



Conferencias Temáticas Construcción

“Filosofía de la Norma ACI CODE-562-21”

Presentador: Ing. Juan José Betancourt Tafur

Bucaramanga, 16 de agosto de 2024.

Salón 1 Aula Máxima de Ingeniería Mecánica en la Universidad Industrial de Santander UIS



*Sociedad Santandereana
de Ingenieros*

Filosofía de la Norma ACI CODE 562-21

ACI 562-21 establece los requisitos mínimos para evaluar, reparar y rehabilitar estructuras de concreto. Abarca todos los elementos de concreto estructurales, elementos estructurales prefabricados de concreto y elementos no estructurales. En los once (11) capítulos de la norma ACI 562-21 o Código de acuerdo a su nombre original en inglés, se siguen los procesos fundamentales para la correcta, segura, durable y económica rehabilitación de una estructura de concreto existente (es decir que ha estado en uso y ocupación por cualquier periodo de tiempo desde su construcción). La filosofía subyacente de este código se centra en varios principios clave:

- ❖ Seguridad y Durabilidad.
- ❖ Evaluación Basada en el Rendimiento.
- ❖ Metodologías Comprobadas.
- ❖ Adaptabilidad y Flexibilidad.
- ❖ Consistencia y Claridad.
- ❖ Sostenibilidad.
- ❖ Integridad Estructural.



*Sociedad Santandereana
de Ingenieros*

XXXVIII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

Ideas y Soluciones para transformar el futuro

An ACI Standard

Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code and Commentary

Reported by ACI Committee 562

ACI CODE-562-21

Capítulo	Título	Detalle general
1	Requerimientos generales.	Información general con respecto al Código base local para diseño de estructuras.
2	Notaciones y definiciones.	Terminología, definiciones y notaciones que se utilizan en esta norma.
3	Normas referenciadas.	Listado de entidades y normas que se usan en esta norma.
4	Criterios como Código independiente para la evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras existentes.	Métodos de conformidad de acuerdo al Código base local.
5	Cargas, combinaciones de cargas factorizadas y factores de reducción de resistencia.	Para la evaluación y análisis de la estructura existente describe las combinaciones de carga y los factores de reducción.
6	Evaluación, inspección y análisis.	Procedimientos para la evaluación y análisis de estructuras de concreto existentes.
7	Diseño de reparaciones estructurales.	Criterios para el diseño de las diferentes alternativas de las reparaciones estructurales.
8	Durabilidad.	Especificaciones y criterios para garantizar la durabilidad de las intervenciones a las estructuras existentes.
9	Construcción.	Procedimientos y detalles para la construcción de la rehabilitación, incluye recomendaciones y requisitos para garantizar la estabilidad de la estructura durante la rehabilitación y los diferentes tipos de apuntalamiento temporal.
10	Aseguramiento de la calidad.	Describe los diferentes ensayos, toma de muestras, interpretación de resultados para garantizar el aseguramiento y control de calidad de cada uno de los procesos y de los materiales de la rehabilitación.
11	Comentarios y referencias.	Listado de los comentarios y referencias utilizados en la norma

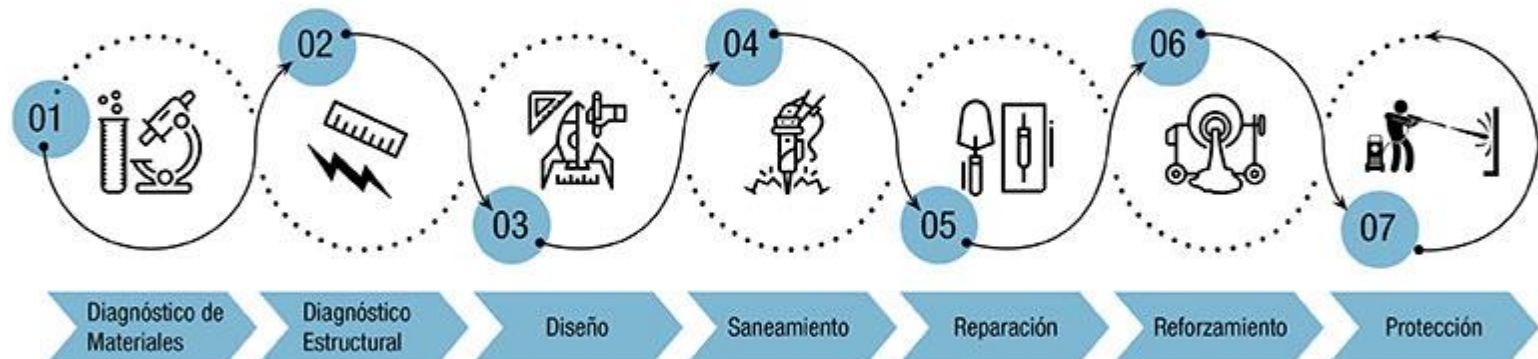


Sociedad Santandereana
de Ingenieros

Filosofía de la Norma ACI CODE 562-21

PROCESOS

Para rehabilitar estructuras de concreto



Filosofía de la Norma ACI CODE 562-21

La organización de la norma ACI 562 sigue intuitivamente la secuencia de las fases de un proyecto de reparación de estructuras de concreto. Los tres primeros capítulos proveen criterios para establecer los requerimientos y parámetros del proyecto, el código base de diseño y otros requisitos generales. El código base de diseño es el código local que reglamenta las condiciones bajo las cuales deben diseñarse y construirse las evaluaciones y reparaciones estructurales. En los Estados Unidos el código base es generalmente el código de cada jurisdicción (estado, ciudad) que en muchas ocasiones es el IBC o IEBC adoptado por la jurisdicción después de introducir ciertas enmiendas. En el caso de Colombia, el código base de diseño sería la NSR-10. Los capítulos 4, 5 y 6 proveen requisitos relacionados con la investigación de campo, la evaluación de la estructura y el análisis. Los capítulos 7 y 8 enumeran requisitos para el diseño de las reparaciones y los criterios de durabilidad a ser incorporados en las reparaciones. Los capítulos 9 y 10 enumeran requisitos relacionados con la implementación de las reparaciones, como son la construcción y el aseguramiento de la calidad.



