necesariamente lineal, y con reducción gradual de rigidez no asociada a la plastificación del material. Obtenida con las rigideces reales que se modifican con las cargas.

C2 Curva elástica analítica ante sismo de diseño y según normas obtenida con las rigideces sugeridas por las normas que permanecen constantes (sin SR).

C3 Curva inelástica analítica reducida por μ ante sismo de diseño sin SR.

C4 Curva inelástica reducida adicionalmente por SR. No se da nunca, se usa para asignar R_n a los elementos según el análisis. Esta sería la mínima resistencia de diseño.

C5 Curva inelástica real ante sismo de diseño reducida por plastificación y ductilidad real. La reducción a lo largo de la curva no es constante.

Las resistencias requeridas de diseño se determinan según las fuerzas internas que se generan en los elementos. Estos efectos son obtenidos de un análisis elástico que hace uso de espectros de diseño reducidos por efectos de la ductilidad y por la sobre resistencia (SR) que genera el mismo proceso de diseño.

Las verdaderas fuerzas se generarán según las resistencias reales de los elementos y de la interacción de los mismos de acuerdo al registro sísmico que se presente a la hora del evento real.

a. Falta de conocimiento de la realidad

1. Limitaciones de la teoría de materiales.
2. Limitaciones del modelo estructural.

b. Resistencia real de los elementos

3. Sobre-resistencia elástica del material R_y .
4. Sobre-resistencia inelástica del material R_t .
5. Sobredimensionamiento por dimensiones mínimas, y por práctica profesional.
6. Influencia de los factores de reducción ϕ .

De dónde proviene la sobre resistencia

Ensayos de campo en especímenes de concreto

Temperatura del concreto (ASTM C1064/C1064M, INTE C43)*: 29,5 °C

Revenimiento sin aditivo (ASTM C-143/C-143M, AASHTO T-119M/T-119, INTE C41)*: 170 mm

Resistencia de testigos cilíndricos de concreto (ASTM C39/C39M, INTE C39)*												
Número de cilindro	Fecha de moldeado	Fecha de falla	Edad (días)	Longitud (mm)	Diámetro promedio (mm)	Área Transv. (mm ²)	Carga máxima (kN)	Tipo de falla	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio y/o proyección a 28 días (kg/cm ²)	Cumplimiento
1	08-sep-25	15-sep-25	7	200	103	8332	228,4	2	27,4	279	399	N/A
2		22-sep-25	14	200	102	8091	247,5	2	30,6	312	363	N/A
3		06-oct-25	28	-	-	-	-	-	En cura	-	-	N/A
4			28	-	-	-	-	-	En cura	-		
5			28	-	-	-	-	-	En cura	-		

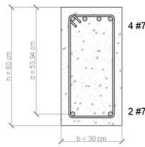
Nota: El valor de la incertidumbre del resultado es de 0,38 Mpa

c. Efectos de la estructuración

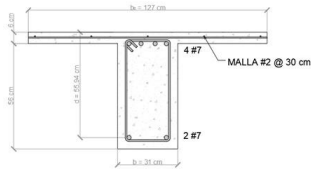
7. Combinaciones de carga.
8. Reducción de carga temporal.
9. Redundancia estructural.
10. No simultaneidad de rótulas.

¿De dónde proviene la sobre resistencia?

Diseño de viga

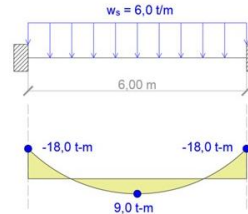


Condición real de la viga (construida)

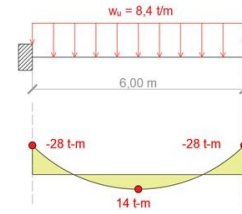


Contribuciones de la viga construida

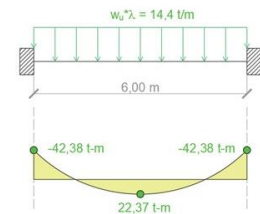
- Aumento de sección (h y b)
- Aporte de acero en sobrelosa
- Resistencia última del acero (1,25 fy)



Carga de servicio y momento de servicio



Carga última y resistencia M_n (M_u/ϕ)
(Viga rectangular)



Carga de falla y M_{pr} (Viga T)

Sobrerresistencia
(Carga de falla / Carga última)



$$SR = 1,71$$

¿De dónde proviene la sobre resistencia?