*Sociedad Santandereana
de Ingenieros*

Importante revisar previamente

ACI CODE-562-21: ASSESSMENT, REPAIR, AND REHABILITATION OF EXISTING CONCRETE STRUCTURES—CODE AND COMMENTARY (ACI 562-21) 35

CODE

5.5.2 For external reinforcing systems susceptible to damage, the required strength of the structure without such external reinforcement shall satisfy Eq. (5.5.2a) and (5.5.2b)

$$\phi R_n \geq 1.1D + 0.5L + 0.2S \quad (5.5.2a)$$

$$\phi R_n \geq 1.1D + 0.75L \quad (5.5.2b)$$

where D , L , and S are the effects due to the dead, live, and snow loads, respectively, calculated for the rehabilitated structure; ϕ is the strength reduction factor in 5.3 or 5.4, as applicable; and R_n is the nominal strength of the structural member computed using the material properties determined from Chapter 6, without the contribution of the external reinforcing system.

5.5.2.1 If the live load has a high likelihood of being a sustained load, the live load factor in Eq. (5.5.2a) and (5.5.2b) shall be increased to 1.0.

5.5.3 Structural members with external reinforcement shall satisfy Eq. (5.5.3)

$$\phi_{ex} R_{ex} \geq (0.9 \text{ or } 1.2)D + 0.5L + 0.2S \quad (5.5.3)$$

where $\phi_{ex} = 1.0$; R_{ex} is the nominal resistance of the structural member, computed using the probable material properties during the fire event and considering the contribution of external reinforcement in accordance with Section 5.5.3.3; and S is the specified snow load. The dead load factor of 0.9 shall be applied when the dead load effect counteracts the total load effect.

5.5.3.1 Additional live loads incurred during a fire shall be considered, with a load factor of 1.0.

5.5.3.2 Internal forces and imposed deformations due to thermal expansion during the fire event shall be considered, with a load factor of 1.0, in determining the demands on the structural system.

COMMENTARY

tures during routine service, such as manufacturing facilities and other industrial environments. Refer to Section 7.9.4.

R5.5.2 These load combinations are intended to minimize the risk of failure of the strengthened structural member in the case where, during normal operating conditions, the external reinforcement is damaged. Such damage may not be detected immediately and so the structure (or structural component) may remain in service until the damage is identified and addressed. The load factors for live and snow loads in Eq. (5.5.2a) correspond to the arbitrary point-in-time loadings specified in ASCE/SEI 7. Equation (5.5.2b) is compatible with ACI 440.2R.

R5.5.2.1 Examples include library stack areas, heavy storage areas, warehouses, and other storage occupancies with a live load exceeding 100 lb/ft².

R5.5.3 Equation (5.5.3) is intended to ensure that the repaired element will maintain sufficient strength, accounting for its probable reduced material properties due to elevated temperatures, during a fire event. If fire protection is applied to the repaired element, its effect on the external reinforcement and existing elements should be considered.

The design-basis code and ACI 216.1 should be reviewed to determine the required duration of the fire event.

Equation (5.5.3) was developed from Eq. (2.5.1) of ASCE/SEI 7-10 and is limited to the evaluation of fire effects on structures with external reinforcement. Guidance on computing the structural effects caused by the fire event is provided in 5.5.3.1 and R5.5.3.1.

Strength of the affected portion of the structure during a fire event should be based on reduced steel and concrete strengths. Guidance concerning probable material properties during a fire event may be obtained from ACI 216.1.

R5.5.3.1 Live loads associated with firefighting operations may include wetting of the building contents, which can be idealized as a live load of 20 lb/ft².

R5.5.3.2 Thermal expansion of a member during a fire event will generate internal thrust forces if that expansion is restrained. The generated thrust force, while potentially large, is considerably less than that computed using conventional elastic properties and thermal expansion coefficients. This thrust may increase the moment capacity and the corresponding fire endurance of the restrained member.

Procedures for calculating thermal induced thrust forces can be found in NIST (2010) and Buchanan (2001). PCI (2010) provides methods for determining (a) the magnitude and location of the thrust generated by a given fire tempera-

An ACI Standard

Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code and Commentary

Reported by ACI Committee 562

ACI CODE-562-21

 American Concrete Institute
Always advancing



Sociedad Santandereana
de Ingenieros

1. Verificación de la viabilidad de la intervención (en caso de que esta se requiera) por medio del uso de un sistema de reforzamiento externamente adherido mediante la instalación de láminas o tejidos de fibra de carbono (FRP) de acuerdo al ACI CODIGO 562- 21 Norma para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto:

Para realizar el reforzamiento de estructuras en concreto con FRP, la normatividad de diseño se encuentra muy limitada por los efectos perjudiciales ocasionados por la acción del fuego sobre los elementos rehabilitados usando FRP y también con respecto a la confiabilidad del sistema en el largo plazo frente a la acción de cargas sostenidas. Con el propósito de limitar el uso de las FRP bajo estos criterios de aceptación, la norma ACI 562 21 establece dos límites relacionados con la magnitud de las solicitaciones aplicadas, y relacionadas con la resistencia efectiva de las estructuras:

- Numeral 5.5.2. Para sistemas de reforzamiento externo en estructuras susceptibles de daño, la estructura sin reforzamiento debe satisfacer:

$$\phi R_n \geq 1.1D + 0.75L$$

- Numeral 5.5.3. Para sistemas de reforzamiento externo en estructuras bajo condición de fuego, la estructura sin reforzamiento debe satisfacer:

$$\phi_{ex} R_{ex} \geq (0.9 \text{ or } 1.2)D + 0.5L$$

Así, se determinarán las solicitaciones máximas correspondientes con estos dos escenarios:

- Se podría establecer que la capacidad actual de la estructura no es suficiente para soportar las solicitaciones mínimas requeridas que permiten avalar el uso de un reforzamiento externamente adherido con FRP, de acuerdo con ACI 562.
- Y dado que no se logre satisfacer los requerimientos mínimos para el uso de un reforzamiento externamente adherido con FRP, debe darse por descartada la posibilidad de rehabilitación y repotenciación de la estructura por medio de este sistema.