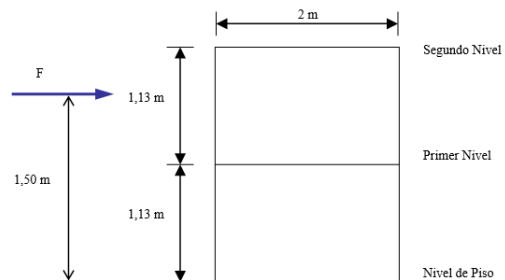
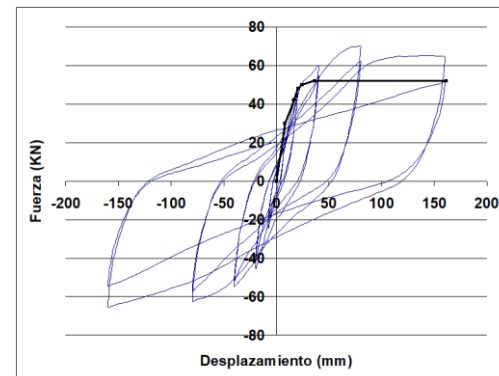
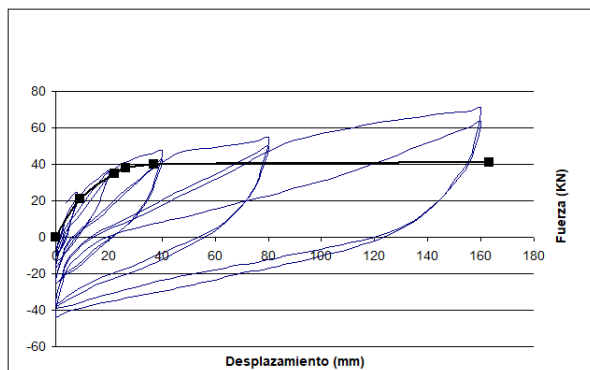