- $f_{Rn} > U$
 - f_{Rn} – Resistencia de diseño
 - U – Resistencia requerida (cargas mayoradas)
- Factores de reducción para el diseño de la reparación
ACI 318 (NSR-10 Título C – Concreto Estructural)
 - $\phi=0.9$ – tracción
 - $\phi=0.75$ – cortante
 - $\phi=0.65$ – compresión
- Factores de reducción para la evaluación
ACI 318 (NSR-10 – Capítulo C.20)
 - Información obtenida en el campo y ensayos: propiedades de los materiales, dimensiones, ubicación del refuerzo, etc.
 - $\phi=1.0$ – tracción
 - $\phi=0.8$ – cortante
 - $\phi=0.8$ – compresión

Capítulo 5 – Cargas, Combinaciones de Carga y Factores de Reducción

- Cargas a considerar en el análisis y diseño
 - Cargas que resistirá la estructuras
 - Cargas de construcción durante la reparación
 - Efectos de la remoción de cargas
 - Secuencia de aplicación de cargas y apuntalamiento

- Combinaciones de Carga

ASCE 7 (NSR-10: Título B – Cargas)

- $U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- $U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.5W)$
- $U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
- $U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$

- Requerimientos para reforzamientos externos (expuestos)
 - FRP, platinas metálicas, post-tensado externo
 - Elemento estructural sin reforzamiento debe resistir una carga mínima
 - ★
 - Propósito: estructura no falle durante condiciones operativas normales, en caso el reforzamiento se dañe.
 - $fR_n > 1.1D + 0.75L$
 - Elemento estructural sin reforzamiento debe resistir una carga mínima
 - Propósito: estructura no falle durante un evento extraordinario (fuego, impacto, explosión), en caso el reforzamiento deje de ser efectivo
 - $f_{ex}R_{n_{ex}} > 1.2D + 0.5L + Ak + 0.2S$
 - $R_{n_{ex}}$ – usando las propiedades de los materiales durante el evento extraordinario
 - $f_{ex} = 1.0$
 - Factor para L es 1.0 si la carga viva está presente por un periodo largo

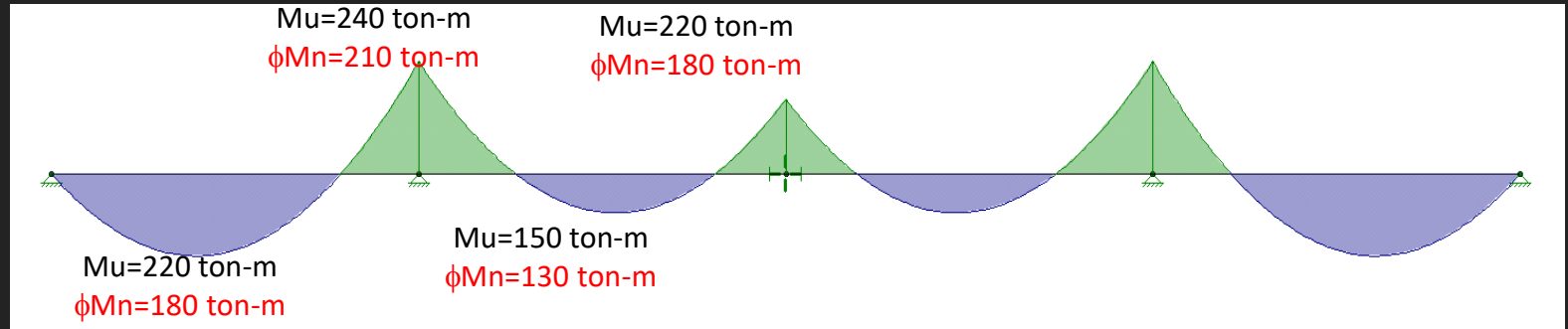
Caso 1: Oficinas (200 kg/m²)

- Carga Muerta (D):
 - Losa (0.20 m) : $400 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 4,000 \text{ kg/m}$
 - Particiones, pisos : $200 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 2,000 \text{ kg/m}$
 - Viga (0.40x0.80 m): $= 794 \text{ kg/m}$

6,794 kg/m
- Carga Viva (L):
 - Oficina : $200 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 2,000 \text{ kg/m}$
- Combinaciones de Carga:
 - $W_u = 1.2D + 1.6L = 11,350 \text{ kg/m}$
 - $W_r = 1.1D + 0.75L = 8,970 \text{ kg/m}$

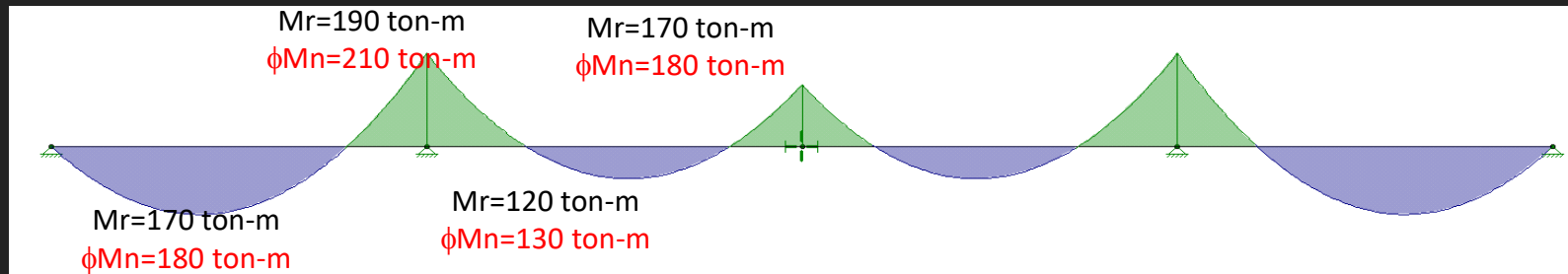
Caso 1: Oficinas (200 kg/m²)

✓ $W_u = 1.2D + 1.6L$ ¿ $\phi M_n > M_u$?



$M_u > \phi M_n \Rightarrow$ Necesita reforzamiento

✓ $W_r = 1.1D + 0.75L$ ¿ $\phi M_n > M_r$?