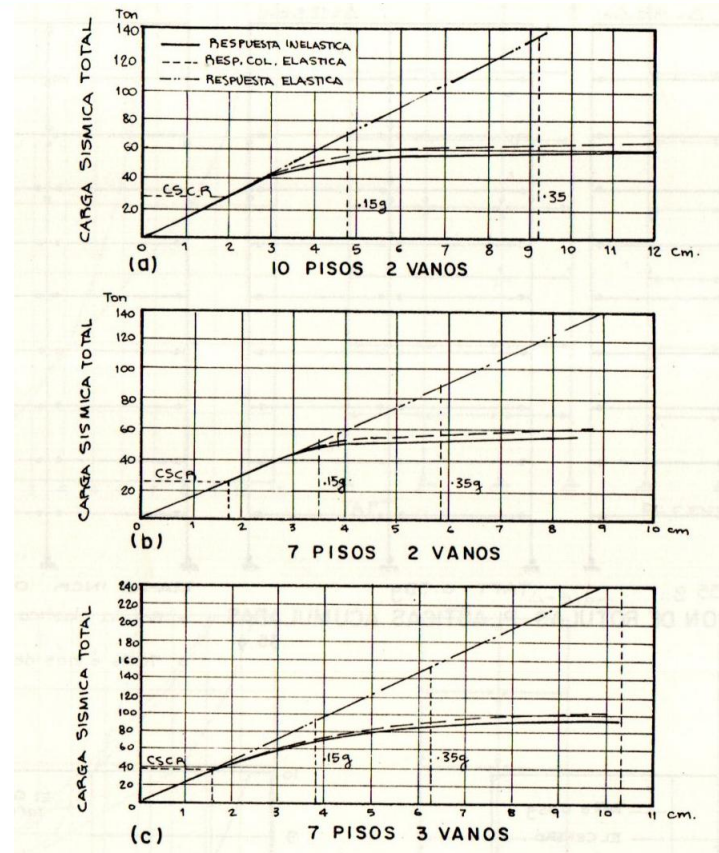
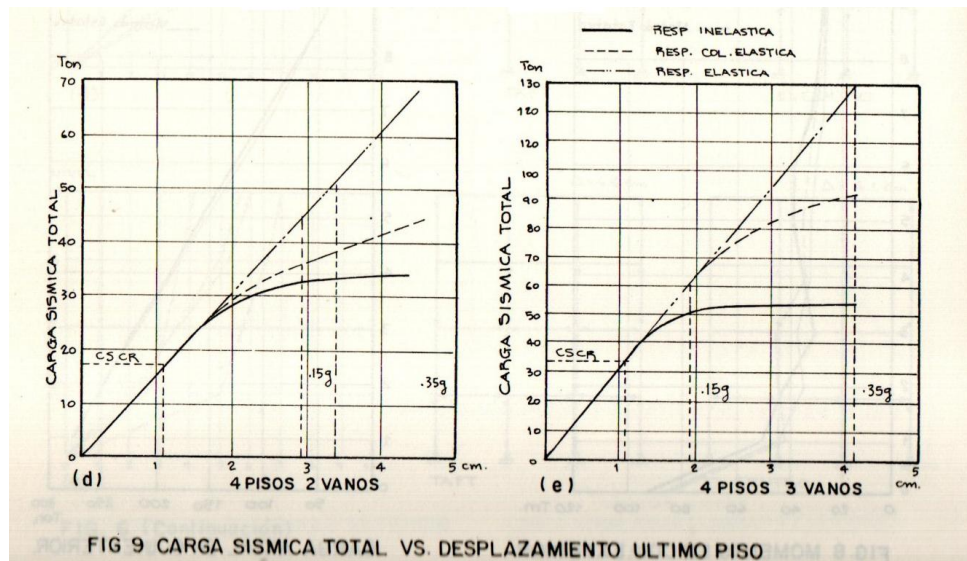