$\phi M_n > M_r \Rightarrow$ Puede usarse reforzamiento externo expuesto

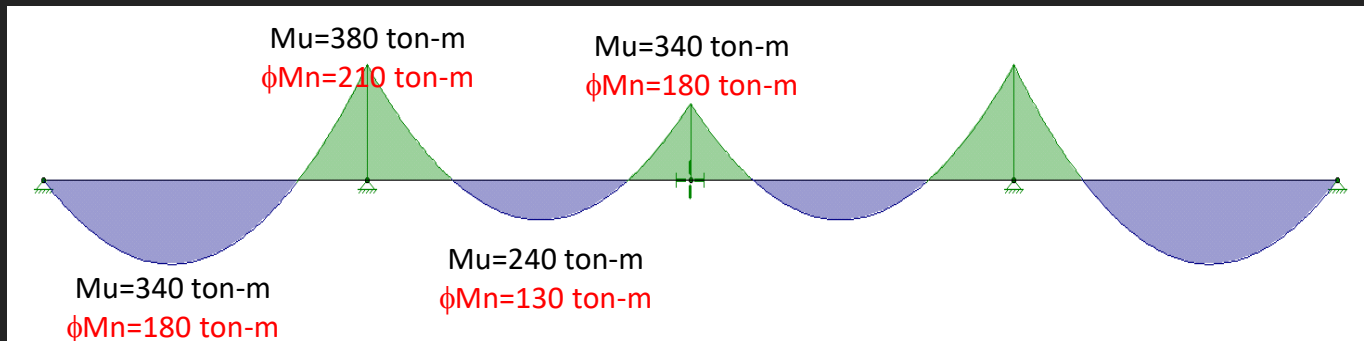
Caso 2: Almacenamiento (600 kg/m²)

- Carga Muerta (D):
 - Losa (0.20 m) : $400 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 4,000 \text{ kg/m}$
 - Particiones, pisos : $200 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 2,000 \text{ kg/m}$
 - Viga (0.40x0.80 m): $= 794 \text{ kg/m}$

4,794 kg/m
- Carga Viva (L):
 - Almacenamiento : $600 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 6,000 \text{ kg/m}$
- Combinaciones de Carga:
 - $W_u = 1.2D + 1.6L = 17,750 \text{ kg/m}$
 - $W_r = 1.1D + 0.75L = 11,980 \text{ kg/m}$

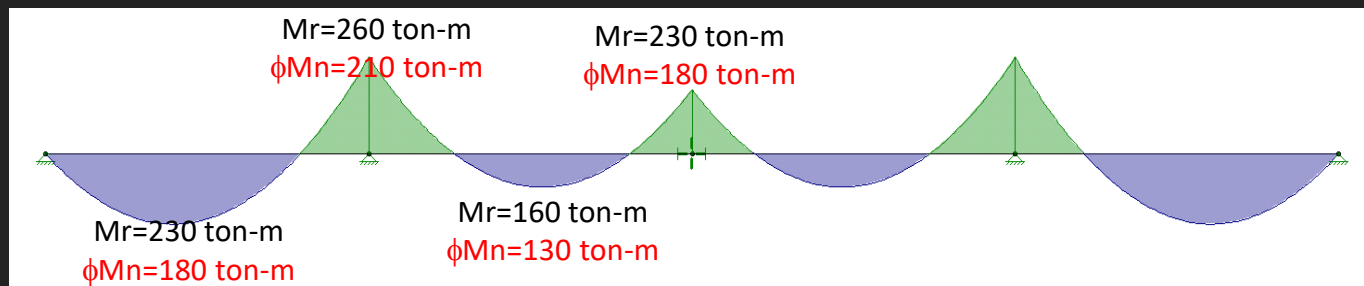
Caso 2: Almacenamiento (600 kg/m²)

✓ $W_u = 1.2D + 1.6L$ ¿ $\phi M_n > M_u$?



$M_u > \phi M_n \Rightarrow$ Necesita reforzamiento

✓ $W_r = 1.1D + 0.75L$ ¿ $\phi M_n > M_r$?



$M_r > \phi M_n \Rightarrow$ No puede usarse reforzamiento externo expuesto

Capítulo 5 – Cargas, Combinaciones de Carga y Factores de Reducción

Cálculo a flexión losa en dos direcciones - Método directo (NSR-10, C.13.6)

Análisis de cargas

Carga muerta distribuida	D	0.60	Ton/m2
		5.89	kN/m2
Carga viva distribuida	L	0.50	Ton/m2
		4.91	kN/m2
Carga de nieve o granizo	S/G	0.00	kN/m2

Combinaciones de carga - NSR-10 y ACI 562-21)

	D	L	S/G	Wu	Wu max
				kN/m2	kN/m2
NSR-10	1	1	0	10.79	14.91
	1.4	0	0	8.24	
	1.2	1.6	0.5	14.91	
ACI 562	1.1	0.5	0.2	8.93	10.15
	1.1	0.75	0	10.15	
	1.2	0.5	0.2	9.52	

Cálculo de solicitaciones

Luz total en dirección 1	l1	8000.00	mm
Luz total en dirección 2	l2	8000.00	mm
Luz entre caras de apoyos	ln	7200.00	mm
Momento estático mayorado			

$$M_o = \frac{q_u \ell_2 \ell_n^2}{8} \quad \text{NSR-10, Ec. C.13-4}$$

Coefficiente de momento negativo	0.65	NSR-10, C.13.6.3.2
Coefficiente de momento positivo	0.35	NSR-10, C.13.6.3.2
Coefficiente de distribución franja de columna	0.75	NSR-10, C.13.6.4.4
Coefficiente de distribución franja central	1.00	NSR-10, C.13.6.6.1

Cálculo de momentos flectores últimos (Mu)

	Wu max	Mo-1	Mo-2	Mo - Franja de columna	
	kN/m2	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m
Mu: NSR-10, LRFD	14.91	773.00	773.00	376.84	270.55
Mr: ACI 562 - Operación	10.15	526.35	526.35	256.60	184.22
Mr: ACI 562 - Ev. Extremo	9.52	493.29	493.29	240.48	172.65

Necesidad de reforzamiento:	Mu	vs.	ø Mn	I. Cap.	Se requiere reforzamiento en la placa
	270.55	>	165.12	164%	
Posibilidad de reforzamiento externo con FRP:	Mr	vs.	ø Mn	I. Cap.	No es viable el reforzamiento externo con FRP
	172.65	<	183.46	94%	

Se confirmó que, para condiciones de operación convencional de la estructura, el incremento de carga induce un 64% de carga adicional a la que la estructura está en capacidad de soportar, haciendo indispensable algún tipo de intervención sobre la estructura para posibilitar la aplicación de cargas adicionales a las consideradas en el diseño y construcción original.

Para condiciones de fuego, se corroboró que la estructura trabajaría al 94% de su capacidad, lo que facultaría el uso de reforzamiento con FRP. Pero se debe contar sistemas pasivos y activos para la protección al fuego del concreto reforzado original y del sistema de FRP.

Sin embargo, para condiciones convencionales de operación se encontró que, la capacidad actual de la estructura se ve excedida en un 12%, lo que restringe la posibilidad de usar reforzamiento externamente adherido con FRP.



Sociedad Santandereana
de Ingenieros

Importante revisar previamente

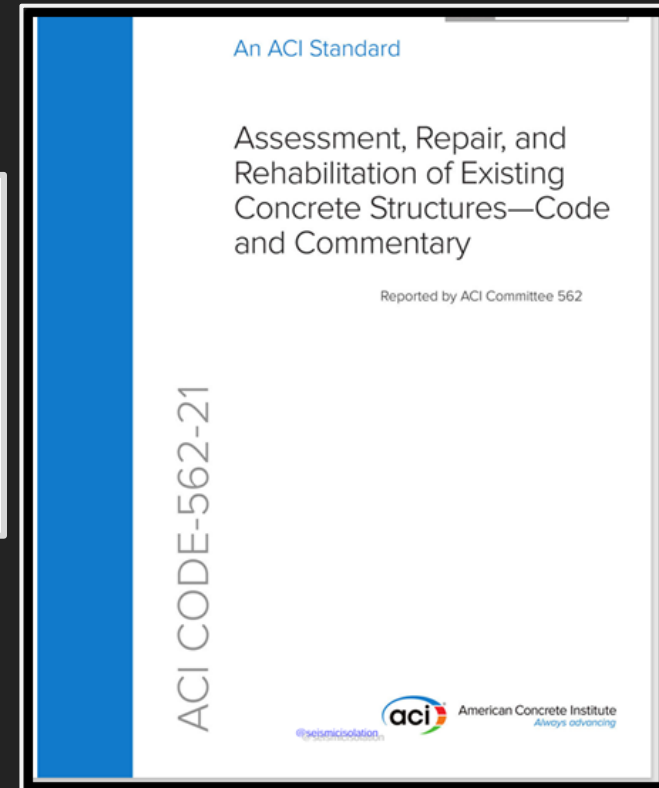
CHAPTER 9—CONSTRUCTION, p. 69

9.1—General, p. 69

9.2—Stability and temporary shoring requirements, p. 69

9.3—Temporary conditions, p. 71

9.4—Environmental issues, p. 71

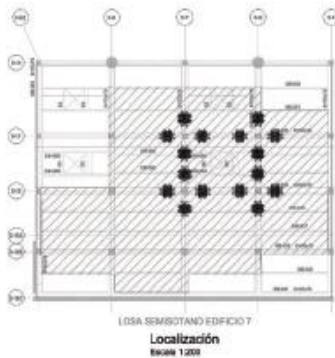


Del Capítulo 9. Construcción, en el numeral 9.2 Estabilidad y requerimientos para el apuntalamiento temporal, es definitivo para la seguridad de todas las personas que se encuentren trabajando dentro de las estructuras durante los trabajos de remoción, reparación, reemplazo y reforzamiento y para la protección de los elementos estructurales y no estructurales aledaños a la zona que se esté interviniendo, que el Ingeniero diseñador de la rehabilitación estructural prevea y considere las esfuerzos y deformaciones durante la ejecución de los diferentes procesos o etapas que puedan reducir la capacidad de los elementos estructurales y debilitar temporalmente la estructura y crear efectos adversos a la estabilidad local o global. Es por esto que la norma exige particularmente que los planos y especificaciones definan requisitos para mantener la estabilidad estructural, como el apuntalamiento o arriostramiento de los elementos durante todas las fases de la rehabilitación estructural.

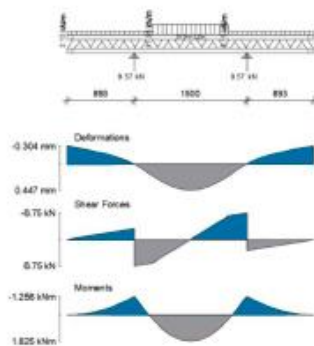
La reparación de elementos estructurales –en particular la remoción de materiales o de elementos estructurales adyacentes– pueden debilitar temporalmente la estructura y crear efectos adversos a la estabilidad local o global. Entre otros ejemplos, la remoción parcial o total de una viga aumenta la altura no soportada de una columna, la remoción de concreto y de estribos en una columna puede producir pandeo local del refuerzo vertical, y la remoción o reparación de un elemento estructural puede causar sobreesfuerzos en otros elementos estructurales.