Figura 1a. Modelo de Marco y punto de aplicación de la fuerza



Efectos de estructuración



d. Efectos de la respuesta dinámica de la estructura

11. Incremento de resistencia ante acción dinámica.
12. Amortiguamiento del suelo.
13. Interacción suelo-estructura.
14. Alargamiento de períodos debido a la respuesta no lineal y reducción de rigidez.
15. Modificación de formas modales.

Tabla 4.2. Diferencias porcentuales de períodos y frecuencias respecto a la estructura sana.

Estructura	Modo	Rótulas en Vigas		Rótulas en Columnas		Rótulas en Vigas y Columnas	
		Δf_i	ΔT_i	Δf_i	ΔT_i	Δf_i	ΔT_i
Esbelta	1	37,9	61,1	22,8	29,5	55	122,4
	2	31,4	45,8	17,6	21,3	45,2	82,5
	3	21,8	27,9	12,9	14,8	33,7	50,9
	4	12,9	14,9	9,2	10,2	22,8	29,5
	5	5,9	6,3	5,6	5,9	12,7	14,6
	6	1,4	1,4	1,9	1,9	4	4,2
Chata	1	28,1	39	43,2	76,2	64,8	183,9
	2	9,6	10,7	17,5	21,2	30	42,9

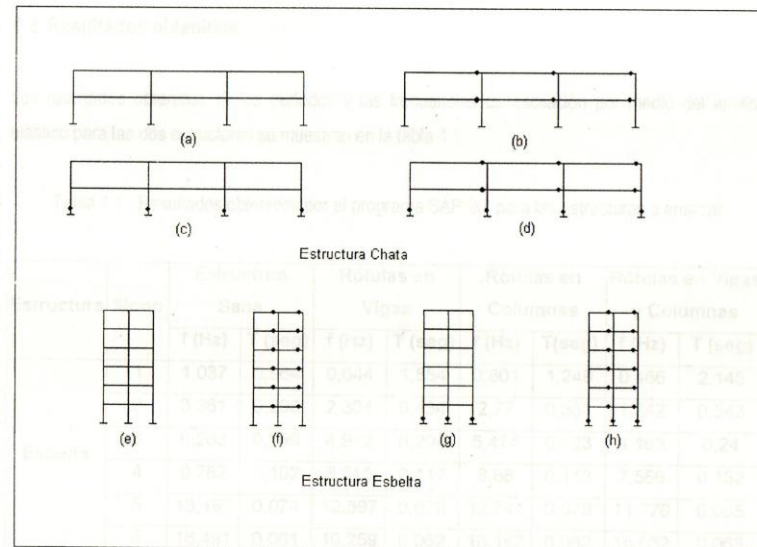


Figura 4.1. Modelos con rótulas considerados para las estructuras a analizar por medio del SAP-90 (análisis elástico).

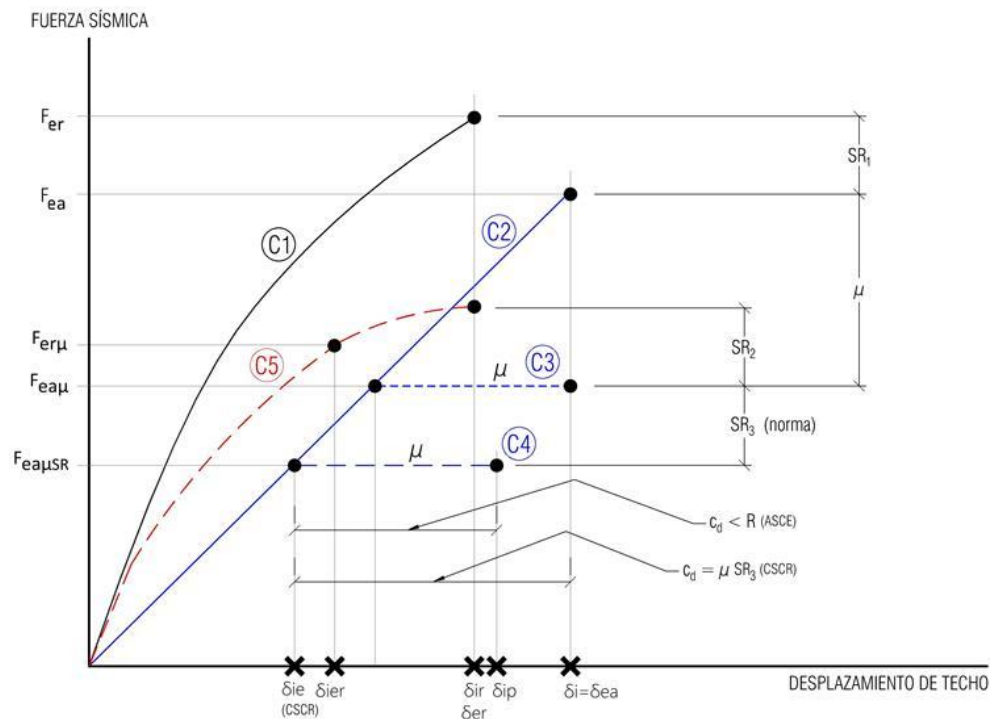
La tabla 1, resume los valores que influyen en la sobre resistencia para cada uno de los factores mencionados. Los valores, **semi empíricos**, pues no se pueden precisar con seguridad, están basados en experiencias de diseño y valores de la investigación.