DISEÑO APUNTALAMIENTO

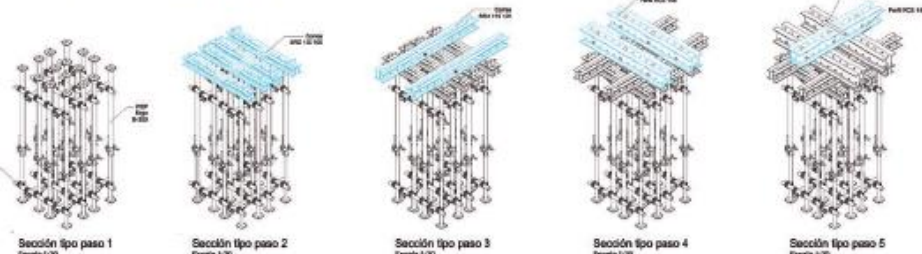
UBICACIÓN



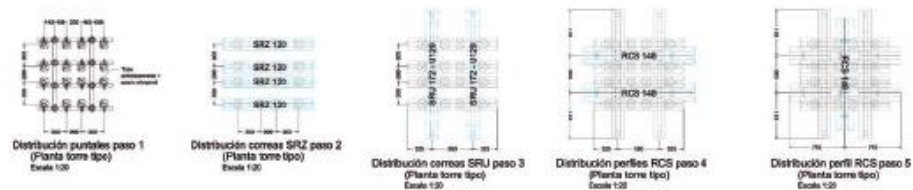
ESTUDIO DE MOMENTOS



PROCESO DE ARMADO AXONOMÉTRICO



PROCESO DE ARMADO EN PLANTA



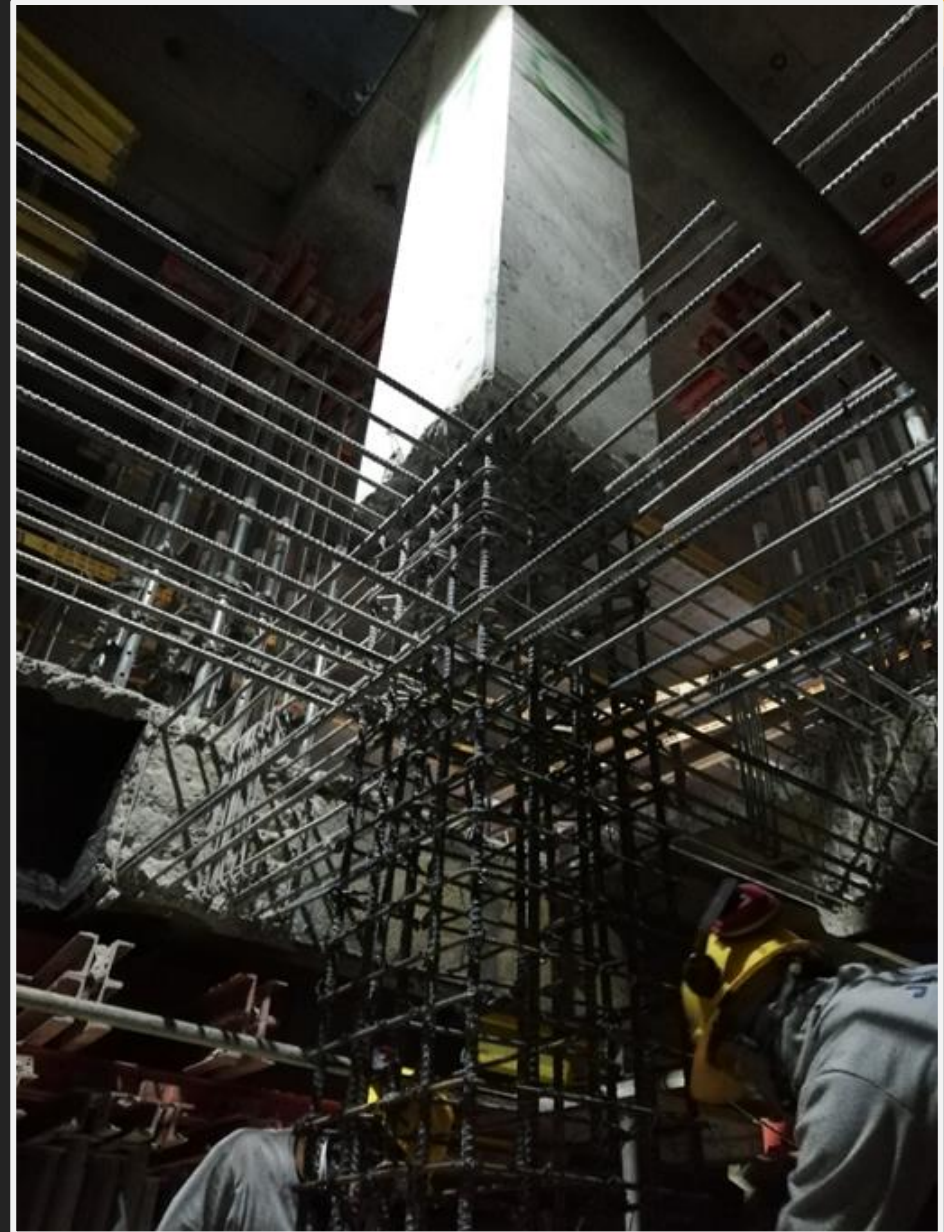
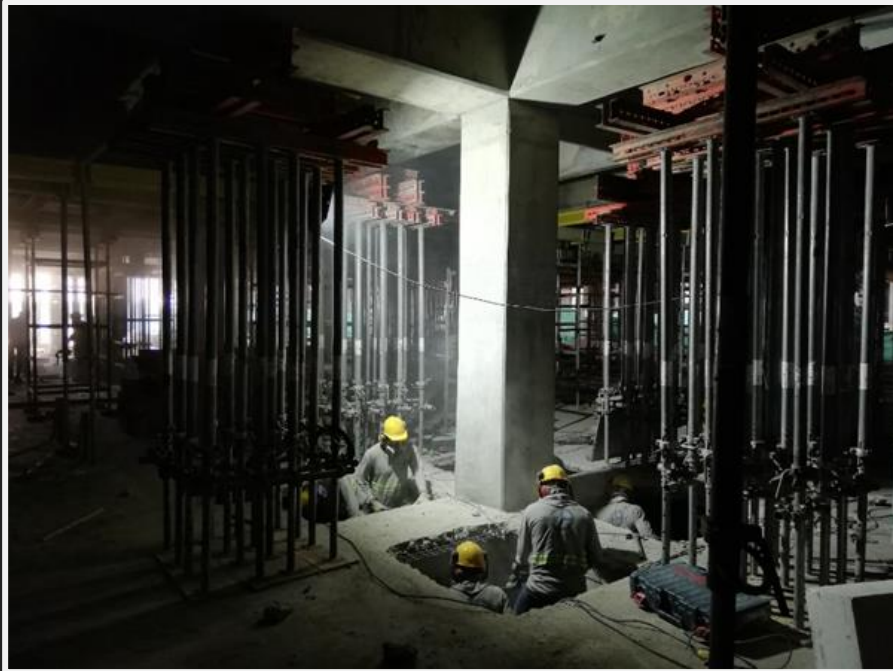
Antes de iniciar la intervención, se deben tomar medidas de seguridad siguiendo las metodologías y normativas vigentes, garantizando así, la estabilidad y correcta ejecución de las labores de rehabilitación.



Para este
apuntalamiento
importante,
estructura
elementos
manera se

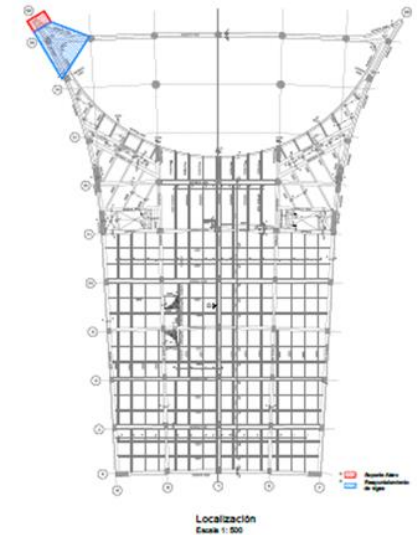
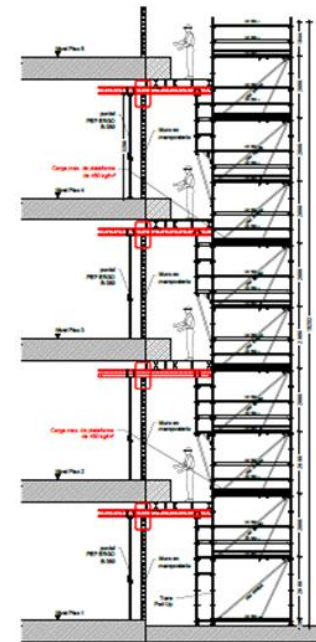
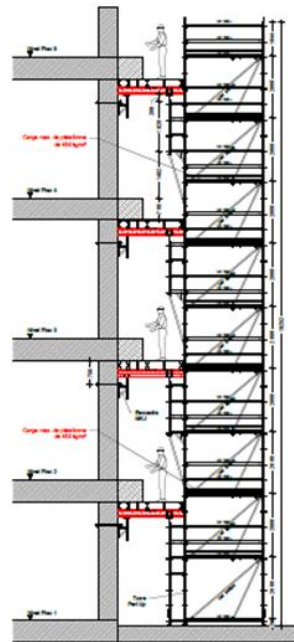
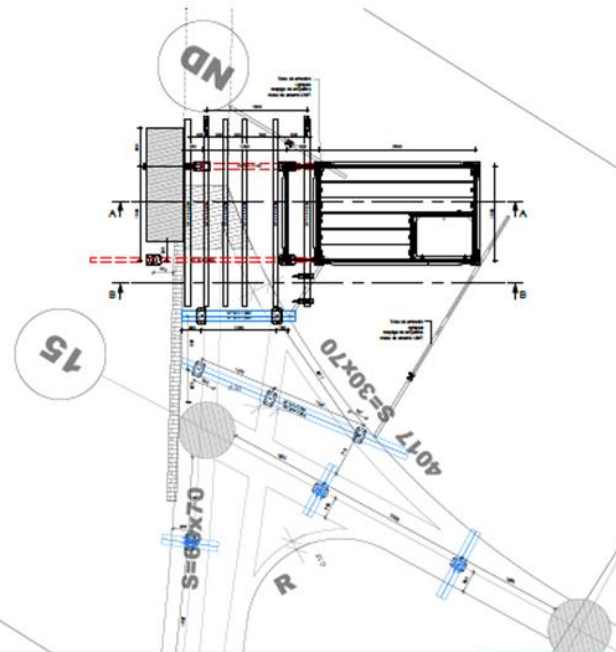
Este apunt
una carga
columna.





C - FACHADAS ALERO NORTE

PRELIMINAR
ENVÍADO PARA VERIFICACIÓN
Y APROBACIÓN DEL CONTRATISTA





Capítulo 9 – Construcción.

9.3 – Condiciones Temporales

9.3.1 La carga y los factores de carga deben estar de acuerdo con el numeral 5.1.4. durante los procesos de evaluación y construcción.

Capítulo 5 – Cargas, Combinaciones de Cargas y Factores de Reducción. 5.1.4.

1. *Las cargas durante el periodo de construcción deben ser acordes con el código básico de diseño. -> **NSR-10***
2. *Si el edificio se encuentra desocupado durante el periodo de construcción, se permitirá determinar las cargas de acuerdo con las indicaciones expuestas en **ASCE/SEI 37**.*