Valores posibles de SR para cada efecto

		Estático	Dinámico	Estático	Dinámico	Estático	Dinámico	Estático	Dinámico
		2D	2D	3D	3D	2D	2D	3D	3D
		1P	1P	1P	1P	VP	VP	VP	VP
1	Teoría de materiales	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
2	Teoría estructural	1.05	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10	1.05	1.05
3	Factores de reducción de resistencia ϕ	1.10	1.05	1.10	1.05	1.10	1.05	1.10	1.10
4	Sobre resistencia material elástico	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
5	Sobre resistencia material inelástico	1.20	1.20	1.20	1.25	1.20	1.25	1.20	1.20
6	Sobre dimensionamiento	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.10	1.10
7	Combinaciones de carga	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
8	Reducción de CT	1.10	1.15	1.10	1.15	1.10	1.15	1.15	1.15
9	Redundancia	1.05	1.10	1.20	1.15	1.20	1.15	1.15	1.15
10	No simultaneidad de rótulas	1.05	1.15	1.05	1.15	1.05	1.15	1.10	1.10
11	Incremento R_n por acción dinámica	NA	1.05	NA	1.10	NA	1.10	NA	1.05
12	Amortiguamiento al suelo	NA	1.05	NA	1.05	NA	1.05	NA	1.10
13	Interacción suelo-estructura	NA	1.20	NA	1.15	NA	1.15	NA	1.20
14	Alargamiento de períodos	NA	1.10	NA	1.10	NA	1.10	NA	1.15
15	Modificación de forma modal	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.15	1.15
		2.58	4.30	3.09	4.92	3.09	4.92	3.39	5.40

**Valores máximos de SR hasta 5 o más valores
mínimos de 1.75**

Cómo influye en la sobre resistencia en los desplazamientos?



$$\delta_i = \mu \cdot SR \cdot \delta_{ie} \lambda$$

$$\delta_i = 0.7 \mu SR \delta_{ie}$$

$$\Delta_i = \mu SR \Delta_{ie}$$

Este valor de 0.7 incluido en el cálculo de δ_i es un valor promedio del inverso de R/C_d reportado en referencia 18.

Factores que afectan la sobre resistencia:

- Efectos $p-\delta$
- Degradación de resistencia
- Efectos del cortante
- Irregularidades
- Pandeos locales y globales de secciones o elementos, efectos de mala práctica constructiva y fatiga del material.

Factores que afectan la sobre resistencia

Efecto	Estático 2D-1P	Dinámico o 2D-1P	Estático	Dinámico
			3D	3D
			VP	VP
Efecto P-Δ	1.10	1.10	1.05	1.05
Degradación resistencia	1.10	1.10	1.10	1.10
Efectos del cortante	1.10	1.10	1.10	1.10
Pandeos	1.10	1.10	1.10	1.10
Irregularidades	1.10	1.10	1.05	1.05
Directividad	1.05	1.05	1.05	1.05
Malas ejecuciones en obra	1.05	1.05	1.05	1.05
Fatigas de bajo ciclaje	1.05	1.05	1.05	1.05
	1.90	1.90	1.70	1.70

1. SR dependerá entonces del diseño, del tipo de estructuras y de los mismos valores adoptados en la norma de diseño.
2. Parece un contrasentido que al reducir la sobre resistencia en el diseño, en la realidad se estaría aumentando, y lo contrario también es cierto.

Esto porque al dejar de reducir las fuerzas de diseño se induce al diseñador a colocar más refuerzo o detalles que al final aumentan la sobre resistencia.

Valores del orden de 1.80 como máximo, con promedios de 1.50.

1- Valores optimistas de sobre resistencia podrían alcanzar valores de 5, pero lo realista, teniendo en cuenta los efectos que afectan la sobre resistencia, estos valores deberían estar entre 3 y 4. **En la referencia 18 se sugieren valores que oscilan entre 1.5 y 3.5 según el tipo de material y tipo de estructura.**

2- Valores tan bajos como 1.5 no parecen realistas siempre que se cumplan todos los aspectos de las normas.

3- **1.5 serviría solo para diseño elástico**, aunque se utilice método de diseño por resistencia. Caso del diseño por viento.

4- Adoptar valores menores de sobre resistencia conduce a elevar la sobre resistencia y así lo asume el CSCR cuyo valor es 2.0, valor que puede ser conservador para algunas edificaciones. En el caso de voladizos este código adopta un valor de 1.20, valor que solo considera la sobre resistencia de los materiales. **Los códigos deben definir sus SR y ajustar los diseños a los valores escogidos para cada tipo de edificación.**

5- CSCR utiliza un valor de C_d menor que el de la reducción del espectro R , es decir considera un único valor de C_d para el cálculo del desplazamiento lateral absoluto igual a $0.7 \mu \cdot SR$. Este valor parece ser conservador.

Gracias por su atención



América Latina y El Caribe

www.codigomodelosismico.org