Cargas de
Materiales

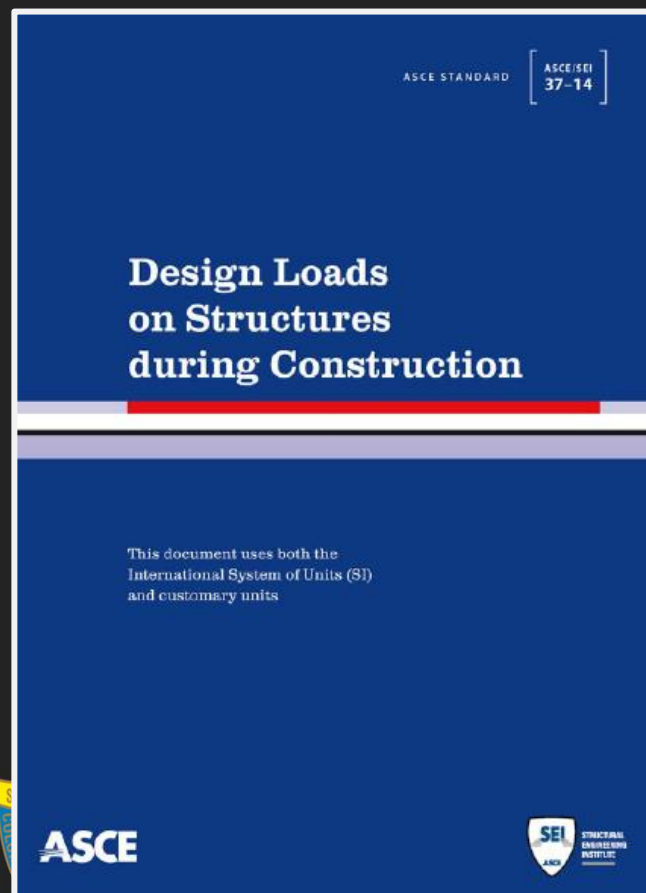
Cargas de
Equipo y
Personal

Cargas
Horizontales de
Construcción

Cargas de
Montajes

Reacciones de
Equipos

Presión de
Formaletas



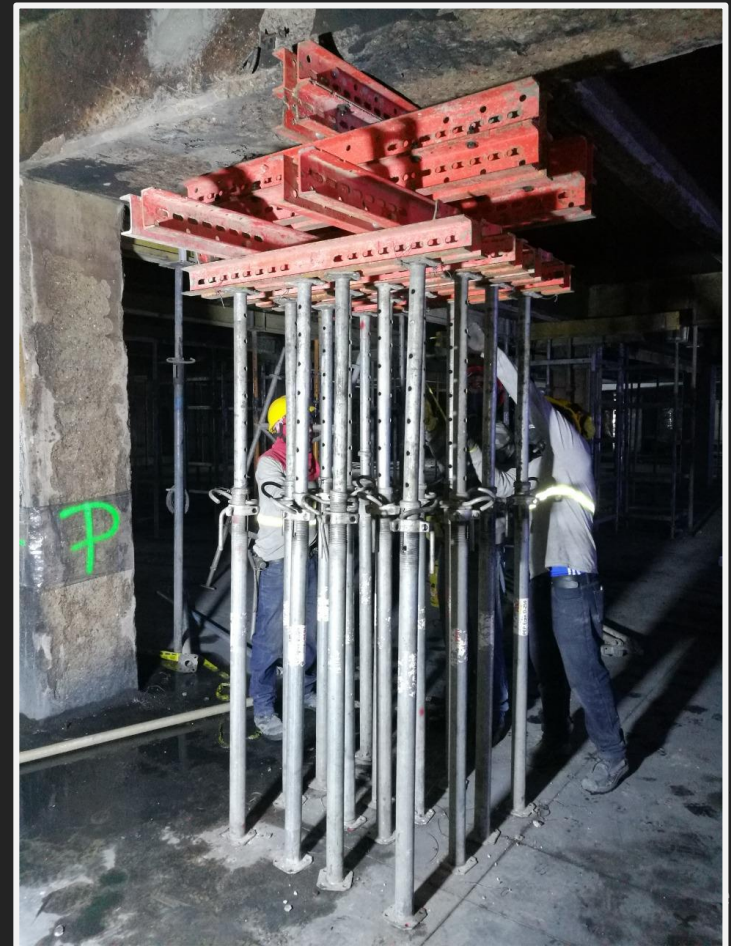
9.2 – Requisitos de Estabilidad y del Apuntalamiento Temporal

9.2.6 El apuntalamiento y arriostramiento deben mantener la estabilidad estructural de elementos y sistemas antes y durante las fases de la rehabilitación.

Comentario: Es posible que sea requerido arriostramiento suplementario para los elementos a compresión si su sección transversal o su longitud sin arriostramiento son modificadas durante el proceso de reparación.

Dentro de los miembros a compresión se encuentran:

- columnas,
- muros,
- alas de vigas,
- otros elementos como cordones a compresión en diafragmas.



9.2 – Requisitos de Estabilidad y del Apuntalamiento Temporal

9.2.6 El apuntalamiento y arriostramiento deben mantener la estabilidad estructural de elementos y sistemas antes y durante las fases de la rehabilitación.



Pandeo de Refuerzo Vertical



9.2 – Requisitos de Estabilidad y del Apuntalamiento Temporal

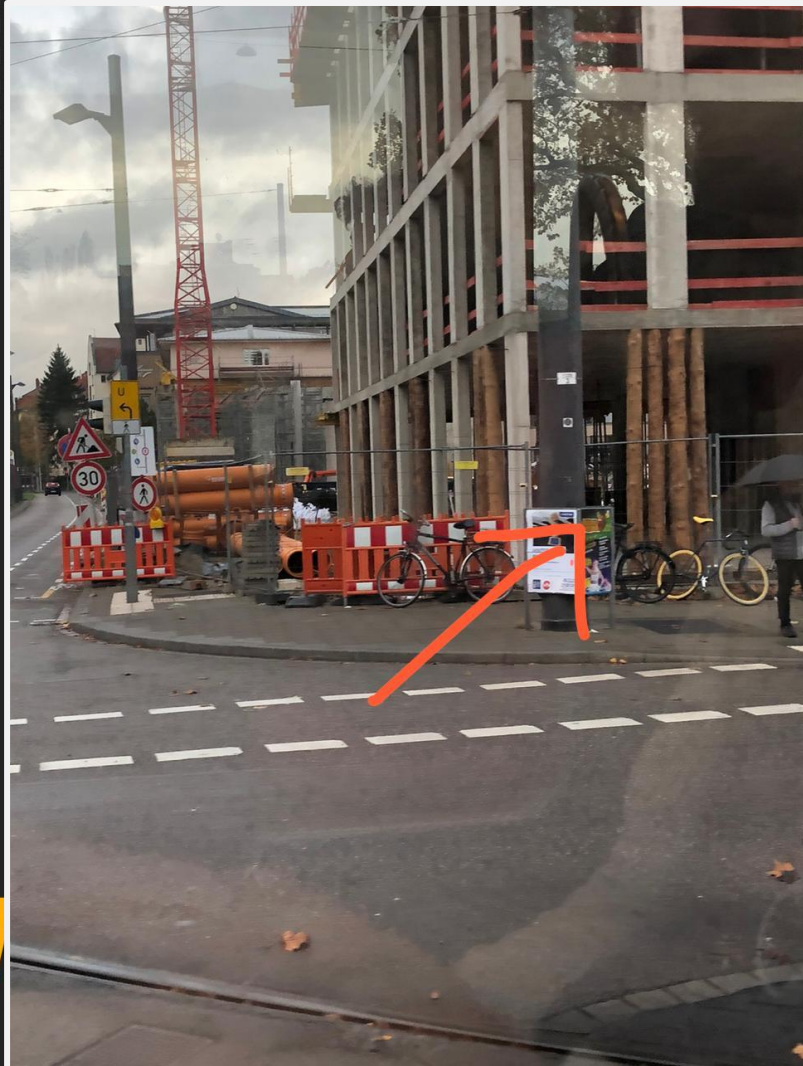
9.2.6 El apuntalamiento y arriostramiento deben mantener la estabilidad estructural de elementos y sistemas antes y durante las fases de la rehabilitación.



9.2 – Requisitos de Estabilidad y del Apuntalamiento Temporal

9.2.6 El apuntalamiento y arriostramiento deben mantener la estabilidad estructural de elementos y sistemas antes y durante las fases de la rehabilitación.





El apuntalamiento puede ser diseñado y construido con madera.

XXXVIII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

Ideas y Soluciones para transformar el futuro



REHABILITACIÓN DE
ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Juan José Betancourt T.

Gerente Técnico

Cel.: (57) 311 514 1919

juan.betancourt@jjbt.com.co



*Sociedad Santandereana
de Ingenieros*